

People's Democratic Republic of Algeria
Ministry of Higher Education and Scientific Research
Mohamed Boudiaf University of M'sila
Faculty of Technology

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة المسيلة
كلية التكنولوجيا



Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de:

MASTER

En Génie Mécanique

Option: Energetique

Présenté par:

DJAIDJA Khalil & CHICOUCHE Ahmed Lyamine

Thème

**ETUDE D'AMELIORATION DU REFROIDISSEMENT
DU COMPRESSEUR ATLAS COPCO GA 250**

Le jury composé de:

NOM et Prénom	Grade	Qualité
IHADDADENE Nabila	Professeur	Président
IHADDADENE Razika	Professeur	Encadreur
KHAMA Rida	MCA	Examineur

Année Universitaire: 2021 / 2022
N° d'ordre: GM/...../2022

REMERCIEMENTS

Le présent rapport n'aurait pas pu voir le jour sans la contribution de nombreuses personnes à qui nous aimerons adresser nos vifs remerciements:

Au Prof IHADDADENE .Razika, Professeur à L'Université de M'sila pour sa disponibilité, sa présence et ses conseils qui ont contribué à l'exceptionnel encadrement dont nous avons eu l'occasion de bénéficier.

A Mr Mechrak Youcef, « responsable de maintenance » à l'usine de M'sila pour nous avoir accordé toute son attention et de nous avoir orienté dans notre travail.

A monsieur Ayman Boudiaf, le responsable de la formation à LafargeHolcim M'sila pour l'accueil et toutes les facilités qu'il nous a accordé pour accomplir ce travail

A Mr ROKBI .M, Maitre - Assistant à l'Université de M'sila, en qualité de chef de département mécanique

Et enfin, je tiens aussi à adresser nos remerciements les plus sincères à tous le staf pédagogique qui nous a accompagnés tout au long de notre formation à l'université de M'sila pour la qualité d'enseignement prodigué et l'engagement dont ils ont fait preuve.

Dedication

A tous ceux qui croient que la science, le savoir et la recherche sont l'honneur et le devoir des élites.

A tous ceux qui espèrent et oeuvrent pour que l'université Algérienne joue son rôle pionnier dans le développement de notre pays

A tous ceux qui m'ont enseigner depuis mes premiers pas à l'école primaire jusqu'aux études universitaires.

DJAIDJA Khalil

Dedication

A la mémoire de mes parents,

A celle qui m'est la plus chère,

A mes enfants,

A toute ma famille,

A mon meilleure amie Khalil,

Et à tous ceux que je garde dans mon cœur.

CHICOUCHE Ahmed Lyamine

Table des Matières

LISTE DES FIGURES.....
LISTE DES ABREVIATIONS.....
INTRODUCTION GENERALE.....	2

CHAPITRE I Généralité sur les compresseurs et les échangeurs

I. INTRODUCTION.....	5
I.1. DESCRIPTION D'UN COMPRESSEUR D'AIR.....	5
I.2. CLASSIFICATION DES COMPRESSEURS.....	6
I.2.1. Classification des compresseurs selon le procédé de compression	6
I.2.1.1. Compresseurs volémétriques.....	7
I.2.1.1.1. Compresseurs alternatifs	7
I.2.1.1.2. Compresseurs rotatifs.....	8
I.2.1.2. Compresseurs dynamiques	11
I.2.2. Classification des compresseurs selon le la plage de compression	13
I.2.2.1. Compresseur à basse pression	13
I.2.2.2. Compresseur à pression moyenne.....	13
I.2.2.3. Compresseur à haute pression	14
I.2.3. Classification selon le type de refroidissement de l'air de compression	14
I.2.3.1. Refroidissement par eau d'une installation de compresseur.....	15
I.2.3.2. Refroidissement par air	17
I.3. DESCRIPTION D'UN ECHANGEUR DE CHALEUR	18
I.4. CLASSIFICATION DES ECHANGEURS DE CHALEUR.....	19
I.4.1. Classification technologique	19
I.4.2. Classification selon le mode de transfert de chaleur	20
I.4.3. Classification selon leurs procédés de transfert de chaleur	21
I.4.4. Classification selon le nombre de fluide.....	21
I.4.5. Classification selon le type de l'écoulement.....	22
I.5. METHODES DE CALCUL DES ECHANGEURS DE CHALEUR.....	23

I.5.1. Méthode de différence de température moyenne logarithmique DTLM23
I.5.1.1. Cas d'un échangeur mono passe co-courant23
I.5.1.2. Cas d'un échangeur à contre-courant24
I.5.1.3. Coefficient global de transfert d'un échangeur à faisceaux et calendrier	...25
I.5.2. Méthode NUT (Efficacité d'un échangeur)25
I. CONCLUSION27

CHAPITRE II L'Usine de Cimenterie LafargeHolcim et ces besoins en Air comprimé

II.INTRODUCTION29
II.1.PRESENTATION DE LAFARGEHOLCIM ET LA PRODUCTION DU CIMENT29
II.1.1.Présentation du groupe Lafarge Holcim29
II.1.2.Présentation de LafargeHolcim Algérie30
II.1.2 .1. Activité et Stratégie30
II.1.2 .2. Hygiène et sécurité30
II.1.3.Cimenterie LafargeHolcim M'sila30
II.1.4.Procédé de fabrication du ciment32
II.2.L'AIR COMPRIME DANS LA CIMENTERIE LAFARGEHOLCIM33
II.2.1.L'utilisation de l'air comprimé dans la cimenterie LafaregeHolcim33
II.2.1.1. Commande des machines34
II.2.1.2. Transport de la matière35
II.2.1.3. Dépoussiérage et filtration d'air process36
II.2.1.4. Filtre de process (production de ciment)36
II.2.1.5. Démolition des croutages37
II.2.1.6. Pulvrisation d'eau et conditionnement des gaz chauds38
II.2.2.Production d'air comprimé dans la cimenterie LafargeHolcim38
II.2.2.1. Compresseur Atlas Copco GA 25038
II.2.2.2. Sécheur d'air comprimé41
II.2.3.Principe de fonctionnement du compresseur Atlas Copco GA25042

II.2.3.1. Aspiration.....	43
II.2.3.2. Compression	43
II.2.3.3. Evacuation.....	43
II.2.3.3. Echangeur de chaleur.....	43
II.2.4.Schéma de fonctionnement du compresseur Atlas Copco GA250.....	44
II.CONCLUSION	45

CHAPITRE III Description des problèmes des échangeurs de chaleur du compresseur Atlas Copco GA 250

III.INTRODUCTION.....	47
III.1. DESCRIPTION DES PROBLEMES DES ECHANGEURS DE CHALEUR DU COMPRESSEUR ATLAS COPCO GA 250.....	47
II .1.1. Perturbations de la qualité d’air comprimé	48
II .1.2. Défaillances constatées dans les installations de l’air comprimé.....	48
II .1.2.1. Elévation de température des compresseurs	48
II .1.2.2. Présence d’eau dans le circuit d’air	49
II .1.2.3. Manque de disponibilité des compresseurs/baisse de fiabilité	50
III.2. CAUSES ET PISTE D’AMELIORATION	51
II .2.1. Encrassement du circuit d’eau	51
II .2.2. Augmentation de température d’eau de refroidissement	53
II .2.3. Détérioration des échangeurs de chaleur.....	53
III.3. SOLUTIONS PROPOSEES POUR AMELIORER LES PERFORMANCES DESCOMPRESSEUR ATLAS COPCO GA250	54
II .3.1. Amélioration du traitement des eaux.....	54
II .3.2. Amélioration du système de refroidissement des eaux.....	56
II .3.3. Nettoyage chimique adéquat des échangeurs de chaleur	57
II .3.4. Application d’une maintenance préventive adéquate	58
II .3.5. Renforcement par un échangeur de chaleur tubulaire	59
III.CONCLUSION	60

CHAPITRE IV Etude économique par comparaison entre le coût de défaillance et le coût des améliorations

IV.INTRODUCTION.....	62
IV.1. COÛTS ESTIMATIFS DES DEFAILLANCES DES SYSTEMES DE REFROIDISSEMENT D'UN COMPRESSEUR ATLAS COPCO GA250.....	62
IV.1.1. Coûts de défaillance d'un échangeur de chaleur	62
IV.1.2. Coûts de défaillance des deux éléments du compresseur	62
IV.1.3. Manque de production	62
IV.1.4. Coûts total des défaillances du système de refroidissement	63
IV.2. COÛTS ESTIMATIFS DES AMELIORATIONS PROPOSEES.....	63
IV.2.1. Augmentation de fréquence de génération de la résine de traitement d'eau.....	63
IV.2.2. Coûts de changement de résine	64
IV.2.3. Coûts d'amélioration tour de refroidissement.....	64
IV.2.4. Coûts de changements des kits de maintenance préventive	64
IV.3. COMPARAISON ENTRE LES PERTES DE DEFAILLANCES DU SYSTEME DE REFROIDISSEMENT D'UN COMPRESSEUR ET LE COÛT DES AMELIORATIONS PROPOSEES	65
IV.CONCLUSION.....	66
CONCLUSION GENERALE.....	69
REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE.....	
ANNEXE	

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I Généralité sur les compresseurs et les échangeurs

Fig.I. 1. Conversion de l'air atmosphérique en air comprimé.....	6
Fig.I. 2. Classification des compresseurs selon le procédé de compression	6
Fig.I. 3. Les types de compresseurs volumétriques	7
Fig.I. 4. Compresseurs alternatifs	8
Fig.I. 5. Compresseur à vis.....	9
Fig.I. 6. Compresseur spirale.	9
Fig.I. 7. Compresseur à lobes.....	10
Fig.I. 8. Compresseur à palettes.....	11
Fig.I. 9. Type des compresseurs dynamiques	11
Fig.I. 10. Compresseur axiaux de GE J79.....	12
Fig.I. 11. (A-B) Compresseur centrifuge	12
Fig.I. 12. Compresseur à Basse Pression ROBUSHI.....	13
Fig.I. 13. Compresseur à Moyenne Pression.....	14
Fig.I. 14. Compresseur à Haute Pression	14
Fig.I. 15. Système de refroidissement ouvert.....	15
Fig.I. 16. Système de refroidissement ouvert avec circulation d'eau	16
Fig.I. 17. Système de refroidissement fermé avec circulation d'eau	17
Fig.I. 18. Système de refroidissement à air	18
Fig.I. 19. Echangeur de chaleur par eau.....	19
Fig.I. 20. Echangeur à faisceaux et calandre (multitubulaire)	19
Fig.I. 21. Echangeur à plaque et joint	20
Fig.I. 22. Echangeur à changement de phase (Caloduc)	20
Fig.I. 23. Récupération de chaleur à contact direct pour chaudières	21
Fig.I. 24. Tube coaxial crop d'un échangeur de chaleur	21
Fig.I. 25. Classification des échangeurs de chaleur suivant le sens d'écoulement	22
Fig.I. 26a. Echangeur mono passe à co-courant	24
Fig.I. 26b. Echangeur mono passe à contre-courant	24
Fig.I. 27a. L'efficacité d'un échangeur à co-courant.....	27
Fig.I. 27b. L'efficacité d'un échangeur à contre-courant	27

CHAPITRE II L'Usine de Cimenterie LafargeHolcim et ces besoins en Air comprimé

Fig.II. 1. Cimenterie LH de Hammam Dalaa - M'Sila	31
Fig.II. 2. Situation géographique de la cimenterie LH - M'Sila	31
Fig.II. 3. Organigramme du GRH de LafargeHolcim - M'Sila.	31
Fig.II. 4. Processus de fabrication du ciment.	32
Fig.II. 5. Organigramme du processus de fabrication du ciment.....	33
Fig.II. 6. Vue d'un Clapet matière	34
Fig.II. 7. Applicateurs de sac pour remplissage du ciment.	34
Fig.II. 8. Vanne pneumatiques du circuit d'air du brûleur du four.	35
Fig.II. 9. Vue d'un Air lift.....	35
Fig.II. 10. Vue d'un filtre à manche.....	36
Fig.II. 11. Filtre process BF 260	37
Fig.II. 12. Disposition des Air-chocs au niveau du calcinateur.	37
Fig.II. 13. Vue de la tour de conditionnement de gaz GCT.....	38
Fig.II. 14. Compartiment compresseur Atlas Copco GA 250.....	39
Fig.II. 15. Composantes d'un compresseur Atlas Copco GA 250.....	39
Fig.II. 16. Moteur principal du compresseur Atlas Copco GA 250.....	40
Fig.II. 17. Éléments du compresseur Atlas Copco GA 250.....	40
Fig.II. 18. Séparateur d'huile.	40
Fig.II. 19. Échangeur de chaleur a trois circuits.	40
Fig.II. 20. Filtre d'air.	41
Fig.II. 21. Filtres à huile.....	41
Fig.II. 22. Sécheur d'air comprimé.....	42
Fig.II. 23. Principe de fonctionnement des deux rotors du compresseur.....	42
Fig.II. 24. Échangeur à plaque.	43
Fig.II. 25. Adoucisseur de traitement d'eau (Veolia).....	43
Fig.II. 26. Station de traitement d'eau.	44
Fig.II. 27. Schéma de fonctionnement du compresseur.....	44

CHAPITRE III Description des problèmes des échangeurs de chaleur du compresseur Atlas Copco GA250

Fig. III. 1. Extrait graphique de la norme ISO 8573-1 La norme de qualité d'air.....	47
Fig. III. 2. Variation de point de rosé nécessaire avec la température ambiante	48
Fig. III. 3. Influence du climat ambiant sur les températures du compresseur.....	49
Fig. III. 4. Moyenne des températures ambiantes de la région de M'sila.	50
Fig. III. 5. Encrassement des échangeurs de chaleur à plaques.....	51
Fig. III. 6. Classification des qualités d'eau selon la dureté.....	52
Fig. III. 7. Evolution de la surconsommation énergétique en fonction de l'encrassement des échangeurs de chaleur.	52
Fig. III. 8. Principe de fonctionnement de la tour de refroidissement.	53
Fig. III. 9. Schéma de Principe de l'adoucissement par résine cationique.....	55
Fig. III. 10. Schéma de différence entre adoucisseur régénéré et saturé.	55
Fig. III. 11. Tour de refroidissement à chaleur latente.	56
Fig. III. 12. Dispositif de nettoyage chimique des échangeurs de chaleur à plaque.	57
Fig. III. 13. Echangeur de chaleur tubulaire de renforcement.....	58

LISTE DES ABREVIATIONS

LH : LafargeHolcim, Société Franco-Suisse de construction de Ciment

Alpha Laval : Société Almande de construction de différentes gammes d'échangeur de chaleur

Atlas Copco : Société Belge de construction de différentes gammes de compresseur

GA : Oil injected compressed Air

NUT : Nombre d'Unité de Transfert

DTLM : Difference de temperature Moyenne logarithmique

ISO : International Standard Organisation

RN : Route Nationale

GRH : Gestion des Ressources Humaines

GICA : Groupe d'Investissement Cimenteries Algerian

SCMI : Société d'Investissement Cimenterie de Meftah

K_G: Coefficient global de transfert

GCT : Tour de Conditionnement des Gaz chaud

NF : Norme Françaises

SPM : Shock Pulse Measurement

A : Surface de transfert

h_e : Coefficient de convection externe

h_i : Coefficient de convection interne

R_{fe} : Résistances thermiques à l'encrassement externe

R_{fi} : Résistances thermiques à l'encrassement interne

e : Epaisseur

λ_{cyl} : Conductivité thermique de la zone métallique

R_{Ail} : Résistance au transfert de chaleur en présence d'ailette

A_m : Surface moyenne de transfert

ε : L'efficacité d'un échangeur de chaleur

$\phi_{réel}$: Flux de chaleur réel

ϕ_{max} : Flux de chaleur maximum

\dot{m}_c : Débit massique du fluide chaud

\dot{m}_f : Débit massique du fluide froid.

C_{pc} : Chaleur spécifique du fluide chaud

C_{pf} : Chaleur spécifique du fluide froid

T_{ce} : Température d'entrée du fluide chaud.

T_{cs} : Température de sortie du fluide chaud.

T_{fe} : Température d'entrée du fluide froid.

T_{fs} : Température de sortie du fluide froid.

INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le fonctionnement des installations industrielles utilisant l'air comprimé peut être mis en défaut par des problèmes de dysfonctionnement qui mènent à leurs arrêts, ce qui conduit à des problèmes divers tel que l'arrêt de production qui influe sur les performances des entreprises.

Les industries déploient beaucoup d'efforts pour maintenir les équipements industriels en performance tout en cherchant des solutions adéquates aux problèmes rencontrés au cours de la chaîne de production. Malgré ces efforts engagés pour éviter toutes les défaillances qui peuvent engendrer des arrêts de production qui mènent à des pertes financières considérables, de nombreux problèmes se produisent qui nécessitent des études d'investigation et des actions d'amélioration.

En effet, l'industrie cimentière est fortement présente, elle est devenue l'une des activités industrielles la mieux structurée et la mieux répartie au monde, elle réalise une valeur ajoutée importante au secteur « matériaux de construction » [27], d'autre part, l'économie de marché mondial astreint les industriels à rester toujours plus compétitifs pour la suite de leurs activités. Ceci implique en partie de développer le processus de production vers la performance et la réduction des coûts.

L'Algérie est devenue un centre d'importants investissements industriels, plusieurs infrastructures ont vu le jour sur le territoire national, des projets ont été inaugurés ces dernières années et d'autres sont en cours de réalisation, d'où la forte demande du ciment.

L'industrie du ciment connaît un grand essor dans le monde et particulièrement en Algérie, parmi les groupes investissant en Algérie on trouve le Groupe LafargeHolcim qui est le leader mondial dans le secteur des matériaux de construction « ciment, granulats et béton » l'un des investisseurs étrangers les plus importants en Algérie, ambitionne de développer son activité en quantité et en diversité de produits [9] et d'améliorer sa contribution dans le marché Algérien, ses performances techniques et sa maîtrise des coûts

Le présent projet a pour objectif l'étude de l'amélioration du refroidissement du compresseur Atlas Copco GA 250 au niveau de la cimenterie LafargeHolcim de M'sila. Pour ce faire, le travail a été divisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre porte sur la description générale des compresseurs et des échangeurs de chaleur, ainsi que leurs différentes classifications.

Le second chapitre, expose en premier lieu la cimenterie LafargeHolcim de Hammam Dalaa - M'Sila, le procédé de fabrication du ciment, ensuite l'utilisation de l'air comprimé dans cette cimenterie, et enfin, les systèmes de refroidissement à eau, utilisés pour refroidir deux fluides (l'air et l'huile) sortant des éléments compresseurs à air Atlas Copco.

Le troisième chapitre sera réservé pour la description de tous les problèmes des échangeurs de chaleur du compresseur GA250 dans la cimenterie LafargeHolcim dans le but de détecter les causes et de proposer des solutions à ces problème.

Finalement, le dernier chapitre sera dédié à l'étude économique des améliorations faites pour régler les problèmes des échangeurs de chaleur de la cimenterie LafargeHolcim de Hammam Dalaa - M'Sila et les comparer avec les coûts des défaillances constatées.

CHAPITRE I
GENERALITE SUR LES
COMPRESSEURS ET LES ECHANGEURS
DE CHALEUR

I. INTRODUCTION

L'air comprimé produit par les compresseurs est un élément essentiel dans l'industrie en général et dans l'industrie cimentière en particulier, du fait, les échangeurs qui sont un constituant essentiel dans les compresseurs ont une importance primordiale. Durant ce chapitre, on présente des généralités sur les compresseurs et les échangeurs, à savoir, la description générale d'un compresseur et d'un échangeur de chaleur, ainsi que les différentes classifications des compresseurs (selon le procédé de compression, la plage de compression, le type de refroidissement de l'air de compression) et des échangeurs de chaleur (selon le mode de transfert de chaleur, le procédé de transfert de chaleur, le nombre de fluide).

I.1 DESCRIPTION D'UN COMPRESSEUR D'AIR

L'air comprimé est une forme d'énergie emmagasinée qui sert à faire fonctionner des machines, des équipements ou des procédés industriels. Il est utilisé dans la plupart des industries de fabrication et dans certaines industries de services, notamment dans les cas où l'utilisation directe de l'électricité pour alimenter des outils ou des appareils se révèle peu pratique, voire dangereuse [10].

Un compresseur d'air type entraîné par l'électricité comprime environ 7 volumes d'air à la pression atmosphérique en 1 volume d'air à pression plus élevée (environ 100 psig, ou 7 bars). L'air à haute pression ainsi obtenu est distribué aux appareils ou aux outils dans lesquels il se détend à la pression atmosphérique, libérant ainsi l'énergie nécessaire à leur fonctionnement (Figure I.1).

Lors du processus de la compression, et du refroidissement ultérieur de l'air aux températures ambiantes, de la chaleur et de l'humidité se dégagent. La chaleur récupérée du compresseur d'air est utilisée comme mesure d'efficacité énergétique en se combinant à d'autres procédés : par exemple, le chauffage des locaux et le chauffage de l'eau. Selon le type d'application, il peut s'avérer nécessaire de contrôler l'humidité en excès dans l'air comprimé à cause des éventuels problèmes éprouvés par les tuyauteries (corrosion) et les équipements utilisés.

I.2 CLASSIFICATION DES COMPRESSEURS

Les compresseurs peuvent être classés selon plusieurs caractéristiques :

- ✓ Selon le procédé de compression.
- ✓ Selon la plage de compression.
- ✓ Selon le type de refroidissement de l'air de compression.

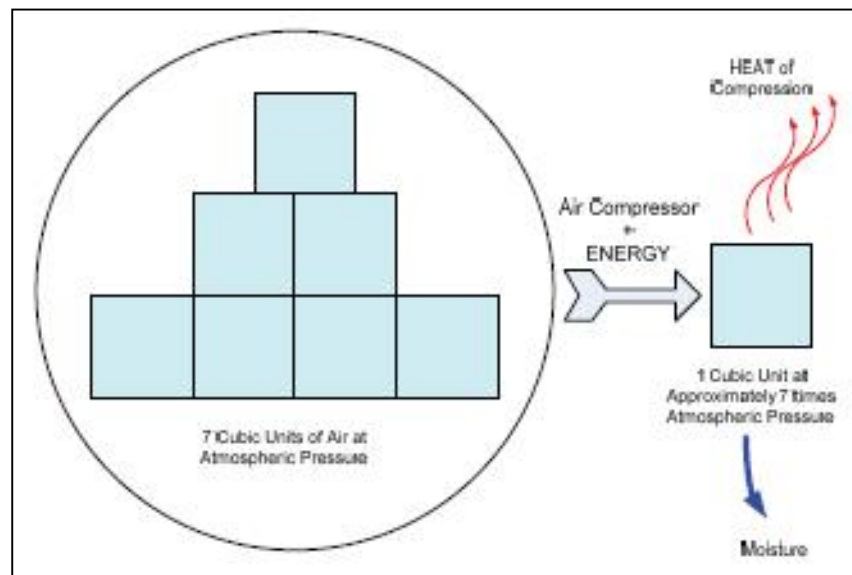


Figure I.1 - Conversion de l'air atmosphérique en air comprimé [10].

I.2.1 Classifications des compresseurs selon le procédé de compressions

Il existe deux grandes familles de compresseurs, les compresseurs volumétriques et les turbocompresseur ou compresseurs dynamique (Figure I.2) [2].

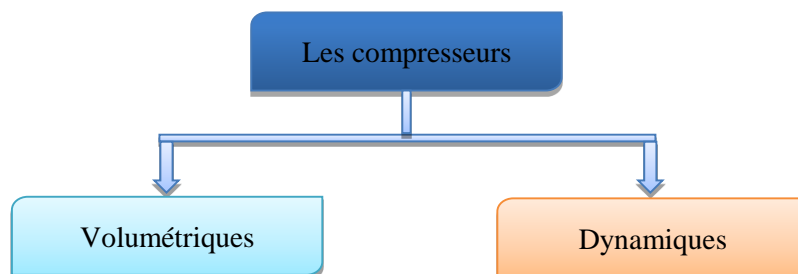


Figure I.2 – Classification des compresseurs selon le procédé de compression [2].

I.2.1 .1 Compresseurs volumétriques

Cette catégorie a pour principe général la variation de volume d'une cavité entre l'entrée et la sortie de la machine, on note deux classes : les compresseurs alternatifs (à pistons, à membrane) et les compresseurs rotatifs (à vis, à spirales, à lobes rotatifs et à palettes). Dans la compression volumétrique (Figure I.3), l'air est aspiré dans une ou plusieurs chambres de compression qui sont ensuite isolées de l'admission. Progressivement, le volume de chaque chambre diminue et l'air est comprimé à l'intérieur. Quand la pression atteint le rapport de pression de consigne, un orifice ou un clapet s'ouvre et l'air est refoulé dans le système de sortie en raison de la réduction continue du volume de la chambre de compression [2].

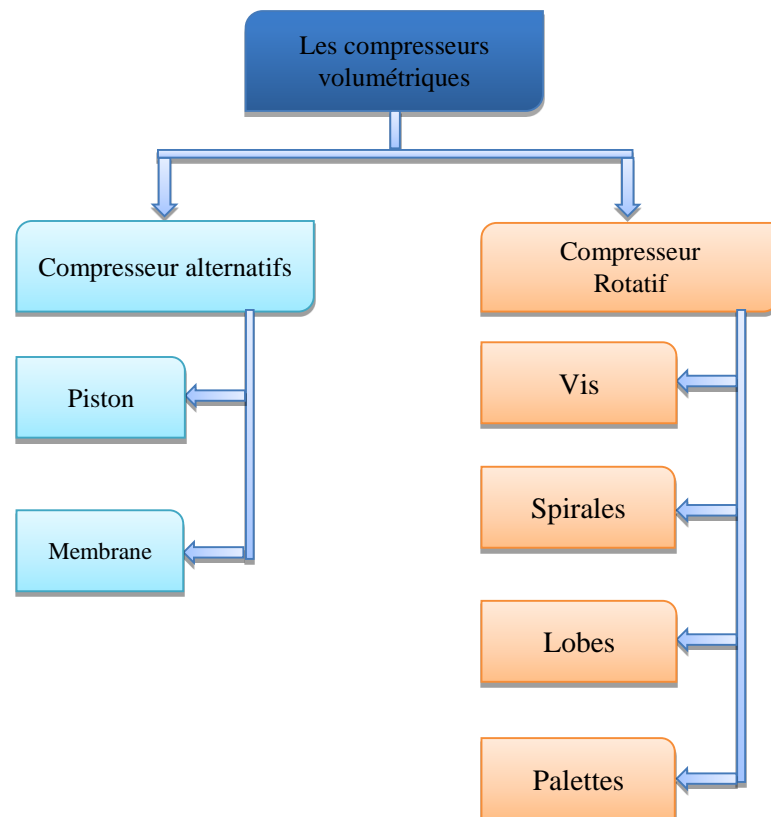


Figure I.3 – Les types de compresseurs volumétriques [2].

