

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira de Béjaïa



Faculté technologies
Département génie électrique
Mémoire de Master
Eléctromécanique
Option : Eléctromécanique

Thème :

Etude et dimensionnement d'une station
d'air comprimé, CEVITAL (BEJAIA)

Réalisé par :

BENSAFIA Asseles
ADDAJ Massinissa

Encadré par :

Mr S. TAMALOUZT (U. A/Mira Béjaïa)
Mr K. DJERMOUNI (U. A/Mira Béjaïa)

Promotion 2024–2025

Populaire et Démocratique Algérienne République
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Déclaration sur l'honneur
Engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans
l'élaboration d'un travail de recherche

Arrêté ministériel n° 1082 du 27 décembre 2020 (*)
fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat

Je soussigné,

Nom : BENSAFIA

Prénom : ASSELES

Matricule : 2020 3300 7988

Spécialité et/ou Option : ELECTRO MECANIQUE

Département: Genie Electrique

Faculté: Sciences et Technologies

Année universitaire : 2024 / 2025

et chargé de préparer un mémoire de (Licence, Master, Autres à préciser) : Master

Intitulé: Etude et dimensionnement d'une station d'air comprimé à CEVITAL (BÉJAÏA)

déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Béjaïa le
08/07/2025

Signature de l'intéressé

(*) Lu et approuvé

Populaire et Démocratique Algérienne République
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Déclaration sur l'honneur
Engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans
l'élaboration d'un travail de recherche

Arrêté ministériel n° 1082 du 27 décembre 2020 (*)
fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat

Je soussigné,

Nom : ...Adda...g.....

Prénom : ...Mariantina.....

Matricule : ...2020.330.07138.....

Spécialité et/ou Option :EL M.....

Département:génie électrique.....

Faculté:technologie.....

Année universitaire : ...24/25

et chargé de préparer un mémoire de (Licence, Master, Autres à préciser) : ...Master.....

Intitulé:...Etude et dimensionnement d'une station
d'air comprimé, CEVITAL (Béjaia):.....

déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Béjaïa le
09/07/2021

Signature de l'intéressé

(*) Lu et approuvé

.....

REMERCIEMENTS

Nous remercions tout d'abord Dieu, qui nous a donné la force et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce modeste travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude à l'ensemble des enseignants du département de Génie électrique, Et plus particulièrement à nos encadrants, Monsieurs S. TAMALOUZT et K. DJERMOUNI, pour leurs accompagnements, leurs conseils avisés et l'intérêt constant qu'ils ont porté à notre projet.

Nos sincères remerciements vont également à Monsieur K.ALLAB et ses collègues, du département de conditionnement d'huile, pour le temps qu'il nous a consacré et les efforts qu'il a déployés pour nous soutenir.

Nous remercions également les membres du jury pour le temps accordé à la lecture et à l'évaluation de ce mémoire.

Enfin, nous adressons nos remerciements à toutes les personnes, de près ou de loin, qui ont contribué à l'élaboration de ce travail de fin d'études.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À ma mère, véritable source de lumière, qui m'a donné la vie, offert son amour, sa tendresse et m'a toujours insufflé le courage d'avancer.

À mon père, dont le soutien indéfectible et les précieux conseils m'ont permis de franchir les étapes de mon parcours.

Je vous remercie du fond du cœur pour votre présence, votre amour inconditionnel et votre soutien tout au long de mes années d'études.

A mes sœurs, Amira, Imane, Asma, Khadija

A tout ma famille ADDAJ

A mon binôme Asseles

A tous les amis dont j'ai partagé avec eux les bons moments, Anis, Houssam, Tykynas, Raouf, Salas, Aymen, Wassim, Massinissa, Djamil, Nacer.

A ceux qui m'ont aidé de pris ou de loin.

MASSINISSA

Dédicace

J'ai toujours pensé faire offrir quelque chose à mes parents en signe de reconnaissance pour tout ce qu'ils ont consenti comme efforts rien que pour mon bonheur et ma réussite.

A mon frère Azal

A mes sœurs, Lahna, Theleli, Tinhinane

A tout ma famille Bensafia

A mon binôme Massinissa

A tous les ami(e)s dont j'ai partagé avec eux les bons moments, Adlane, Amir, Toufik, Amine, Salas, Mayas

A ceux qui m'ont aidé de pris ou de loin.

ASSELES

Table des matières

Table des figures	xi
Liste des tableaux	xiii
Liste des Acronymes	xv
Introduction Générale	1
Présentation du complexe Cevital	3
.1. Introduction	3
.2. Présentation du complexe Cevital	3
.3. Présentation de l'unité conditionnement d'huile	3
.4. Service conditionnement d'huile	4
I. Généralités sur l'air comprimé et les compresseurs	6
I.1. Introduction	6
I.2. Air comprimé	6
I.2.1. Notion sur l'air	6
I.2.2. Notion sur l'air comprimé	7
I.2.3. Utilisation de l'air comprimé	7
I.2.4. Avantages de l'air comprimé	7
I.2.5. Inconvénients de l'air comprimé	8
I.3. Compresseurs	8
I.3.1. Définition	8
I.3.2. Classification des compresseurs	8
I.3.3. Compresseurs Dynamiques	9
I.3.4. Compresseurs volumétriques	11
I.3.5. Avantages et inconvénients des compresseurs	16
I.3.6. Critères de choix d'un compresseur	17
I.4. Conclusion	17

II. Description de la station d'air comprimé	18
II.1. Introduction	18
II.2. Description générale	18
II.3. Les composants de la station	19
II.3.1. Compresseur à vis bi-étage(ZR)	19
II.3.2. Compresseur a piston bi-étage (2DN2)	22
II.4. Sécheur	25
II.4.1. Principe de fonctionnement	25
II.5. Conclusion	29
III. Etude et dimensionnement de la station d'air comprimé	30
III.1. Introduction	30
III.2. Problématique	30
III.3. But de dimensionnement de la station d'air comprimé	31
III.4. Principe de dimensionnement	31
III.5. Partie theorique	31
III.5.1. Données Théorique fournies par l'entreprise	32
III.5.2. Débit massique ajusté	33
III.5.3. Puissance du Compresseur à Vis (ZR 400)	33
III.5.4. .Puissance du Compresseur à Piston (2DN2)	34
III.5.5. Consommation Électrique du Sécheur	35
III.5.6. Consommation Électrique et impact énergétique	35
III.5.7. Calculs électriques associés	35
III.6. Partie pratique	36
III.6.1. Données pratiques fournies par l'entreprise	36
III.6.2. Puissance réelle du Compresseur à Vis (ZR 400)	37
III.6.3. Puissance réelle du Compresseur à Piston (2DN2)	38
III.6.4. Consommation Électrique du Sécheur	39
III.6.5. Consommation électrique et impact énergétique	40
III.6.6. Calculs électriques associés	40
III.7. Bilan comparatif des résultats obtenus	41
III.8. Dimensionnement d'installation électrique	41
III.8.1. Caractéristiques des Équipements (Puissances Nominales et Actives)	42
III.8.2. Calculs des Courants Nominaux et puissances Réactives des Charges	42

III.8.3. Bilan des Puissances Installées	43
III.8.4. Calcul des Puissances Utilisées et Facteur de Puissance	44
III.9. Dimensionnement du Transformateur	46
III.9.1. Choix de la Puissance Apparente Normalisée	46
III.9.2. Rapport de Transformation et Courants	46
III.9.3. Caractéristiques Techniques du Transformateur	47
III.10. Dimensionnement des Câbles	48
III.10.1. Critère d'Échauffement (Section S_j)	48
III.10.2. Vérification de la chute de tension ($\Delta U\%$)	50
III.10.3. Tenue au Court-Circuit (Section S_{cc})	50
III.11. Sélection des Dispositifs de Protection	51
III.11.1. Choix des Disjoncteurs par Charge	51
III.11.2. Coordination Contacteurs et Relais Thermiques	53
III.12. Conclusion	54
 IV. Le redimensionnement de la station d'air comprimé	55
IV.1. Introduction	55
IV.2. Rechercher des solution	55
IV.3. Discuter les solutions	56
IV.4. Le redimensionnement avec l'intégration de VSD	56
IV.4.1. Définition de VSD (Variable Speed Drive)	56
IV.4.2. Nouveaux Paramètres de Fonctionnement	57
IV.4.3. Impact de la pression sur la puissance absorbée	57
IV.4.4. la puissance de sécheur	58
IV.4.5. La consommation électrique	58
IV.4.6. courants de sécheur et piston	58
IV.4.7. La nouvelle vitesse	59
IV.4.8. Nouveau bilan	59
IV.5. Identification des Installations et Charges Électriques	60
IV.5.1. Caractéristiques des Équipements (Puissances Nominales et Actives)	60
IV.5.2. Calculs des Courants Nominaux et puissances Réactives des Charges	60
IV.5.3. Bilan des Puissances Installées	61
IV.5.4. Calcul des Puissances Utilisées et Facteur de Puissance	62

IV.6. Dimensionnement du Transformateur	64
IV.6.1. Choix de la Puissance Apparente Normalisée	64
IV.6.2. Rapport de Transformation et Courants	65
IV.6.3. Caractéristiques Techniques du Transformateur	66
IV.7. Dimensionnement des Câbles	67
IV.7.1. Critère d'Échauffement (Section S_j)	67
IV.7.2. Vérification de la chute de tension ($\Delta U\%$)	68
IV.7.3. Tenue au Court-Circuit (Section S_{cc})	69
IV.8. Sélection des Dispositifs de Protection	70
IV.8.1. Choix des Disjoncteurs par Charge	70
IV.8.2. Coordination Contacteurs et Relais Thermiques	72
IV.9. Conclusion	73
Conclusion général	74
Bibliographie	83

Table des figures

.1. L'organigramme de l'unité de conditionnement d'huile	5
I.1. Rotor de compresseur axial	10
I.2. compresseur centrifuge	11
I.3. compresseur à piston	12
I.4. compresseur à membranes	13
I.5. compresseur à palettes	14
I.6. compresseur à vis	15
I.7. compresseur à lobes	16
II.1. Vue générale des circuits ZR	20
II.2. Vue générale des circuits 2DN2	23
II.3. Vue générale des circuits de sécheur MD	26
A.1. facteur de simultanéité K_s pour coffrets divisionnaires, terminaux (norme NF C 15-100 paragraphe 311.3)	75
A.2. facteur de simultanéité K_s pour tableau général, tableau de distribution secondaire (norme NF C 63-410) si les conditions sont inconnues.	75
A.3. chutes de tension admissibles dans les réseaux BT	76
A.4. Puissances apparentes normalisées des transformateurs MT/BT triphasés et intensités nominales correspondantes.	76
A.5. Caractéristiques des transformateurs MT/BT.	77

A.6. Mode de pose (lettre de sélection).	77
A.7. Facteur de correction K_1	77
A.8. Facteur de correction K_2	78
A.9. Facteur de correction K_3	78
A.10. Détermination de la section minimale.	79
A.11. Valeurs du courant de court-circuit Ik_3 (kA) (aval) en fonction de la longueur, la section et le Ik_3 (amont).	80
A.12. Schéma électrique de l'installation.	81
A.13. Schéma électrique partiel de commande électrique et de moteur.	82

Liste des tableaux

I.1.	Comparaison des types de compresseurs	16
II.1.	Nomenclature des composants du circuit	21
II.2.	Correspondance des termes techniques	23
II.3.	Nomenclature complète des composants de sécheur MD	27
III.1.	Plaque signalétique de compresseur ZR400	32
III.2.	Plaque signalétique de compresseur 2DN2	32
III.3.	Comparaison des paramètres théoriques et pratiques	41
III.4.	résultats des calculs des Courants et puissances	43
III.5.	Bilan des puissances installées	44
III.6.	Calcul des Puissances Utilisées et Facteur de Puissance	45
III.7.	Calcul des Puissances Totales de l'Installation	45
III.8.	Caractéristiques Techniques du Transformateur	48
III.9.	choix des sections S_j des câbles par rapport aux critères	49
III.10.	Vérification des sections par rapport au court circuits	51
IV.1.	Comparaison des paramètres théoriques et pratiques après le VSD	60
IV.2.	Calculs des Courants Nominaux et puissances Réactives après VSD	61
IV.3.	Bilan des puissances installées après VSD	62
IV.4.	Calcul des Puissances Utilisées et Facteur de Puissance après VSD	63

IV.5. Calcul des Puissances Totales de l'Installation après VSD	64
IV.6. Caractéristiques du transformateur adéquat pour l'installation après VSD	67
IV.7. choix des sections S_j câbles par rapport aux critères après VSD	68
IV.8. Vérification des sections par rapport au court circuits après VSD	70

Liste des Acronymes

Symbole	Description	Unité
Nm ³ /h	Norme mètre cube par heure	Nm ³ /h
Nm ³ /S	Norme mètre cube par seconde	Nm ³ /S
Pa	Pascal	N/m ²
bar	Bar (1 bar = 10 Pa)	bar
K	Kelvin	K
C	Degré Celsius	C
J/kg.K	Constante des gaz parfaits	J/(kg·K)
η	Rendement isentropique	- (sans unité)
γ	Coefficient adiabatique	- (souvent 1.4)
P_1	Pression d'entrée (étage 1)	Pa ou bar
P_2	Pression de sortie (étage 2)	Pa ou bar
P_{at}	Puissance active totale	W
Q_{at}	Puissance réactive totale	var
P_{ut}	Puissance utile totale en W	W
Q_{ut}	Puissance réactive utilisée totale en var	var
S_{ut}	Puissance apparente totale utilisée en VA	VA
S_{at}	Puissance apparente totale	VA
P_n	Puissance nominale	W ou kW
P_a	Puissance active	W ou kW
P_u	Puissance utile	W ou kW
Q_a	Puissance réactive	var
S	Puissance apparente	VA
S_{ut}	Puissance apparente utilisée	VA
P_{piston}	Puissance absorbée par le compresseur à piston	kW
I_{bz}	Courant d'emploi total en A	A

Symbol	Description	Unité
T_1	Température d'entrée	K ou C
T_2	Température de sortie	K ou C
I_n	Courant nominal	A
I_b	Courant d'emploi	A
I_{ad}	Courant admissible du câble	A
I_{cc}	Courant de court-circuit	kA
I_z	Intensité admissible réelle	A
I_{bt}	Courant total d'emploi	A
I_1	Courant primaire du transformateur	A
I_2	Courant secondaire du transfo	A
K_u	Coefficient d'utilisation	0.75 (moteurs)
K_s	Coefficient de simultanéité	
K	Coefficient de matériau (cuivre)	
K1, K2, K3	Facteurs de correction (pose, chaleur, etc.)	
ZR 400	Compresseur à vis (Atlas Copco ZR 400)	
2DN2	Compresseur à piston (Atlas Copco 2DN2)	
MD	Sécheur (Atlas Copco MD)	
VSD	Variable Speed Drive (variateur de vitesse)	-
Psouhaité	Pression de sortie souhaitée en bar	bar
$P_{initial}$	Puissance réelle du moteur avant VSD en kW	kW
tr/min	Tours par minute (vitesse de rotation)	tr/min
R_t	Résistance du transformateur	mΩ
X_t	Réactance du transformateur	mΩ
s_n	Puissance assignée du transformateur	kVA
U_{cc}	Tension de court-circuit (du transformateur)	
I_1	Courant primaire du transformateur	A
I_2	Courant secondaire du transformateur	A
S_{cc}	Section de câble nécessaire pour supporter un court-circuit	mm ²
t_c	Durée du défaut court-circuit (généralement 1 seconde)	s

Symbol	Description	Unité
$\Delta U\%$	Pourcentage de chute de tension admissible	%
S_z	Section admissible corrigée en mm	mm^2
PVC2 / PR2	Type d'isolant des câbles	
C_p	la chaleur spécifique à pression constante	
r	la constante des gaz parfaits pour l'air sec	J/(kg · K)

Introduction Générale

L'air comprimé constitue une forme d'énergie potentielle largement utilisée dans la majorité des procédés industriels. Ses caractéristiques en font un élément indispensable dans la mise en œuvre de nombreuses applications. La production de cet air comprimé repose principalement sur l'utilisation des compresseurs. Un compresseur est une machine permettant d'élever la pression de l'air, en le comprimant d'une pression basse vers une pression plus élevée. [1]

On distingue principalement deux types de compresseurs : les compresseurs volumétriques et les turbocompresseurs. [2]

Dans l'industrie, l'air comprimé est une utilité essentielle mais énergétiquement coûteuse. Sa production soulève des enjeux de performance, notamment en raison des pertes liées à la compression, au traitement et à la distribution. L'optimisation de son efficacité, en évitant les surdimensionnements et les surconsommations, constitue donc un défi majeur pour les installations industrielles. [3]

Ce mémoire s'inscrit dans une démarche d'optimisation énergétique. Il porte sur l'étude et le redimensionnement d'une station d'air comprimé du complexe CEVITAL à Béjaïa, comprenant un compresseur à vis, un compresseur à piston et un sécheur. L'analyse a mis en évidence un écart notable entre les puissances théoriques et réelles, révélant un surdimensionnement du compresseur à piston. Cette situation a conduit à envisager des améliorations techniques et énergétiques. La problématique principale abordée est : comment adapter le dimensionnement d'une station d'air comprimé aux besoins réels, en réduisant les pertes énergétiques sans compromettre la fiabilité ni la qualité de l'air comprimé ? [4]et [5]

Cette installation garantit non seulement un débit d'air optimal, mais aussi une qualité d'air conforme aux standards industriels, répondant ainsi aux besoins exigeants du site.

Ce mémoire sera structuré en trois chapitres. Le premier présentera les généralités sur l'air comprimé, en détaillant les procédés de production et de distribution. Le deuxième chapitre décrira le fonctionnement des composants utilisés dans la station de l'entreprise, en mettant l'accent sur leur principe de fonctionnement ainsi que sur les dispositifs de sécurité. Le troisième chapitre développe l'étude théorique et pratique de la station, avec une analyse énergétique, une évaluation des écarts de performances et un premier dimensionnement électrique. Enfin, le quatrième chapitre propose un redimensionnement optimisé de l'installation, incluant l'intégration d'un variateur de vitesse (VSD) et une nouvelle configuration électrique. L'étude se conclura par une synthèse générale des travaux réalisés.

Présentation du complexe Cevital

.1. Introduction

Cevital est le plus grand complexe agroalimentaire en Algérie. Dans ce chapitre, nous allons parler de son histoire, de ses différentes activités industrielles, de ses principaux objectifs, ainsi que de son organigramme. Enfin, nous présenterons l'unité de conditionnement d'huile. [3]

.2. Présentation du complexe Cevital

Cevital est un ensemble industriel intégré, principalement axé sur le secteur agroalimentaire, notamment le raffinage de l'huile et du sucre, ainsi que la production de produits dérivés. Créeée en 1998 avec des fonds privés, Cevital SPA est la première entreprise privée spécialisée dans le raffinage des huiles brutes en Algérie. Son complexe de production est situé au port de Béjaïa. Au fil des années, l'entreprise a connu une croissance importante, ce qui lui a permis de renforcer sa position de leader dans le domaine agroalimentaire. Le marché national a un besoin estimé à 1200 tonnes d'huile par jour, soit environ 12 litres par personne et par an. Les capacités actuelles de production de Cevital atteignent 1800 tonnes par jour, ce qui génère un excédent de 600 tonnes par jour. Aujourd'hui, Cevital Agroalimentaire est considéré comme le plus grand complexe privé en Algérie. [3]

.3. Présentation de l'unité conditionnement d'huile

L'unité de conditionnement d'huile de Cevital comprend actuellement six (06) lignes de production : deux (02) lignes pour les bouteilles de 5 litres, une ligne pour

les bouteilles de 4 ou 5 litres, une ligne pour les bouteilles de 1 litre, une ligne pour les bouteilles de 2 litres, et une ligne pour les bouteilles de 1,8 litre. Chaque ligne est équipée de plusieurs machines, chacune ayant un rôle spécifique pour obtenir un produit final emballé et prêt à être commercialisé. Le conditionnement commence par la transformation du PET (polyéthylène téréphthalate) en préformes grâce à des presses à injection de différentes capacités. [3]

Les préformes passent ensuite par les étapes suivantes :

- Souffleuse : transforme les préformes en bouteilles à partir de leur forme tubulaire, fabriquées dans l'unité plastique.
- Convoyeur aéraulique rafale : transporte les petites bouteilles en PET de la souffleuse vers la remplisseuse à l'aide d'un flux d'air propre.
- Remplisseuse et bouchonneuse : la remplisseuse remplit les bouteilles avec l'huile raffinée, tandis que la bouchonneuse, intégrée à la remplisseuse, assure le bouchage immédiat après le remplissage. Les bouchons sont fournis par une autre unité.
- Etiqueteuse : colle les étiquettes autour des bouteilles, avec les informations sur le produit et le fabricant.
- Dateur : indique la date et l'heure de fabrication. Il peut utiliser soit un jet d'encre, soit un marquage laser.
- Déviateur de bouteilles : répartit les bouteilles sur plusieurs couloirs de façon homogène pour les regrouper en paquets.
- Fardeuse : enveloppe les paquets de bouteilles dans un film en silicone.
- Poseuse de poignées : utilisée uniquement sur les lignes de 4 ou 5 litres, elle fixe les poignées sur les bouteilles.
- Palettiseur : empile les paquets sur des palettes, étage par étage.
- Banderoleuse : enroule les palettes avec un film en silicone pour assurer leur stabilité pendant le transport.
- Tapis roulant : assure le déplacement des paquets de la sortie de la fardeuse vers le palettiseur.

4. Service conditionnement d'huile

Le service conditionnement d'huile est constitué de plusieurs services qui sont représentés selon l'organigramme suivant :

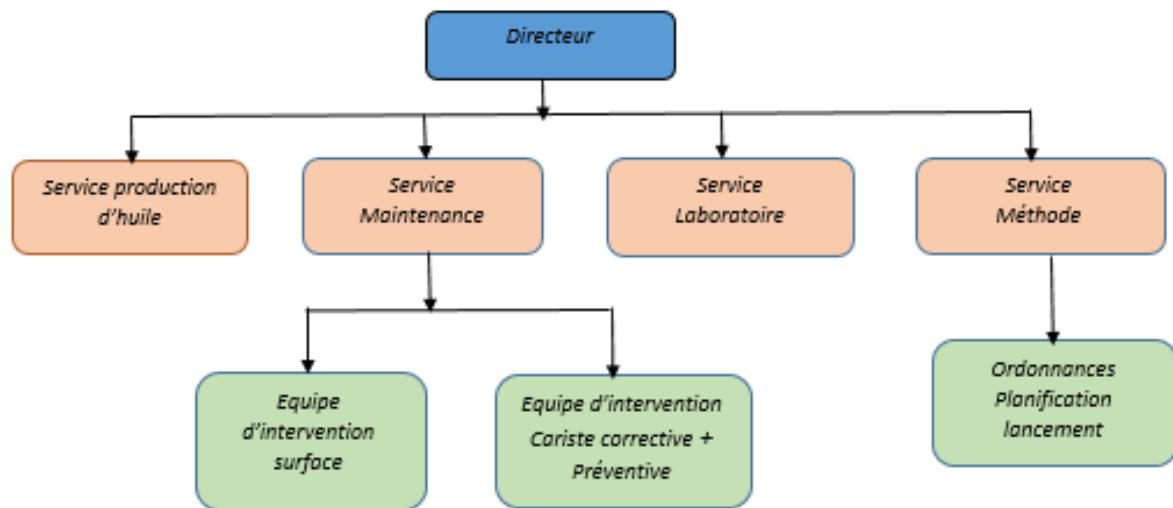


FIGURE .1.: L'organigramme de l'unité de conditionnement d'huile

Chapitre I.

Généralités sur l'air comprimé et les compresseurs

I.1. Introduction

L'air comprimé est une forme d'énergie très utilisée dans l'industrie pour alimenter divers équipements et systèmes. Il est produit à l'aide des compresseurs, des machines qui augmentent la pression de l'air en réduisant son volume. Selon les besoins en pression et en débit, différents types de compresseurs peuvent être utilisés. La maîtrise de la production d'air comprimé est essentielle pour garantir l'efficacité, la fiabilité et la sécurité des installations industrielles.

I.2. Air comprimé

I.2.1. Notion sur l'air

L'air est le fluide gazeux que nous respirons. Il est composé de substances très diverses. Dont les éléments majoritaires sont : [1]

- 78,09% d'azote.
- 20,95% d'oxygène.
- 0,93% d'argon.
- d'une autre variété de gaz en traces.

I.2.2. Notion sur l'air comprimé

L'air comprimé est l'air atmosphérique dont le volume a été réduit à l'aide d'un compresseur, ce qui en augmente la pression. Il est largement utilisé dans l'industrie comme source d'énergie ou moyen de transport de matière (soufflage, nettoyage, commande de vérins, etc...). L'air comprimé est apprécié pour sa propreté, sa sécurité, et sa polyvalence. C'est une source d'énergie qui n'est combustible ni polluante.

I.2.3. Utilisation de l'air comprimé

L'air comprimé est largement utilisé dans l'industrie comme source d'énergie propre, sûre et efficace. Il sert principalement à alimenter les outils pneumatiques, actionner des vérins, commander des systèmes automatisés, transporter des matériaux en vrac ou encore effectuer des opérations de nettoyage et de refroidissement. Grâce à sa polyvalence, il est présent dans de nombreux secteurs tels que l'agroalimentaire, l'automobile, la pharmaceutique ou l'électronique.

I.2.4. Avantages de l'air comprimé

- **Disponible en quantité illimitée** : l'air est une ressource gratuite et omniprésente.
- **Facilement compressible et élastique** : il peut stocker de l'énergie sous pression.
- **Souplesse d'utilisation** : l'air comprimé peut actionner des mécanismes ou alimenter des circuits de commande.
- **Facilité de transport, de stockage et de régulation** : il circule aisément dans les réseaux.
- **Vitesse de déplacement élevée** : environ 10 fois plus rapide que les fluides hydrauliques.
- **Pression et volume modulables** : selon la température
- **Sécurité maximale** : non toxique, non inflammable et sans danger en cas de fuite.
- **Equipements légers** : les composants sont souvent en plastique ou en alliages d'aluminium.

I.2.5. Inconvénients de l'air comprimé

- **Rendement énergétique faible** : le processus de compression consomme beaucoup d'énergie (jusqu'à 80% peuvent être perdus sous forme de chaleur).
- **Coût élevé de production** : l'électricité nécessaire pour produire l'air comprimé représente un coût important.
- **Problèmes liés à l'humidité** : sans traitement (sécheur, filtres), l'eau présente peut endommager les équipements.
- **Nuisances sonores** : les compresseurs et les fuites dans le réseau peuvent générer un bruit important.
- **Maintenance du réseau** : les fuites d'air sont fréquentes et entraînent des pertes énergétiques si elles ne sont pas détectées à temps.
- **Impact environnemental indirect** : bien que l'air lui-même soit propre, l'énergie utilisée pour sa compression peut provenir de sources polluantes.
- **Moins précis que l'hydraulique** : pour certaines applications qui demandent un contrôle fin de la force ou de la position, l'air comprimé est moins performant.

I.3. Compresseurs

I.3.1. Définition

Un compresseur est une machine dont le rôle est d'augmenter la pression d'un gaz, généralement de l'air, en réduisant son volume. Il aspire l'air à pression atmosphérique, le comprime, puis le refoule à une pression plus élevée. Les compresseurs sont largement utilisés dans l'industrie pour produire de l'air comprimé, qui sert de source d'énergie ou de moyen de transmission de puissance dans les systèmes pneumatiques. [2]

I.3.2. Classification des compresseurs

Les compresseurs peuvent être classés selon plusieurs critères techniques, en fonction de leur conception et de leur utilisation. Voici les principales classifications : [6]

Selon le principe de fonctionnement :

- Compresseurs volumétriques : la compression est obtenue par la réduction du volume d'un espace fermé.
- Compresseurs dynamiques : la compression résulte de l'accélération puis du ralentissement du gaz (par effet cinétique).

Selon le type de mouvement des pièces mobiles :

- Mouvement linéaire : comme dans les compresseurs alternatifs à piston.
- Mouvement rotatif : comme dans les compresseurs à vis, à palettes ou centrifuges.

Selon le type de fluide comprimé :

- Compresseurs d'air : les plus couramment utilisés dans les installations pneumatiques industrielles.
- Compresseurs de gaz : conçus pour des gaz spécifiques (azote, oxygène, gaz réfrigérants, etc...), souvent sous haute pression.

On distingue deux familles de compresseurs : Les compresseurs volumétriques et dynamiques. [2]

I.3.3. Compresseurs Dynamiques

Du point de vue de l'écoulement du fluide, les compresseurs dynamiques se classent en deux catégories : les compresseurs axiaux et les compresseurs centrifuges. Ces derniers augmentent l'énergie du gaz comprimé en exploitant la force centrifuge générée par la rotation des roues munies d'aubes. Leur caractéristique essentielle réside dans la continuité de l'écoulement du gaz entre l'entrée et la sortie. À l'entrée de la roue, le gaz subit une compression accompagnée d'une augmentation de son énergie cinétique, laquelle est ensuite convertie en énergie potentielle par les éléments fixes du compresseur, appelés statots. [7]

I.3.3.1. Compresseurs axiaux

Les compresseurs axiaux font partie de la famille des turbocompresseurs. Dans ce type de compresseur, l'augmentation de la pression du fluide résulte principalement

de la variation de vitesse du gaz (énergie cinétique). Le travail mécanique fourni par le moteur d'entraînement est transmis aux aubes rotatives du compresseur. Ce mouvement transforme l'énergie mécanique en énergie cinétique du gaz, qui est ensuite convertie en pression à travers les différents étages. La Figure I.1 illustre un exemple de rotor utilisé dans ce type de compresseur. [7]



FIGURE I.1.: Rotor de compresseur axial

I.3.3.2. Compresseur centrifuge

Le compresseur centrifuge est une turbomachine dans laquelle le gaz s'écoule principalement dans une direction radiale (de l'axe vers l'extérieur). La Figure I.2 montre un exemple typique de compresseur centrifuge.