I.2.1.1.1 Compresseurs alternatifs

Les éléments de compression dans ces compresseurs ont un mouvement alternatif à partir d'un mouvement rotatif à l'aide d'un mécanisme de transformation de mouvement (tel que le système bielle manivelle).

Le gaz est introduit dans un espace limité par des parois métalliques (cylindre et piston). L'espace à disposition du gaz est réduit (le piston avance) et par conséquent la pression augmente, quand la pression est pareille à celle du circuit de haute pression, le gaz est refoulé. On distingue deux types : compresseur à membrane et compresseur à piston (Figure I.4).

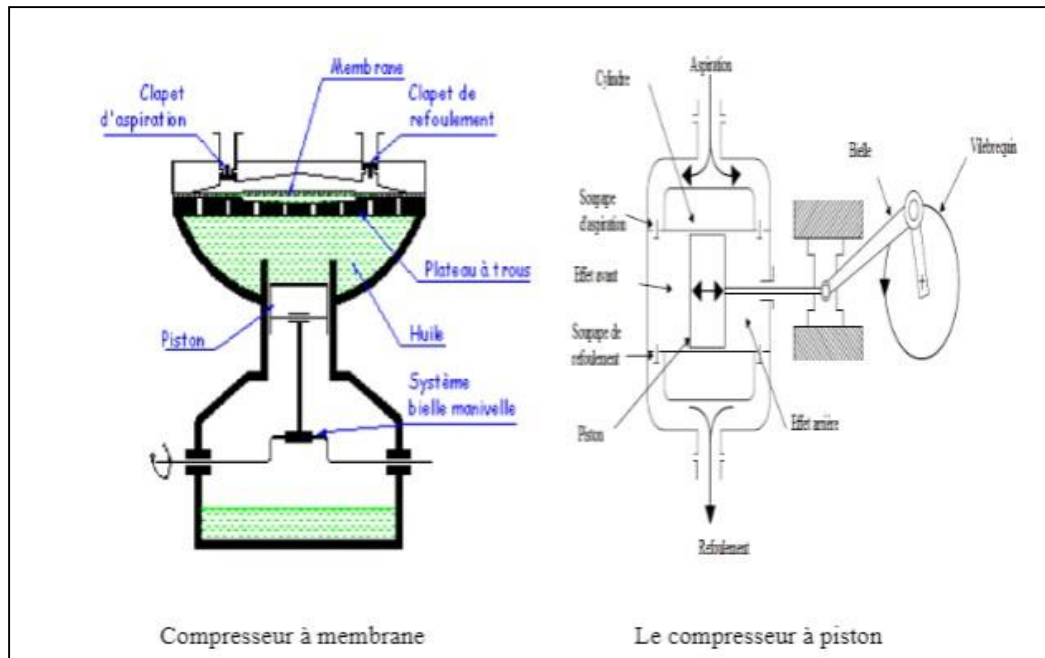


Figure I.4: Compresseurs alternatifs [2].

I.2.1.1.2 Compresseurs rotatif

Les éléments de compression dans ces compresseurs ont un mouvement rotatif, c'est-à-dire que la transmission entre les moteurs et les éléments de compression est directe (sans un mécanisme de transformation de mouvement) ce qui donne une meilleure régularité de couple et d'absence de vibration, tel que les compresseurs à vis, à palettes et à lobes.

Compresseur à vis

La compression dans ce type de compresseurs est obtenue par rotation de deux organes faisant varier le volume d'une chambre de compression. Il est muni de rotors à la place de pistons, et évacue l'air (ou le gaz) comprimé de façon continue, sans pulsations. Le compresseur rotatif le plus commun est le compresseur à vis (Figure I.5).

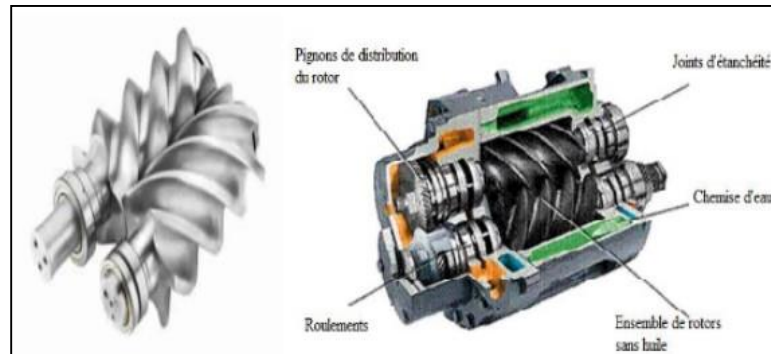


Figure I.5 –Compresseur à vis [2].

Compresseurs spirales

Il est composé de spirales fixes et spirales mobiles. Il est entraîné par la poulie d'un vilebrequin et grâce à un arbre excentrique, la spirale mobile se rapproche et s'écarte de la spirale fixe, l'air emprisonné est comprimé dans cette espace et est chassé vers le centre du compresseur (sortie), puis vers le conduit d'admission du moteur.

Dans un compresseur scroll Co-rotatif, les deux centres des volutes sont décalés avec suffisamment de précision pour que les deux spirales s'effleurent. Ces deux spirales sont en rotation autour de leur centre respectif. Elles tournent dans le même sens et à la même vitesse. Le système peut être utilisé soit en compresseur soit en turbine suivant le sens de rotation des volutes. Le volume des poches formées entre les deux spirales varie avec la rotation de celles-ci et entraîne la compression du fluide (Figure I.6).

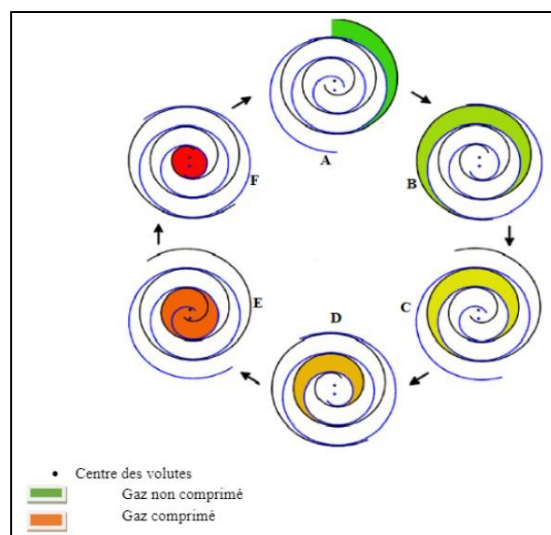


Figure I.6 - Compresseur spirale [2].

Compresseur à lobes

Ces compresseurs, appelés aussi à piston rotatif, sont réalisés par deux rotors associés dont l'un tourne à l'intérieur de l'autre, le rotor intérieur ayant une dent de moins que le rotor extérieur. Comme dans le cas du compresseur Roots, l'entraînement et la synchronisation des rotors sont obtenus par un engrenage associé aux rotors et extérieur à la chambre de compression. L'engrenage est à denture intérieur et le rapport des nombres de dents pignon/couronne est identique au rapport des nombres de dents rotor intérieur/rotor extérieur.

Du fait du mouvement de la dent du rotor intérieur dans le creux du rotor extérieur, il est possible de réaliser avec ce type de compresseur une compression interne dont le rapport est fonction de la position de l'ouverture de l'orifice de refoulement par rapport à la rotation des lobes (Figure I.7).

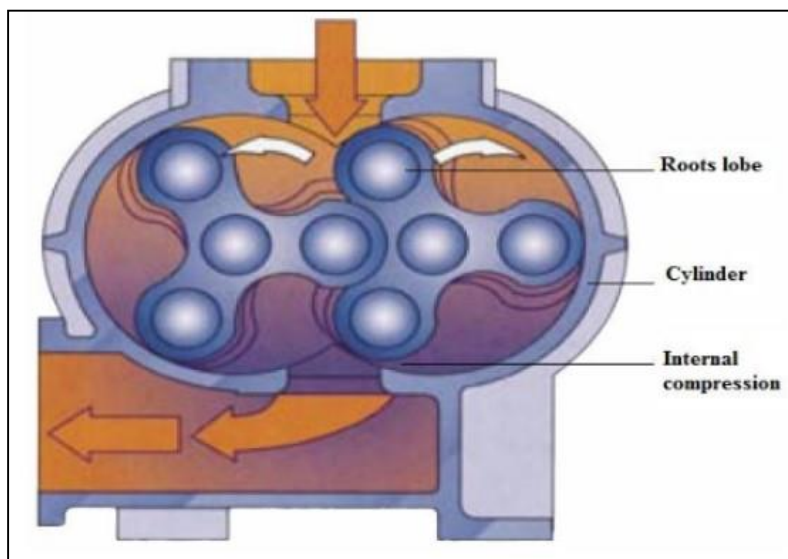


Figure I.7 –Compresseur à lobes [2].

Compresseur à palettes

Est un compresseur dit à rotation. Il est constitué d'un stator cylindrique dans lequel tourne un rotor excentré. Ce dernier est muni de rainures radiales dans lesquelles coulisent des palettes qui sont constamment plaquées contre la paroi du stator par la force centrifuge (Figure I.8).

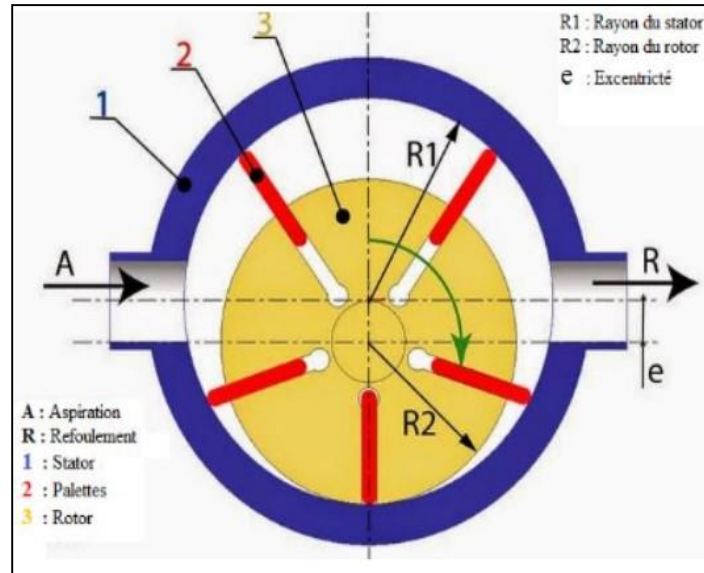


Figure I.8 –Compresseur à palettes [2].

I.2.1 .2 Compresseurs dynamiques

Dans la compression dynamique, l'air est aspiré entre les lames sur un impulseur de compression à rotation rapide, et accélère à une vitesse élevée. Le gaz est ensuite évacué par un diffuseur, où l'énergie cinétique est transformée en pression statique. La compression dynamique (Figure I.9) fait le plus souvent appel à des turbocompresseurs avec un modèle d'écoulement radial (centrifuge) ou axial [2].

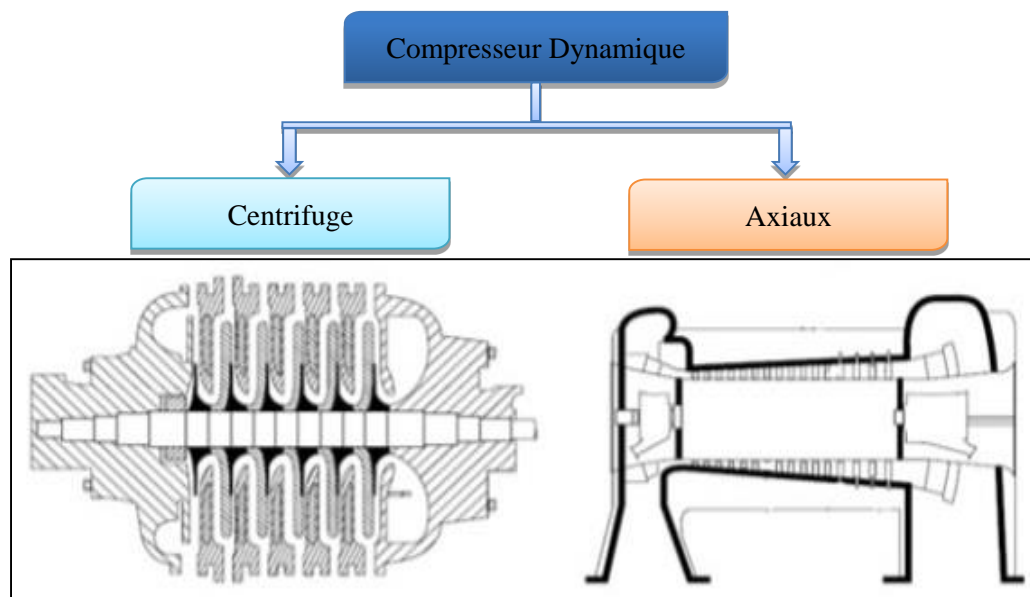


Figure I.9 –Type des compresseurs dynamiques [2].

Compresseurs axiaux

C'est un compresseur dynamique dont le flux d'air suit l'axe de rotation, et dont le fluide de sortie a un mouvement radial. Il génère un flux continu d'air comprimé et fournit un rendement élevé pour une masse volumique donnée et une section donnée du compresseur. Il est nécessaire d'avoir plusieurs étages de pales pour obtenir des pressions élevées et des taux de compression équivalents à ceux d'un compresseur centrifuge.

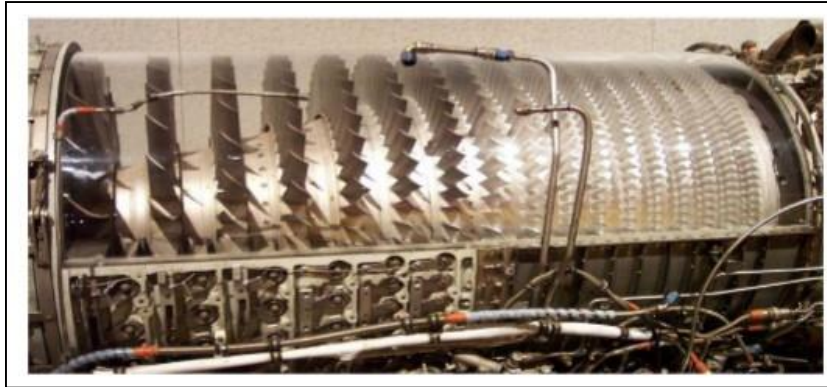


Figure I.10 – Compresseur axial de GE J79 [2].

Compresseur centrifuge

Ce type de compresseur est très utilisé en raffinage et dans l'industrie chimique et pétrochimique, il est très compact et peut développer des puissances importantes comparées à leur taille dans leur plage de fonctionnement, il n'engendre pas de pulsation de pression au niveau des tuyauteries, ces qualités permettent des installations légères, pour l'environnement de ce compresseur.

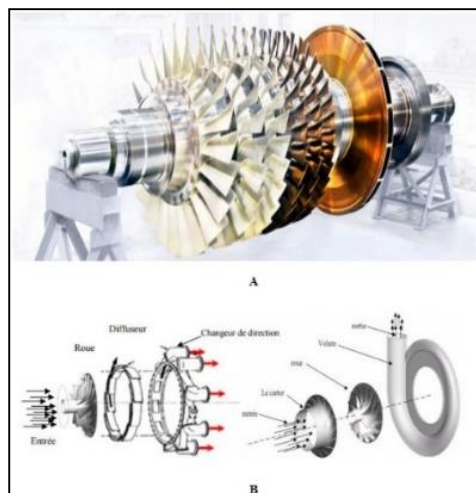


Figure I.11 – (A-B) Compresseur centrifuge [2].

I-2-2 Classification des compresseurs selon la plage de compression

Les compresseurs peuvent être aussi classés selon leur plage de pression et selon le débit d'air fourni.

I-2-2-1 Compresseur à basse pression

Ce sont appelés souvent des surpresseurs ou soufflante, ils fournissent de l'air comprimé à faible pression (entre 500 mbar et 1500 mbar), mais ils ont des débits importants, ils sont utilisés pour des applications nécessitant la quantité d'air et non pas la pression tel que les systèmes de transport de matière fine. Les compresseurs à basse pression sont constitués en générale en rotor à lobes (2 ou 3 selon le cas) (Figure I.12).

En raison du faible taux de compression, l'air produit par ces compresseurs ne nécessite par un traitement particulier (séchage ou refroidissement).



Figure I.12 – Compresseur à Basse Pression ROBUSHI [12].

I-2-2-2 compresseurs à pression moyenne

Ce sont des compresseurs qui fournissent de l'air à une pression moyenne (généralement entre 3 et 10 bars) et un débit modéré d'air comprimé. Ce sont les compresseurs qui produisent l'air de service qui est utilisé pour la commande des différentes machines, se sont souvent des compresseurs à pistons ou à vis. Le taux relativement élevé des compressions impose un traitement après compression, il s'agit de séchage de l'air et son refroidissement. Pour compenser le débit d'air relativement faible, nous installons souvent des compresseurs en série Figure I.13.



Figure I.13 – Compresseur à vis à Moyenne Pression [11].

I-2-2-3 Compresseurs à haute pression

Ce sont des compresseurs qui fournissent de l'air comprimé à très haute pression (allant au-delà de 25 bars et plus) avec un débit relativement faible, ce sont des compresseurs qui sont utilisés pour des procédés spéciaux tels que la liquéfaction des gaz industrielle. Ces machines sont très sensibles et nécessite un traitement particulier en matière de conception et d'entretien. Ce sont souvent des compresseurs étagés (en deux étages de compression et plus) Figure I.14.



Figure I.14 – Compresseur à Haute Pression [13].

I.2.3 Classification selon le type de refroidissement de l'air de compression

Il existe deux façons de refroidir un compresseur, soit par air ou par eau.

I.2.3.1 Refroidissement par eau d'une installation de compresseur

Plus l'air comprimé est refroidi au sein du refroidisseur intermédiaire et du refroidisseur final d'un compresseur, plus le compresseur est économe en énergie et plus la vapeur d'eau est condensée. Une installation de compresseur refroidie par eau a besoin peu de système de ventilation de l'enceinte du compresseur, car l'eau de refroidissement contient, sous forme de chaleur, environ 90 % de l'énergie absorbée par le moteur électrique. Les systèmes de refroidissement par eau du compresseur regroupent trois grands principes:

Systeme ouvert

Ce sont des système de refroidissement ou la quantité d'eau de refroidissement des installations est prélevée directement souvent d'une source naturelle tel que les rivièrè , la mer ou une nappe d'eau , et cette eau une fois utilisée pour le refroidissement , elle est soit retournée à la source d'origine (les rivièrè ou la mènerè) après vérification d'absence de contaminants , ou elle est rejetée à la nature (rivièrè) , c'est-à-dire , elle ne sera pas réutilisé pour le refroidissement encore une fois,

Une configuration du système ouvert, c'est l'utilisation de l'eau perdue (des rivières ou de la mer) pour refroidir un autre circuit d'eau interne (Figure I.15).

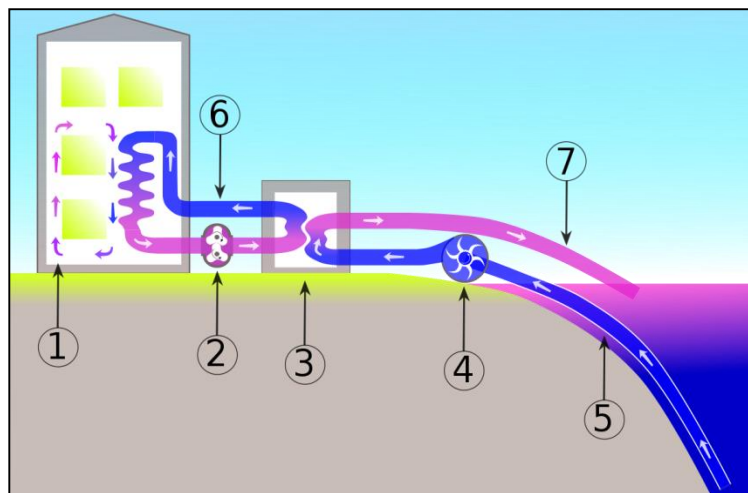


Figure I.15 – Système de refroidissement ouvert [14].

Systeme ouvert avec circulation d'eau

Dans un système ouvert avec circulation d'eau, l'eau de refroidissement en provenance du compresseur est à nouveau refroidie dans une tour de refroidissement ouverte (Figure I.16).

L'eau est refroidie dans la tour de refroidissement, c'est-à-dire qu'elle est vaporisée dans une chambre pendant que l'air environnant est aspiré. Par conséquent, une partie de l'eau s'évapore et l'autre partie est refroidie 2 °C en dessous de la température ambiante (cela peut varier en fonction de la température et de l'humidité relative). Ces systèmes sont principalement utilisés lorsque la disponibilité d'une alimentation externe en eau est limitée. L'inconvénient de ce système est que l'eau est peu à peu contaminée par l'air environnant. En raison de l'évaporation, le système doit être constamment dilué avec de l'eau externe. Les sels solubles se déposent sur les surfaces métalliques chaudes, réduisant ainsi la capacité de transfert thermique de la tour de refroidissement. L'eau doit être régulièrement analysée et traitée avec des produits chimiques pour éviter la propagation d'algues dans l'eau. En hiver, lorsque le compresseur ne fonctionne pas, la tour de refroidissement doit être purgée ou l'eau doit être chauffée pour éviter de geler [11].

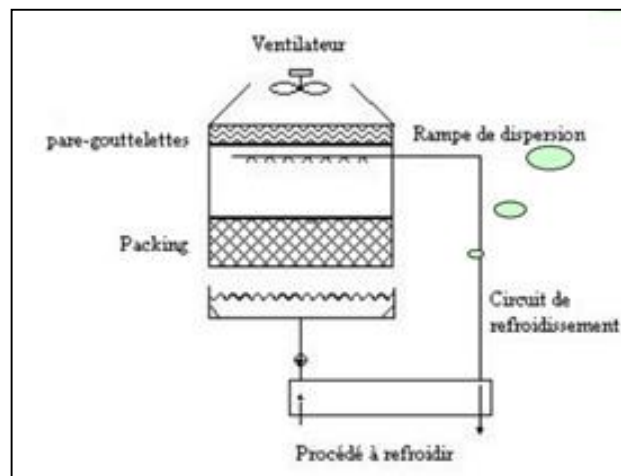


Figure I.16 – Système de refroidissement ouvert avec circulation d'eau [6].

Système fermé avec circulation d'eau

Dans une tour fermée (Figure I.17), le fluide du procédé à refroidir circule dans un échangeur tubulaire. Il n'y a donc plus de contact direct entre le fluide du circuit primaire et l'air. Le refroidissement est assuré par évaporation d'une partie de l'eau dispersée du circuit tour, provenant du bassin de rétention et complétée par l'appoint en eau. La puissance disponible avec ces tours fermées est légèrement inférieure à celle d'une tour ouverte, mais il est tout de même possible d'atteindre 25°C en régime été pour la température du fluide à refroidir.

Ces performances ne sont possibles qu'en surdimensionnant la tour de refroidissement, comparativement à une tour ouverte (augmentation nette du débit d'air et de la taille). La température de retour du fluide peut donc être comprise entre 25 et 50°C, les puissances thermiques évacuées varient de quelques centaines de kW à plusieurs MW.

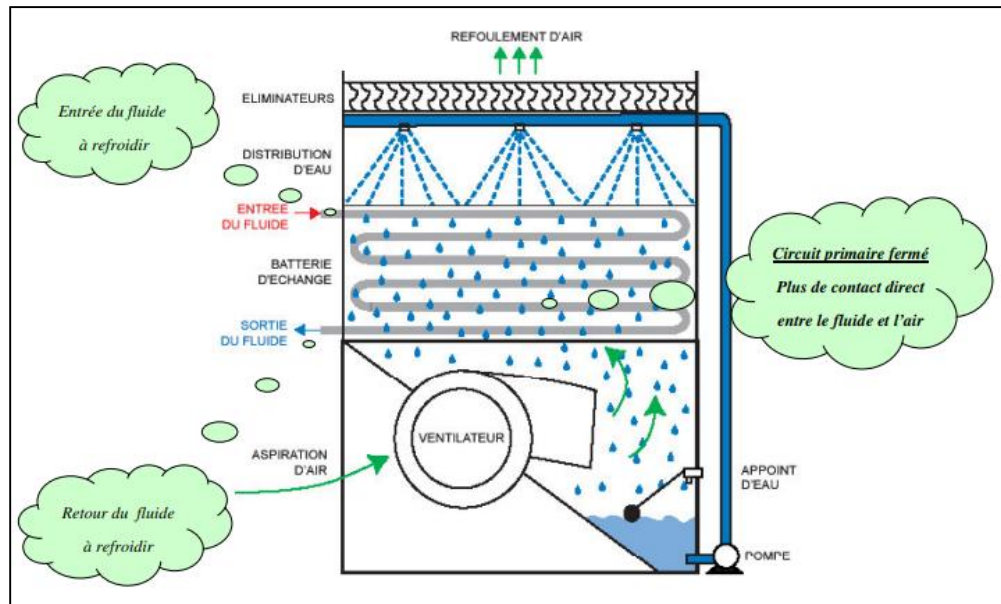


Figure I.17 – Système de refroidissement fermé avec circulation d'eau [6].

I.2.3.2 Refroidissement par air

La plupart des compresseurs modernes sont également disponibles en version refroidie par air, dans laquelle la ventilation forcée au sein du compresseur d'air contient près de 100 % de l'énergie consommée par le moteur électrique [11].

Le fluide du procédé à refroidir circule dans les tubes d'une batterie à ailettes et est refroidi par de l'air circulant à l'extérieur des tubes, l'échange se faisant à courant croisé. La circulation d'air sur l'échangeur air/fluide à refroidir est assurée aux moyens de ventilateurs. Les conditions de fonctionnement nominales sont 35°C en température d'air sec, pour des températures d'entrée et de sortie d'eau par exemple de 50/45°C. Ce type de fonctionnement nécessite des surfaces d'échange et un débit d'air élevé. Plus généralement, on compte au minimum une différence de 10 K entre la température de l'air et la température du fluide refroidi (Figure I.18).