L'augmentation de pression du gaz est obtenue grâce à l'énergie transmise par les aubes d'une roue tournante (ou roue centrifuge). Ces aubes, disposées sur la surface latérale de la roue, forment un aubage qui canalise le fluide à travers des passages spécifiques. En tournant, la roue entraîne le gaz vers l'extérieur à grande vitesse, lui apportant ainsi de l'énergie cinétique. Cette énergie est ensuite convertie en pression : [7]

- Une partie directement dans la roue (zone rotative).
- L'autre partie dans le stator, au niveau des diffuseurs, où le gaz est ralenti, ce qui augmente encore sa pression.



FIGURE I.2.: compresseur centrifuge

I.3.4. Compresseurs volumétriques

Cette famille est divisée en deux catégories alternatifs et rotatifs. [2]

- Alternatifs (à piston et à membrane).
- Rotatifs (à palettes, à vis et à lobes).

I.3.4.1. Compresseurs Alternatifs

Un compresseur alternatif est un dispositif de type volumétrique dans lequel la compression d'un gaz est assurée par le mouvement alternatif (aller-retour) d'un élément mobile, tel qu'un piston ou une membrane, au sein d'une chambre de compression. Ce mouvement périodique provoque une réduction du volume disponible pour le gaz, ce qui entraîne une élévation de sa pression.

I.3.4.1.1. Compresseurs à piston

Lorsque le piston se déplace vers le bas, il provoque l'ouverture du clapet d'aspiration, permettant à l'air de pénétrer dans la cavité située entre le cylindre et le piston. Lors de la course ascendante, le clapet d'aspiration se ferme, ce qui entraîne la compression de l'air dans l'espace restreint. La pression de l'air augmente à mesure que le volume diminue. Lorsque la pression dans l'espace situé au-dessus du piston dépasse celle de la conduite de refoulement, le clapet de refoulement s'ouvre et libère l'air comprimé dans cette conduite. La Figure I.3 illustre le fonctionnement d'un compresseur à piston.

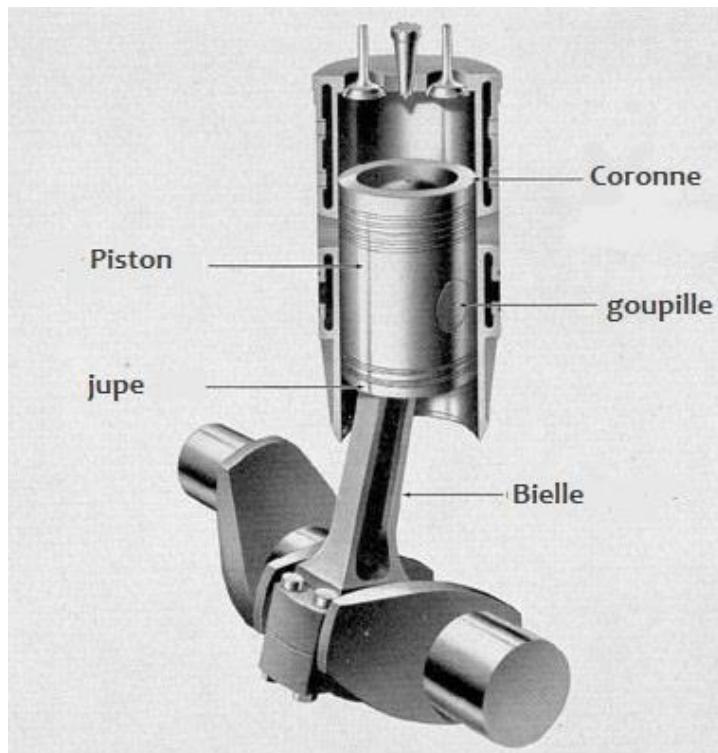


FIGURE I.3.: compresseur à piston

I.3.4.1.2. Compresseurs à membranes

Ce type de compresseur à membranes métalliques, commandé hydrauliquement, est composé principalement d'une partie mécanique et d'une tête de compression. La partie mécanique, dont l'élément principal est un bâti en fonte, contient un système mécanique classique de bielle-manivelle, qui transforme le mouvement de rotation de l'organe moteur en un mouvement alternatif du piston situé dans la tête de compression. La lubrification des paliers ainsi que la compensation des fuites d'huile autour du piston sont assurées par un ensemble de lubrification intégré. La Figure I.4 présente un exemple de compresseur à membranes. [6]

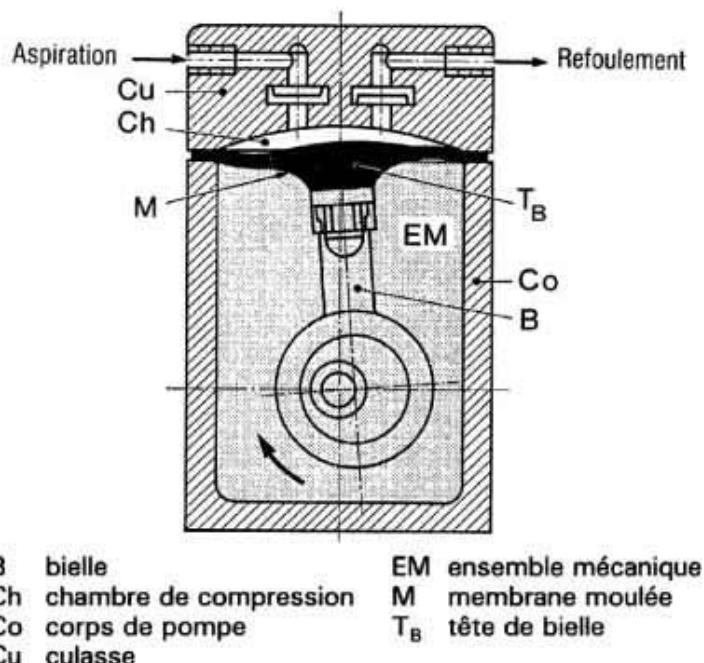


FIGURE I.4.: compresseur à membranes

I.3.4.2. Compresseurs Rotatifs

Ce sont des compresseurs simples, sans clapets, qui ont un ou deux rotors qui tournent dans un boîtier. La rotation du rotor permet de faire entrer de l'air ou du gaz en continu vers la sortie, ce qui augmente la pression. Ce type de compresseur est surtout utilisé pour des faibles pressions et des gros débits. Contrairement aux compresseurs alternatifs, il n'y a pas de pièces en mouvement alternatif, ce qui permet un fonctionnement plus régulier, moins de vibrations, et souvent un débit plus élevé.

I.3.4.2.1. Compresseurs à palettes

Dans un cylindre, un rotor tourne autour d'un axe excentré. Ce rotor est en contact avec le cylindre et possède des palettes radiales qui peuvent se déplacer dans leur logement. Ces palettes sont constamment poussées contre la paroi du cylindre par la force centrifuge. La Figure I.5 illustre le fonctionnement d'un compresseur à palettes. [6]

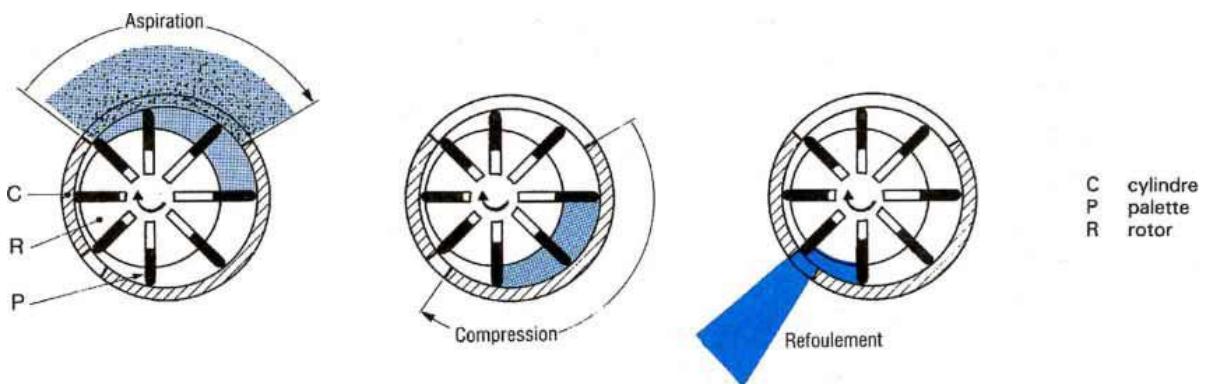


FIGURE I.5.: compresseur à palettes

I.3.4.2.2. Compresseurs à vis

La variation du volume de l'air à comprimer se fait grâce au déplacement relatif de deux rotors à l'intérieur d'un carter de forme spéciale. Les deux rotors ont des profils complémentaires : l'un forme des lobes (rotor primaire) et l'autre des alvéoles (rotor secondaire). Ces profils sont décalés le long de l'axe de la machine selon une hélice à pas constant, d'où le nom d'hélico-compresseur donné à cette machine. La Figure I.6 représente un exemple de compresseur à vis. [6]

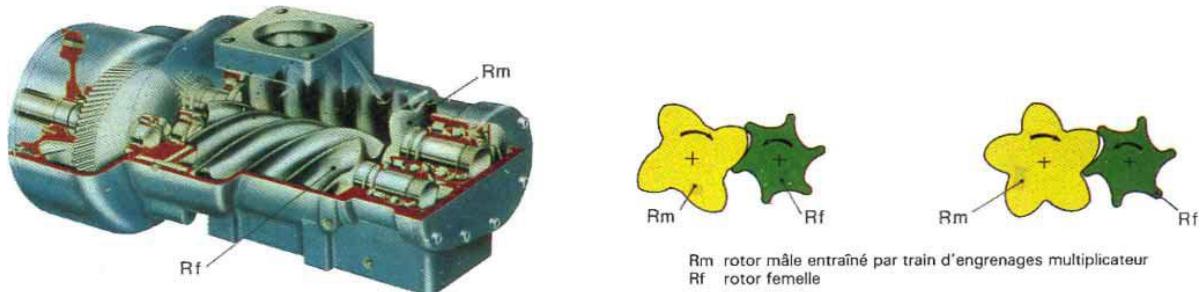


FIGURE I.6.: compresseur à vis

I.3.4.2.3. Compresseurs à lobes

Les compresseurs à dents, à piston rotatifs ou à lobes fonctionnent sur un principe similaire. Dans un même stator, il y a deux rotors non lubrifiés. Ces rotors, qui tournent en sens inverse, sont synchronisés. Chacun d'eux possède une ou deux dents qui, lors de chaque rotation, permettent de réaliser un ou deux cycles : aspiration, compression, puis refoulement. Cela se fait en masquant ou dégageant les orifices d'aspiration et de refoulement situés sur les côtés du carter. La Figure I.7 montre un exemple de compresseur à lobes. [6]

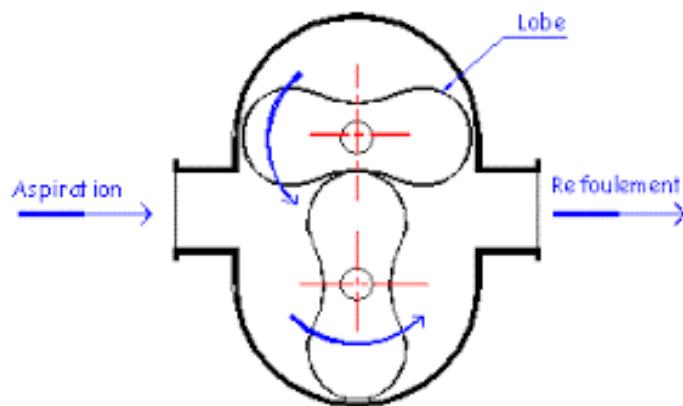


FIGURE I.7.: compresseur à lobes

I.3.5. Avantages et inconvénients des compresseurs

Le Tableau I.1 résume les avantages et inconvénients des principaux types de compresseurs.

TABLE I.1.: Comparaison des types de compresseurs

Type de compresseur	Volumétriques		Dynamiques	
	Alternatifs	Rotatifs	Centrifuges	Axiaux
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Idéal pour les petits débits - Fonctionne à toutes les pressions - Facile à utiliser 	<ul style="list-style-type: none"> - Peut gérer différents débits - Débit stable - Fiable 	<ul style="list-style-type: none"> - Bon pour les débits moyens à élevés - Très fiable - Très bon rendement 	<ul style="list-style-type: none"> - Parfaits pour très grands débits - Très fiable
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Débit irrégulier (par à-coups) - Moins fiable (soupapes sensibles) - Nécessite un secours 	<ul style="list-style-type: none"> - Ne supporte pas les très hautes pressions - Pas bon pour les tout petits débits 	<ul style="list-style-type: none"> - Fonctionne mal à faible débit - Coûteux 	<ul style="list-style-type: none"> - Pièces grandes et chères à fabriquer

I.3.6. Critères de choix d'un compresseur

- **Le débit d'air nécessaire** : selon les besoins de l'installation.
- **La pression demandée** : selon les exigences de l'application.
- **Le mode de fonctionnement** : Utilisation continue ou intermittent.
- **La consommation d'énergie** : Choisir un compresseur économique pour réduire les coûts à long terme.
- **L'environnement d'utilisation** : Température, humidité, poussière, etc.
- **Le bruit** : Important dans les ateliers ou zones sensibles au bruit.
- **La qualité de l'air** : l'air propre, sec ou sans huile .
- **L'entretien** : simplicité d'entretien.
- **La Fiabilité et durée de vie** : Privilégier les marques réputées et les compresseurs robustes.
- **Le coût total** : Inclure : prix d'achat, installation, énergie, entretien, pièces

I.4. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de bien comprendre les étapes de production et de traitement de l'air comprimé, ainsi que les différents types de compresseurs utilisés dans l'industrie et leur mode de fonctionnement. Dans le chapitre suivant, nous allons décrire l'installation d'air comprimé que nous allons étudier.

Chapitre II.

Description de la station d'air comprimé

II.1. Introduction

La station d'air comprimé est un élément important dans l'industrie, assurant la production, le traitement et la distribution de l'air nécessaire aux procédés. Elle est composée d'un ou plusieurs compresseurs, des équipements de traitement d'air (sécheurs, filtres), des dispositifs de régulation et parfois des réservoirs pour stocker l'air. La station d'air comprimé est un élément important dans l'industrie, assurant la production, le traitement et la distribution de l'air nécessaire aux procédés. Elle est composée d'un ou plusieurs compresseurs, des équipements de traitement d'air (sécheurs, filtres), des dispositifs de régulation et parfois des réservoirs pour stocker l'air.

II.2. Description générale

La station d'air comprimé est composée de deux compresseurs bi-étage (un compresseur à vis et un compresseur à piston), ainsi qu'un sécheur d'air positionné entre les deux compresseurs, et un ballon de stockage final. Le fonctionnement général est le suivant : l'air atmosphérique est d'abord filtré pour éliminer les particules solides, puis il entre dans le compresseur à vis bi-étage, où il est comprimé progressivement jusqu'à atteindre une pression d'environ 10 bars. L'air comprimé passe ensuite dans un sécheur pour retirer l'humidité résiduelle, assurant ainsi une meilleure qualité d'air.

Cet air sec est dirigé vers le compresseur à piston bi-étage, qui effectue une seconde compression pour atteindre la pression finale souhaitée. Ce compresseur est également équipé de purgeurs automatiques intégrés qui permettent d'évacuer l'eau condensée durant la compression. Enfin, l'air comprimé est stocké dans un ballon-réservoir pour alimenter les installations selon les besoins et stabiliser la pression du réseau.

II.3. Les composants de la station

II.3.1. Compresseur à vis bi-étage(ZR)

Le compresseur ZR est un compresseur à vis bi-étage, entraîné par un moteur électrique, conçu pour fournir de l'air comprimé sans huile et sans pulsations. Il est spécialement adapté aux applications exigeant un air de haute qualité. Le refroidissement du compresseur est assuré par un circuit d'eau, garantissant un contrôle efficace de la température. De plus, bien que l'air produise soit sans huile, le compresseur dispose d'un circuit de lubrification interne pour assurer le bon fonctionnement et la longévité de ses composants mécaniques. [4]

II.3.1.1. Principe de fonctionnement

Le compresseur ZR fonctionne selon un principe de compression en deux étapes, avec une partie basse pression (premier étage) et une partie haute pression (deuxième étage). L'air atmosphérique est d'abord aspiré dans le premier étage, où il est comprimé de 1 bar (pression d'entrée) jusqu'à environ 3,5 bars. À la sortie de ce premier étage, l'air passe généralement par un refroidisseur intermédiaire pour réduire sa température, ce qui améliore l'efficacité énergétique et protège le deuxième étage. Ensuite, l'air refroidi est dirigé vers le second étage (partie haute pression), où il est de nouveau comprimé pour atteindre une pression finale de 10 bars. Ce compresseur fournit un air sans huile grâce à une conception spécifique où les éléments de compression n'utilisent pas d'huile en contact avec l'air. Le refroidissement global du compresseur est assuré par un circuit d'eau, tandis qu'un circuit de lubrification interne garantit la protection mécanique des composants. Ce fonctionnement en deux étapes permet d'obtenir un rendement élevé, une température maîtrisée, et une excellente qualité d'air comprimé. [4]

II.3.1.2. Vue générale des circuits

La Figure II.2 présente une vue générale des différents circuits composant le compresseur ZR.

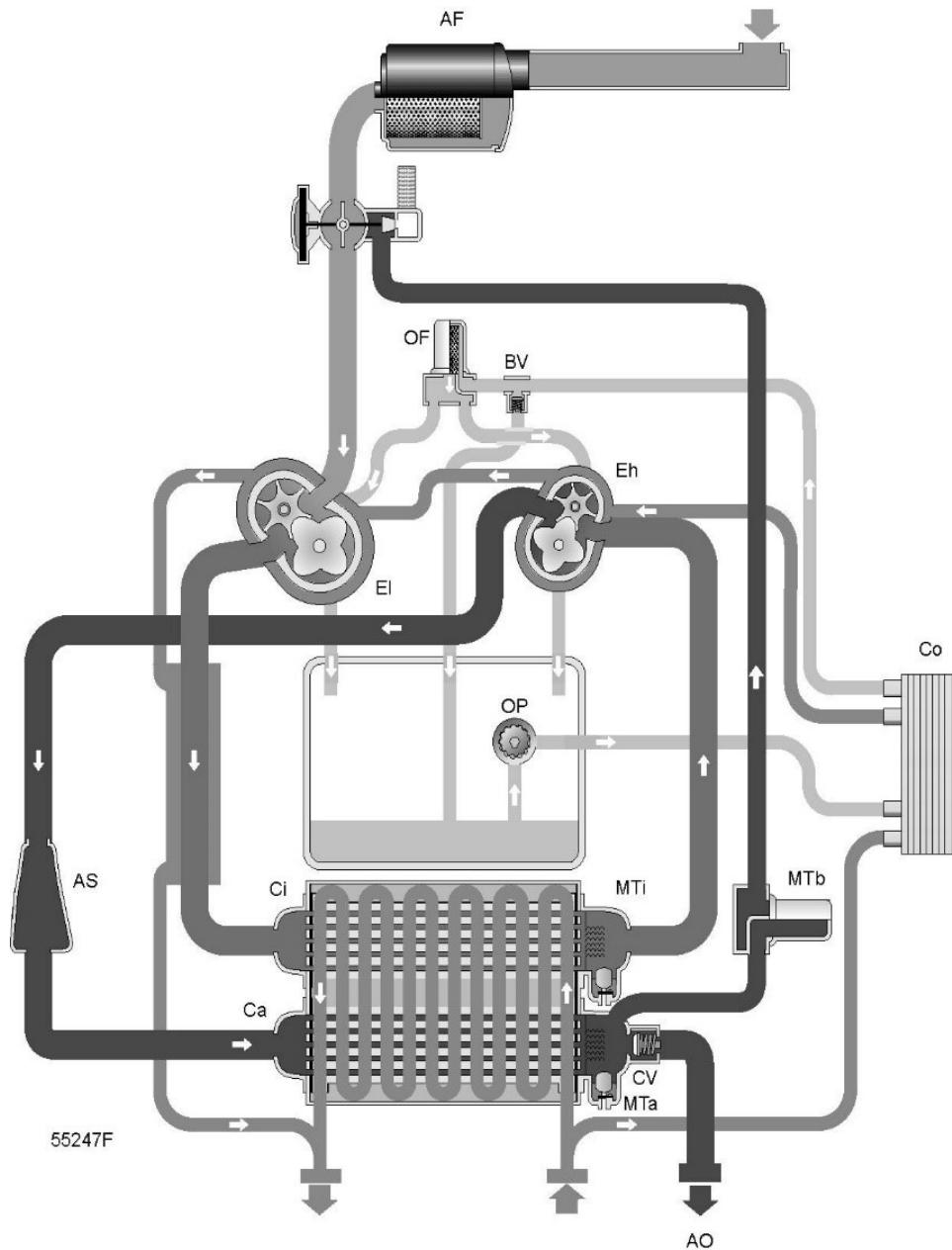


FIGURE II.1.: Vue générale des circuits ZR

Le Tableau II.1 présente la nomenclature complète des composants du circuit d'air comprimé, en indiquant pour chacun sa référence et sa désignation.

TABLE II.1.: Nomenclature des composants du circuit

Référence	Désignation
AF	Filtre à air
AO	Sortie d'air
AS	Silencieux
BV	Vanne de dérivation
Ca	Refroidisseur final
Ci	Refroidisseur intermédiaire
Co	Refroidisseur d'huile
CV	Clapet anti-retour
Eh	Élément compresseur haute pression
El	Élément compresseur basse pression
MTa	Séparateur d'eau, refroidisseur final
MTi	Séparateur d'eau, refroidisseur intermédiaire
OF	Filtre à huile
OP	Pompe à huile

2.3.1.2.1.Circuit de refroidissement

Sur les compresseurs ZR, le système de refroidissement fait circuler l'eau dans le refroidisseur d'huile (Co), les éléments de compression basse (El) et haute pression (Eh), ainsi que dans les refroidisseurs intermédiaire (Ci) et final (Ca). Deux séparateurs d'eau (MTa MTi), placés après chaque refroidisseur, éliminent les condensats pour protéger les équipements. Ces condensats sont purgés automatiquement grâce à un système de vidange contrôlé par Elektronikon (ERD), utilisant un capteur capacitif et des électrovannes adaptées aux pressions. Ce système intelligent évacue efficacement l'eau sans perte d'air comprimé et déclenche des alertes en cas de détection prolongée d'eau. [4]

2.3.1.2.2.Circuit de lubrification

La pompe (OP) véhicule l'huile à partir du carter d'engrenages et à travers le refroidisseur (Co). L'huile passe par le filtre à huile (OF) vers les roulements et les engrenages de synchronisation. Une vanne de dérivation (BV) s'ouvre si la pression d'huile dépasse une certaine valeur. [4]

II.3.2. Compresseur a piston bi-étage (2DN2)

Le compresseur 2ND2 (série Booster D) est un compresseur à piston bi-étage, entraîné par un moteur électrique, conçu pour fournir de l'air comprimé sans huile. Grâce à sa conception spécifique, l'air comprimé reste totalement exempt de contamination par l'huile. Le compresseur est refroidi par eau afin d'assurer un contrôle optimal de la température de fonctionnement, et il intègre également un circuit de lubrification interne dédié à la protection et au bon fonctionnement de ses organes mécaniques, sans contact avec l'air comprimé. Ce type de compresseur est particulièrement utilisé pour augmenter la pression d'un air déjà comprimé à des niveaux plus élevés, d'où son nom de booster. [5]

II.3.2.1. Principe de fonctionnement

Le compresseur à piston bi-étage fonctionne selon un principe de compression en deux étapes, avec une partie basse pression (premier étage) et une partie haute pression (deuxième étage), qui comprime à deux sens. L'air, après être comprimé par le compresseur à vis et séché dans le sécheur d'air (en tenant compte des pertes de charge dans ce dernier), entre dans le premier étage du compresseur à piston à une pression ajustée. Dans cette première étape, l'air est comprimé pour atteindre une pression intermédiaire d'environ 19 bars. À la sortie du premier étage, l'air passe par un refroidisseur intermédiaire, qui permet de réduire sa température avant d'entrer dans le deuxième étage. Cette étape est essentielle pour limiter les efforts thermiques sur les composants et améliorer l'efficacité énergétique. Ensuite, dans la partie haute pression (deuxième étage), l'air est de nouveau comprimé jusqu'à atteindre la pression finale souhaitée, en fonction des besoins de l'installation. Le compresseur est équipé de purgeurs automatiques pour évacuer l'humidité condensée au cours du processus de compression. L'air comprimé est enfin stocké dans un ballon-réservoir pour une utilisation industrielle. [5]

II.3.2.2. Vue générale des circuits

La Figure II.2 illustre une vue générale des différents circuits du compresseur 2DN2.

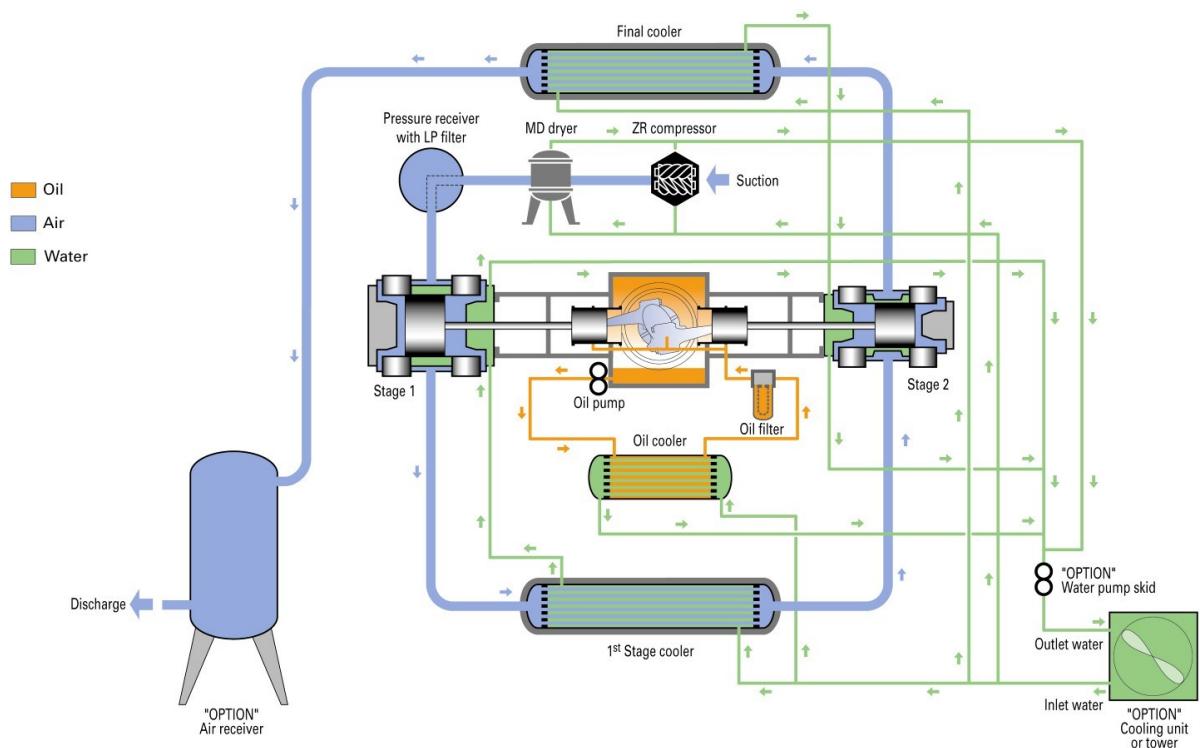


FIGURE II.2.: Vue générale des circuits 2DN2

Le Tableau II.2 présente la nomenclature complète des composants du circuit d'air comprimé, en indiquant pour chacun sa référence et sa désignation.

TABLE II.2.: Correspondance des termes techniques

Expression	Signification
Pressure receiver with LP filter	Réervoir avec filtre basse pression
Suction	Aspiration
Stage 1	Cylindre 1er étage
Oil pump	Pompe à huile
Oil cooler	Réfrigérant d'huile

Correspondance des termes techniques (suite)

Expression	Signification
Oil filter	Filtre à huile
Stage 2	Cylindre 2e étage
Discharge	Refoulement
“Option” air receiver	“Option” réservoir d’air
1st stage cooler	Réfrigérant 1er étage
“Option” water pump skid	“Option” Skid pompe à eau
Outlet water	Sortie d'eau
Inlet water	Entrée d'eau
“Option” Cooling unit or tower	“Option” aéroréfrigérant ou tour
MD Dryer	Sécheur MD
ZR Compressor	ZR Compresseur

2.3.2.2.1.Circuit de refroidissement

Le circuit de refroidissement à eau assure la régulation thermique de l'installation. L'eau de refroidissement, provenant d'une tour ou unité de refroidissement (Cooling unit or tower), entre dans le système par l'entrée d'eau (Inlet water) et peut être mise en circulation par un skid pompe à eau (Water pump skid). Elle traverse simultanément plusieurs échangeurs : d'abord le réfrigérant d'huile (Oil cooler) pour absorber la chaleur de l'huile, ensuite le réfrigérant du 1er étage (1st stage cooler) pour refroidir l'air après la première compression en même temps le Cylindre 1er étage (Stage 1) , puis le réfrigérant final (Final cooler) après la seconde compression et sans oublier dans passer dans le deuxième cylindre (stage2) . Enfin, l'eau chaude est évacuée a l'aide de Skid pompe à eau par la sortie d'eau (Outlet water) vers la tour de refroidissement pour y être reconditionnée avant un nouveau cycle. . Ce circuit permet de maintenir des températures de fonctionnement optimales et d'assurer un bon rendement énergétique du compresseur. [5]

2.3.2.2.2.Circuit de lubrification

Le circuit de lubrification à huile a pour rôle de lubrifier et de refroidir partiellement les composants mécaniques du compresseur. L'huile est aspirée depuis le réservoir

par la pompe à huile (Oil pump), est dirigée vers le réfrigérant d'huile (Oil cooler), où elle est refroidie par l'eau de refroidissement puis filtrée par un filtre à huile (Oil filter) afin d'éliminer les impuretés. Elle est ensuite distribuée dans le bloc compresseur pour lubrifier les organes internes, notamment entre les deux étages de compression (Stage 1 et Stage 2). L'huile, désormais chaude avant de retourner vers la pompe. Ce circuit permet de limiter l'usure, d'assurer un fonctionnement fluide des composants et de dissiper une partie de la chaleur générée. [5]

II.4. Sécheur

Les sécheurs MD sont des sécheurs d'air à adsorption, conçus pour éliminer l'humidité de l'air comprimé refoulé par les compresseurs Atlas Copco ZR 300 à ZR 425, ZR 450 à ZR 750 et ZR 400 VSD à ZR 900 VSD. [8]

II.4.1. Principe de fonctionnement

Le sécheur utilise un rotor lent traversé par deux flux d'air : l'air comprimé humide est séché par adsorption sur trois quarts du rotor, tandis que l'air comprimé chaud régénère le matériau dessiccant sur le dernier quart. Le rotor est entraîné par moteur électrique et équipé de joints d'étanchéité. Le sécheur est contrôlé par le régulateur Elektronikon et dispose d'un purgeur électronique pour évacuer l'eau, ainsi qu'un système de dérivation pour assurer le fonctionnement continu. Ce fonctionnement passe par trois circuits : [8]

- Circuit de séchage d'air.
- Circuit d'air de régénération.
- Circuit d'air de refroidissement du rotor.