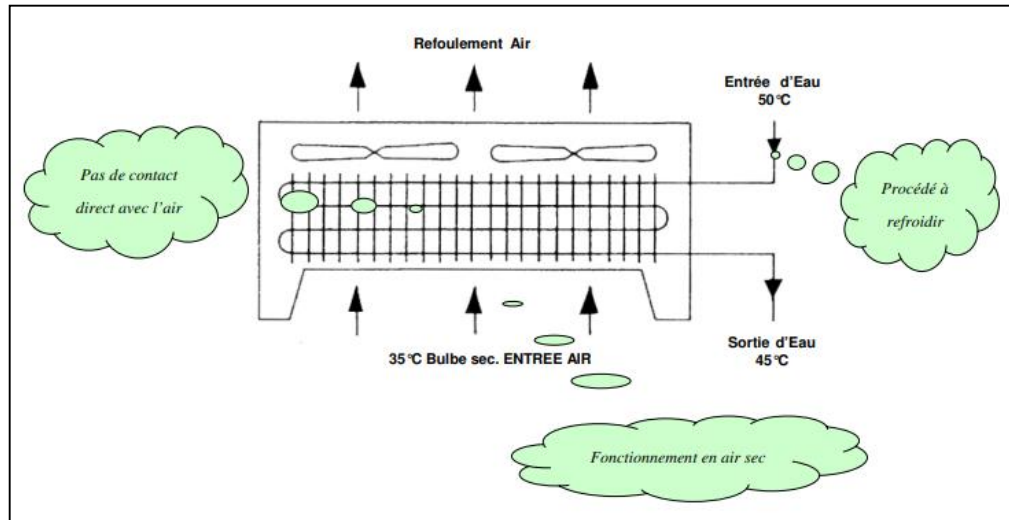


Figure I.18 – Système de refroidissement à air [6].

I.3 DESCRIPTION D'UN ECHANGEUR DE CHALEUR

Un échangeur de chaleur est un dispositif qui permet le transfert d'énergie thermique entre deux fluides (ou plus) séparés par une surface solide. Dans les sociétés industrielles, l'échangeur de chaleur est un élément essentiel de toute politique de maîtrise de l'énergie. Une grande part (90 %) de l'énergie thermique utilisée dans les procédés industriels transite au moins une fois par un échangeur de chaleur, aussi bien dans les procédés eux-mêmes que dans les systèmes de récupération de l'énergie thermique de ces procédés. On les utilise principalement dans les secteurs de l'industrie (chimie, pétrochimie, sidérurgie, agroalimentaire, production d'énergie, etc.), du transport (automobile, aéronautique), mais aussi dans le secteur résidentiel et tertiaire (chauffage, climatisation, etc.) Figure I.19.

Le choix d'un échangeur de chaleur, pour une application donnée, dépend de nombreux paramètres : domaine de température et de pression des fluides, propriétés physiques et agressivité de ces fluides, maintenance et encombrement. Il est évident que le fait de disposer d'un échangeur bien adapté, bien dimensionné, bien réalisé et bien utilisé permet un gain de rendement et d'énergie des procédés [1].

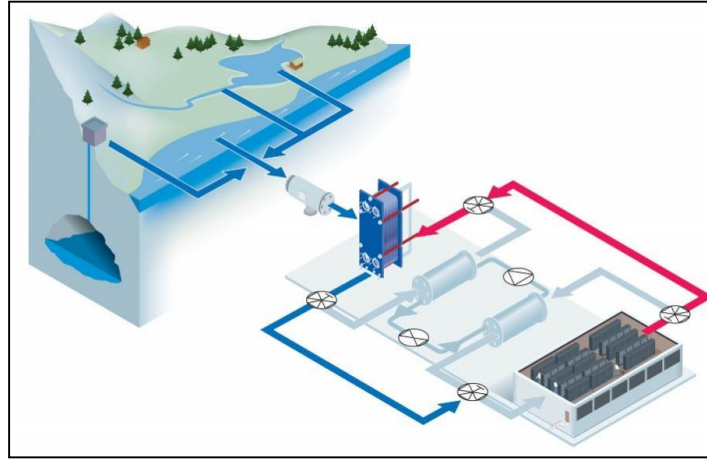


Figure I.19 – Echangeur de chaleur par eau [15].

I.4 CLASSIFICATION DES ECHANGEURS DE CHALEUR

Il existe plusieurs critères de classement des différents types d'échangeurs. Énumérons les principaux [7].

I.4.1 Classement technologique

Les principaux types d'échangeurs rencontrés sont les suivants:

- ✓ à tubes Figure I.20 : monotubes, coaxiaux ou multitubulaires ;
- ✓ à plaques Figure I.21 : à surface primaire ou à surface secondaire ;
- ✓ Autres types: contact direct, à caloducs ou à lit fluidisé.

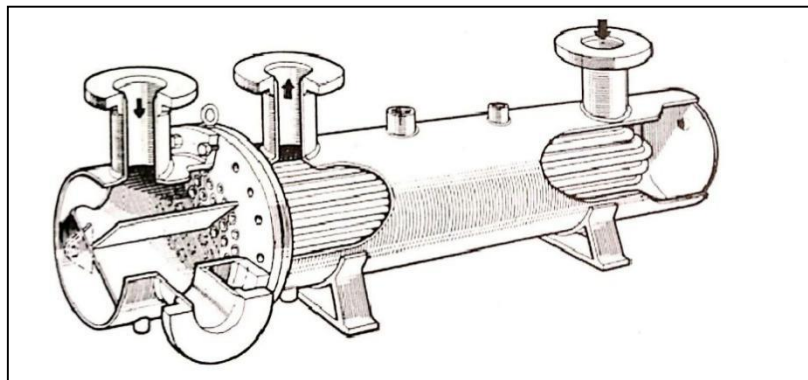


Figure I.20 – Echangeur à faisceaux et calandre (multitubulaire) [5].

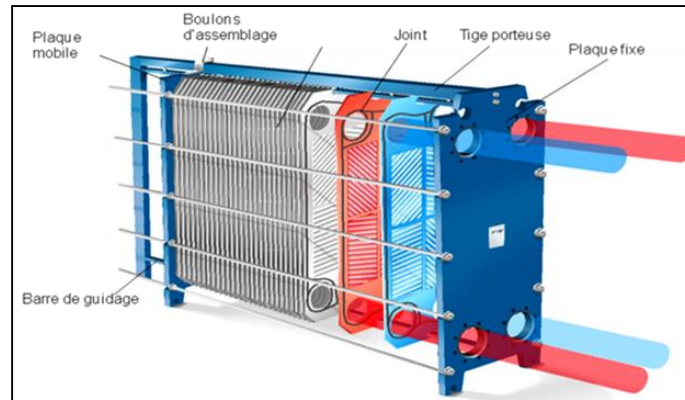


Figure I.21 – Echangeur à plaque et joint [15].

I.4.2 Classement selon le mode de transfert de chaleur

Les trois modes de transfert de chaleur (conduction, convection, rayonnement) sont couplés dans la plupart des applications (chambre de combustion, récupération sur les fumées, etc.); IL y a souvent un mode de transfert prédominant. Pour tout échangeur avec transfert de chaleur à travers une paroi, la conduction intervient [7].

La classification des échangeurs de chaleur suivant le mode de transfert de chaleur est arrangé comme suit [3]:

- ✓ Un transfert de chaleur avec changement de phases sur les deux côtés de l'échangeur de chaleur (évaporateur-condenseur) ;
- ✓ Un transfert de chaleur avec un coté sans changement de phase et l'autre avec changement de phase (évaporateur ou condenseur) Figure I.22 ;
- ✓ Un transfert de chaleur sans changement de phase sur les deux côtés de l'échangeur de chaleur (régénérateur) ;
- ✓ Un transfert de chaleur divers: échange couplé (rayonnement et convection de chaleur) (chaudière ou four).

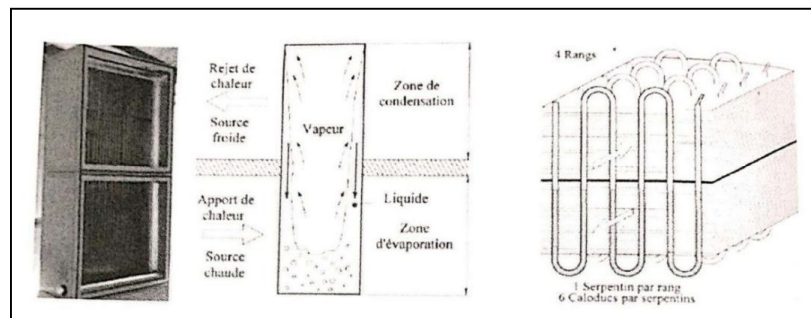


Figure I.22 – Echangeur à changement de phase (Caloduc) [5].

I.4.3 Classement selon leur procédé de transfert de chaleur

Selon leurs procédés de transfert, les échangeurs de chaleur sont classés en deux types: à contact direct et à contact indirect [3].

- ✓ **Échangeurs à contact direct** : Le type le plus simple comprend un récipient ou canalisation dans lequel les deux fluides sont directement mélangés et atteignent la même température finale Figure I.23 [4].
- ✓ **Échangeurs à contact indirect** : Les deux fluides s'écoulent dans des espaces séparés par une paroi [4].

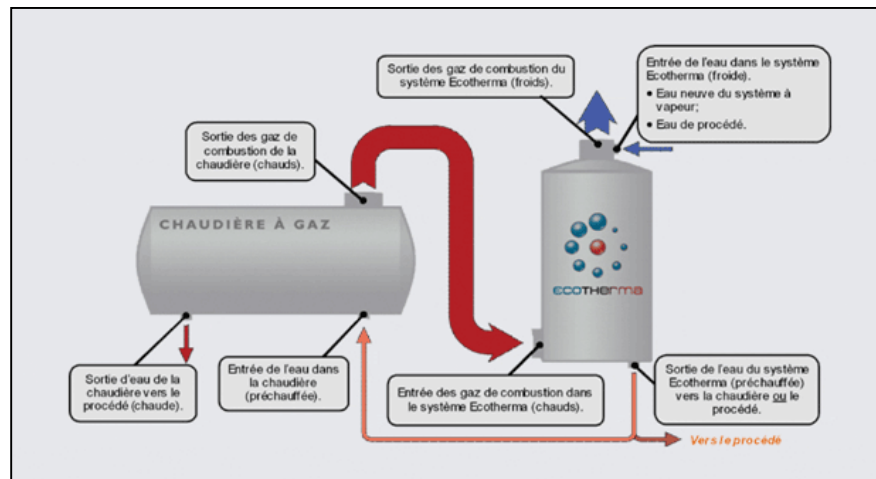


Figure I.23 – Récupération de chaleur à contact direct pour chaudières [16].

I.4.4 Classement selon le nombre du fluide

Selon le nombre de fluide dans un échangeur de chaleur, on peut distinguer que l'échangeur de chaleur peut fonctionner avec deux, trois ou plusieurs fluides appelés agents thermiques Figure I.24.

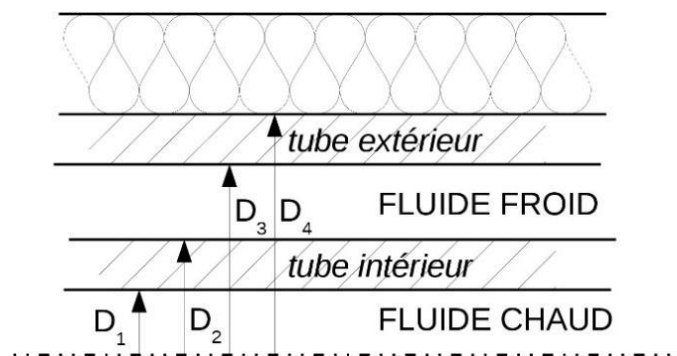


Figure I.24 – Tube coaxial croisé d'un échangeur de chaleur [5].

I.4.5 Classement selon le type de l'écoulement

Suivant cette distribution les échangeurs peuvent être classés en deux classes; les échangeurs à simple passe et les échangeurs à multi passent comme le montre la Figure I.25.

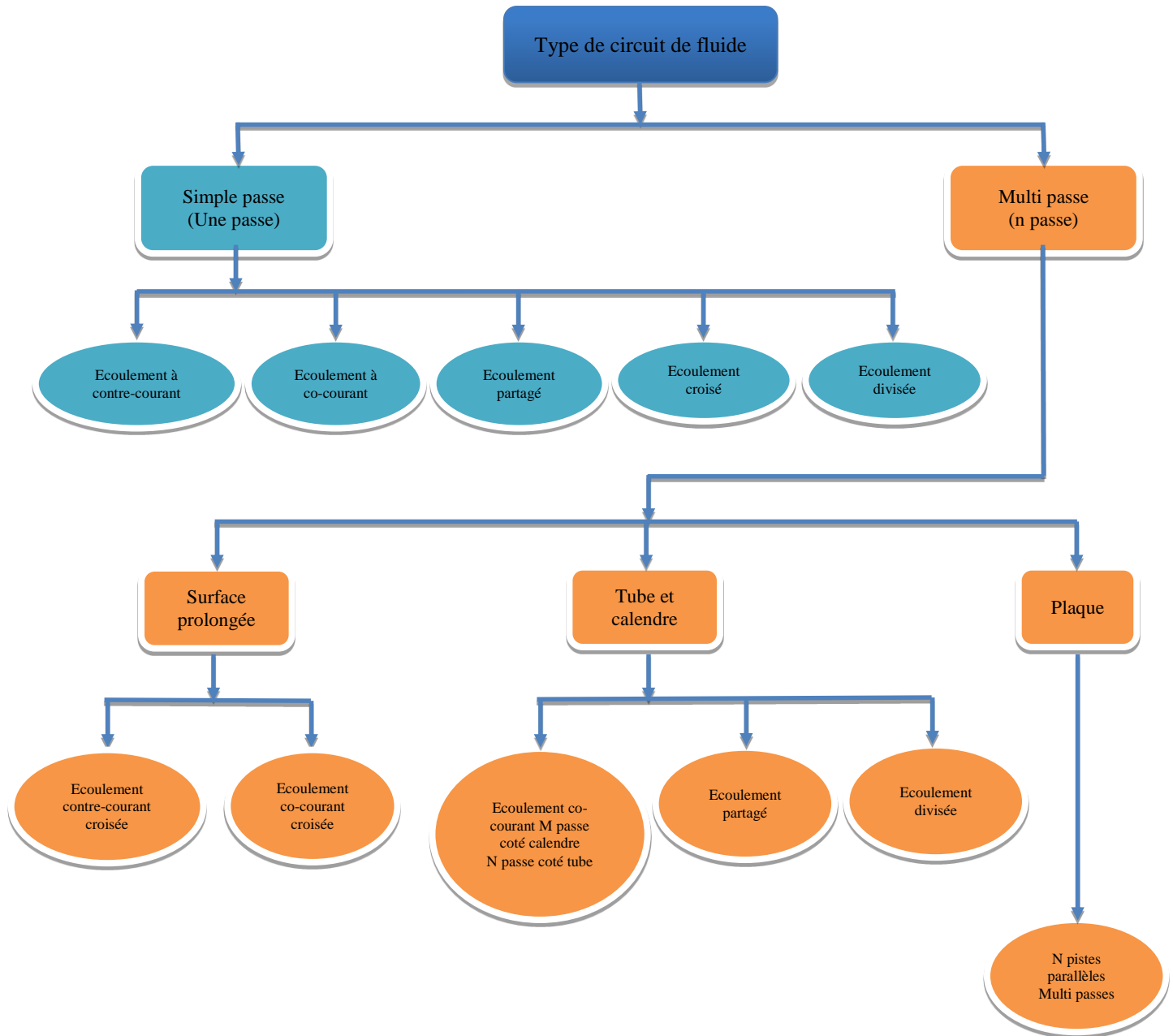


Figure I.25 – Classification des échangeurs de chaleur suivant le sens d'écoulement

I.5 METHODES DE CALCUL DES ECHANGEURS DE CHALEUR

On présente les deux méthodes, les plus utilisées; DTLM et NUT.

I.5.1 Méthode de différence de température moyenne logarithmique DTLM

Telles que la méthode de l'écart moyen logarithmique DTLM ou la méthode de l'efficacité-NUT [5]. Les méthodes globales de calcul restent, malgré leurs limitations (hypothèses, paramètres, calculs...), un outil d'ingénieur efficace et rapide pour le calcul des échangeurs. Elles offrent l'accès à plusieurs paramètres de fonctionnement, tels que la surface d'échange, la température des fluides sortants, le flux échangé ...

Hypothèses de calcul:

- ✓ La chaleur massique des fluides caloporteurs est constante
- ✓ Le coefficient d'échange global est constant tout le long de la surface d'échange
- ✓ L'échange est sans perte
- ✓ Le régime est permanent

I.5.1.1 Cas d'un échangeur mono passe co-courant

Le flux de chaleur échangé entre les deux fluides est donné par la relation suivante:

$$\varphi = K_G S \Delta T_{LM} \quad (I.1)$$

Avec:

- S: c'est la surface d'échange entre les deux fluides.
- KG: le coefficient d'échange global.
- ΔT_{LM} Étant la température logarithmique de la différence de température globale entre les deux fluides, elle est exprimée par :

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln \frac{\Delta T_a}{\Delta T_b}} \quad (I.2)$$

La différence de température à l'entrée (Figure I.26a) est donnée par :

$$\Delta T_a = T_{ce} - T_{fe} \quad (I.3)$$

La différence de température à la sortie (Figure I.26a) est donnée par :

$$\Delta T_b = T_{cs} - T_{fs} \quad (I.4)$$

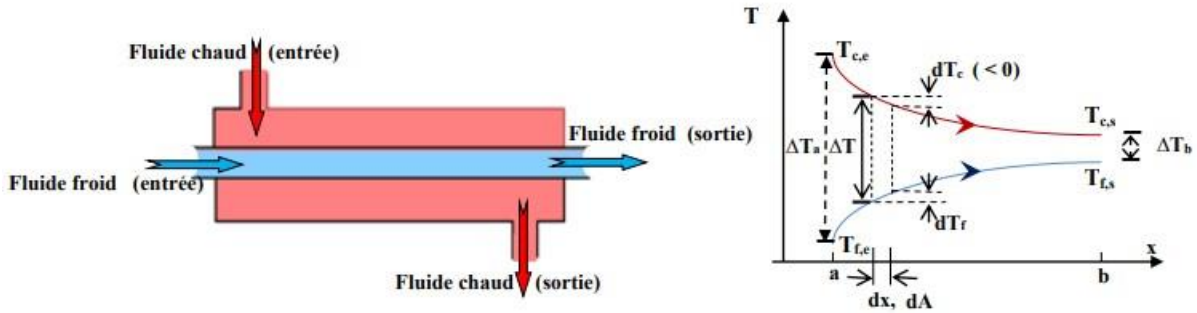


Figure I.26a – Echangeur mono passe à co-courant [8].

I.5.1.2 Cas d'un échangeur à contre-courant

De la même façon que le co-courant, dans le cas d'un contre-courant (Figure I.26b) on trouve que le flux de chaleur échangé est donnée par:

$$d\phi = K_G S \Delta T_{LM} \tag{I.5}$$

Avec :

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln \frac{\Delta T_a}{\Delta T_b}} \tag{I.6}$$

Avec :

La différence de température à l'entrée (Figure I.26b) est exprimée par :

$$\Delta T_a = T_{c,e} - T_{f,s} \tag{I.7}$$

La différence de température à la sortie (Figure I.26b) est exprimée par :

$$\Delta T_b = T_{c,s} - T_{f,e} \tag{I.8}$$

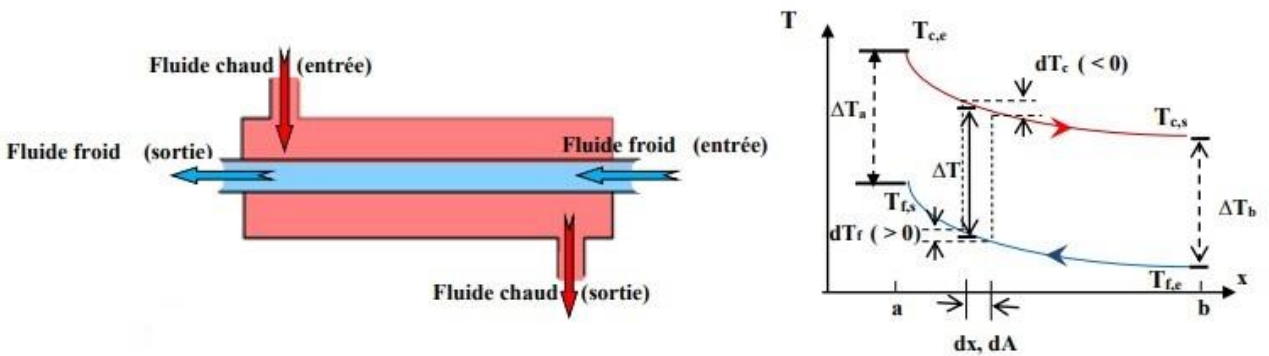


Figure I.26b –Echangeur mono passe à contre-courant [8].

I.5.1.3 Coefficient global de transfert d'un échangeur à faisceaux et calendre

Ce coefficient est basé sur la surface d'échange externe des tubes $S_e = 2\pi r_{ext}L$, est donnée par la formule générale suivante :

$$K_G = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + R_{fext} + R_{Ail} + \frac{e.S_e}{S_m \lambda_{cyl}} + R_{fin} \cdot \frac{S_e}{S_{in}} + \frac{S_e}{h_{in} S_{in}}} \quad (I.9)$$

Avec:

- h_e, h_{in} : Coefficient de convection externe et interne (au voisinage des tubes) ($w/m^2 \cdot ^\circ C$)
- R_{fe}, R_{fin} : Résistances thermiques à l'encrassement externe et interne ($m^2 \cdot ^\circ C/w$)
- e, λ_{cyl} : Epaisseur (m) et conductivité thermique ($w/m \cdot ^\circ C$) de la zone métallique séparant les deux fluides dans l'échangeur (cas du faisceaux et calendre).
- R_{Ail} : Résistance au transfert de chaleur en présence d'ailette.
- A_m : Surface moyenne de transfert $A_m = \frac{A_e - A_{in}}{2}$.

I.5.2 Méthode NUT (Efficacité d'un échangeur)

La méthode de DTLM est basée sur la connaissance des températures des deux fluides aux extrémités de l'échangeur de chaleur (entrée et sortie). Comme on n'a pas souvent accès à ces températures, il serait intéressant de pouvoir évaluer l'échange thermique entre les deux fluides en partant des températures à l'entrée de l'échangeur uniquement. Ceci est envisageable en utilisant la méthode NUT (Nombre d'Unité de Transfert).

L'efficacité d'un échangeur de chaleur: est définie comme le rapport de la puissance thermique réellement échangée à la puissance d'échange maximum théoriquement possible avec les mêmes conditions d'entrée des fluides dans l'échangeur (mêmes fluides, débits et températures d'entrée).

$$\varepsilon = \frac{\Phi_{\text{réel}}}{\Phi_{\text{maximum}}} \quad (\text{I.10})$$

$$\phi_{\text{réel}} = \dot{m}_c C_{pc} (T_{ce} - T_{cs}) \quad (\text{I.11})$$

$$\phi_{\text{réel}} = \dot{m}_f C_{pf} (T_{fc} - T_{fe}) \quad (\text{I.12})$$

$$\phi_{\text{max}} = (\dot{m} C_{pc})_{\min} (T_{ce} - T_{cs}) \quad (\text{I.13})$$

Avec:

- \dot{m}_c, \dot{m}_f : Débit massique du fluide chaud et du fluide froid.
- C_{pc}, C_{pf} : Chaleur spécifique du fluide chaud et chaleur spécifique du fluide froid..
- T_{ce}, T_{cs} : Température d'entrée et température de sortie du fluide chaud.
- T_{fe}, T_{fs} : Température d'entrée et température de sortie du fluide froid.

L'efficacité d'un échangeur de chaleur à co-courant:

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp\left(NUT\left(1 - \frac{C_{\min}}{C_{\max}}\right)\right)}{1 + \frac{C_{\min}}{C_{\max}}} \quad (\text{I.14})$$

L'efficacité d'un échangeur de chaleur à contre-courant:

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp\left(NUT\left(1 - \frac{C_{\min}}{C_{\max}}\right)\right)}{1 - \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \exp(-N(1-C))} \quad (\text{I.15})$$

- NUT : Nombre d'unité de transfert, $NUT = \frac{K_G A}{C_{\min}}$
- C min, C max : sont respectivement $C_{\min} = (\dot{m} C_{pc})_{\min}$, $C_{\max} = (\dot{m} C_{pc})_{\max}$

Des abaques fournissent l'efficacité à partir du NUT et du rapport C_{\min}/C_{\max} ont été dressés pour la plupart de configurations courantes d'écoulements.

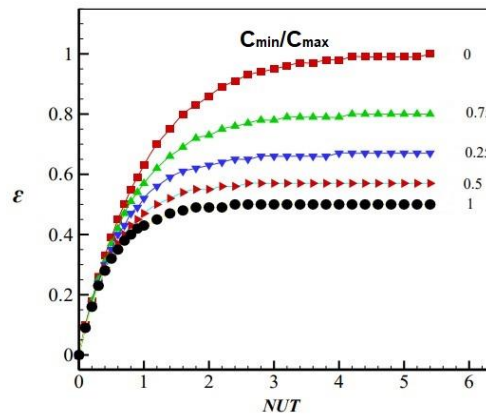


Figure (I.27a) : L'efficacité d'un échangeur à co-courant [8].

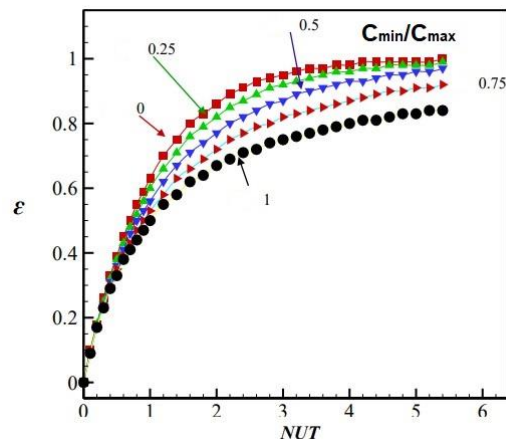


Figure (I.27b) : L'efficacité d'un échangeur à contre-courant [8].

I-CONCLUSION

Ce chapitre a mis en évidence, d'une part, l'importance des compresseurs et les échangeurs de chaleur dans le développement durable du secteur industriel tel que les cimenteries, Ainsi que leurs classifications selon différents modes. D'autres parts, ce chapitre nous a permis de situer notre type de compresseur et échangeur de chaleur qui feront l'objet de notre problématique posée dans son contexte et une méthodologie est proposée pour montrer l'importance et l'utilité de ces deux éléments dans la production de l'air comprimé qui feront l'objet du chapitre qui suit.