II.4.1.1. Vue générale des circuits

La Figure II.3 présente une vue générale des différents circuits composant les sécheurs MD.

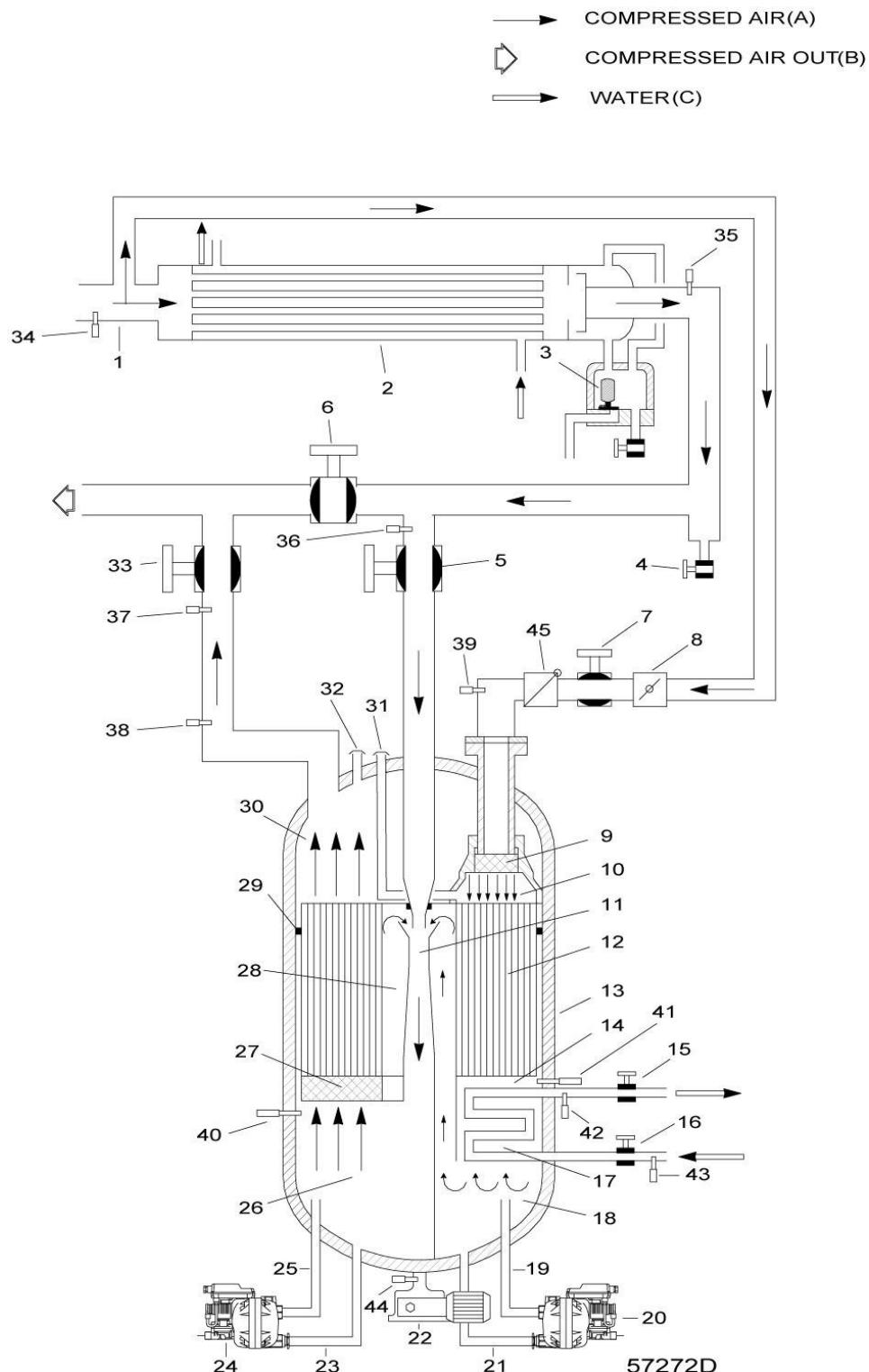


FIGURE II.3.: Vue générale des circuits de sécheur MD

Le tableau II.3 représente la nomenclature complète des composants de l'installation de la station d'air comprimé.

TABLE II.3.: Nomenclature complète des composants de sécheur MD

Nomenclature complète des composants			
Réf.	Désignation	Réf.	Désignation
1	Tuyau de sortie d'air HP, compresseur	25	Tuyau de mise à l'air, air d'entrée du purgeur EWD
2	Refroidisseur final, compresseur	26	Séparateur d'eau, air d'entrée
3	Soupape à flotteur, séparateur d'eau du refroidisseur final	27	Dispositif antibuée
5	Vanne d'entrée d'air	28	Chambre d'aspiration
6	Vanne de dérivation	29	Dispositif d'étanchéité du rotor
7	Vanne d'arrêt, entrée d'air de régénération chaud	30	Compartiment, sortie d'air sec
8	Vanne d'étranglement, entrée d'air de régénération	31	Vanne pour la connexion (-), indicateur de pression différentielle
9	Tamis	32	Vanne pour la connexion (+), indicateur de pression différentielle
10	Secteur, entrée d'air de régénération (côté non saturé)	33	Vanne de sortie d'air
11	Ejecteur	34	Capteur de température, sortie d'élément compresseur haute pression
12	Rotor	35	Capteur de pression, sortie du compresseur
13	Réservoir sous pression du sécheur d'air (carter de rotor)	36	Capteur de température, sortie du compresseur
14	Secteur, sortie d'air de régénération (côté saturé)	37	Capteur de température, sortie du sécheur TT81
15	Vanne d'arrêt, sortie d'eau du refroidisseur d'air de régénération	38	Capteur de point de rosée sous pression du sécheur PDP40 (en option)
16	Vanne d'arrêt, entrée d'eau du refroidisseur d'air de régénération	39	Capteur de température, entrée d'air de régénération TT85

Nomenclature complète des composants de sécheur MD (suite)

Nomenclature complète des composants			
Réf.	Désignation	Réf.	Désignation
17	Refroidisseur d'air de régénération	40	Capteur de température, mélange d'air du sécheur TT89
18	Séparateur d'eau, air de sortie du refroidisseur de régénération	41	Capteur de température, sortie d'air de régénération TT88
19	Tuyau de mise à l'air, air de régénération du purgeur EWD	42	Capteur de température, sortie d'eau du sécheur TT87
20	Air de régénération du purgeur EWD	43	Capteur de température, entrée d'eau de refroidissement du compresseur
21	Tuyau de purge, air de régénération du séparateur d'eau	44	Capteur de rotation, sens et vitesse de rotation du sécheur ROT1
22	Engrenages d'entraînement du rotor	(A)	Air comprimé
23	Tuyau de purge, air d'entrée du séparateur d'eau	(B)	Sortie d'air comprimé
24	Air d'entrée, purgeur EWD	(C)	Eau

2.4.1.1.1.Circuit de séchage d'air

L'air comprimé humide en provenance du refroidisseur final du compresseur (2) entre dans le sécheur d'air par l'entrée (5), passe par le gicleur de l'éjecteur (11), puis atteint le séparateur d'eau situé à l'entrée d'air (26). L'air en sortie du refroidisseur final est généralement saturé en humidité et présente une température d'environ 10 C (ou 18 F) supérieure à celle de l'eau de refroidissement (pour les compresseurs refroidis par eau) ou à la température ambiante (pour les compresseurs refroidis par air). Dans le reniflard (27), les gouttelettes d'eau sont séparées de l'air. Ce dernier est ensuite dirigé vers le rotor (12), qui adsorbe la vapeur d'eau résiduelle. L'air ainsi séché passe dans le compartiment de sortie d'air (30) avant de quitter le sécheur par la vanne de sortie (33). [8]

2.4.1.1.2.Circuit d'air de régénération

L'air de régénération chaud est prélevé en amont du refroidisseur final du compresseur, au niveau du tuyau (1). Cet air, non saturé en humidité, présente une température comprise entre 130 et 190 C (266 à 374 F), selon des facteurs tels que la pression de service, la température d'entrée de l'eau de refroidissement (ou la température ambiante) et la température d'entrée d'air. Il traverse successivement la vanne d'étranglement (8), la vanne d'arrêt (7), le clapet anti-retour (45) et le tamis (9), puis est dirigé vers le secteur d'admission (10), où il est réparti dans les canaux humides du rotor. Étant donné que la pression de vapeur de l'air chaud est inférieure à celle des canaux humides, ce dernier absorbe l'humidité, régénérant ainsi le rotor. L'air de régénération, désormais humide, est collecté dans le secteur de sortie (14), refroidi dans le refroidisseur d'air de régénération (17), puis dirigé vers le séparateur d'eau (18), où l'eau condensée est évacuée par le système de purge. Enfin, l'air de régénération est redirigé vers la chambre d'aspiration (28) de l'éjecteur (11), où il se mélange à l'air comprimé humide provenant du refroidisseur final. Dans l'éjecteur, l'accélération de la vitesse de l'air comprimé provoque une chute de pression dans la chambre d'aspiration et dans l'ensemble du circuit de régénération jusqu'à la vanne d'étranglement (8), ce qui empêche le retour de l'air de régénération vers le compartiment de sortie d'air sec. [8]

2.4.1.1.3.Circuit d'air de refroidissement du rotor

Après la régénération, les canaux chauds du rotor sont refroidis à l'aide de l'air provenant du compartiment d'air sec (30). Ce flux d'air de refroidissement est ensuite récupéré par le secteur de sortie d'air de régénération (14), où il est mélangé à l'air de régénération humide. [8]

II.5. Conclusion

La station d'air comprimé associe efficacement un compresseur à vis, un compresseur à piston et un sécheur pour produire un air sec, propre et à haute pression. Grâce à une double compression et un traitement rigoureux, elle offre une qualité d'air optimale avec un bon rendement énergétique. L'analyse technique des circuits met en évidence la complexité et la fiabilité de l'installation. Pour cette raison, Les chapitres qui suivent seront consacrés au dimensionnement de celle-ci.

Chapitre III.

Etude et dimensionnement de la station d'air comprimé

III.1. Introduction

Le dimensionnement d'une station d'air comprimé vise à assurer un apport en air à la pression et au débit requis pour le bon fonctionnement des équipements qu'elle dessert. Ce chapitre expose la démarche suivie pour dimensionner les compresseurs, le sécheur, ainsi que l'installation électrique associée, comprenant le transformateur, les câbles et les dispositifs de protection. L'étude porte également sur l'analyse des puissances, des courants nominaux, des pertes d'énergie et des dispositifs de sécurité électrique, afin de garantir une alimentation fiable, performante et conforme aux normes en vigueur.

III.2. Problématique

Comment dimensionner efficacement une station d'air comprimé, incluant des compresseurs à vis et à piston ainsi qu'un sécheur, afin de garantir un apport d'air sous une pression et un débit adaptés aux besoins des équipements tout en optimisant la performance énergétique et la fiabilité du système ?

III.3. But de dimensionnement de la station d'air comprimé

Le dimensionnement de la station d'air comprimé vise à étudier la compatibilité afin de garantir un apport d'air sous une pression souhaitée et un débit adapté aux besoins des équipements, tout en assurant une performance énergétique optimale et une sécurité renforcée.

III.4. Principe de dimensionnement

Il se repose sur une compression en deux étapes :

- Un compresseur à vis bi-étage (Atlas Copco ZR) pour une première compression jusqu'à 8.5 bars, avec un refroidissement intermédiaire pour limiter la température avant l'entrée dans le compresseur suivant.
- Un compresseur à piston bi-étage (Atlas Copco 2DN2) permettant d'élever la pression jusqu'à 33.29 bars, en deux phases de compression séparées par un refroidissement intermédiaire.

L'installation comprend également un sécheur d'air et des systèmes de refroidissement pour améliorer l'efficacité et la qualité de l'air comprimé. Des mesures de sécurité sont intégrées, incluant des soupapes de sécurité, des capteurs de pression et température, ainsi que des systèmes de purge automatique.

III.5. Partie théorique

Les calculs effectués dans cette section sont basés sur les données des plaques signalitiques.

III.5.1. Données Théorique fournies par l'entreprise

Plaque signalétique de compresseur ZR400 :

TABLE III.1.: Plaque signalétique de compresseur ZR400

Expression	Signification
Pression d'entrée en absolu	1 bar(a)
Température ambiante	20 °C
Température d'entrée d'air	20 °C
Pression effective de service	9 bar(g) pour compresseurs 10/10,4 bar
Température de l'entrée d'eau de refroidissement	20 °C
Montée de température de l'eau de refroidissement	15 °C
Puissance nominale	455 kW
Vitesse à l'arbre du moteur pour compresseurs à vitesse fixe 50 Hz (tr/min)	1485

Plaque signalétique de compresseur 2DN2 :

TABLE III.2.: Plaque signalétique de compresseur 2DN2

Expression	Signification
Pression d'entrée de service maximale	10 Bar
Pression de sortie de service maximale	42 Bar
Température d'entrée minimale en service	10 °C
Température d'entrée maximale en service	55 °C
Température de sortie maximale en service	60 °C
Puissance nominale	240 KW
Vitesse de rotation de l'arbre	880 tr/min

III.5.2. Débit massique ajusté

Le débit massique \dot{m} est donné par :

$$\dot{m} = \rho \times Q_n \quad (\text{III.1})$$

$$\dot{m} = \frac{P}{r \times T} \times Q_n \quad (\text{III.2})$$

Avec :

- $Q_n = 3000 \text{ Nm}^3/\text{h} = 0,833 \text{ Nm}^3/\text{s}$
- $P = 1,01325 \times 10^5 \text{ Pa}$
- $r = 287,1 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
- $T = 273,15 \text{ K}$

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \frac{1,01325 \times 10^5}{287,1 \times 273,15} \times 0,833 \\ \dot{m} &= 1,0763 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

III.5.3. Puissance du Compresseur à Vis (ZR 400)

La puissance du compresseur se calcule comme suit :

$$P_{\text{vis}} = \dot{m} \times C_p \times (T_2 - T_1). \quad (\text{III.3})$$

$$C_p = \frac{r \times \gamma}{\gamma - 1}. \quad (\text{III.4})$$

$$T_{2s} = T_1 \times \left(\frac{P_2}{P} \right)^{\left(\frac{\gamma-1}{\gamma} \right)}. \quad (\text{III.5})$$

$$T_{2s} = 293.15 \times \left(\frac{900000}{101325} \right)^{\left(\frac{1.4-1}{1.4}\right)}.$$

$$T_{2s} = 547.14 \text{ K.}$$

$$T_2 = T_1 + \frac{T_{2s} - T_1}{\eta}. \quad (\text{III.6})$$

$$T_2 = 293.15 + \frac{547.14 - 293.15}{0.85}.$$

$$T_2 = 591.96 \text{ K.}$$

avec :

- Rendement isentropique : $\eta = 0,85$.
- Pression de sortie : $P_1 = 850000 \text{ Pa}$.
- Pression de sortie : $P_2 = 900000 \text{ Pa}$ après le sécheur .
- Température d'entrée : $T_1 = 293,15 \text{ K}$.

$$P_{\text{vis}} = 1,0763 \times \frac{287,1 \times 1,4}{1,4 - 1} \times (591,96 - 293,15) \quad (\text{III.7})$$

$$P_{\text{vis}} = 323,169 \text{ kW} \quad (\text{III.8})$$

III.5.4. .Puissance du Compresseur à Piston (2DN2)

La puissance du compresseur se calcule comme suit :

$$P_{\text{piston}} = \dot{m} \times \frac{r \times \gamma}{\gamma - 1} \times (T_2 - T_1) \quad (\text{III.9})$$

$$T_{2s} = T_1 \times \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (\text{III.10})$$

$$T_{2s} = 313.15 \times \left(\frac{4200000}{850000} \right)^{\frac{0.4}{1.4}}$$

$$T_{2s} = 494.3 \text{ K}$$

$$T_2 = T_1 + \frac{T_{2s} - T_1}{\eta} \quad (\text{III.11})$$

$$T_2 = 313.15 + \frac{494.3 - 313.15}{0.85}$$

$$T_2 = 526.27 \text{ K}$$

III.5.5. Consommation Électrique du Sécheur

La consommation du sécheur est généralement comprise entre 10 % et 15 % de la puissance totale des compresseurs.