CHAPITRE II

L'USINE DE CIMENTERIE

LAFARGEHOLCIM ET CES BESOINS EN

AIR COMPRIME

II.INTRODUCTION

Dans ce chapitre on présente en premier lieu la cimenterie LafargeHolcim de Hammam Dalaa -M'Sila, à savoir; son historique, sa situation géographique et le procédé de fabrication du ciment, ensuite on passe à l'utilisation de l'air comprimé dans cette cimenterie.

La production de l'air comprimé est assurée par des compresseurs à vis de marque Atlas Copco, dont les compresseur GA200 et 250 sont les principales machines de production d'air comprimé.

Ces compresseur GA200 et GA250 sont équipés d'un système de refroidissement à eau, utilisant des échangeurs à plaques brasée de type CB77 avec trois fluides: huile, air et eau, fabriqué par Alfa Laval exclusivement pour ce type du compresseur.

Ce travail vise à étudier le système de refroidissement de ces compresseurs et rechercher les pistes d'amélioration du refroidissement en intégrant tous les facteurs influençant leur efficacité, à savoir la qualité d'eau de refroidissement et sa température, la maintenance préventive appliquée pour les compresseurs et l'éventualité de renforcer le refroidissement par un autre échangeur.

II.1 PRESENTATION DE LAFARGEHOLCIM ET LA PRODUCTION DE CIMENT

II.1.1 Présentation du groupe LafargeHolcim

Le groupe LafargeHolcim (LH) est un groupe constitué en 2014 suite à la fusion des deux groupes Lafarge et Holcim qui sont les deux leaders cimentiers mondiaux. C'est un acteur majeur au niveau mondial dans:

- ✓ La production de ciment.
- ✓ La production de granulats.
- ✓ Le développement de produits et services à haute valeur ajoutée pour le secteur de la construction et des travaux publics, tels que le béton prêt à l'emploi [9].

II.1.2 Présentation de LafargeHolcim Algérie

L'Algérie est un marché d'importance stratégique pour le Groupe LafargeHolcim dans le bassin méditerranéen. Le secteur de la construction est en croissance constante depuis 2000, avec d'importants besoins en matériaux de construction et solutions constructives.

II.1.2 .1 Activité et Stratégie

LafargeHolcim Algérie, est aujourd'hui présente en Algérie à travers les activités «Ciments, Mortiers, Granulats, Bétons, Plâtres et Distribution». Le groupe possède 3 cimenteries à M'Sila et Oggaz, ainsi que Cilas Biskra en partenariat avec le Groupe Industriel Souakri pour une capacité totale de 11.5 MT/an. LafargeHolcim Algérie gère en partenariat avec le GICA la cimenterie SCMI Meftah 1.5 MT/an. LafargeHolcim Algérie emploie 4000 collaborateurs (incluant les sous-traitants permanents) et est fortement engagée dans le développement économique et social en Algérie [17].

II.1.2 .2 Hygiène et sécurité

A travers sa politique Santé et Sécurité, LafargeHolcim Algérie s'engage à prendre des mesures concrètes pour éliminer les accidents, les blessures et les effets sur la santé liées aux conditions de travail. Elle s'appuie sur une feuille de route ambitieuse, qui couvre tous les domaines liés à la performance en termes de santé et sécurité

II.1.3 Cimenterie LafargeHolcim de Hammam Dalaa – M'Sila

La cimenterie de M'sila (Figure II.1) est située dans la localité de la commune Hammam Dalaa à 30 Km de la ville de M'sila et à 07 Km au sud Est de Hammam Dalaa, au pied du gisement de calcaire Chouf Ammar et à 17 km au sud-Est du gisement d'argile de Bir Madi, et à 04 km de la RN 60 qui relie Hammam Dalaa a M'sila, le site se situe à 240 km au Sud-Est d'Alger (Figure II.2). Cette usine a été mise en service en 2003 et elle a pour objet la fabrication et la commercialisation de différentes qualités de ciment.



Figure II.1 : Cimenterie LH de Hammam Dalaa - M'sila [9].



Figure II.2 : Situation géographique de la cimenterie LH- M'Sila [Photos Google Earth].

L'organigramme de la cimenterie de LafargeHolcim de Hammam Dalaa - M'Sila est illustré sur la Figure II.3.

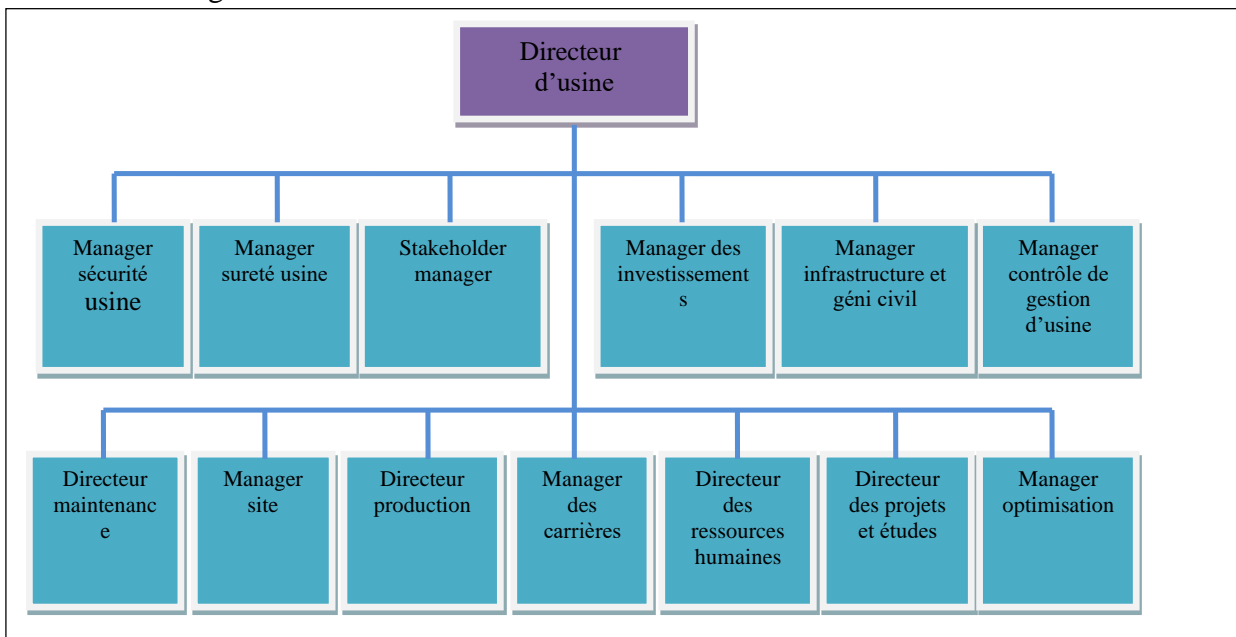


Figure II.3 : Organigramme du GRH de LafargeHolcim- M'Sila [9].

II.1.4 Procédé de fabrication du ciment

Selon la norme NF P 15-301 de 1994, le ciment se définit comme suit: Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau.

L'unité de production de M'sila - Hammam Dalaa utilise le procédé de fabrication par voie sèche. Le choix du lieu de Hammam Dalaa a été effectué en raison de la richesse de cette région en calcaire et les autres matières premières (argile) dont la majorité est extraite des carrières situées à proximité.

La fabrication du ciment est un procédé complexe qui exige un savoir-faire, une maîtrise des outils et des techniques de production, des contrôles rigoureux et continus de la qualité. Le ciment est généralement fabriqué en cuisant vers 1450 °C des mélanges de calcaire, d'Argile et minerai de fer. On obtient alors du clinker. Pour aboutir au ciment il faut broyer le clinker avec un peu de gypse selon le type de ciment souhaité, le ciment, produit et stocké dans des silos, passe à la dernière étape de fabrication, il s'agit de l'ensachage avant d'être expédié dans des sacs ou en vrac selon le besoin du client. Six étapes essentielles sont nécessaires: concassage, préparation de la farine crue, l'homogénéisation, la cuisson, le broyage du ciment et l'expédition. Les deux schémas (Figures II.4) et (Figures II.5) résument le processus de fabrication du ciment de la carrière à l'expédition :

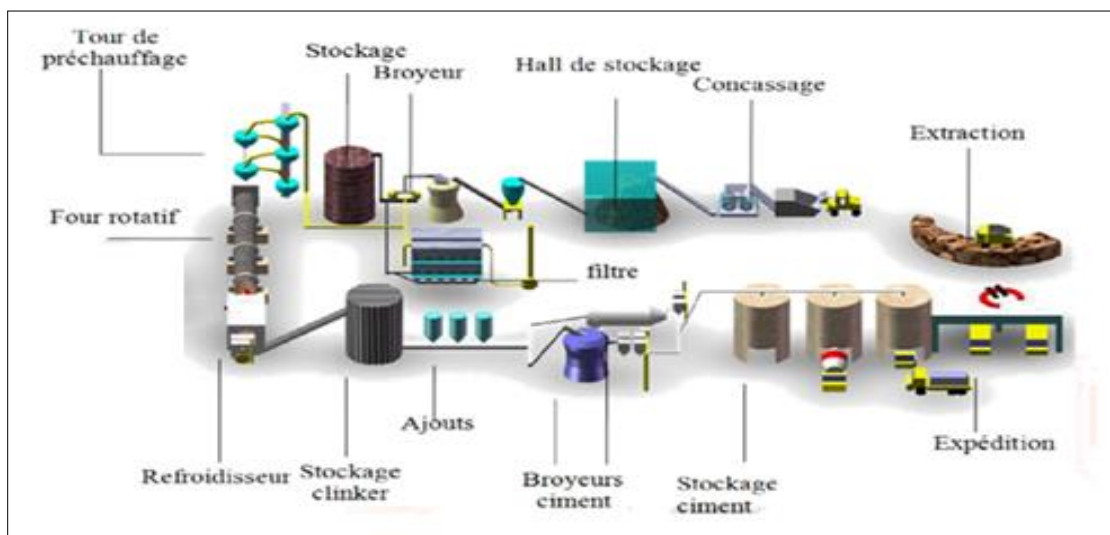


Figure II.4: Processus de fabrication du ciment [9].

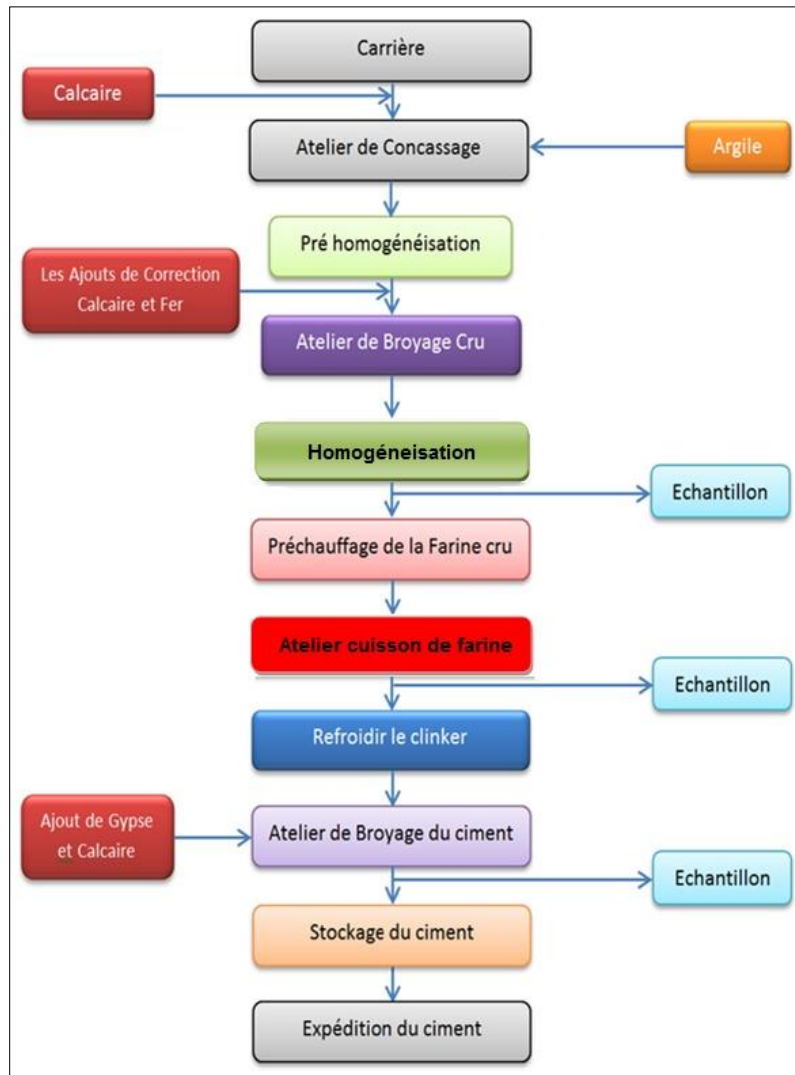


Figure II.5 : Organigramme du processus de fabrication du ciment [inspiré du process interne LH].

II.2 L'AIR COMPRIME DANS LA CIMENTERIE LAFARGEHOLCIM

II.2.1 L'utilisation de l'air comprimé dans la cimenterie LafargeHolcim

L'air comprimé est un élément très essentiel dans toute la chaîne de fabrication du ciment, il est pratiquement indispensable dans toutes les étapes, sa disponibilité en quantité suffisante et en qualité adéquate est nécessaire pour le bon fonctionnement du procédé de fabrication de ciment. On le trouve dans la commande des machines, la chaîne de transport de la matière (farine cru), le dépoussiérage et filtration d'air procès, la démolition du croutage et enfin la pulvérisation d'eau et conditionnement des gaz chaud (air de service).

II.2.1.1 Commande des machines

La commande des machines se fait par l'action des vérins (ouverture ou fermeture) et action des vannes (commande pneumatique) comme noté sur la Figure II.6 dans toutes les parties de l'usine ainsi que les applicateurs de sac pour remplissage du ciment dans la zone d'expédition (Figure II.7).



Figure II.6: Vue d'un Clapet matière [9].



Figure II-7: Applicateurs de sac pour remplissage du ciment [9].

L'acheminement des flux de gaz et de matière le long du procédé de fabrication de ciment nécessite une commande contrôlée de différentes vannes et clapets, ceci est actionné par des systèmes pneumatiques utilisant l'air comprimé comme force motrice des vérins et des parties mobiles (Figure II.8).

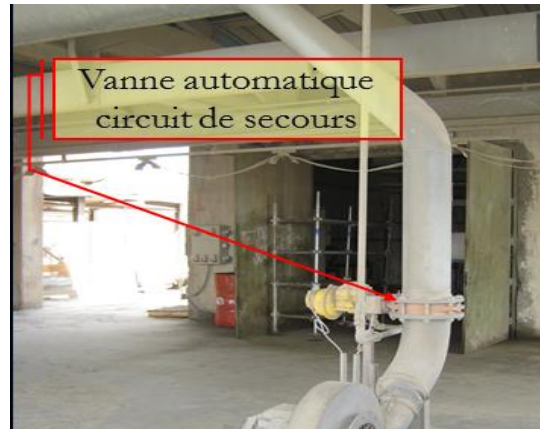


Figure II.8: Vanne pneumatique du circuit d'air du bruleur du four [9].

II.2.1.2 Transport de la matière

Dans les différentes étapes de fabrication de ciment, la matière fine est transportée par différents procédés, pour le transport de la matière à grande altitude ; en particulier pour le stockage dans les silos (farine cru ou ciment) on utilise l'air à basse pression (air lift) produit par les supprimeurs comme indiqué sur la Figure II.9.



Figure II. 9: Vue d'un Air lift [9].

II.2.1.3 Dépoussiérage et filtration d'air process

Au cours du procédé de fabrication de ciment, et en tout point de déchargement, diversement ou agitation de poussière, nous avons besoins de dépoussiérer l'air pour éviter le dégagement des poussières diffuses. Le dépoussiérage de l'air se fait à l'aide des filtres à manche (Figure II.10) installés auprès de la ligne de préchauffage et de la cuisson de la farine crue ainsi que la ligne de refroidissement du clinker. Les filtres à manche de dépoussiérage et de procès utilisent de l'air comprimé pour secouer les manches pour faire extraire la matière filtrée et la réintroduite par la suite dans le circuit de la matière.



Figure II.10: Vue d'un filtre à manche [9].

II.2.1.4 Filtre de process (production de ciment)

En plus des filtres de dépoussiérage, on a des filtres à manche relativement plus grand en taille; qui sont utilisés pour la production de ciment en jouant le rôle de séparateur qui sépare le ciment tiré par les gaz à travers le broyeur ciment par le secouage des manches et l'obtention du ciment. Notant qu'une grande quantité d'air comprimé est utilisée pour secouer des manches. (Figure II.11)



Figure II.11: Filtre process BF 260 [9].

II.2.1.5 Démolition des croustages

Les transformations chimiques subies par la matière introduite dans le circuit de cuisson peut engendrer une matière collante aux différentes parois de circulation, ceci peut provoquer avec le temps l'obturation des sections de passage de la matière et l'arrêt de production, pour éviter une telle situation, la matière accumulée dans les différents endroits dite croustages sont démolis par des jets intenses et bien orientés d'air comprimé. La démolition des croustages se fait par un dispositif appelé Air- choc ou canons à air dans le calcinateur, les cyclones, la boîte à fumés, et le refroidisseur, un exemple est illustré sur la Figure II. 12.



Figure II.12: Disposition des Air-chocs au niveau du calcinateur [9]

II.2.1.6 Pulvérisation d'eau et conditionnement des gaz chauds

Ce procédé est utilisé dans la tour de conditionnement des gaz chaud (GCT) (Figure II.13) grâce à l'injection simultanée de l'air de service comprimé et l'eau pour le refroidissement des gaz chauds. L'utilisation de l'air comprimé est importante pour augmenter l'efficacité de refroidissement des gaz par la bonne pulvérisation de l'eau injectée, de plus, en cas d'arrêt d'injection d'eau, l'air comprimé empêche les poussières de boucher les injecteurs d'eau.

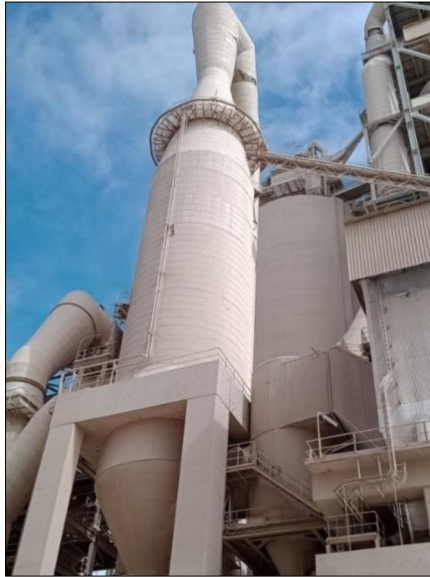


Figure II.13: Vue de la tour de conditionnement de gaz GCT [9].

II.2.2 Production d'air comprimé dans la cimenterie Lafarge Holcim

Les installations de compression d'air dans LH sont réparties sur 6 stations de compresseurs, dont deux stations sont équipées de compresseur GA 250 qui alimente particulièrement les départements de broyage ciment et des expéditions

II.2.2.1 Compresseur Atlas Copco GA 250

La production de l'air comprimé dans la cimenterie LafargeHolcim est assurée par le compresseur Atlas Copco GA 250. Ce type du compresseur (Figure II.14) présente une puissance de 250 KW (Vitesse de rotation des vis environ 2200 Tr/min), il fait partie de la génération des compresseurs à vis lubrifier à l'huile. Le compresseur Atlas Copco GA 250 se compose des principaux éléments suivants noté sur la Figure II.15:

- ✓ Un moteur d'une puissance de 250 KW entraine les deux éléments du compresseur à travers un engrenage (Réducteur) (Figure II.16).
- ✓ Deux éléments du compresseur à vis lubrifier à huile (Figure II.17).
- ✓ Un séparateur d'huile et d'air (Figure II.18).
- ✓ Un système de refroidissement par eau représenté par un échangeur de chaleur à plaque brasées de type CB77, fabriqué par Alfa Laval exclusivement pour ce type de compresseur. Il comprend trois fluides : huile, air et eau, combinés, pour maintenir le refroidissement d'air compresseur inférieur a 60 C° et les éléments compresseur à une température inférieure à 110 C° (seuils d'arrêt d'urgence) (Figure II.19).
- ✓ Un filtre à air (Figure II.20).
- ✓ Trois filtres à l'huile (Figure II.21).



Figure II.14: Compartiment compresseur Atlas Copco GA 250 [9].

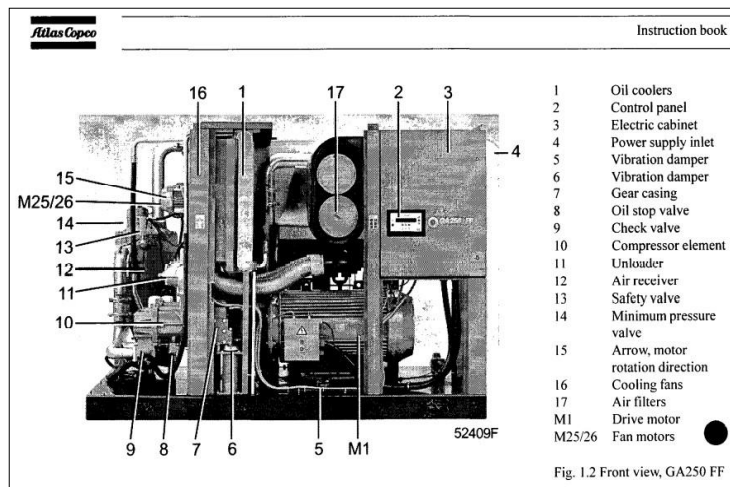


Figure II.15: Composantes d'un compresseur Atlas Copco GA 250 [9].

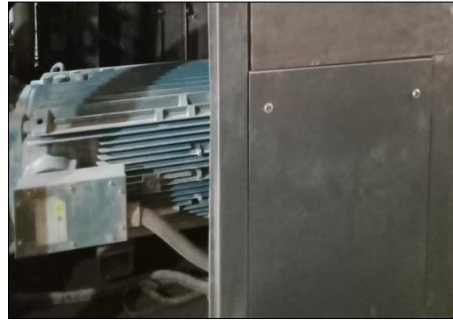


Figure II.16: Moteur principal du compresseur Atlas Copco GA 250 [9].

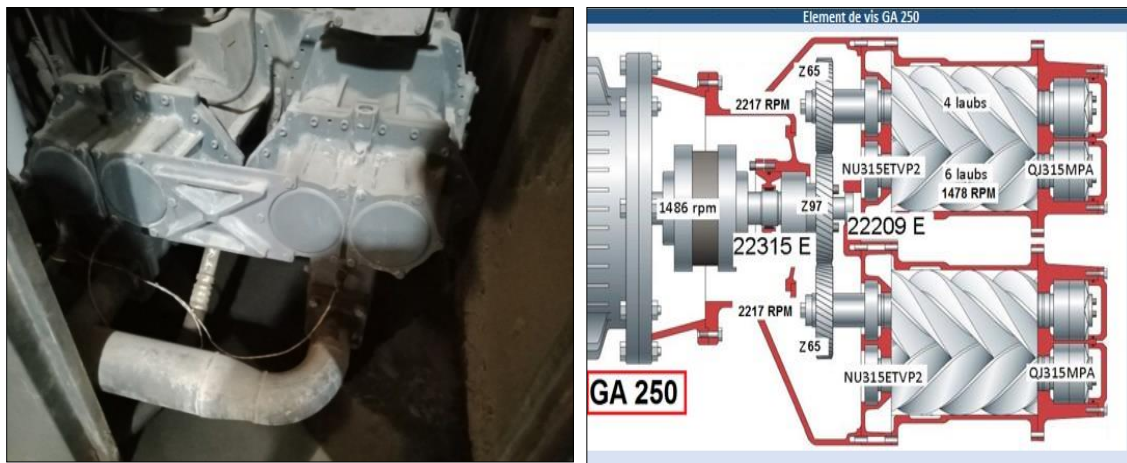


Figure II.17: Éléments du compresseur Atlas Copco GA 250 [9].



Figure II.18: Séparateur d'huile [9].



Figure II.19: Échangeur de chaleur a trois circuits [9].



Figure II.20: Filtre d'air [9].



Figure II.21: Filtres à huile [9].

II.2.2.2 Sécheur d'air comprimé

L'air comprimé sortant du compresseur est traité dans un sécheur d'air illustré sur la Figure II.22, dans le but d'améliorer la qualité d'air comprimé dédié à la commande pneumatique et instrument automatique (air d'instrumentation). Il utilise l'un des deux systèmes suivants ; soit un système à adsorption ou bien un système frigorifique. Le système d'adsorption utilise l'alumine activée pour le séchage d'air comprimé et le système frigorifique utilise un échangeur de chaleur avec fluide ou gaz frigorifique.

Le point de rosé est un indicateur de la qualité de l'air par le biais de non présence de l'humidité dans l'air. Lorsque la température du point de rosé de l'air atteint des valeurs basses, l'air est sec et prêt à être utilisé.



Figure II.22: Sécheur d'air comprimé [9].

II-3 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU COMPRESSEUR ATLAS COPCO GA 250

Le Principe de fonctionnement du compresseur GA 250 à Vis est simple.

Ce type de compresseur se constitue d'un rotor mâle et d'un rotor femelle à denture hélicoïdale. La rotation à grande vitesse dans ces sens opposés des deux rotors mâle et femelle provoque l'entraînement et la compression de l'air. Ce dernier est transporté le long de la vis de l'orifice d'aspiration à l'orifice de refoulement d'une façon continue (Figure II.23).

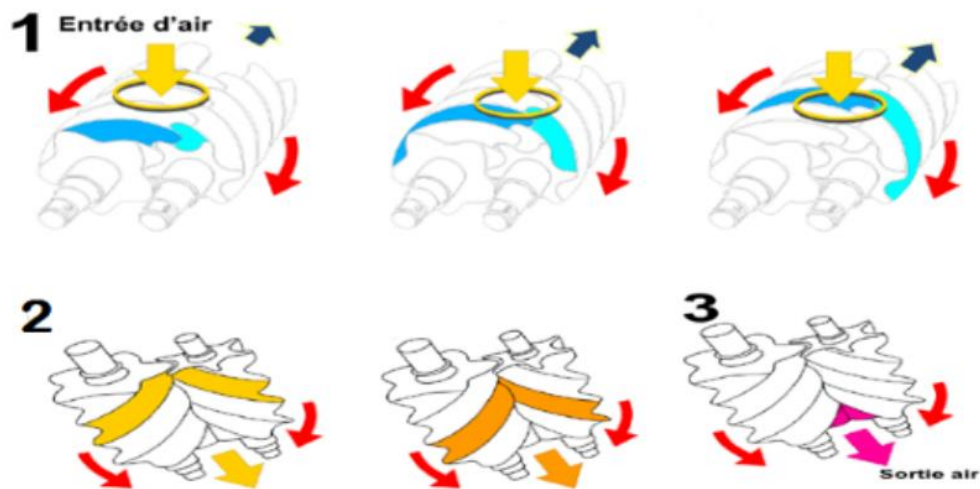


Figure II.23: Principe de fonctionnement des deux rotors du compresseur [2].