On prend la consommation 10 %

$$P'_{\text{total}} = P_{\text{piston}} + P_{\text{vis}} \quad (\text{III.12})$$

$$P'_{\text{total}} = 230.493 + 323.169$$

$$P'_{\text{total}} = 553.662 \text{ Kw}$$

$$P_{\text{sécheur}} = 0.1 \times P'_{\text{total}} \quad (\text{III.13})$$

$$P_{\text{sécheur}} = 0.1 \times 553.662$$

$$P_{\text{sécheur}} = 55.3662 \text{ KW}$$

III.5.6. Consommation Électrique et impact énergétique

$$P_{\text{total}} = P_{\text{piston}} + P_{\text{vis}} + P_{\text{sécheur}} \quad (\text{III.14})$$

$$P_{\text{total}} = 230.493 + 323.169 + 55.3662$$

$$P_{\text{total}} = 609.0282 \text{ kW}$$

$$E = P_{\text{total}} \times t \quad (\text{III.15})$$

$$E = 609.0282 \times 24$$

$$E = 14616.6768 \text{ kWh/jour}$$

III.5.7. Calculs électriques associés

On calcule le courant nominal pour chaque moteur :

$$I = P / (\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi) \quad (\text{III.16})$$

Avec :

- $P_{\text{vis}} = 323.169 \text{ kW}$
- $P_{\text{piston}} = 230.493 \text{ kW}$
- $P_{\text{sécheur}} = 55.3662 \text{ kW}$
- $U = 400 \text{ V}$
- $\cos \varphi = 0.85$

$$I_{\text{vis}} = \frac{323169}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.85}$$

$$I_{\text{vis}} = 548.77 \text{ A}$$

$$I_{\text{piston}} = \frac{230493}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.85}$$

$$I_{\text{piston}} = 391.4 \text{ A}$$

$$I_{\text{sécheur}} = \frac{55366.2}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.85}$$

$$I_{\text{sécheur}} = 94 \text{ A}$$

III.6. Partie pratique

III.6.1. Données pratiques fournies par l'entreprise

Compresseur à Vis (ZR 400) :

- Pression d'entrée : 1 bar
- Pression de sortie : 8.5 bar (g) → 9.5 bar
- Température d'entrée : $30^\circ \rightarrow 303 \text{ K}$
- Débit volumique : $3000 \text{ Nm}^3/\text{h} = 0.833 \text{ Nm}^3/\text{s}$
- Température intermédiaire : 182°C
- Température de sortie élément 2 : 167°C

Compresseur à Piston (2DN2) :

- Pression d'entrée élément 1 : 8.07 bar
- Pression d'entrée élément 2 : 17.36 bar
- Pression de sortie : 33.29 bar
- Température d'entrée élément 1 : 38°C
- Température sortie élément 1 : 99°C
- Température d'entrée élément 2 : 34°C
- Température ensortie élément 2 : 92°C

III.6.2. Puissance réelle du Compresseur à Vis (ZR 400)

On a :

$$\begin{aligned}
 P_{\text{vis}} &= \dot{m} \times C_p \times (T_2 - T_1) \\
 C_p &= \frac{r \times \gamma}{\gamma - 1} \\
 T_{2s} &= T_1 \times \left(\frac{P_2}{P} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \\
 T_{2s} &= 303.15 \times \left(\frac{850000}{101325} \right)^{\frac{0.4}{1.4}} \\
 T_{2s} &= 556.64 \text{ K} \\
 T_2 &= T_1 + \frac{T_{2s} - T_1}{\eta} \\
 T_2 &= 303.15 + \frac{556.64 - 303.15}{0.85} \\
 T_2 &= 601.37 \text{ K}
 \end{aligned}$$

Avec :

- $k = 1.4$
- $\eta = 0.85$
- $P_1 = 1.01325 \text{ bar}$
- $P_2 = 8.5 \text{ bar}$
- $T_{\text{entrée}} = 303.15 \text{ K}$

$$Pvis = m \times (r \times \gamma) / (\gamma - 1) \times (T2 - T1)$$

$$Pvis = 1.0763 \times (287.1 \times 1.4) / (1.4 - 1) \times (601.37 - 303.15)$$

$$Pvis = 322.53 \text{ KW}$$

III.6.3. Puissance réelle du Compresseur à Piston (2DN2)

On applique la même formule pour chaque étage du compresseur.

- Premier étage ($8.07 \rightarrow 17.36 \text{ bar}$) :

Tentrée=311.15K

$$Ppiston = \dot{m} \times Cp \times (T2 - T1)$$

$$Cp = (r \times \gamma) / (\gamma - 1)$$

$$T2s = T1 \times (P2/P1)^{((\gamma-1)/\gamma)}$$

$$T2s = 311.15 \times (1736000/807000)^{((1.4-1)/(1.4))}$$

$$T2s = 387.27 \text{ K}$$

$$T2 = T1 + ((T2s - T1) / \eta)$$

$$T2 = 311.15 + ((387.27 - 311.15) / 0.85)$$

$$T2 = 400.7 \text{ K}$$

$$Ppiston1 = \dot{m} \times (r \times \gamma) / (\gamma - 1) \times (T2 - T1)$$

$$Ppiston1 = 1.0763 \times (287.1 \times 1.4) / (1.4 - 1) \times (400.7 - 311.15)$$

$$Ppiston1 = 96.85 \text{ KW}$$

- Premier étage ($8.07 \rightarrow 17.36 \text{ bar}$) :

Tentrée=307.15K

$$T2s = T1 \times (P2/P1)^{((\gamma-1)/\gamma)}$$

$$T2s = 307.15 \times (3329000/1736000)^{((1.4-1)/(1.4))}$$

$$T2s = 369.95 \text{ K}$$

$$T_2 = T_1 + ((T_{2s} - T_1) / \eta)$$

$$T_2 = 307.15 + ((369.95 - 307.15) / 0.85)$$

$$T_2 = 381.03K$$

$$P_{piston2} = 1.0763 \times (287.1 \times 1.4) / (1.4 - 1) \times (381.03 - 307.15)$$

$$P_{piston2} = 79.9KW$$

$$P_{piston} = P_{piston1} + P_{piston2}$$

$$P_{piston} = 96.85 + 79.9$$

$$P_{piston} = 176.75KW$$

III.6.4. Consommation Électrique du Sécheur

La consommation du sécheur est généralement comprise entre 10 % et 15 % de la puissance totale des compresseurs.

On prend la consommation 10 %

$$P_{total}' = P_{piston} + P_{vis}$$

$$P_{total}' = 176.75 + 322.53$$

$$P_{total}' = 499.06Kw$$

$$P_{scheur} = 0.1 \times P_{total}'$$

$$P_{scheur} = 0.1 \times 499.06$$

$$P_{scheur} = 49.906KW$$

III.6.5. Consommation électrique et impact énergétique

$$P_{total} = P_{piston} + P_{vis} + P_{scheur}$$

$$P_{total} = 176.75 + 322.53 + 49.906$$

$$P_{total} = 548.966 \text{ KW}$$

$$E = P_{total} \times t$$

$$E = 548.966 \times 24$$

$$E = 13175.184 \text{ KWh/jour}$$

III.6.6. Calculs électriques associés

On calcule le courant nominal pour chaque moteur :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi}$$

Avec :

- $P_{vis} = 322.53 \text{ kw}$
- $P_{piston} = 176.75 \text{ kw}$
- $P_{scheur} = 49.906 \text{ kw}$
- $U = 400V$
- $\cos \varphi = 0.85$

$$I_{vis} = 322530 / (\sqrt{3} \times 400 \times 0.85)$$

$$I_{vis} = 547.68A$$

$$I_{piston} = 176750 / (\sqrt{3} \times 400 \times 0.85)$$

$$I_{piston} = 300.13A$$

$$I_{scheur} = 49906 / (\sqrt{3} \times 400 \times 0.85)$$

$$I_{scheur} = 84.74A$$

III.7. Bilan comparatif des résultats obtenus

Le Tableau III.3 montre Comparaison des résultats obtenus.

TABLE III.3.: Comparaison des paramètres théoriques et pratiques

Paramètre	Théorique	Pratique	Écart (%)
Puissance du compresseur à vis (kW)	323.169	322.53	-0.2%
Puissance du compresseur à piston (kW)	230.493	176.75	-23.31%
Puissance du sécheur (kW)	55.3662	49.906	-9.86%
Consommation journalière (kWh/jour)	14616.678	13175.184	-9.86%
Courant du compresseur à vis (A)	548.77	547.68	-0.2%
Courant du compresseur à piston (A)	391.4	300.13	-23.31%
Courant du sécheur (A)	94	84.74	-9.85%

Remarque :

Les résultats montrent un écart significatif entre les puissances théoriques et pratiques, en particulier pour le compresseur à piston, avec une surdimension évidente (écart de -23.31% sur la puissance et le courant absorbé). Cela signifie que le compresseur à piston travaille loin de son point de fonctionnement optimal, ce qui entraîne un rendement énergétique plus faible, une usure mécanique plus rapide (fonctionnement à charge partielle prolongée) et des coûts d'exploitation plus élevés à long terme.

III.8. Dimensionnement d'installation électrique

Les schémas électriques complets et partiels (commande et puissance moteur) sont disponibles en annexe (voir A.12 et A.13).

III.8.1. Caractéristiques des Équipements (Puissances Nominales et Actives)

Puissances nominales (P_n) :

- Puissance compresseur à vis : 455 kW
- Puissance compresseur à piston : 240 kW
- Sécheur : 69,5 kW

Puissances absorbées (P_a) :

- Puissance compresseur à vis : 323.169 KW
- Puissance compresseur à piston : 230.493 KW
- Sécheur : 55.3662 KW

III.8.2. Calculs des Courants Nominaux et puissances Réactives des Charges

Formules utilisées :

Courants nominales :

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi \times \eta} \quad (\text{III.17})$$

Puissance réactives (Q_a) :

$$Q_a = P_a \times \tan \varphi \quad (\text{III.18})$$

Le résultat est présenté dans le tableau III.4 situé ci-dessus :

TABLE III.4.: résultats des calculs des Courants et puissances

Les moteurs	U (V)	P_n (W)	η	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$	P_a (W)	Q_a (var)	I_n (A)
Compresseur à vis	400	455000	0.85	0.85	0.62	323169	200364.78	645.61
Compresseur à piston	400	240000	0.85	0.85	0.62	230493	142905.660	460.47
Sécheur	400	69500	0.85	0.85	0.62	55366.2	34327.044	110.6

III.8.3. Bilan des Puissances Installées

Pour établir le bilan des puissances l'installation, il est nécessaire de calculer la somme des puissances active et réactive. Voici les formules à utiliser :

Puissances actives total (P_{at}) :

$$P_{at} = \sum_{i=1}^n P_a \quad (\text{III.19})$$

Puissance réactives total (Q_{at}) :

$$Q_{at} = \sum_{i=1}^n Q_a \quad (\text{III.20})$$

Puissance apparente :

$$S_a = \sqrt{P_{at}^2 + Q_{at}^2} \quad (\text{III.21})$$

TABLE III.5.: Bilan des puissances installées

	P_{at} (W)	Q_{at} (var)	S_a (VA)
Total	609028.2	377597.484	716585.8

III.8.4. Calcul des Puissances Utilisées et Facteur de Puissance

III.8.4.1. Détermination des Puissances Utilisées et courants d'emplois

Formules utilisées :

Puissance utile :

$$P_u = P_a \times K_u \times K_s \quad (\text{III.22})$$

Puissance réactive :

$$Q_u = P_u \times \tan \varphi \quad (\text{III.23})$$

Courant d'emploi :

$$I_b = \frac{P_u}{\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi} \times K_u \times K_s \quad (\text{III.24})$$

Facteur de simultanéité : $K_s = 1$ (voir le tableau A.1 en annexe)

Coefficient d'utilisation $K_u = 0.75$ (pour les moteurs)

Le résultat est présenté dans le tableau III.6 situé ci-dessus :

TABLE III.6.: Calcul des Puissances Utilisées et Facteur de Puissance

Les moteurs	P_a (W)	K_u	K_s	P_u (W)	Q_u (var)	I_b (A)
Compresseur à vis	323169	0.75	1	242376.75	150273.585	308.68
Compresseur à piston	230493	0.75	1	172869.75	107179.245	220.16
Sécheur	55366.2	0.75	1	41524.65	25745.283	52.88

III.8.4.2. Bilan des Puissances Totales de l'Installation

Formules utilisées :

$$P_{ut} = K_s \times \sum_{i=1}^n P_u \quad (\text{III.25})$$

$$Q_{ut} = K_s \times \sum_{i=1}^n Q_u \quad (\text{III.26})$$

$$S_{ut} = K_s \times \sum_{i=1}^n S_u \quad (\text{III.27})$$

$$I_{bt} = K_s \times \sum_{i=1}^n I_b \quad (\text{III.28})$$

facteur de simultanéité (K_s) pour tableau général $K_s=0.9$,(voir le tableau A.2 en annexe)).

Le résultat est présenté dans le tableau III.7 situé ci-dessus :

TABLE III.7.: Calcul des Puissances Totales de l'Installation

	Put (W)	Qut (var)	Sut (VA)	Ibt (A)
Total	411094.035	254878.3	483695.4139	523.548

Calcul du Facteur de Puissance Global

$$\cos \varphi = \frac{P_{\text{ut}}}{S_{\text{ut}}} \quad (\text{III.29})$$

$$\cos \varphi = \frac{352100.1825}{414282.9361}$$

$$\cos \varphi = 0.8499 \approx 0.85$$

III.9. Dimensionnement du Transformateur

III.9.1. Choix de la Puissance Apparente Normalisée

La tension moyenne délivrée par le réseau est de 30 kV, tandis que celle appliquée aux récepteurs de notre station est de 400 V.