II.3.1 Aspiration

L'air entre par l'orifice d'aspiration dans les spires des rotors ouvertes de la cote aspiration.

II.3.2 Compression

La rotation progressive des rotors provoque la fermeture de l'orifice d'admission d'air, le volume est réduit et la pression monte, l'huile est injectée lors de ce processus.

II.3.3 Évacuation

La compression est terminée, la pression finale est atteinte, le refoulement commence.

II.3.4 Échangeur de chaleur

L'air et l'huile sortant du compresseur a température élevée sont refroidi par un échangeur de chaleur a eau (Figure II.24), provenant de la cuve de refroidissement (Figure II.25), qui passe par une station de traitement d'eau afin d'adoucir l'eau (Figure II.26).

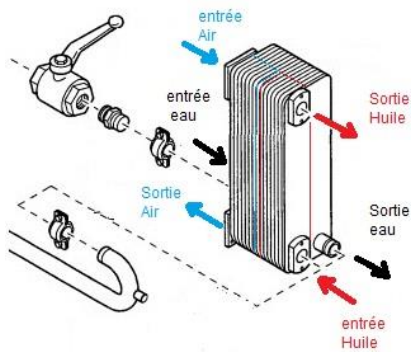


Figure II.24 Échangeur à plaque [15] Figure II.25 Adoucisseur de traitement d'eau (Veolia) [9].



Figure II.26 Station de traitement d'eau [9].

II-4 SCHEMA DE FONCTIONNEMENT DU COMPRESSEUR ATLAS COPCO GA 250

Ce schéma illustre le Principe de fonctionnement du compresseur GA250, sauf que c'est pour le cas de refroidissement à air (Figure II.27)

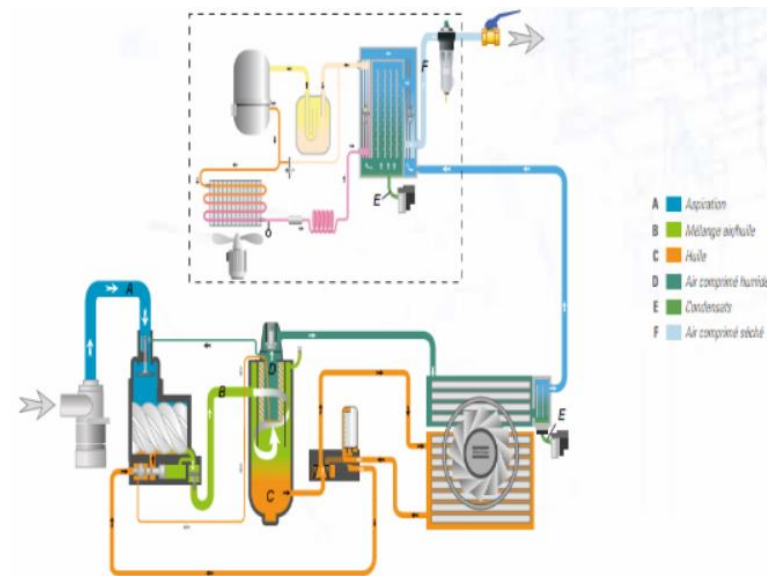


Figure II.27 Schéma de fonctionnement du compresseur [11].

II.CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'usine de cimenterie LafargeHolcim de M'sila, ou c'est dérouler notre stage pratique. Ces différents compartiments ainsi que les différents process de fabrication de ciment.

Puis, nous avons ensuite abordé l'utilisation de l'air comprimé dans toute la chaîne de production de la cimenterie de LafargeHolcim.

Finalement, ces éléments nous permettent d'entamer notre sujet celui de l'étude de l'amélioration du refroidissement du compresseur Atlas Copco GA 250, dans le chapitre qui suit.

CHAPITRE III

PROBLEMES ET LES SOLUTIONS
DES ECHANGEURS DE CHALEUR DU
COMPRESSEUR ATLAS COPCO GA 250

III.INTRODUCTION

Durant ce chapitre, on s'intéresse à la description de tous les problèmes des échangeurs de chaleur du compresseur Atlas Copco GA250 dans la cimenterie LafargeHolcim dans le but de détecter les causes et de proposer des solutions à ces problèmes.

III.1 DESCRIPTION DES PROBLEMES DES ECHANGEURS DE CHALEUR DU COMPRESSEUR ATLAS COPCO GA 250

Selon les besoins en air comprimé déjà expliqué au chapitre II, les installations dans la cimenterie LafargeHolcim nécessitent de l'air avec une certaine qualité qui est normalisé et standardisé par la norme ISO 8573-1 (Figure III.1). Elle catégorise l'air comprimée en 6 principales classes (de 1 à 6), avec des définitions dérivée liées aux paramètres de pureté.

Classe	A Nombre maximal de particules solides par m ³			B Point de rosée sous pression °F (°C)	C Huile (y compris vapeur) mg/m ³
	0,5 à 1,0 micromètre	0,5 à 1,0 micromètre	1,0-50micron		
0	Selon les spécifications données par l'utilisateur final ou le fabricant, et plus rigoureux que la classe 1				
1	≤ 20 000	≤ 400	≤ 10	≤ -94° (-70°)	0,01
2	≤ 400 000	≤ 6 000	≤ 100	≤ -40° (-40°)	0,10
3	—	≤ 90 000	≤ 1 000	≤ -4° (-20°)	1,00
4	—	—	≤ 10 000	≤ 37,4° (3°)	5,00
5	—	—	≤ 100 000	≤ 44,8° (7°)	—
6	—	—	—	≤ 50° (10°)	—

Figure III .1: Extrait graphique de la norme ISO 8573-1 La norme de qualité d'air [18].

Dans la cimenterie LH, les installations d'air comprimé sont conçues pour une classe d'air 4, qui est caractérisée par un nombre de particule solide < 10000 / m³ (de taille entre 1et 50 microns), un point de rosé sous pression < 3°C et une contenance d'huile < 5 mg/m³. A cette qualité s'ajoute la quantité de l'air comprimé à assurer ainsi que la pression dans les réseaux qui varie entre 5 et 6 bars selon l'usage.

Dans la cimenterie LafargeHolcim, les problèmes des échangeurs de chaleur du compresseur GA250 peuvent être liés à:

III.1.1 Perturbations de la qualité d'air comprimé

La perturbation de la qualité d'air comprimé est un problème d'une grande importance, si la qualité de l'air produit en matière de propriété (particules solide et particule d'huile) ne dépend que du système de filtration, la qualité en matière de point de rosé dépend largement des systèmes de refroidissement et de séchage. Des cas de condensation massive d'eau sont rencontrés souvent dans le circuit d'air comprimé à cause d'un haut point de rosé, particulièrement dans la période hivernale ou la température environnante descend à des valeurs très basses (Figure III.2).

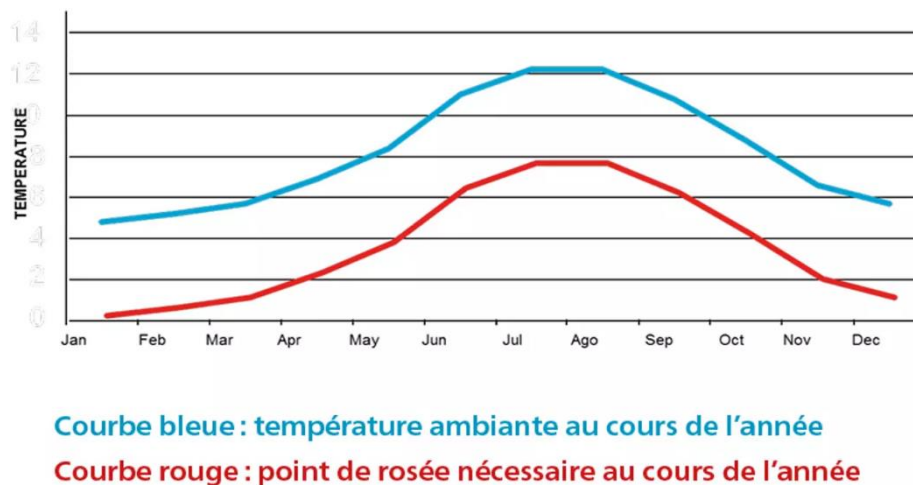


Figure III .2: Variation de point de rosé nécessaire avec la température ambiante [19]

III.1.2 Défaillances constatées dans les installations de l'air comprimé

Les défaillances notées dans les installations d'air comprimé peuvent être reliées à:

III.1.2.1 Élévation de température des compresseurs

La température d'air s'élève à cause de la compression de ce dernier entre les vis en rotation. La température de l'huile s'élève à cause du contact avec l'air réchauffé, cette l'huile est injectée pour refroidir les éléments. Les compresseurs GA250 dans l'usine LH sont équipés d'un système de protection basé sur la température des éléments de compression ;

- ✓ Si cette température atteint 100°C, une alarme est déclenchée ;
- ✓ Si la température atteint 110°C, le compresseur s'arrête, sinon des dommages importants peuvent survenir au compresseur.

Cette élévation de température des éléments de compression peut être reliée à plusieurs causes. La plus importante est liée au manque d'efficacité des échangeurs de chaleur qui n'assure pas le refroidissement de l'huile qui refroidit les éléments du compresseur.

L'évolution journalière des températures des éléments du compresseur GA250, des températures sorties d'eau de refroidissement et celles de sortie d'air comprimé est illustrée sur la Figure III.3 qui montre l'influence du climat ambiant dans les périodes des grandes chaleurs.

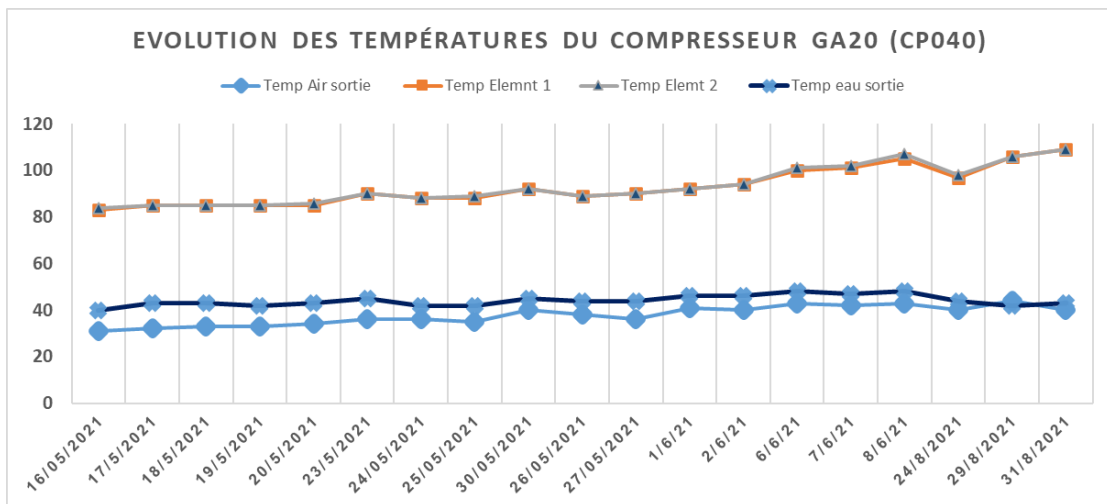


Figure III .3: Influence du climat ambiant sur les températures du compresseur [9].

III.1.2.2 Présence d'eau dans le circuit d'air

La conception des compresseurs GA250 ainsi que le système de séchage associé pour fournir de l'air comprimé respectant ces caractéristiques (point de rosé 3°C).

Ceci est important pour que les équipements de l'usine utilisant de l'air comprimé fonctionnent sans anomalies.

Les moyennes des températures dans la région de Msila dans la période hivernale sont aux alentours de 7 °C (Voir Figure III-4), tandis que les pics inférieurs peuvent atteindre les -5 °C, alors, si le système de séchage de l'air ne fonctionne pas correctement.

Ceci va conduire à la condensation de l'eau dans le circuit d'air, et par conséquent il va impacter les équipements utilisant l'air comprimé

Dans le cas extrême (les pics inférieurs de température), nous pouvons avoir le phénomène de givrage dans les circuits sensibles ce qui conduit à la défaillance de certains systèmes de régulation

Les systèmes de dépeussierage (filtres à manches) sont exposés aux problèmes de colmatage des manches dues à la condensation d'eau dans l'air comprimé qui est utilisé pour le secouage des manches.

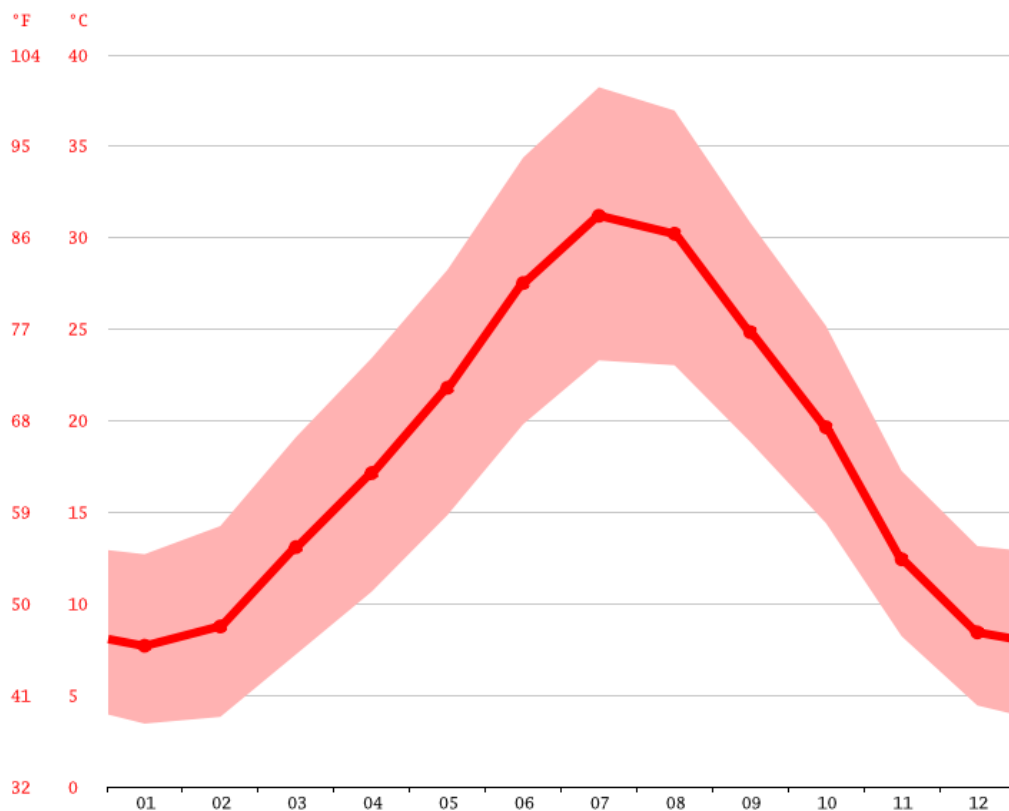


Figure III .4: Moyenne des températures ambiantes de la région de M'Sila [20]

III.1.2.3 Manque de disponibilité des compresseurs/ Baisse de fiabilité

Les différentes anomalies qui peuvent survenir sur les compresseurs conduit au manque de disponibilité de l'air comprimé ce qui conduit à la perte de fiabilité des installations.

Les arrêts des compresseurs par augmentation de température ont des conséquences directes sur la ligne de production. Les installations de production qui peuvent être impactées directement par l'arrêt des compresseurs sont:

- ✓ Les broyeurs à ciment, par arrêt de filtres process ;
- ✓ Les ensacheuses qui utilisent de l'air comprimé pour remplir le ciment dans le sac, alors toute indisponibilité de l'air comprimé conduit à l'arrêt de l'atelier ensachage et par conséquence des pertes de production

III.2 CAUSES ET PISTE D'AMELIORATION

On propose trois pistes résoudre les problèmes des échangeurs de chaleur du compresseur GA250, indiqués comme suit:

III.2.1 Encrassement du circuit d'eau

L'encrassement du circuit d'eau se présente comme la principale cause des arrêts des compresseurs ou leur défaillance en matière de qualité d'air comprimé. Il se constitue au fur et à mesure et devient un écran thermique qui augmente la température de l'huile à la sortie de l'échangeur et participe par la suite à l'élévation de la température des éléments de compression. Cet encrassement est souvent la conséquence d'un mauvais traitement de l'eau.

La cimenterie de LH utilise de l'eau brute provenant des forages, c'est une eau propre de point de vue contenance des impuretés solides, mais elle est relativement dure, sa la dureté est de l'ordre de 50 °F, ce qui nécessite un traitement par adoucissement pour réduire la teneur en particule précipitables (ça+, Mg+). Les conséquences sont constatées sur les plaques des échangeurs comme illustré sur la Figure III.5.

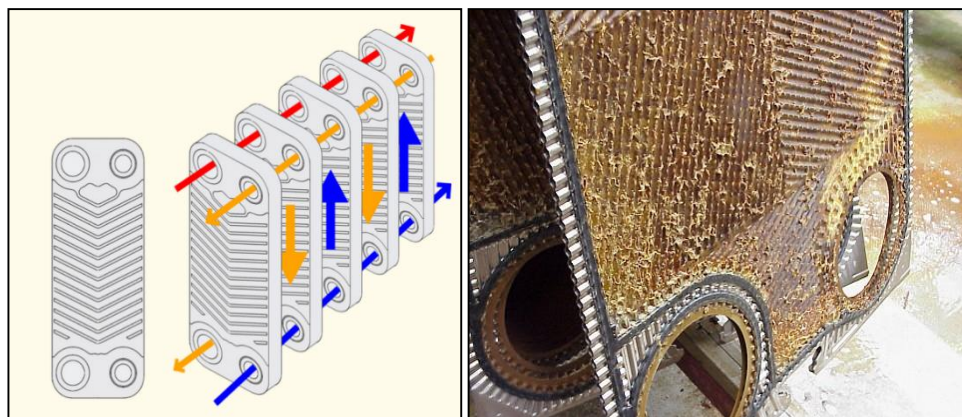


Figure III .5: Encrassement des échangeurs de chaleur à plaques [21].

Notant qu'une eau industrielle est considérée dure à partir d'environ 15° Français comme indiqué sur la Figure III.6.

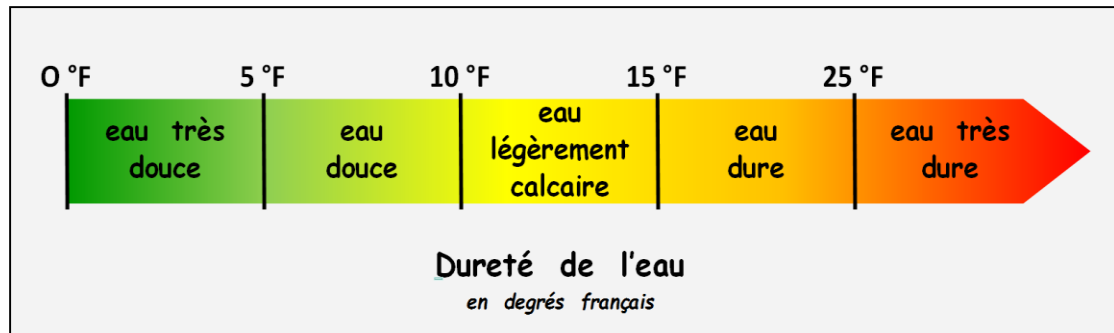


Figure III .6: Classification des qualités d'eau selon la dureté [22].

L'encrassement du circuit de refroidissement entraîne une résistance thermique qui se traduit par une augmentation de la consommation énergétique à cause de la perte de charge et nécessité de circulation davantage de l'eau de refroidissement. Voir Figure III.7

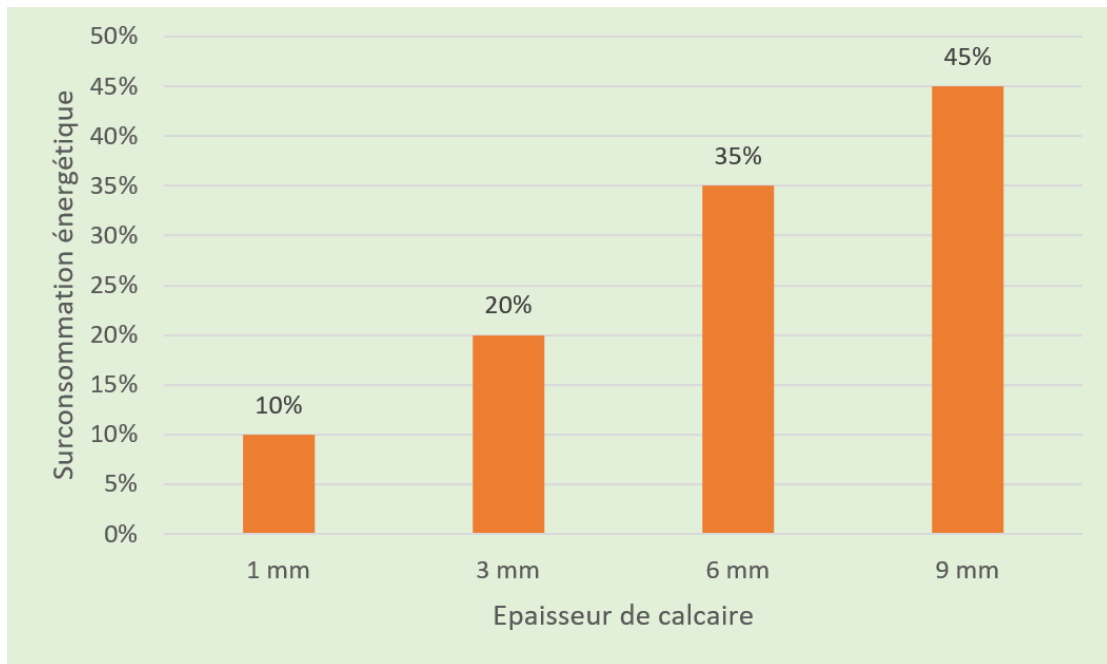


Figure III.7: Evolution de la surconsommation énergétique en fonction de l'encrassement des échangeurs [22].

III.2.2 Augmentation de température d'eau de refroidissement

Le processus de refroidissement dans l'échangeur à plaque est commandé essentiellement par la température d'eau, l'augmentation excessive de cette température impacte le niveau thermique du compresseur. Durant la période des grandes chaleurs en particulier, la température de l'eau de refroidissement dans le réseau de l'usine augmente, cette eau est censée d'être refroidie dans la tour de refroidissement (Figure III.8) par évaporation et perdre de l'énergie par chaleur latente, mais parfois ce procédé ne fonctionne pas bien, pour les causes qu'on va détailler après, ce qui conduit à l'élévation de la température d'eau qui sera utilisé dans les échangeurs, et par conséquent on aura un mauvais refroidissement dans le compresseur.

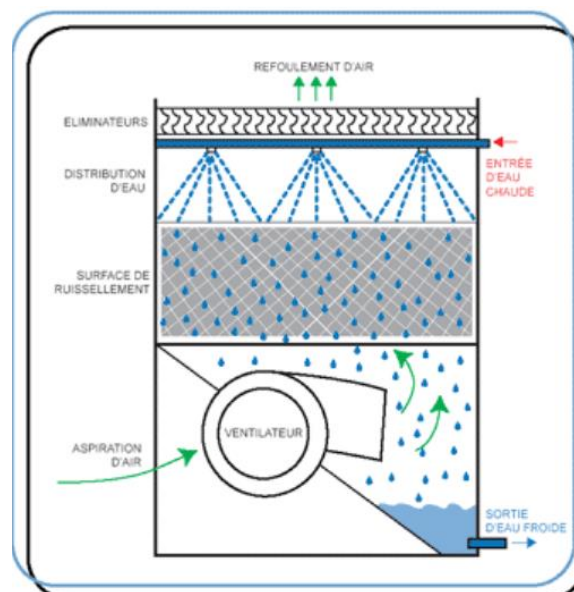


Figure III .8: Principe de fonctionnement de la tour de refroidissement [23].

III.2.3 Détérioration des échangeurs de chaleur

Les compresseurs GA250 sont équipés d'échangeurs à plaques à trois fluide, l'eau, l'air et l'huile, l'eau est le fluide froid (fluide refroidisseur), tandis que l'huile et l'air sont les fluides chauds (fluides à refroidir). Si le système de traitement ne fonctionne pas convenablement, une eau relativement dure sera envoyée au réseau de refroidissement ce qui induit par la suite l'encrassement des échangeurs.

D'une part, les sections de passages restreintes dans un échangeur à plaque, leur encrassement devient un sérieux problème pour le débit d'eau ainsi que l'échange de chaleur qui devient très faible. D'autre part, la matière colmatée sur les parois internes de l'échangeur à plaque a un pouvoir corrosif élevé, ce qui constitue une menace à la résistance des parois qui se dégradent rapidement. Pour éliminer les couches d'encrassement déposées sur les parois internes de l'échangeur, parfois des méthodes de nettoyage chimique non adéquates sont utilisées, tel que le nettoyage par l'acide chlorhydrique, qui est disponible à des prix bas mais présente l'inconvénient d'attaquer les parties fabriquées en acier inoxydable, d'où cette méthode, avec répétition cause la perforation des plaques internes de l'échangeur et anéantir complètement l'échangeur.

III.3 SOLUTIONS PROPOSEES POUR AMELIORER LES PERFORMANCES DES COMPRESSEURS ATLAS COPCO GA 250

Pour améliorer les performances des compresseurs Atlas Copco GA 250, nous optons pour une approche systémique globale qui vise à intervenir non seulement sur le compresseur lui-même ou sur son échangeur, mais plutôt de viser tous les facteurs qui peuvent avoir une influence sur le refroidissement des compresseurs. Pour cela, on propose cinq pistes d'amélioration :

III.3.1 Amélioration du traitement des eaux

Pour améliorer la qualité d'eau et éviter l'encrassement prématuré des échangeurs, il faut travailler sur l'amélioration du procédé de traitement des eaux. Son efficacité est basée sur les adoucisseurs, elle peut être améliorée par :

- ✓ L'amélioration de l'état des adoucisseurs qui utilisent de la résine cationique, ceci passe par le suivi de l'état de la résine. Une charge de résine cationique peut servir en moyenne 5 années, mais ceci dépend de plusieurs paramètres, entre autres, la propreté de l'eau, la qualité du sel industriel utilisé pour la régénération, l'absence des passages préférentiels à l'intérieur du ballon de l'adoucisseur.