Afin de sélectionner le transformateur de puissance normalisée le mieux adapté à notre installation, selon le bilan des puissances total utilisée.

à partir de Tableau A.4 en annexe. Le transformateur retenu aura une puissance apparente normalisée de 500 kVA.

III.9.2. Rapport de Transformation et Courants

On détermine le rapport de transformation tout en supposant que le primaire et le secondaire ont le même couplage, pour cela, on va appliquer la formule suivante pour le calculer :

$$m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2} \quad (\text{III.30})$$

U_1, U_2 : Tension primaire (30 KV) et secondaire (400 V) du transformateur.

$$m = 400 / 30000$$

$$m = 0.0133$$

Calcul de courant secondaire :

Le courant nominal au secondaire du transformateur, côté basse tension(BT).déterminé par l'expression :

$$I_n = \frac{S_n}{U_2 \times \sqrt{3}} \quad (\text{III.31})$$

I_n : Courant assigné du transformateur

S_n : puissance assignée du transformateur (400 KVA)

U_2 : Tension assignée secondaire

$$\begin{aligned} I_n &= \frac{500000}{400 \times \sqrt{3}} \\ I_n &= 721.69 \end{aligned}$$

Le courant secondaire du transformateur est : $I_2 = 721.69$ A.

Calcul du courant primaire :

$$m = \frac{I_1}{I_2} \quad (\text{III.32})$$

$$I_1 = I_2 \times m$$

$$I_1 = 721.69 \times 0.0133$$

$$I_1 = 9.6 \text{ A}$$

le courant primaire du transformateur est égal à : $I_1 = 9.6$ A

III.9.3. Caractéristiques Techniques du Transformateur

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

Pour le transformateur de distribution (norme NBN - HD 428 1 S1), U_{cc} a des valeurs normalisées.

Selon le tableau A.5 en annexe, la tension de court-circuit de notre transformateur est $U_{cc} = 4\%$ de la tension nominale, soit $U_{cc} = 16\text{ V}$.

Caractéristiques du transformateur adéquat pour l'installation :

TABLE III.8.: Caractéristiques Techniques du Transformateur

Puissance apparente [kVA]	Tension primaire [kV]	Tension secondaire [V]	Courant primaire [A]	Courant secondaire [A]	U_{cc} (V)	R_t ($\text{m}\Omega$)	X_t ($\text{m}\Omega$)
630	30	400	9.6	721.69	4% U=16 V	3.5	10.6

III.10. Dimensionnement des Câbles

La détermination de cette section consiste à trouver la section normalisée appartenant au type du câble choisi, et satisfait les trois conditions suivantes :

- Échauffement normal.
- Chute de tension admissible.
- Surcharge due au court-circuit.

III.10.1. Critère d'Échauffement (Section S_j)

Les conditions dans lesquelles l'installation est dimensionnée sont les suivantes :

- Le mode de pose .
- Le type d'éléments conducteurs .
- L'influence mutuelle des autres circuits .
- La température ambiante .
- La nature de l'isolant .
- L'intensité nominale du courant d'emploi I_b .

Le mode de pose dans notre cas c'est : sur échelle, corbeaux, chemin de câble perforé. Sélectionné par la lettre E du tableau A.6 en annexe 1. Le coefficient K s'obtient en multipliant les facteurs de correction K_1, K_2, K_3, K_n et K_s :

Le facteur de correction $K_1=1$ prend en compte le mode de pose comme le montre le (tableau A.7 en annexe).

Le facteur de correction $K_2 = 0.77$ prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés côte à côté (tableau A.8 en annexe).

Le facteur de correction $K_3=1$ prend en compte la température ambiante et la nature de l'isolant (tableau A.9 en annexe).

Le facteur de correction K_n (conducteur Neutre chargé) (selon la norme NF C 15-100 §523.5.2) $K_n = 0,84$.

Le facteur de correction dit de symétrie K_s (selon la norme NF C 15-105 § B.5.2 et le nombre de câbles en parallèle) $K_s = 1$ pour 2 et 4 câbles par phase avec le respect de la symétrie. $K_s = 0,8$ pour 2, 3 et 4 câbles par phase si non-respect de la symétrie.

On a :

$$I'_z = \frac{I_z}{k} \quad (\text{III.33})$$

avec :

$$I_z = I_b$$

$$K = \prod_i K_i = K_1 \times K_2 \times \cdots \times K_s = 1 \times 0,77 \times 1 \times 0,84 \times 1 = 0,6468.$$

En se plaçant sur la ligne correspondant à la lettre de sélection, dans la colonne de type isolant (cuivre, aluminium) du tableau A.10 en annexe, on choisit la valeur immédiatement supérieure I'_z , ce qui donne un courant admissible I_{ad} et une section S_j .

Le résultat est présenté dans le tableau situé ci-dessus :

TABLE III.9.: choix des sections S_j des câbles par rapport aux critères

Récepteur	$I_z=I_b$ (A)	I_z' (A)	Nature du câble	I_{ad} (A)	S_j (mm)
Compresseur à vis	308.68	477.24	Cuivre (PVC2)	500	240
Compresseur à piston	220.16	340.38	Cuivre(PR3)	346	120
Sécheur	52.88	81.75	Cuivre(PR2)	86	10
Départ principal ($K=1$)	581.72	581.72	Cuivre (PR3)	621	300

III.10.2. Vérification de la chute de tension ($\Delta U\%$)

On utilise la formule suivante :

$$\Delta U = \sqrt{3} I_z \left(\frac{\rho L}{S} \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi \right) \quad (\text{III.34})$$

- I_z : courant d'emploi en ampère (A).
- ρ : résistivité du conducteur en service normal, $\rho = 0.0225 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ pour le cuivre.
- L : longueur du câble en mètres (m), $L = 50\text{m}$ dans notre cas.
- S : section des conducteurs en millimètres carrés (mm^2).
- λ : réactance linéique des conducteurs, $\lambda = 0.08 \times 10^{-3} \Omega/\text{m}$, pour les câbles tripolaires.

En pourcentage on obtient : $\frac{\Delta U}{U_n} \times 100\%$.

Les chutes de tension admissibles dans les réseaux BT sont de 8% (voir tableau A.3 en annexe).

Le résultat est présenté dans le tableau III.10.2 situé ci-dessus :

Récepteur	Iz [A]	cos	sin	[·mm/m]	U [V]	$\Delta U\%$	Sj [mm]	Sz [mm]
Compresseur à vis	308.68	0.85	0.53	0.0225	3.2637	0.8159	240	240
Compresseur à piston	220.16	0.85	0.53	0.0225	3.8471	0.9617	120	120
Sécheur	52.88	0.85	0.53	0.0225	8.9525	2.2381	10	10

La chute de tension calculée est inférieure à la chute de tension admissible (8%). Pour cela, les sections calculées auparavant sont convenables.

III.10.3. Tenue au Court-Circuit (Section S_{cc})

on utilise la formule suivante :

$$S > \frac{I_{cc} \times \sqrt{t_c}}{K} \quad (\text{III.35})$$

- K : Coefficient du matériau pour Cuivre PVC : $K = 143$ et Cuivre PR : $K = 176$
- S : Section calculée (en mm^2).
- t_c : Durée du défaut (généralement $t_c = 1\text{s}$ pour les disjoncteurs).
- I_{cc} : Courant de court-circuit aval (dépend de la distance du câble et du court-circuit amont de 10kA)(voir tableau A.11 en annexe).

Le résultat est présenté dans le tableau III.10 situé ci-dessus :

TABLE III.10.: Vérification des sections par rapport au court circuits

Récepteur	K	$I_{cc} (\text{kA})$	$\frac{I_{cc}\sqrt{t_c}}{K}$	$S (\text{mm}^2)$	$S_{cc} (\text{mm}^2)$
Compresseur à vis	143	8.7	60.84	240	240
Compresseur à piston	176	7.6	43.18	120	120
Sécheur	176	1.7	9.65	10	10

Remarque :

les sections calculées auparavant sont convenables pour assurer la tenue au courant de court-circuit selon la norme NFC 15-100.

III.11. Sélection des Dispositifs de Protection

III.11.1. Choix des Disjoncteurs par Charge

Pour sélectionner les disjoncteurs adaptés à chaque charge de l'installation (compresseur à vis, compresseur à piston, sécheur), il faut se baser sur les courants d'emploi (I_b), les caractéristiques des moteurs, les sections de câbles retenues, ainsi que les règles de protection selon la norme NFC 15-100.

Compresseur à vis :

- **Puissance nominale :** 455 kW.
- **Courant d'emploi :** 308,68 A.

- **Section du câble** : 240 mm^2 (cuivre PVC2).
- **Tension** : 400 V.

Choix disjoncteur :

- Courant assigné disjoncteur $\geq 1.25 \times I_b \approx 386 \text{ A}$.
- Disjoncteur magnétothermique 3P, calibre 400 A.
- Pouvoir de coupure $\geq 50 \text{ kA}$ (poste BT protégé par transformateur 400 kVA, courant de court-circuit amont estimé 15-25 kA).

Selon les normes, nous avons utilisé le disjoncteur **NSX400N TM400D** (Disjoncteur Compact NSX, 400 A maximum, réglable, 3 pôles, déclencheur thermique-magnétique TM). [9]

Compresseur à piston :

- **Puissance nominale** : 240 kW.
- **Courant d'emploi** : 220,16 A.
- **Section du câble** : 120 mm^2 (cuivre PR3).
- **Tension** : 400 V.

Choix disjoncteur :

- Courant assigné disjoncteur $\geq 1.25 \times I_b \approx 275 \text{ A}$.
- Disjoncteur magnétothermique 3P, calibre 300 A.

Selon les normes on a utilisé **NSX400F TM320D** Compact NSX, 400 A, 3 pôles, déclencheur TM . [9]

Sécheur :

- **Puissance nominale** : 69,5 kW.
- **Courant d'emploi** : 52,88 A.
- **Section du câble** : 10 mm^2 (cuivre PR2).
- **Tension** : 400 V.

Choix disjoncteur :

- Courant assigné disjoncteur $\geq 1.25 \times I_b \approx 66 \text{ A}$.
- Disjoncteur magnétothermique 3P, calibre 80 A.

Selon les normes on a utilisé : **NSX100F TM80D** Compact NSX, 100 A, déclencheur TM. [9]

Disjoncteur Général de l'Installation :

- **Courant total d'emploi estimé** : 581,72 A.
- **Section du câble** : 300 mm² (cuivre PR3).
- **Tension** : 400 V.
- **Disjoncteur général BT** .

Choix disjoncteur principal :

- Calibre Ib 630 A , pour protection et sélectivité.
- Pouvoir de coupure : $\geq 50\text{kA}$.

Selon les normes on a utilisé **NSX630F TM630D** Compact NSX 630 A, déclencheur thermique-magnétique réglable. [9]

III.11.2. Coordination Contacteurs et Relais Thermiques

Le choix des relais thermiques et contacteurs pour chaque charge de votre installation (compresseur à vis, compresseur à piston, sécheur), basée sur le courant d'emploi (Ib), le type de moteur, et la norme NFC 15-100, en respectant les plages de réglage thermique et les caractéristiques de démarrage moteur.

Compresseur à vis :

- **Contacteur** : LC1F330M7 Contacteur TeSys F – 330 A – Bobine 400 V AC . [9]
- **Relais thermique** : LR9F5375 Relais thermique TeSys F pour LC1F330. [9]

Compresseur à piston :

- **Contacteur** : LC1F265M7 Contacteur TeSys F – 265 A – Bobine 400 V AC . [9]
- **Relais thermique** : LR9F5371 Relais thermique TeSys F pour LC1F265. [9]

Sécheur :

- **Contacteur** : LC1D80M7 Contacteur TeSys D – 80 A – Bobine 400 V AC. [9]

- Relais thermique : : LRD4365 Relais thermique TeSys D pour LC1D80. [9]

III.12. Conclusion

L'étude de dimensionnement de la station d'air comprimé a révélé un surdimensionnement du compresseur à piston, entraînant une consommation énergétique excessive. L'analyse de l'installation électrique a permis de définir un transformateur approprié, de choisir des câbles de section adaptée, ainsi que des dispositifs de protection assurant la sécurité et la continuité de fonctionnement. Les résultats obtenus concernant les chutes de tension et la tenue aux courts-circuits confirment la fiabilité et la robustesse du système électrique. Pour remédier à cette inefficience, le chapitre suivant se consacrera à l'analyse et à la mise en œuvre de solutions adaptées ,où , le redimensionnement de l'unité afin d'optimiser les performances et de réduire la consommation électrique globale de la station sera présenté.

Chapitre IV.

Le redimensionnement de la station d'air comprimé

IV.1. Introduction

Un diagnostic a révélé un surdimensionnement du compresseur à piston, causant une surconsommation d'énergie et un fonctionnement inadapté de la station d'air comprimé. Ce chapitre propose une solution optimale pour corriger ces problèmes, en considérant à la fois les aspects mécaniques et électriques. L'objectif est de réduire la consommation électrique, améliorer la régulation de la pression et adapter les équipements aux besoins réels. L'analyse comprend le dimensionnement des câbles, le choix des protections électriques, le calcul des courants nominaux et l'optimisation du facteur de puissance. L'intégration d'un variateur de vitesse (VSD) est au cœur de cette solution, permettant une régulation efficace et économique.

IV.2. Rechercher des solution

Après plusieurs recherche nous sommes parvenus à identifier trois solution :

- Changer le compresseur
- Installer un système de by-pass avec régulation
- Utiliser un variateur de vitesse (VSD)

Le choix entre ces solutions dépend donc surtout de l'état du matériel existant, des besoins en air comprimé et des objectifs d'économie d'énergie.

IV.3. Discuter les solutions

Pour améliorer le fonctionnement d'une station d'air comprimé, trois solutions principales peuvent être envisagées : remplacer le compresseur, ajouter un système de by-pass avec régulation, ou installer un variateur de vitesse (VSD).

- Remplacer le compresseur est une bonne option si celui en place est trop vieux, mal adapté ou pas assez performant. C'est une solution coûteuse, mais elle permet d'améliorer fortement le rendement de l'installation.
- Le by-pass avec régulation est une solution intermédiaire : il permet d'éviter une surpression ou de gérer un débit trop élevé, mais il n'apporte pas de gains importants en termes d'énergie.
- le variateur de vitesse est souvent la solution la plus efficace quand la consommation d'air comprimé change au cours du temps. Il permet de faire varier la vitesse du compresseur en fonction des besoins réels, ce qui permet de réduire la consommation électrique sans devoir changer la machine.

En conclusion, l'intégration d'un variateur de vitesse représente la solution la plus adaptée pour optimiser le fonctionnement de la station d'air comprimé, notamment dans un contexte où la demande en air n'est pas constante. Ce dispositif permet d'ajuster en temps réel la vitesse du compresseur en fonction des besoins réels, ce qui réduit significativement la consommation d'énergie et l'usure mécanique.