Alors, il est fortement recommandé de vérifier physiquement l'état de la résine, en prélevant des échantillons à intervalle régulier (6 mois par exemple), et voir l'état apparent des grains de la résine et vérifier l'absence de coating qui empêche l'échange ionique.

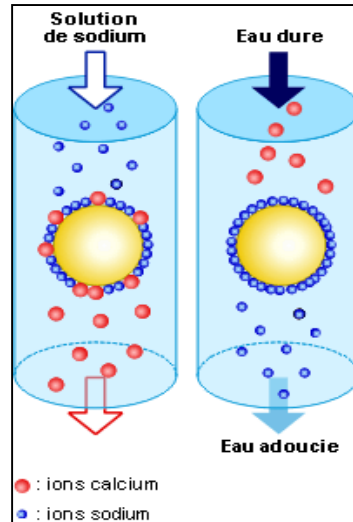


Figure III .9: Schéma de Principe de l'adoucissement par résine cationique [24].

- ✓ Suivre et respecter les cycles de régénération des adoucisseurs par le sel industriel. L'adoucisseur traite de l'eau brute qui a une dureté de 50 degrés Français, la moyenne de l'eau adoucie produite ne doit pas dépasser les 13 ° Français comme exigé par les spécifications techniques des installations de l'usine.
- ✓ Le respect de la procédure de la préparation de la saumure de régénération, le suivie de la dureté de l'eau produite permet d'optimiser le fonctionnement des adoucisseurs
- ✓ L'amélioration proposée vise à garder les adoucisseurs toujours en état et permette d'avoir une eau adoucie, Le non-respect des conditions de bonne régénération de l'adoucisseur voir Figure III.9

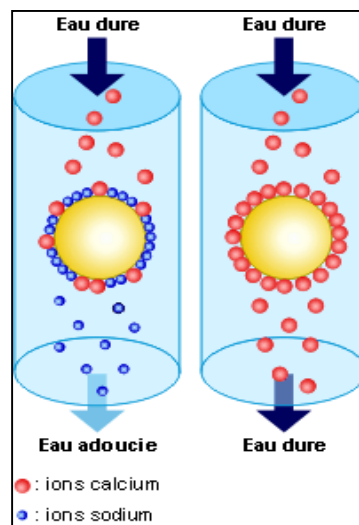


Figure III .10: Schéma de différence entre adoucisseur régénéré et saturé [24].

III.3.2 Amélioration du système de refroidissement des eaux

Le refroidissement des compresseurs dans l'échangeur de chaleur à plaque est commandé par le fluide de refroidissement (l'eau), donc sa température est d'une grande importance, elle est assurée par des tours de refroidissement.

Les tours de refroidissement d'eau utilisées dans l'usine LH sont des tours d'évaporation comme illustré sur la Figure III.10, elles sont basées sur le principe de la chaleur latente. L'eau est pulvérisée sur un nid d'abeille par des injecteurs de forme adéquate, de l'air est soufflé à contre-courant par un ventilateur, une petite partie de l'eau à refroidir est vaporisée par le brassage de l'air soufflé par le ventilateur, la partie vaporisée de l'eau absorbe de la chaleur de la partie liquide restante et baisse par conséquent sa température.

L'efficacité de ce processus de refroidissement est liée à plusieurs paramètres :

- ✓ La bonne pulvérisation de l'eau par les injecteurs ;
- ✓ L'état des nids d'abeille qui assure une grande surface de contact entre l'air de brassage et l'eau ;
- ✓ Le débit d'air.

Dans ce cas, il est fortement recommandé de contrôler régulièrement l'état des pulvérisateurs d'eau, et de contrôler également, visuellement la forme des jets d'eau pour s'assurer qu'une bonne pulvérisation s'effectue, et de nettoyer ou de changer les injecteurs si nécessaire. De même, il faut contrôler l'état des nids d'abeille, car leur l'encrassement ou leur détérioration affecte le processus de brassage de l'eau par l'air et diminue considérablement le processus de perte de chaleur Figure III.11.

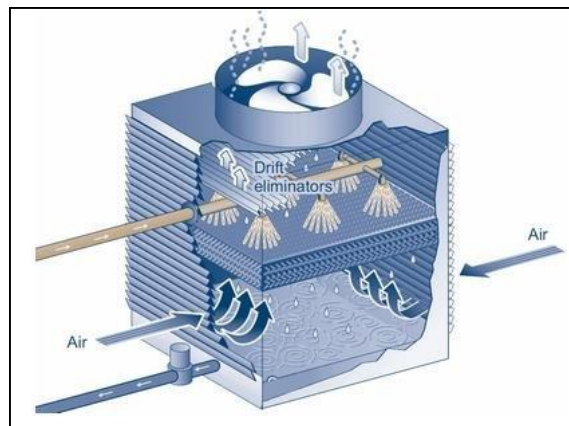


Figure III .11: Tour de refroidissement à chaleur latente [25].

Notant également, que le débit d'air est un facteur d'une grande importance dans le processus de refroidissement, l'état des ventilateurs ainsi que l'étanchéité du chemin de passage de l'air sont importants pour avoir une bonne efficacité de la tour de refroidissement.

III.3.3 Nettoyage Chimique adéquat des échangeurs de chaleur

Comme traité avant dans le chapitre des défaillances constatées, il est important d'utiliser une procédure de nettoyage chimique adéquate pour enlever l'encrassement déposé sur les parois internes des échangeurs à plaque Alfa Laval. A cet effet, il faut:

- ✓ Prévoir un produit à pouvoir détartrant élevé sans effet néfaste sur les composants de l'échangeur (les plaques et la brasure), essentiellement, il ne doit pas être à base d'acide chlorhydrique (qui provoque l'usure les parties en acier);
- ✓ Utiliser une installation adéquate (Figure III.12); avec une pompe à résistance chimique, des dispositifs de contrôle de l'opération de détartrage, à savoir, un débitmètre, un manomètre un PH mètre qui permet de suivre et de mesurer les changements d'acidité du produit du détartrage, elle présente un signe fiable sur l'altération de la couche de tarte déposées sur les proies de l'échangeur.



Figure III .12: Dispositif de nettoyage chimique des échangeurs de chaleur à plaque [26]

III.3.4 Application d'une maintenance préventives adéquate

Les compresseurs Atals copco GA250 sont des machines à la fois robustes et sensibles, ils doivent être entretenus convenablement pour assurer leur fiabilité. Les différentes anomalies citées en haut peuvent être grandement contrôlé et maîtrisées en appliquant scrupuleusement les gammes de maintenance exigées par le constructeur.

L'inspection premier niveau

1- Changement du Kit 4000 h

- ✓ Filtre à air
- ✓ Filtre à l'huile
- ✓ Kit de soupape d'injection d'huile

2- Changement du kit 8000 h

- ✓ Kit 4000 h +
- ✓ Kit séparateur d'huile
- ✓ Kit clapet de charge et de décharge
- ✓ Kit purgeur automatique

3- Changement du kit 24000 h

- ✓ Kit 8000 h +
- ✓ Kit élément compresseur
- ✓ Kit accouplement

4- L'analyse systématique d'huile par les analyses:

- ✓ Les caractéristiques chimiques de l'huile
- ✓ La teneur de l'huile en particules d'usure
- ✓ La contamination de l'huile

5- L'analyse vibratoire périodique

Pour déterminer l'état des éléments tournants (roulements, engrenages), c'est à partir des mesures et analyses "shock pulse measurement" qui détectent d'une manière préventive les défaillances des éléments roulant des compresseurs.

III.3.5 Renforcement par un échangeur de chaleur tubulaire

Quoique le design et le choix de l'échangeur Alfa Laval est fait pour satisfaire les besoins du compresseur GA250, mais vu les différentes anomalies y compris la température de l'eau de refroidissement et sa qualité, le recours au renforcement du système de refroidissement par un autre échangeur s'avère rentable. Le choix de cet échangeur additionnel est effectué selon:

- ✓ La disponibilité de cet échangeur
- ✓ Le coût de cet échangeur
- ✓ Le type d'échangeur

Dans la gamme des échangeurs disponible dans les stocks de la cimenterie LafargeHolcim, l'échangeur tubulaire (Figure III.13) est le plus souhaitable vu sa disponibilité, par ce qu'il est utilisé à l'usine pour d'autre équipement, alors on a l'avantage d'optimiser les stocks. De même, son prix d'achat qui est nettement inférieur à celui des échangeurs à plaques.

Notant également que ce le type tubulaire est moins exposé au problème restriction des passages des fluides, et par conséquence il est moins favorable au colmatage



Figure III .13: Echangeur de chaleur tubulaire de renforcement [9].

III.CONCLUSION

Après avoir passé en revue de l'ensemble des problèmes constatés pour les échangeurs de chaleur du compresseur GA 250 Atlas Copco ainsi que la détection des différents causes et la proposition des solutions.

Le prochain chapitre sera consacré à l'étude économique des améliorations faites pour régler ces problèmes ciblé dans notre étude.

CHAPITRE IV
ETUDE ECONOMIQUE PAR
COMPARAISON ENTRE COÛTS DES
DEFAILLANCES ET COÛTS
D'AMELIORATIONS

IV.INTRODUCTION

Dans ce chapitre, on s'intéresse à l'étude économique des améliorations faites pour régler le problème des échangeurs de chaleur de la cimenterie Lafarge-Holcim de Hammam Dalaa-M'Sila. Notons que c'est des chiffres réels et actuels de cette cimenterie, mais qui peuvent être changés sur le marché.

IV.1 COUTS ESTIMATIFS DES DEFAILLANCES DES SYSTEMES DE REFROIDISSEMENT D'UN COMPRESSEUR ATLAS COPCO GA 250

IV.1.1 Coût de défaillance d'un échangeur de chaleur

Le prix des pièces de rechange ne cesse pas d'augmenter ces dernières années, le prix d'un échangeur de chaleur est un prix moyen estimatif, il est de l'ordre de 2.200.000 DA/Compresseur.

$$\text{Coût Défaillance Echangeur} = 2.200.000 \text{ DA/ Compresseur} \quad (\text{IV.1})$$

IV.1.2 Coût de défaillance des deux éléments du compresseur

- ✓ Le prix d'un compresseur Atlas copco GA 250 complet est de 55000 Euros qui valent environs 8.500.000 DA
- ✓ Le prix des éléments de compression représente environs 2/3 du prix du compresseur complet,

Alors:

$$\text{Coût Défaillance Deux Elements Compression} = 5.600.000 \text{ DA/Compresseur} \quad (\text{IV.2})$$

IV.1.3 Manque de production

Il est difficile de statuer sur les estimations des coûts de perte de production par indisponibilité de l'air comprimé car ces coûts varient entre un département et un autre

Mais nous allons prendre les cas les plus probables et les plus importante, et pour les durées d'arrêt, nous prenons la durée moyenne d'intervention pour remédier aux problèmes de compresseur qui est estimée à 6 heures :

Nous citons les cas suivants :

- ✓ Arrêt de 6 heures de 2 broyeurs à ciment par chute de pression du filtre process 260
- ✓ Le débit moyen du broyeur ciment est de 160 T/h, ce qui donne une perte de production de:
 - Perte Production = $2 \times 160 \text{ T} \times 6 \text{ h} = 1920 \text{ T}$
- ✓ Le prix moyen à la tonne de ciment 12.000 DA/ T

Alors la perte totale de production est estimée à:

$$\text{Perte Total Production} = 1920 \text{ T} \times 12.000 \text{ DA/T} = 23.040.000. \text{ DA}$$

$$\text{Le manque à gagner; rapporté à un compresseur} = 23.040.000 / 6 = 3.840.000 \text{ DA}$$

$$\text{Perte Total Production} = \mathbf{3.840.000 \text{ DA /Compresseur}} \quad \text{(IV.3)}$$

IV.1.4 Coûts total des défaillances du système de refroidissement

Les coûts Totaux des défaillances du système de refroidissement = les coûts de défaillance de l'échangeur + les coûts défaillance éléments + les coûts de perte de production

$$\text{(IV.1)} + \text{(IV.2)} + \text{(IV.3)} = 220.000 + 5.600.000 + 3.840.000 = 9.660.000 \text{ DA /Compresseur}$$

$$\text{Coût Total Défaillances Système Refroidissement} = \mathbf{9.660.000 \text{ DA /compresseur}} \quad \text{(IV.4)}$$

IV.2 COÛTS ESTIMATIFS DES AMELIORATIONS PROPOSEES

Nous allons essayer d'estimer les coûts des différentes améliorations proposées au chapitre III

IV.2.1 Augmentation de fréquence de régénération de la résine de traitement d'eau

Si on augmente la fréquence de régénération de la résine des adoucisseurs (pour améliorer la qualité d'eau traitée) de 30 %, nous allons consommer plus de sel industriel

Notons que la consommation mensuelle de sel industriel est de 600 T / an

De ce fait, si on augmente la consommation de 30 % on aura une consommation annuelle de 780 T / an (un ajout de 180 T/ an)

Pour le calcul de coût additionnel de sel:

Nous avons le prix du sel à la tonne est estimé à: 4500 DA/T

Ce qui donne le coût additionnel de sel pour les 06 compresseurs = 180 T/an x 4500 DA/T
= 810.000 DA / 6 compresseurs

Coût Additionnel Sel = 135.000 DA / compresseur (IV.5)

IV.2.2 Coût de changement de résine

- ✓ Une charge de résine a une durée de vie de 5 ans
- ✓ Le coût d'une charge de résine de l'adoucisseur est de 3.000.000 DA

Ce coût est amorti en 5 ans,

Alors le coût estimé à un compresseur pour une année est de:

Coût Changement Résine = 3000000 / (5x6) = 100.000 DA (IV.6)

IV.2.3 Coût d'amélioration tour de refroidissement

Le coût de changement de nid d'abeille peut être calculé comme suit:

- ✓ L'ensemble du nid d'abeille avec installation coûte environs: 5000 DA / pièce
- ✓ Le nombre total des pièces est de 128 d'où le coût total est de 640.000 DA

Pour un compresseur, le coût est de 640.000/6 = 107.000 DA

Coût Changement Nid Abeille = 107.000 DA (IV.7)

IV.2.4 Coût de changements des kits de maintenance préventive

Durant une année, il est prévu le remplacement pour un compresseur de:

- ✓ Un kit de 4000 heures avec un prix de 200.000 DA.
- ✓ Un kit de 8000 heure avec un Prix de 600.000 DA.

Le coût des la maintenance préventive (changement des kits) est de:

$$\text{Coût Maintenance Préventive} = 800.000 \text{ DA / compresseur} \quad (\text{IV.8})$$

Dans ce cas, le Coût Total des améliorations par compresseur = Coût d'augmentation de consommation de sel industriel + Coût changement de la résine + Coût amélioration de la tour de refroidissement + Coût de changement de kits de maintenance preventive.

Ce qui donne:

$$(\text{IV.5}) + (\text{IV.6}) + (\text{IV.7}) + (\text{IV.8}) = 135.000 + 100.000 + 107.000 + 800.000$$

$$\text{Total Coût Amélioration} = 1.142.000 \text{ DA / compresseur} \quad (\text{IV.9})$$

IV.3 COMPARAISON ENTRE LES PERTES DE DEFAILLANCES DU SYSTEME DE REFROIDISSEMENT D'UN COMPRESSEUR ET LE COÛT DES AMELIORATIONS PROPOSEES

Nous avons estimé:

Le coût des pertes de défaillance de système de refroidissement d'un compresseur à :

$$9.660.000 \text{ DA / compresseur} \quad (\text{IV.4})$$

Les coûts des améliorations proposées sont estimés à :

$$1.142.000 \text{ DA/ compresseur} \quad (\text{IV.9})$$

Si on fait le rapport entre les coûts des améliorations proposées pour un seul compresseur et le coût des pertes de défaillance de système de refroidissement d'un compresseur, on aura:

$$(\text{IV.9}) / (\text{IV.4}) = 552.000 / 9.660.000$$

$$\text{Coût des améliorations / Coût des défaillances} = 11,8 \% \text{ (par compresseur)}$$

On note que ce rapport est très faible (11,8%) et que le coût des améliorations (système) que nous proposons est nettement inférieur au coût engendré par les défaillances du système de refroidissement des compresseurs GA250.

Cette étude comparative montre que les coûts des défaillances du système de refroidissement, en particulier le manque à gagner, sont nettement supérieures aux coûts des améliorations proposées,

L'approche adoptée pour améliorer le système de refroidissement des compresseurs GA250 est une approche système qui vise, non pas d'intervenir uniquement sur le compresseur lui-même, mais de traiter et de régler les problèmes en amont, ce sont des solutions pérennes et durables et leur coût est faible si l'on compare aux coûts des défaillances probables.

IV.CONCLUSION

En conclusion, le coût des améliorations (système) que nous proposons est nettement inférieur au coût engendré par les défaillances du système de refroidissement des compresseurs GA 250.

La solution palliative et corrective ne donne pas des garanties quant à la disponibilité des compresseurs et par la suite nous risquons d'avoir des arrêts qui peuvent engendrer un manque à gagner très important.

Nos propositions d'amélioration ne visent pas uniquement le traitement des problèmes dans le périmètre immédiat des compresseurs, mais visent à améliorer les conditions aux alentours des compresseurs, à savoir, le traitement des eaux et le système de refroidissement, ceci apporte plus de fiabilité et de pérennité aux solutions proposées.

L'étude économique qui compare les coûts des défaillances probables des compresseurs à cause du système de refroidissement et ceux des améliorations proposées renforce cette tendance et montre clairement que le travail en amont est plus pertinent et durable que les interventions correctives ponctuelles.

***CONCLUSION
GENERALE***

CONCLUSION GENERALE

L'industrie du ciment est dans un grand essor en Algérie, l'accroissement de cette activité, va nécessairement engendrer une augmentation de problèmes de ce fait, des études permanentes d'amélioration devront se faire pour être proactive. Nous avons décortiqué le processus de fabrication de ciment selon les besoins requis à notre étude, et pour répondre à notre problématique une méthodologie a été établie et qui pourra être utilisée ultérieurement dans d'autres types d'installations similaires.

L'air comprimé produit par les compresseurs est un élément essentiel dans l'industrie en général et dans l'industrie cimentière en particulier, du fait, les échangeurs de chaleur qui sont un constituant essentiel dans les compresseurs ont une importance primordiale.

Les systèmes de refroidissement de ces compresseurs jouent un rôle primordial pour assurer leur bon fonctionnement, la recherche des pistes d'amélioration du refroidissement nous a conduites à intégrer tous les facteurs influençant leur efficacité, à savoir:

- ✓ La qualité d'eau de refroidissement.
- ✓ Sa température.
- ✓ La maintenance préventive appliquée pour les compresseurs.
- ✓ L'éventualité de renforcer le refroidissement par un autre échangeur.

Le cernement de tous les problèmes des échangeurs de chaleur du compresseur GA250 dans la cimenterie LafargeHolcim – M'Sila dans le but de détecter les causes et de proposer des solutions à ces problèmes

Ces problèmes peuvent être liés à la:

- ✓ Perturbations de la qualité d'air comprimé
- ✓ Défaillances constatées dans les installations de l'air comprimé
- ✓ Élévation de température des compresseurs
- ✓ Présence d'eau dans le circuit d'air
- ✓ Manque de disponibilité des compresseurs/ Baisse de fiabilité

Les principales causes de la survenance de ces problèmes sont:

- ✓ Encrassement du circuit d'eau
- ✓ Augmentation de température d'eau de refroidissement
- ✓ Détérioration des échangeurs de chaleur

Pour résoudre les problèmes des échangeurs de chaleur et améliorer les performances des compresseurs Atlas Copco AG250, nous avons opté pour une approche systémique globale qui vise à intervenir non seulement sur le compresseur lui-même ou sur son échangeur, mais plutôt de viser tous les facteurs qui peuvent avoir une influence sur le refroidissement des compresseurs. Pour cela, on a proposé cinq pistes amélioration:

- ✓ Amélioration du traitement des eaux
- ✓ Amélioration du système de refroidissement des eaux
- ✓ Nettoyage Chimique adéquat des échangeurs
- ✓ Application d'une maintenance préventives adéquate
- ✓ Renforcement par un échangeur tubulaire

Nous avons estimé:

- ✓ les coûts de La pertes de défaillance de système de refroidissement d'un compresseur à 9.720.000 DA
- ✓ Les coûts des améliorations proposées pour un seul compresseur sont estimés à 1.142.000 DA.
- ✓ Le rapport entre coût des améliorations / coût des défaillances = $1.142.000/9.700.000$
= 11,8 %

Nos propositions d'amélioration ne visent pas uniquement le traitement des problèmes dans le périmètre immédiat des compresseurs, mais visent à améliorer les conditions aux alentours des compresseurs, à savoir, le traitement des eaux et le système de refroidissement, ceci apporte plus de fiabilité et de pérennité aux solutions proposées. L'étude économique qui compare les coûts des défaillances probables des compresseurs à cause du système de refroidissement et ceux des améliorations proposées renforce cette tendance et montre clairement que le travail en amont est plus pertinent et durable que les interventions correctives ponctuelles.

***REFERENCE
BIBLIOGRAPHIQUE***

REFERENCe BIBLOGRAPHIQUE

- [1] André BONTEMPS, Alain GARRIGUE, Charles GOUBIER, (et al), « Échangeurs de chaleur - Description des échangeurs ». Technique de l'ingénieur, Réf : B2341 v1, Date de publication : 10 mai 1995.
- [2] Nadji DOUABA, Slimane BEROUBA, « Analyse analytique FMD et AMDEC d'un Compresseur à vis Atlas Copco ZE3, du groupe GICA ». Mémoire Master Professionnel Domaine: Sciences Techniques Filière: Génie mécanique Spécialité: Maintenance Industrielle, Soutenue le: 29/05/2017, Université Kasdi Merbah Ourgla.
- [3] BENAYAD NADA, « Etude et optimisation des échangeurs de chaleur ». Mémoire de magister en physique. UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE. 2008/2009.
- [4] Ramesh K. Shah and Dušan P. Sekulic « Fundamentals of Heat Exchanger Design ». John Wiley & Sons, Inc, 2003.
- [5] Mounir BENNAJAH, Naoil CHAOUNI, « Échangeurs de chaleur – Technologie, calcul et design ». Sciences de l'ingénieur, Réf: ISBN 978-2-7108-1034-6 Edition Technip, Paris, Année de publication: 2014.
- [6] Dominique Hantz, « Les différents procédés de refroidissement d'eau dans les installations industrielles et tertiaires – Guide technique ». Centre technique des industries aérauliques et thermique (CETIAT), paris.
- [7] Amine ALI NEHARI, « Étude thermo-énergétique d'un échangeur de chaleur à plaques et joints: Application aux fluides géothermiques ». Mémoire de Master en Physique Énergétique et Matériaux. UNIVERSITE ABOU-BAKR BELKAID DE TLEMCEN. 2010-2011.
- [8] Oudina FATEH MEBAREK, « Echangeurs de chaleur». Cours et exercices corrigés pour Master en Mécanique Energétique, Physique Énergétique. , Réf: 70-2014 Editions Al-Djazair, Alger, Année de publication: 2014.
- [9] Usine de cimenterie LAFARGEHOLCIM de M'SILA, stage pratique à partir du 14/03/2022.
- [10] : <https://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/energy/pdf/energystar/compressed-air-ref-fra.pdf>
- [11]: Site web Atlas Copco, lien <https://www.atlascopco.com/fr-dz/compressors/wiki/compressed-air-articles/cooling-system-water-cooled-and-air-cooled>

- [12]: site web ROBUSHI , lien: <https://www.gardnerdenver.com/fr-fr/robuschi/rotary-lobe-blowers/tri-lobe-blower-stage-rbs>
- [13]: site web HOSbv lien <https://www.hosbv.com/product/10660/compressors/Bitzer-HSN-7471-75-40P-x1--HSN-6451-40-x1.html>
- [14]: site web Wikiwand : lien https://www.wikiwand.com/fr/Climatisation_%C3%A0_1%27eau_naturellement_froide
- [15]: site web Alfa Laval, lien <https://www.alfalaval.fr/industries/genie-climatique/refroidissement-de-data-centers/free-cooling-eau/>
- [16]: site web Ecothermaenergy , lien <https://www.ecothermaenergy.com/fr/technologie-dechangeur-a-contact-direct>
- [17]: site web LafargeHolcim, lien <https://investir.lesechos.fr/actionnaires/interview/la-fusion-entre-egaux-de-lafarge-et-holcim-est-avant-tout-strategique-1055768.php>
- [18]: site web du groupe Sullair lien <https://europe.sullair.com/fr/blog/le-b-ba-des-classes-de-qualite-dair>
- [19]: site web Atlas copco lien <https://www.atlascopco.com/fr-fr/compressors/air-compressor-blog/point-de-rosee>
- [20]: site web climat Data lien <https://fr.climate-data.org/europe/france/rhone-alpes/les-adrets-99274/>
- [21]: site web Tempco solid temperature lien <https://fr.tempco.it/assistance/maintenance-des-echangeurs/>
- [22]: site web maintenance et efficacité énergétique lien <https://www.nouvenergie.fr/formation/traitement-de-l-eau/calcaire/>
- [23]: site web energypedia lien https://energypedia.info/wiki/Main_Page
- [24]: site web energy lien <https://energieplus-lesite.be/theories/eau-chaude-sanitaire12/adoucisseur-d-eau/>
- [25]: site web Ozone service lien <https://www.ozone-service.fr/pageatour.html>
- [26]: site web buildex technifus lien <https://buildex.techinfus.com/ar/kotly/himicheskaya-ochistka-teploobmennikov.html>
- [27]: Site web lafarge lien <https://www.andlil.com/societe-lafarge-127188.html>
-

Abstract

The objective of this work is to study the cooling improvement of the Atlas Copco GA 250 compressor at the LafargeHolcim Hammam Dalaa - M'Sila cement plant. To do this, the work was divided into four parts. The first part deals with the general description of compressors and heat exchangers, as well as their different classifications. The second part first presents the LafargeHolcim cement plant in Hammam Dalaa - M'Sila, the cement manufacturing process, then the use of compressed air in this cement plant, and finally, the water cooling systems used to cool two fluids (air and oil) coming out of the Atlas Copco air compressor. The third part is reserved for the description of all the problems of the heat exchangers of the GA 250 compressor with the aim of detecting the causes and proposing solutions to these problems. In the last part, an economic study of the improvements made to solve the problems of the heat exchangers.

Key words: Cement plant, Improvement study, Compressor, Heat exchanger, Water treatment.

Résumé

Le présent travail a pour objectif l'étude d'amélioration de refroidissement du compresseur Atlas Copco GA 250 au niveau de la cimenterie LafargeHolcim Hammam Dalaa - M'Sila. Pour ce faire, le travail a été divisé en quatre parties. La première partie porte sur la description générale des compresseurs et des échangeurs de chaleur, ainsi que leurs différentes classifications. La seconde partie, expose en premier lieu la cimenterie LafargeHolcim de Hammam Dalaa - M'Sila, le procédé de fabrication du ciment, ensuite l'utilisation de l'air comprimé dans cette cimenterie, et enfin, les systèmes de refroidissement à eau, utilisés pour refroidir deux fluides (l'air et l'huile) sortant du compresseur à air Atlas Copco. La troisième partie est réservée pour la description de tous les problèmes des échangeurs de chaleur du compresseur GA 250 dans le but de détecter les causes et de proposer des solutions à ces problèmes. Dans la dernière partie, une étude économique des améliorations faites pour régler les problèmes des échangeurs de chaleur.

Mots-clés: Cimenterie, Étude d'amélioration, Compresseur, Échangeur de chaleur, Traitement des eaux.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة تحسين التبريد لضغط أطلس كوبكو ج 250 في مصنع الاسمنت لافارج هولسيم بحمام الضلعة - المسيلة. للقيام بذلك، تم تقسيم العمل إلى أربعة أجزاء. يتناول الجزء الأول الوصف العام للضواغط والمبادلات الحرارية وتصنيفاتها المختلفة. الجزء الثاني يعرض أولاً مصنع لافارج هولسيم في حمام الضلعة - المسيلة، عملية تصنيع الأسمنت، ثم استخدام الهواء المضغوط في معمل الأسمنت، وأخيراً أنظمة التبريد المائي المستخدمة في تبريد سائلين (هواء وزيت). يخرج من ضاغط الهواء أطلس كوبكو. خصص الجزء الثالث لوصف جميع مشاكل المبادلات الحرارية للضاغط ج 250 بهدف الكشف عن الأسباب واقتراح حلول لهذه المشاكل. في الجزء الأخير دراسة اقتصادية للتحسينات التي تم إجراؤها لحل مشاكل المبادلات الحرارية.

الكلمات المفتاحية: مصنع الأسمنت، دراسة التحسين، ضاغط، مبادل حراري. معالجة المياه.

ANNEXE

*(DOCUMENTS
TECHNIQUES DE
LAFARGEHOLCIM-M'SILA)*

Fiche d'inspection & Relevés
Quantités des Paramètres
Compresseurs

Paramètres Compresseurs

21/03/2022

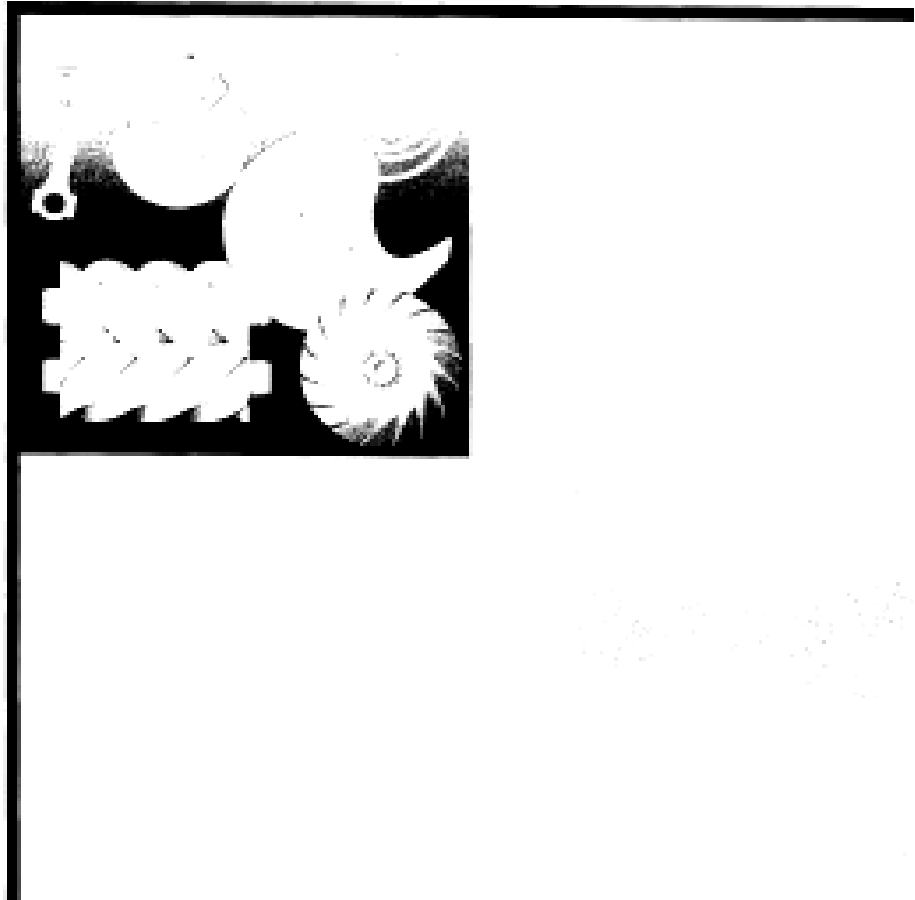
Date

Paramètres	Ligne 1													Ligne 2													
	Paramètres	AP air	AP app	P char-déch	P d'huile	T Air	T Elem. 1	T Elem. 2	T d'eau	Niv d'huile	Etat Sacheur	Filtre circuit	Sép huile/air	Paramètres	AP air	AP app	P char-déch	P d'huile	T Air	T Elem. 1	T Elem. 2	T d'eau	Niv d'huile	Etat Sacheur	Filtre circuit	Sép huile/air	
741.030														741.030													
741.040	110	190	6.2/1.03	2.8	35	75	74	32	32	100	38	100	100	741.040	110	190	6.2/1.03	2.8	35	75	74	32	32	100	38	100	
741.050	0/08	140	6.2/1.04	3.3	32	74	73	31	31	100	31	100	100	741.050	0/08	140	6.2/1.04	3.3	32	74	73	31	31	100	31	100	
741.100	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	741.100	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP
331.001		800	6.8/1.73											331.001		800	6.8/1.73										
331.002														331.002													
331.003														331.003													
331.004	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	331.004	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	
331.005	118	N/A	6.9/1.90	2.4	31	185	163	N/A	N/A	100	N/A	100	100	331.005	118	N/A	6.9/1.90	2.4	31	185	163	N/A	N/A	100	N/A	100	
742.030														742.030													
742.040	01008	K/K/K	5.8/1.63	4.3	52	102	103	38	38	100	33	100	100	742.040	01008	K/K/K	5.8/1.63	4.3	52	102	103	38	33	100	100		
742.050	11	N/A	7.6/1.92	2.9	54	202	193	N/A	N/A	100	33	100	100	742.050	11	N/A	7.6/1.92	2.9	54	202	193	N/A	N/A	100	100		
742.060	12	130	6.2/1.84	0	23	79	78	28	28	100	33	100	100	742.060	12	130	6.2/1.84	0	23	79	78	28	33	100	100		
742.070														742.070													
742.080														742.080													
742.100	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	742.100	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	STOP	
332.004		N/A	6.9/1.71	2.49	41	184	158	N/A	N/A	100	N/A	100	100	332.004		N/A	6.9/1.71	2.49	41	184	158	N/A	N/A	100	N/A	100	
332.001	01008	200	6.8/1.72											332.001	01008	200	6.8/1.72										
332.002														332.002													
332.003														332.003													
744.000														744.000													
744.040	K/K/K	240	5.8/1.63	3.18	38	89	80	K/K/K/K	K/K/K/K	100		100	100	744.040	K/K/K	240	5.8/1.63	3.18	38	89	80	80	K/K/K/K	K/K/K/K	100	100	
744.050	K/K/K	240	6.8/1.71	3.1	41	81	82	31	35	100		100	100	744.050	K/K/K	240	6.8/1.71	3.1	41	81	82	31	35	100	100		
408.120	13	210	6.6/1.71	4.4	49	92	93	41	41	100		100	100	408.120	13	210	6.6/1.71	4.4	49	92	93	41	41	100	100		
Esp2	5	N/A												Esp2	5	N/A											
741.100	01008	N/A	7.3/1.74	2.9	39	114	169	N/A	N/A	100		100	100	741.100	01008	N/A	7.3/1.74	2.9	39	114	169	N/A	N/A	100	100		
741.100/744.100														741.100/744.100													
331.004														331.004													

Compresseurs de secour
Compresseur Air choc Stand-by a l'arrêt marque PDR

Atlas Copco Stationary Air Compressors

GA90 - GA110 - GA132 - GA160 - GA200 - GA250 - GA315
GA90 W - GA110 W - GA132 W - GA160 W - GA200 W -
GA250 W - GA315 W



Instruction Book

Atlas Copco

1.1.1 Main options

Full-feature

A refrigerant dryer is fully integrated in the bodywork of the compressor. This "all-in-one" feature reduces the required space for installation and provides savings on piping installation cost.

Integrated DD filter

Full-feature compressors can be provided with an integrated filter of the DD type to limit carry-over of solid particles and oil. By integrating a DD filter, the compressor delivers Quality Air according to ISO 8573-1, Class 2.4.2.

Integrated OSD

The OSD (Oil Separating Device) separates the oil residues from the condensate water. The clean water can be drained into the sewer without any further treatment. The separated oil is collected and must be disposed of according to prevailing regulations.

Electronic drain

The EWD (Electronic Water Drain) assures proper draining of condensate and prevents water from entering the compressed air net. At any malfunction of the draining process, the EWD generates a warning message on the display of the Elektronikon regulator.

Energy recovery

The compressors can be provided with the Arba Copco energy recovery systems to recover the major part of the compression heat in the form of hot water without any influence on the compressor performance.

Oil containing frame

This frame is installed under the machine and will collect oil from occasional leakage and avoid oil to spread over the floor.

Modulating control

The modulating control system is designed to maintain a narrow net pressure band (0.2 bar) by throttling the air inlet, thus reducing the air flow (50% - 100%).

Heavy-duty air intake filter

A two-stage heavy-duty air intake filter kit is available allowing the compressor to operate in heavily contaminated surroundings (e.g. cement or mining industry). The larger dust particles are collected in the first stage of the filter. The filter efficiency (SAE fine) is 99% at 1µm, 99.8% at 2µm and 99.9% at 3 µm.

Rain protection

If a GA compressor is installed outdoors, the rain protection prevents rain from entering the machine. At the same time it protects the display of the Elektronikon regulator against sun and rain.

High ambient temperature version

The GA HAT (High Ambient Temperature) version is specially designed for continuous operation in humid and high ambient temperature environment up to 50 degrees Celsius. This option is available for GA air and water-cooled compressors, except for 13 bar (200 psi) and GA Full-feature compressors.

Phase Sequence Relay

The phase sequence relay prevents the drive motor from rotating in the wrong direction.

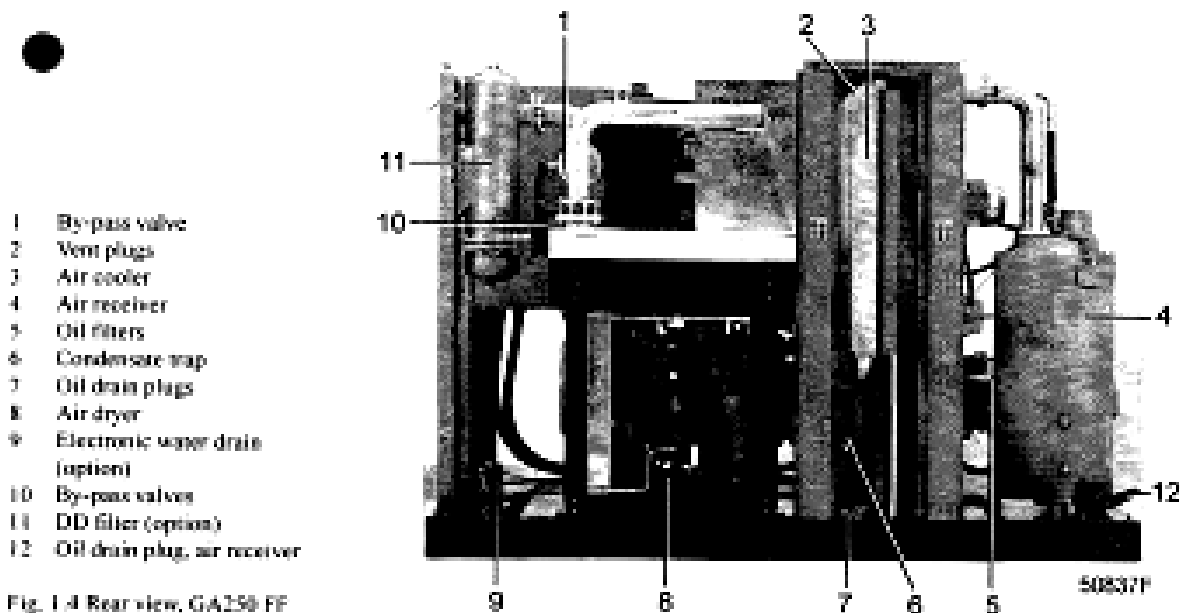
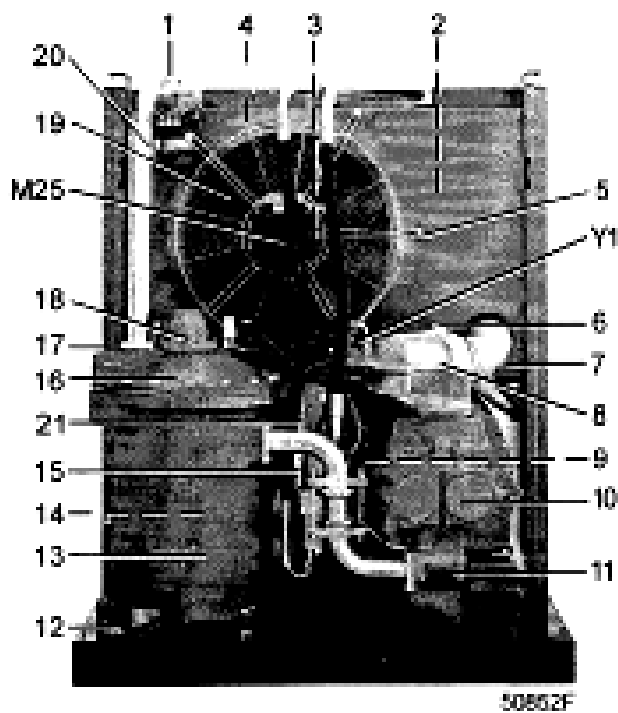


Fig. 1.4 Rear view, GA250 FF



- 1 Pipe coupling
- 2 Oil coolers
- 3 Arrow, motor rotation direction
- 4 Air cooler
- 5 Bolts
- 6 Filler plug (only to be used at initial start-up)
- 7 Air inlet hose
- 8 Unloader
- 9 Arrow, rotation direction of drive motor
- 10 Compressor element
- 11 Check valve
- 12 Oil drain plug, air receiver
- 13 Air receiver
- 14 Oil separator element
- 15 Oil filters
- 16 Receiver cover
- 17 Bolt
- 18 Minimum pressure valve
- 19 Cooling fan
- 20 Pipe, air receiver to air cooler
- 21 Safety valve
- M25 Fan motor
- Y1 Loading solenoid valve

Fig. 1.5 Side view, GA110 FF

- 1 Pipe coupling
- 2 Air cooler
- 3 Oil coolers
- 4 Cooling fan
- 5 Air inlet hoses
- 6 Filler plug (only to be used at initial start-up)
- 7 Check valves
- 8 Compressor elements
- 9 Arrow, rotation direction of drive motor
- 10 Unloaders
- 11 Air receiver
- 12 Oil filters
- 13 Oil separator element
- 14 Receiver cover
- 15 Bolt
- 16 Minimum pressure valve
- 17 Safety valve
- 18 Pipe, air receiver to air cooler
- 19 Oil drain plug, air receiver
- 20 Bolts
- M25/26 Fan motors
- Y1 Loading solenoid valve

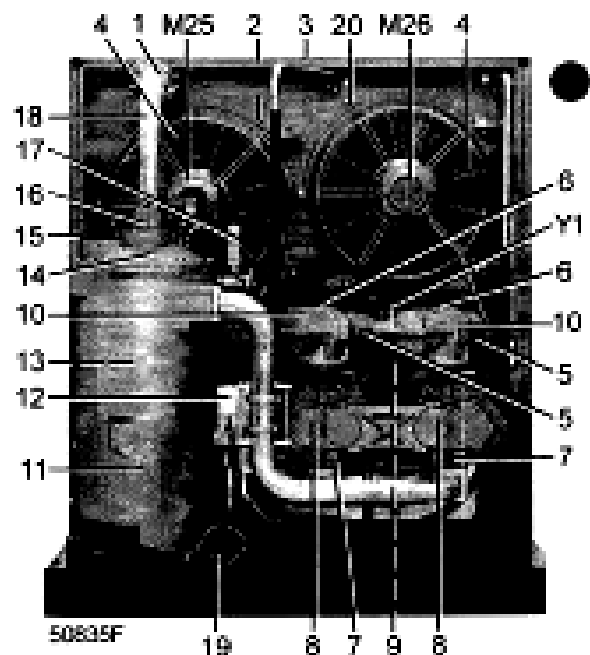
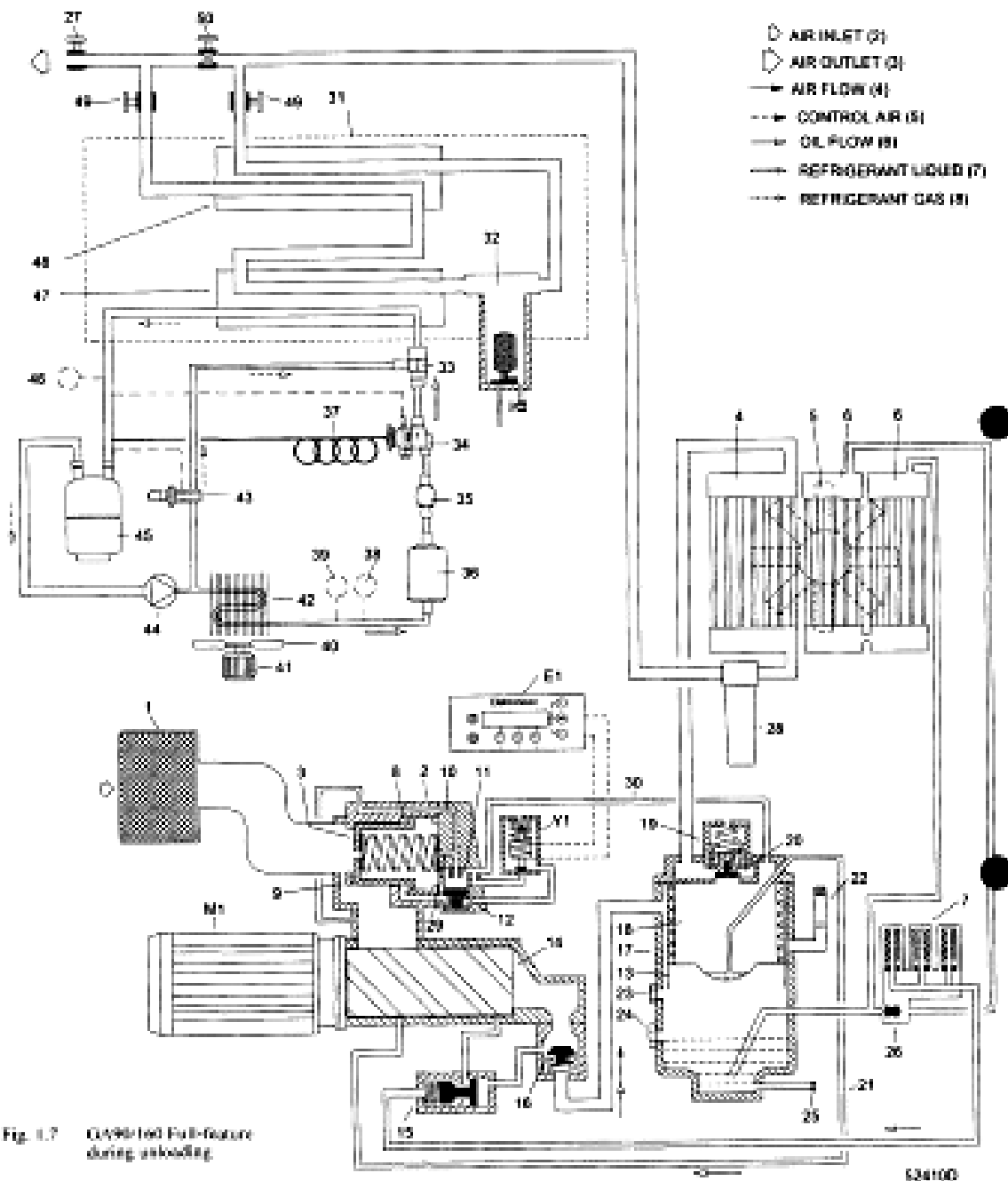


Fig. 1.6 Side view, GA250 FF

Q490100 Full-Feature
DURING UNLOADING (1)



- | | | |
|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 1 Air filter | 9 By-pass opening | 17 Air receiver |
| 2 Unloader | 10 Blow-off channel | 18 Oil separator element |
| 3 Unloading valve | 11 Chamber, receiver pressure | 19 Minimum pressure valve |
| 4 Air cooler | 12 Valve | 20 Check valve |
| 5 Cooling fan | 13 Shield | 21 Oil scavenging line |
| 6 Oil cooler | 14 Compressor element | 22 Safety valve |
| 7 Oil filter | 15 Oil stop valve | 23 Oil filter plug |
| 8 Chamber, control pressure | 16 Check valve | 24 Oil level indicator |

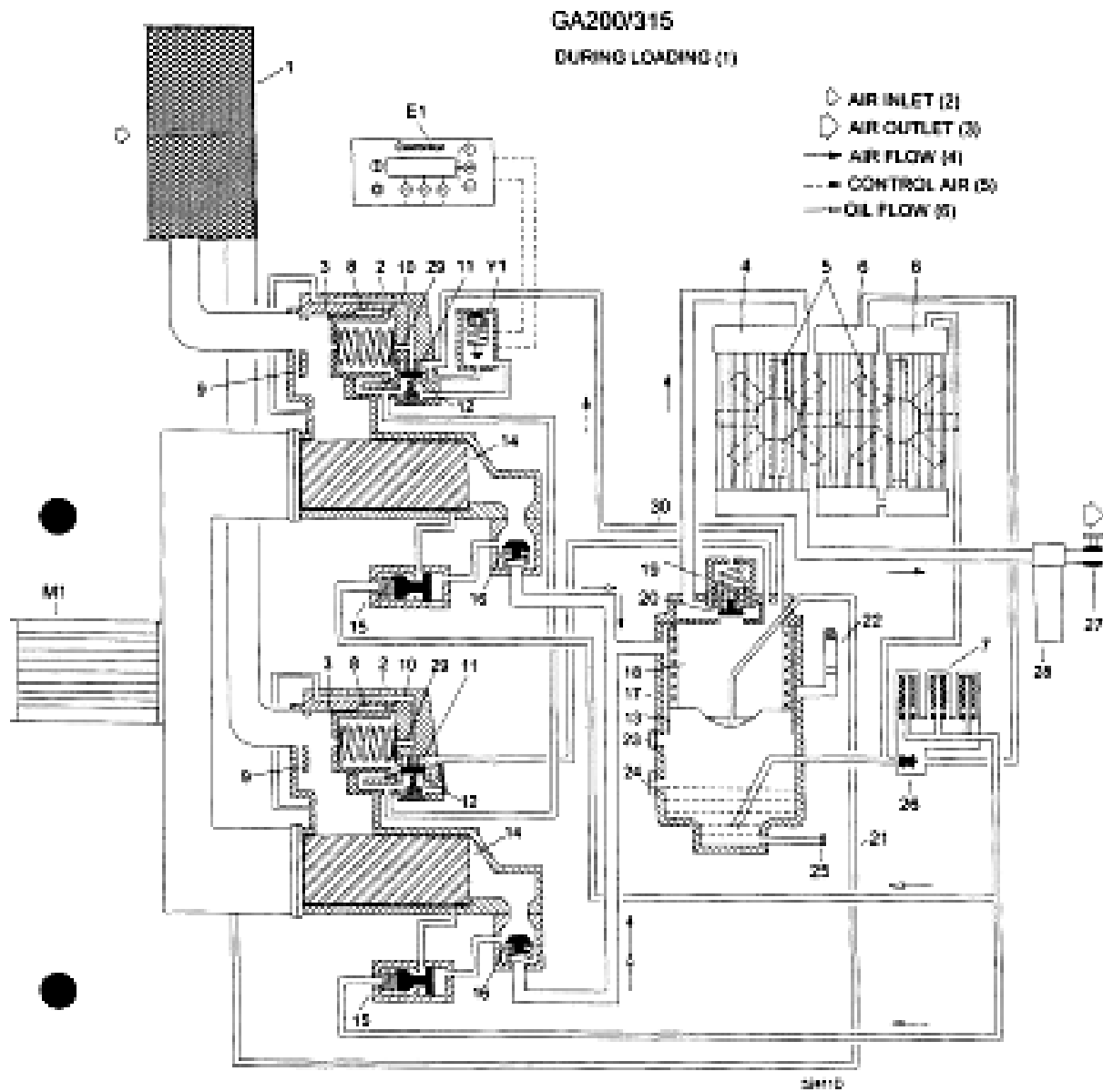
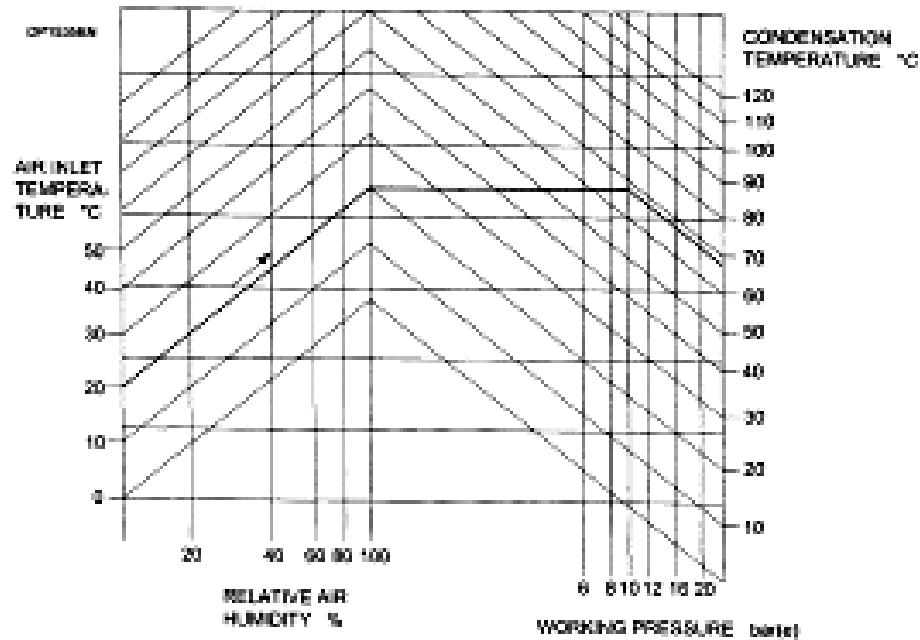


Fig. 1.8 GA200/315 during loading

- | | | | | | |
|----|--|----|------------------------------|----|--------------------------------|
| 25 | Oil drain plug | 34 | Thermostatic expansion valve | 44 | Refrigerant compressor |
| 26 | By-pass valve | 35 | Sight-glass | 45 | Liquid separator |
| 27 | Air outlet valve (customer's installation) | 36 | Filter/dryer | 46 | Low pressure switch |
| 28 | Condensate trap | 37 | Capillary tube | 47 | Air/refrigerant heat exchanger |
| 29 | Channel | 38 | Fan control switch | 48 | Air/air heat exchanger |
| 30 | Flexibloc, receiver pressure | 39 | High pressure switch | 49 | By-pass valves |
| 31 | Insulating block | 40 | Fan | 50 | By-pass valve |
| 32 | Condensate trap | 41 | Fan motor | E1 | Electronic regulator |
| 33 | Liquid - gas mixer | 42 | Condenser | M1 | Drive motor |
| | | 43 | Hot gas by-pass valve | Y1 | Loading solenoid valve |

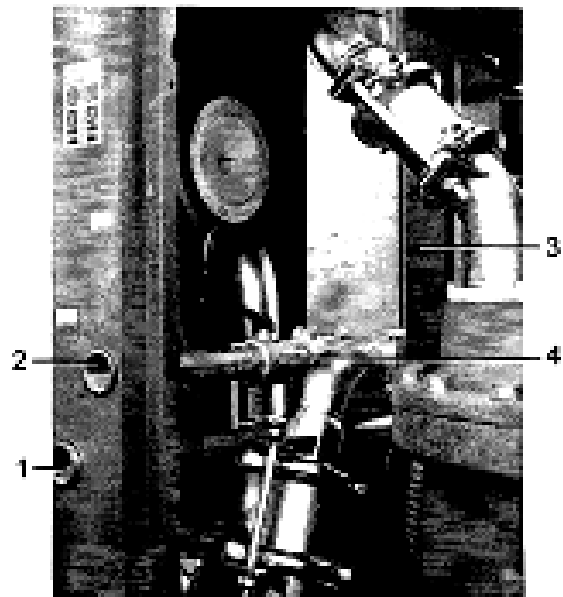
Figs. 1.7 and 1.8 Regulating system



Example: ambient temperature 20 degrees Celsius, relative humidity 100 % and working pressure 10 bar(e). The minimum allowable temperature at the outlet of the compressor elements is 68 degrees Celsius. Regulate the cooling water flow to obtain a temperature between 70 and approx. 75 degrees Celsius at the outlet of the compressor elements.

Fig. 3.9 Minimum allowable air temperature at outlet of compressor elements (for water-cooled compressors)

2. To stop the compressor in case of emergency, press button (S2- Fig. 3.8). Alarm LED (7) blinks. After remedying the fault, unlock the button by pulling it out.
3. Close air outlet valve (3- Fig. 3.5/7- Fig. 3.6).
4. Open condenser drain valves (1 and 2- Fig. 3.7). 2) On GA W, close the water shut-off valves (6).
6. On GA W, if the compressor is installed in a room where freezing temperatures are expected, drain the cooling system by opening the drain valves in the water inlet and outlet pipes (customer's installation).
7. Switch off the voltage.



- 1 Water outlet
- 2 Water inlet
- 3 Combined oil and air cooler
- 4 Regulating valve, water flow

Fig. 3.10 Water system of GA W (typical example)

50847F

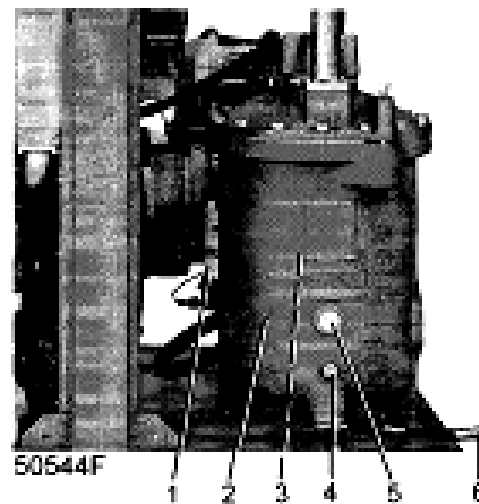
Important

- After pressing stop button (8), the compressor will run unloaded for 30 seconds. The compressor stops after this period. A start command during this period is ignored.
- After stopping, the compressor is prevented from restarting within a programmable time (20 seconds). A start command given during this minimum stop time will be memorized; automatic operation LED (8) lights up. The compressor will start when the minimum stop time has run out.

3.8 Taking out of operation

At the end of the service life of the compressor, proceed as follows:

1. Stop the compressor and close the air outlet valve.
2. Switch off the voltage and disconnect the compressor from the mains.
3. Depressurize the compressor by opening valves (1 and 2- Fig. 3.7) (2) (3) and loosening plug (5- Fig. 3.11) one turn.
4. Shut off and depressurize the part of the air net which is connected to the outlet valve. Disconnect the compressor air outlet pipe from the air net.
5. Drain the water, oil and condensate circuits.
6. Disconnect the compressor condensate piping from the condensate drain net.
7. Disconnect the cooling water pipes from the compressor.



- 1 Oil filters
- 2 Air receiver
- 3 Oil separator element
- 4 Oil level sight-glass
- 5 Oil filler plug
- 6 Oil drain plug

Fig. 3.11 Air receiver

Footnotes chapter 3

- 1) GA90 and GA110 have one fan motor and circuit breaker. GA132 up to GA315 have two fan motors and circuit breakers.
- 2) GA Full-feature (provided with an integrated dryer) have two condensate traps and two drain valves. Compressors without dryer have one trap and one valve.
- 3) On compressors with optional OSD separator, a valve is fitted underneath the condensate trap. Close the valve after repairing.
- 4) If the compressor has only just stopped, wait one minute before checking the level.
- 5) Available as an option.
- 6) Customer's installation.
- 7) GA 90 are equipped with a ventilation fan in the roof. Check that it withdraws heat from the bodywork.
- 8) If the <<Load>> or <<Inload>> function is not indicated on the bottom line of display (2- Fig. 3.8), press key <<Menu>> (5) until function <<Main Screen>> appears above key (11), then press key <<Main Screen>>.

4.2.2 Drive motor (M1-Figs. 1.1/1.2)

Contact your Customer Centre for the recommended grease type, the greasing quantity and interval for the motor bearings.

Important

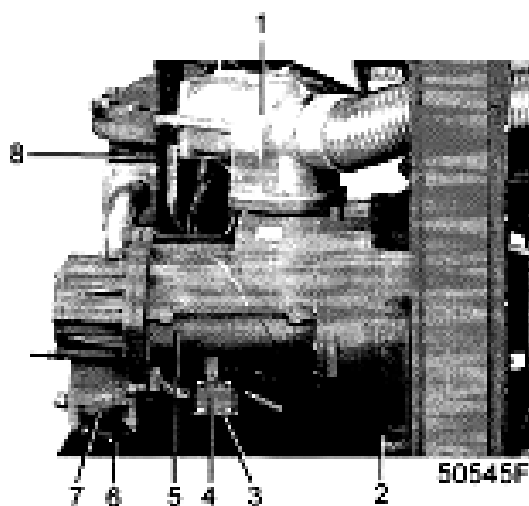
Never mix greases of different brands or types.

4.3 Oil specifications

It is strongly recommended to use following oils:
Roto-Inject Fluid is a high-quality lubricant ensuring optimum lubrication for a service life of up to 4000 running hours.
HD Roto-FluidPlus is a very cost-effective oil ensuring optimum lubrication for a service life of up to 8000 running hours.

Important

Never mix oils of different brands or types.



- 1 Unloader
- 2 Oil drain plug
- 3 Oil drain plug
- 4 Oil stop valve
- 5 Compressor element
- 6 Oil drain plug
- 7 Check valve
- 8 Air receiver

Fig. 4.1 Compressor element

4.4 Oil change

1. Run the compressor until warm. Stop the compressor and switch off the voltage. Wait a few minutes and depressurize by unscrewing plug (5-Fig. 3.11) only one turn to permit any pressure in the system to escape.
2. On GA, loosen vent plugs (5-Fig. 1.3/2-Fig. 1.4) on top of the coolers.
3. Drain the oil by removing the drain plugs. Plugs are provided on the air receiver (6-Fig. 3.11), oil stop valves (3-Fig. 4.1), check valves (6-Fig. 4.1), oil coolers (on GA only) (14 and 15-Fig. 1.3) and gearbox (2-Fig. 4.1). GAW are additionally provided with a plug in the oil flexible between the oil filter housing and the oil coolers. Tighten the plugs after draining.
4. Remove filler plug (5-Fig. 3.11). Fill the air receiver with oil until the level reaches the filler opening. Reinstall and tighten plug (5-Fig. 3.11). Tighten the vent plugs (5-Fig. 1.3/2-Fig. 1.4).
5. Run the compressor loaded for a few minutes to allow the oil cooler by-pass valve to open. Stop the compressor and wait a few minutes.
6. Depressurize the system by unscrewing plug (5-Fig. 3.11) only one turn to permit any pressure in the system to escape. Remove the plug. Fill the air receiver with oil until the level reaches the filler opening. Tighten plug (5-Fig. 3.11).
7. After carrying out the service actions of the related service plan, the service warning must be reset. See also section 4.1.

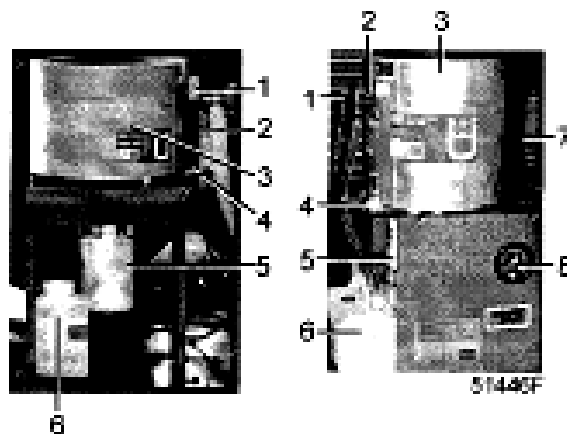
4.5 Oil filter change

1. Stop the compressor, switch off the voltage and depressurize by unscrewing plug (5-Fig. 3.11) only one turn to permit any pressure in the system to escape.
2. Provide an oil pan to avoid possible oil spilling. Remove oil filters (1-Fig. 3.11).
3. Clean the filter seats on the manifold. Oil the gaskets of the new filters and screw them into place until the gaskets contact their seats, then tighten by hand.
4. Tighten filler plug (5-Fig. 3.11).
5. After carrying out the maintenance operations of the related service plan, the service warning must be reset. See also section 4.1.

4.6 Storage after installation

Run the compressor, e.g. twice a week, until warm. Load and unload the compressor a few times to operate the components of the unloading/loading system.

If the compressor is going to be stored without running from time to time, protective measures must be taken. Consult Atlas Copco.



- | | | | |
|---|------------------|---|----------------|
| 1 | Water outlet | 5 | Filter |
| 2 | Oil outlet | 6 | Oil collector |
| 3 | Water vessel | 7 | Pre-filter |
| 4 | Condensate inlet | 8 | Pressure gauge |

Fig. 5.1 OSD90/015 oil separators (optional)

The system includes an OSD015 oil/water separator (shown at the left) connected to the condensate trap downstream of the air cooler. The condensate is led from the condensate trap through inlet (4) and filter (5) towards water vessel (3) where the oil rises due to the difference in specific mass. The water flows through condensate outlet (1) to the outside of the bodywork. The oil flows into collector (6), which must be emptied regularly.

For Full-feature compressors, the system also includes an OSD90 (shown at the right) connected to the dryer condensate trap. OSD90 are additionally provided with a pre-filter (7) and a pressure gauge (8).

Service procedure

1. Stop the compressor, press emergency stop button (S2-Fig. 3.8) and switch off the voltage.
2. Close the outlet valve and open the valve underneath the air cooler condensate trap.
3. Oil the gaskets of the new filters, fill the filters with water and fit them.
4. On OSD90, unscrew the pre-filter housing, fit a new pre-filter and fit the housing using a new O-ring.
5. Inspect the strainer/restrictors at the inlet of the separate vessels, clean and reinstall them. Close the valve underneath the condensate trap.

6 PROBLEM SOLVING

Warning Before carrying out any maintenance, repair or adjustment, stop the compressor, press emergency stop button (S2-Fig. 3.8) and switch off the voltage. Close the air outlet valve and open the manual condensate drain valve(s) (1).

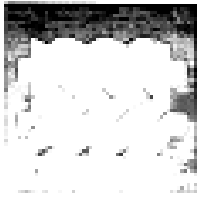
Take precautions to avoid an accidental restart. Apply all relevant safety precautions, including those mentioned in this book.

Faults and suggested remedies

1. A shut-down warning message appears on the display LED (7-Fig. 3.8) will light up indicating that the temperature at the outlet of the compressor elements is too high. See below. The message disappears as soon as the cause of the trouble is remedied.
 - a. Check and correct as necessary
2. Unit is shut down
 - a. LED (7-Fig. 3.8) will blink indicating either that the outlet temperature is too high (see below) or that the motor overload relay has tripped. Consult the "User manual for Elektronikon regulator" to remedy the trouble and to reset the message (section "Submenu STATUS DATA").
3. Condensate is not discharged from condensate trap(s) during loading
 - a. Discharge pipe of condensate trap clogged
 - a. Check and correct as necessary
 - b. Float valve of condensate trap(s) malfunctioning
 - b. Remove float valve assembly, clean and check
5. Compressor air delivery or pressure below normal
 - a. Air consumption exceeds air delivery of compressor
 - a. Check equipment connected
 - b. Choked air filters
 - b. Replace filters
 - c. Air leakage
 - c. Check and correct
6. Compressor element outlet temperature or delivery air temperature above normal
 - a. Insufficient cooling air
 - a. Check for cooling air restriction. Improve ventilation of compressor room. Avoid recirculation of cooling air
 - b. On G.A.W., cooling water temperature too high or flow too low
 - b. See section 7.5. Increase water flow and check temperature

Footnote chapter 6

- 1) On compressors with optional (OSD) separator, a valve is fitted underneath the condensate trap. Close the valve after repairing.



Atlas Copco Stationary Air Compressors

GA200 - GA250 - GA315

GA200 W - GA250 W - GA315 W

Parts list



- Copyright 2002, Atlas Copco Airpower n.v., Antwerp, Belgium.
Any unauthorized use or copying of the contents of any part thereof is prohibited. This applies in particular to trademarks, model denominations, part numbers and drawings.
- Use only **authorized parts**. Any damage or malfunction caused by the use of unauthorized parts is not covered by Warranty or Product Liability.

No. 2938 1292 01

www.atlascopco.com

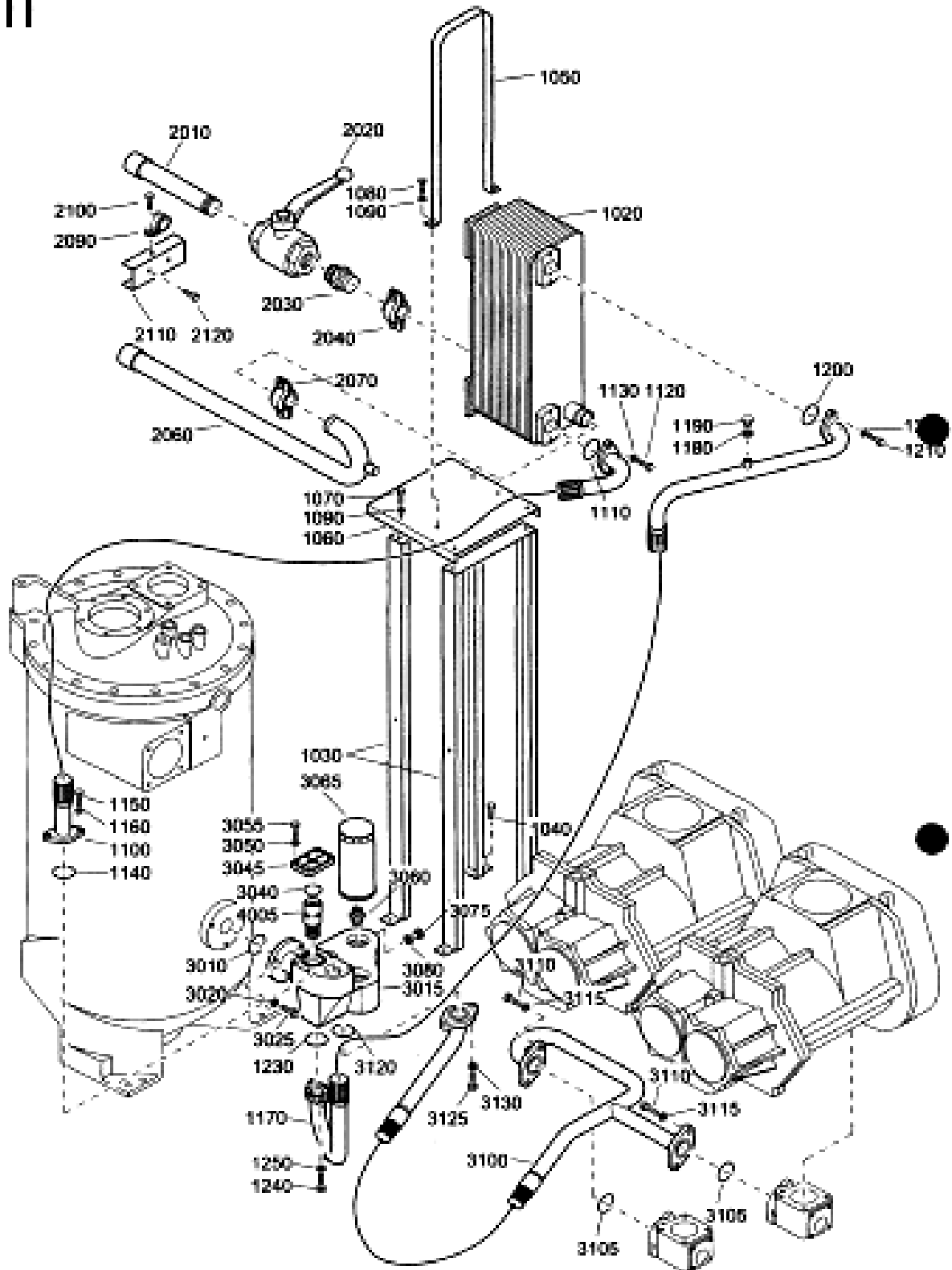
Registration code: APC 02/00/789 / 29 / 0903

Replaces No. 2938 1292 00

2002-05

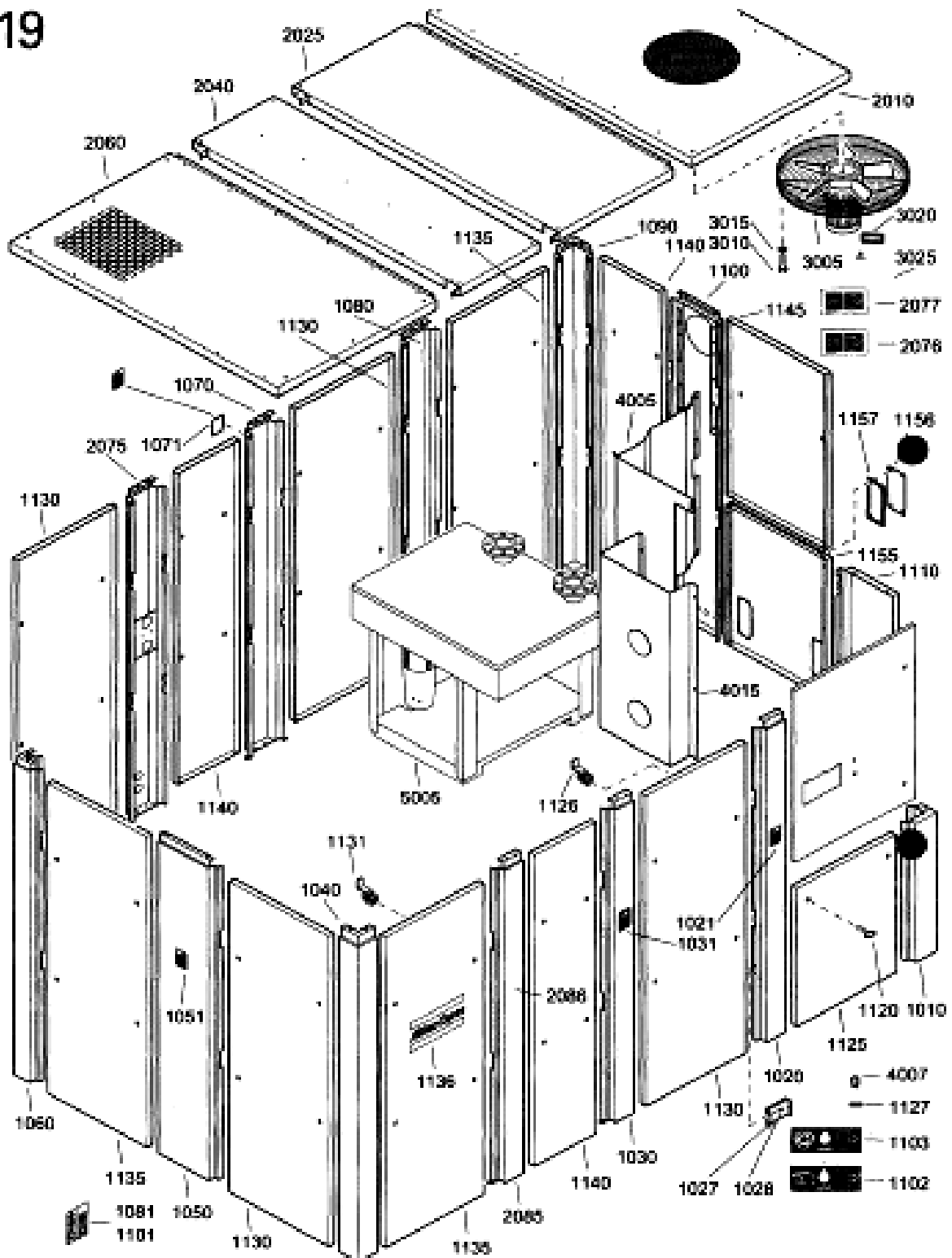
Atlas Copco

11

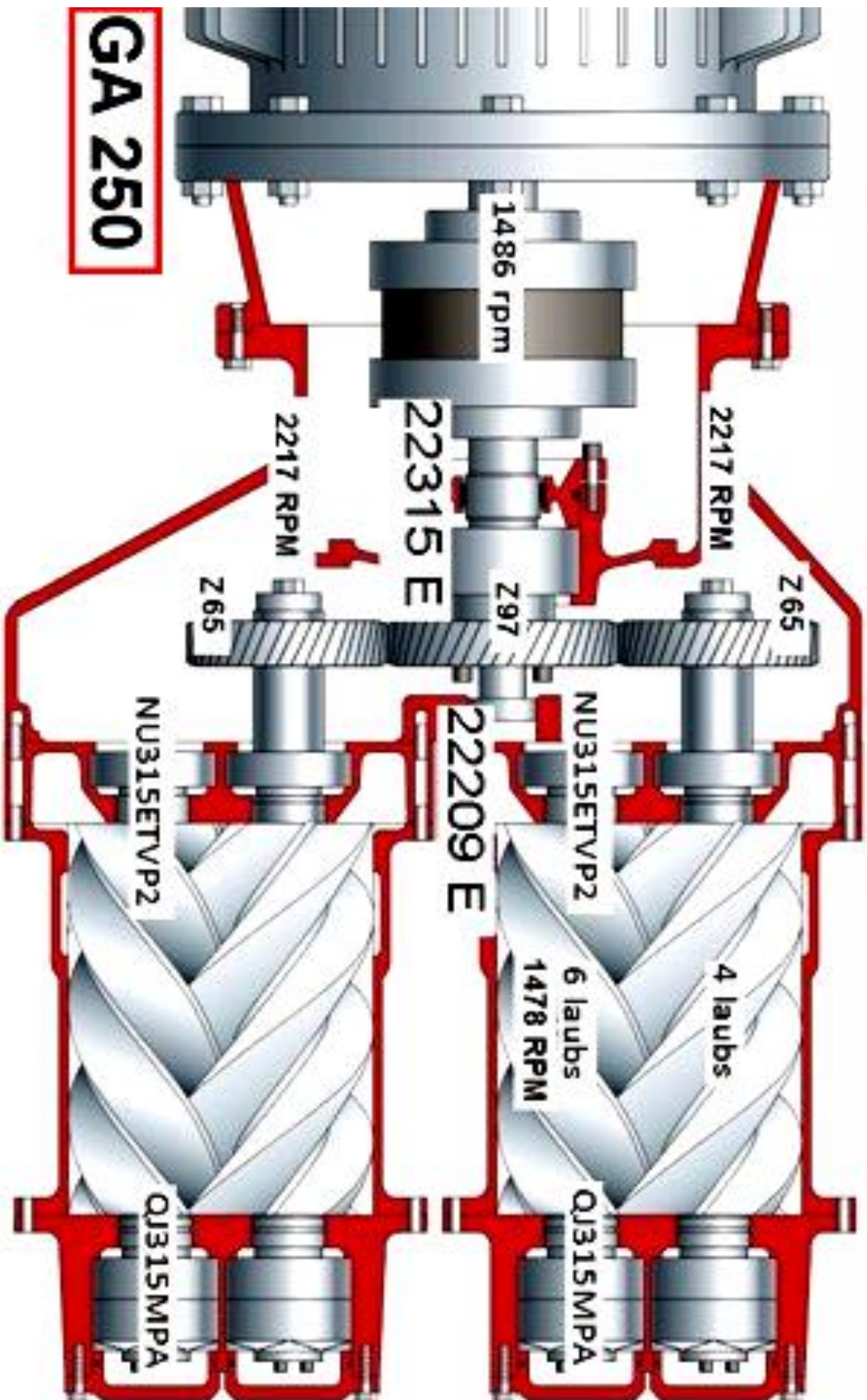


61523_00

19



64235_10



GA 250