IV.4. Le redimensionnement avec l'intégration de VSD

IV.4.1. Définition de VSD (Variable Speed Drive)

Un variateur de vitesse (VSD) est un dispositif électronique permettant de modifier la vitesse de rotation d'un moteur électrique. Dans une station d'air comprimé, il ajuste automatiquement cette vitesse en fonction de la demande réelle en air, détectée à partir de la pression du réseau. Ce réglage permet de maintenir une pression stable tout en évitant un fonctionnement inutile à régime constant. Cette régulation dynamique réduit la consommation d'énergie, limite l'usure mécanique du compresseur et améliore la qualité du réseau d'air comprimé grâce à une pression plus constante et mieux contrôlée. [10]

IV.4.2. Nouveaux Paramètres de Fonctionnement

Objectif d'adapter le compresseur à une pression de service de 33.29 bar.

On a :

- Un compresseur à piston 2DN2 surdimensionné (pression max = 42 bar).
- Un Besoin réel de pression de 33,29 bar.
- Un Débit massique de 1,0763 kg/s (3000 Nm³/h).

IV.4.3. Impact de la pression sur la puissance absorbée

La puissance absorbée dépend directement du rapport de compression (P₂/P₁). En diminuant la pression de sortie de 42 bar à 33.29 bar, nous réduisons ce rapport, donc la puissance nécessaire baisse significativement.

Nous pouvons estimer la nouvelle puissance requise théorique par proportion des logarithmes des rapports de compression :

$$P_{\text{corrigé}} = P_{\text{initial}} \times \frac{\ln \left(\frac{P_{2\text{souhaité}}}{P_1} \right)}{\ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right)} \quad (\text{IV.1})$$

D'où :

- Pression d'entrée du compresseur $P_1 \approx 8,5$ bar
- Pression de sortie du compresseur $P_2 = 42$ bar
- Pression de sortie souhaitée $P_{2s} = 33,29$ bar
- Puissance moteur réelle $P_{\text{initial}} = 176,75$ kW

$$P_{\text{corrigé}} = 176.75 \times \frac{\ln \left(\frac{33.29}{8.5} \right)}{\ln \left(\frac{42}{8.5} \right)}$$

$$P_{\text{corrigé}} = 151.04 \text{ kW}$$

Avec cette dernière, on aura des changements dans : la puissance de sécheur, la consommation électrique et les courants de sécheur et piston.

IV.4.4. la puissance de sécheur

$$P'_{\text{total}} = P_{\text{piston}} + P_{\text{vis}} \quad (\text{IV.2})$$

$$P'_{\text{total}} = 151.04 + 323.169$$

$$P'_{\text{total}} = 474.209 \text{ kW}$$

$$P_{\text{sécheur}} = 0.1 \times P'_{\text{total}} \quad (\text{IV.3})$$

$$P_{\text{sécheur}} = 0.1 \times 474.209$$

$$P_{\text{sécheur}} = 47.4209 \text{ kW}$$

IV.4.5. La consommation électrique

$$P_{\text{total}} = P_{\text{piston}} + P_{\text{vis}} + P_{\text{sécheur}} \quad (\text{IV.4})$$

$$P_{\text{total}} = 151.04 + 323.169 + 47.4209$$

$$P_{\text{total}} = 521.63 \text{ kW}$$

$$E = P_{\text{total}} \times t$$

$$E = 521.63 \times 24$$

$$E = 12519.12 \text{ kWh/jour}$$

IV.4.6. courants de sécheur et piston

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi} \quad (\text{IV.5})$$

Avec :

$$I_{\text{piston}} = \frac{151040}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.85} \quad (\text{IV.6})$$

$$I_{\text{piston}} = 256.48 \text{ A}$$

$$I_{\text{sécheur}} = \frac{47420.9}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.85} \quad (\text{IV.7})$$

$$I_{\text{sécheur}} = 80.52 \text{ A}$$

IV.4.7. La nouvelle vitesse

La nouvelle vitesse de compresseur pour adapter à nos besoins.

La puissance est approximativement proportionnelle au cube de la vitesse pour des compresseurs volumétriques :

$$\frac{P_{\text{corrigé}}}{P_{\text{nominale}}} = \left(\frac{N_{\text{corrigé}}}{N_{\text{nominale}}} \right)^3 \quad (\text{IV.8})$$

$$\frac{151.04}{240} = \left(\frac{N_{\text{corrigé}}}{880} \right)^3$$

$$N_{\text{corrigé}} = 880 \times \sqrt[3]{\frac{151.04}{240}}$$

$$N_{\text{corrigé}} = 754.12 \text{ tr/min}$$

IV.4.8. Nouveau bilan

Comme le montre le tableau IV.1, le nouveau bilan montre qu'avec un variateur de vitesse, la puissance du compresseur à piston chute à 151.04 kW, réduisant la consommation de 25.71 kW. Cela améliore l'adéquation à la pression réelle (33 bar), diminue les courants et l'énergie consommée, tout en évitant un remplacement coûteux.

TABLE IV.1.: Comparaison des paramètres théoriques et pratiques après le VSD

Paramètre	Théorique	Pratique	Écart (%)
Puissance du compresseur à vis (kW)	323.169	322.53	-0.2%
Puissance du compresseur à piston (kW)	151.04	176.75	+17.02%
Puissance du sécheur (kW)	47.4209	49.906	+4.98%
Consommation journalière (kWh/jour)	12519.12	13175.184	+4.98%
Courant du compresseur à vis (A)	548.77	547.68	-0.2%
Courant du compresseur à piston (A)	256.48	300.13	+14.54%
Courant du sécheur (A)	80.52	84.74	+4.98%

IV.5. Identification des Installations et Charges Électriques

IV.5.1. Caractéristiques des Équipements (Puissances Nominales et Actives)

Puissances nominales (P_n) :

- Puissance compresseur à vis : 455 kW
- Puissance compresseur à piston : 240 kW
- Sécheur : 69,5 kW

Puissances absorbées (P_a) :

- Puissance compresseur à vis : 323.169 KW
- Puissance compresseur à piston : 151.04 KWkW
- Sécheur : 47.4209 KW

IV.5.2. Calculs des Courants Nominaux et puissances Réactives des Charges

Formules utilisées :

Courants nominales :

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi \times \eta} \quad (\text{IV.9})$$

Puissances réactives (Q_a) :

$$Q_a = P_a \times \tan \varphi \quad (\text{IV.10})$$

Le résultat est présenté dans le tableau IV.2 situé ci-dessus :

TABLE IV.2.: Calculs des Courants Nominaux et puissances Réactives après VSD

Les moteurs	U (V)	P_n (W)	η	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$	P_a (W)	Q_a (var)	I_n (A)
Compresseur à vis	400	455000	0.85	0.85	0.62	323169	200364.78	645.61
Compresseur à piston	400	240000	0.85	0.85	0.62	151040	93644.8	460.47
Sécheur	400	69500	0.85	0.85	0.62	47420.9	29400.958	110.6

IV.5.3. Bilan des Puissances Installées

Pour établir le bilan des puissances l'installation, il est nécessaire de calculer la somme des puissances active et réactive. Voici les formules à utiliser :

Puissances actives total (P_{at}) :

$$P_{at} = \sum_{i=1}^n P_a \quad (\text{IV.11})$$

Puissance réactives total (Q_{at}) :

$$Q_{at} = \sum_{i=1}^n Q_a \quad (\text{IV.12})$$

Puissance apparente :

$$S_a = \sqrt{P_{at}^2 + Q_{at}^2} \quad (\text{IV.13})$$

TABLE IV.3.: Bilan des puissances installées après VSD

	P_{at} (W)	Q_{at} (var)	S_a (VA)
Total	521629.9	323410.538	613752.4979

IV.5.4. Calcul des Puissances Utilisées et Facteur de Puissance

IV.5.4.1. Détermination des Puissances Utilisées et courants d'emplois

Formules utilisées :

Puissance utile :

$$P_u = P_a \times K_u \times K_s \quad (\text{IV.14})$$

Puissance réactive :

$$Q_u = P_u \times \tan \varphi \quad (\text{IV.15})$$

Courant d'emploi :

$$I_b = \frac{P_u}{\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi} \times K_u \times K_s \quad (\text{IV.16})$$

Facteur de simultanéité : $K_s = 1$ (voir le tableau A.1 en annexe)

Coefficient d'utilisation $K_u = 0.75$ (pour les moteurs)

Le résultat est présenté dans le tableau IV.4 situé ci-dessus :

TABLE IV.4.: Calcul des Puissances Utilisées et Facteur de Puissance après VSD

Les moteurs	P_a (W)	K_u	K_s	P_u (W)	Q_u (var)	I_b (A)
Compresseur à vis	323169	0.75	1	242376.75	150273.585	308.68
Compresseur à piston	151040	0.75	1	113280	70233.6	144.27
Sécheur	47420.9	0.75	1	35565.675	22050.7185	45.29

IV.5.4.2. Bilan des Puissances Totales de l'Installation

Formules utilisées :

$$P_{ut} = K_s \times \sum_{i=1}^n P_u \quad (\text{IV.17})$$

$$Q_{ut} = K_s \times \sum_{i=1}^n Q_u \quad (\text{IV.18})$$

$$S_{ut} = K_s \times \sum_{i=1}^n S_u \quad (\text{IV.19})$$

$$I_{bt} = K_s \times \sum_{i=1}^n I_b \quad (\text{IV.20})$$

facteur de simultanéité (K_s) pour tableau général $K_s=0.9$, voir tableau A.2 en annexe

TABLE IV.5.: Calcul des Puissances Totales de l'Installation après VSD

	Put (W)	Qut (var)	Sut (VA)	Ibt (A)
Total	352100.1825	218302.1132	414282.9361	498.24

IV.5.4.3. Calcul du Facteur de Puissance Global

$$\cos \varphi = \frac{P_{ut}}{S_{ut}} \quad (\text{IV.21})$$

$$\cos \varphi = \frac{352100.1825}{414282.9361}$$

$$\cos \varphi = 0.8499 \approx 0.85$$

IV.6. Dimensionnement du Transformateur

IV.6.1. Choix de la Puissance Apparente Normalisée

La tension moyenne délivrée par le réseau est de 30 kV, tandis que celle appliquée aux récepteurs de notre station est de 400 V.

Afin de sélectionner le transformateur de puissance normalisée le mieux adapté à notre installation, selon le bilan des puissances total utilisée.

à partir de Tableau A.4 en annexe. Le transformateur retenu aura une puissance apparente normalisée de 500 kVA.

IV.6.2. Rapport de Transformation et Courants

On détermine le rapport de transformation tout en supposant que le primaire et le secondaire ont le même couplage, pour cela, on va appliquer la formule suivante pour le calculer :

$$m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2} \quad (\text{IV.22})$$

U_1, U_2 : Tension primaire (30 KV) et secondaire (400 V) du transformateur.

$$m = 400 / 30000$$

$$m = 0.0133$$

Calcul de courant secondaire :

Le courant nominal au secondaire du transformateur, côté basse tension(BT).déterminé par l'expression :

$$I_n = \frac{S_n}{U_2 \times \sqrt{3}} \quad (\text{IV.23})$$

I_n : Courant assigné du transformateur

S_n : puissance assignée du transformateur (400 KVA)

U_2 : Tension assignée secondaire

$$I_2 = \frac{500000}{400 \times \sqrt{3}}$$

$$I_2 = 721.69$$

Le courant secondaire du transformateur est : $I_2 = 721.69$ A.

Calcul du courant primaire :

$$m = \frac{I_1}{I_2} \quad (\text{IV.24})$$

$$I_1 = I_2 \times m$$

$$I_1 = 721.69 \times 0.0133$$

$$I_1 = 9.6 \text{ A}$$

le courant primaire du transformateur est égal à : $I_1 = 9.6$ A

IV.6.3. Caractéristiques Techniques du Transformateur

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

Pour le transformateur de distribution (norme NBN - HD 428 1 S1), U_{cc} a des valeurs normalisées.

Selon le tableau v A.5 en annexe, la tension de court-circuit de notre transformateur est $U_{cc} = 4\%$ de la tension nominale, soit $U_{cc} = 16$ V.

Les caractéristiques du transformateur adéquat pour l'installation sont présentées dans le tableau IV.6 ci-dessous.

TABLE IV.6.: Caractéristiques du transformateur adéquat pour l'installation après VSD

Puissance apparente [kVA]	Tension primaire [kV]	Tension secondaire [V]	Courant primaire [A]	Courant secondaire [A]	U_{cc} (V)	R_t (mΩ)	X_t (mΩ)
630	30	400	9.6	721.69	4% U=16 V	3.5	10.6

IV.7. Dimensionnement des Câbles

La détermination de cette section consiste à trouver la section normalisée appartenant au type du câble choisi, et satisfait les trois conditions suivantes :

- Échauffement normal.
- Chute de tension admissible.
- Surcharge due au court-circuit.

IV.7.1. Critère d'Échauffement (Section S_j)

Les conditions dans lesquelles l'installation est dimensionnée sont les suivantes :

- Le mode de pose .
- Le type d'éléments conducteurs .
- L'influence mutuelle des autres circuits .
- La température ambiante .
- La nature de l'isolant .
- L'intensité nominale du courant d'emploi I_b .

Le mode de pose dans notre cas c'est : sur échelle, corbeaux, chemin de câble perforé. Sélectionné par la lettre E du tableau A.6 en annexe 1. Le coefficient K s'obtient en multipliant les facteurs de correction K_1 , K_2 , K_3 , K_n et K_s :

Le facteur de correction $K_1=1$ prend en compte le mode de pose comme le montre le (voir tableau A.7 en annexe).

Le facteur de correction $K_2 = 0.77$ prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés côté à côté (voir tableau A.8 en annexe).

Le facteur de correction $K_3=1$ prend en compte la température ambiante et la nature de l'isolant (voir tableau A.9 en annexe).

Le facteur de correction K_n (conducteur Neutre chargé) (selon la norme NF C 15-100 §523.5.2) $K_n = 0,84$.

Le facteur de correction dit de symétrie K_s (selon la norme NF C 15-105 § B.5.2 et le nombre de câbles en parallèle) $K_s = 1$ pour 2 et 4 câbles par phase avec le respect de la symétrie. $K_s = 0,8$ pour 2, 3 et 4 câbles par phase si non-respect de la symétrie.

On a :

$$I'_z = \frac{I_z}{k} \quad (\text{IV.25})$$

avec :

$$\begin{aligned} I_z &= I_b \\ K &= \prod_i K_i = K_1 \times K_2 \times \dots \times K_s = 1 \times 0,77 \times 1 \times 0,84 \times 1 = 0,6468. \end{aligned}$$

En se plaçant sur la ligne correspondant à la lettre de sélection, dans la colonne de type isolant (cuivre, aluminium) du tableau A.10 en annexe de l'annexe, on choisit la valeur immédiatement supérieure I'_z , ce qui donne un courant admissible I_{ad} et une section S_j .

Le résultat est présenté dans le tableau IV.7 situé ci-dessus :

TABLE IV.7.: choix des sections S_j câbles par rapport aux critères après VSD

Récepteur	$I_z=I_b$ (A)	I'_z (A)	Nature du câble	I_{ad} (A)	S_j (mm)
Compresseur à vis	308.68	477.24	Cuivre (PVC2)	500	240
Compresseur à piston	144.27	223.05	Cuivre (PR2)	225	50
Sécheur	45.29	70.02	Cuivre (PR3)	75	10
Départ principal ($K=1$)	498.24	498.24	Cuivre (PVC2)	500	240

IV.7.2. Vérification de la chute de tension ($\Delta U\%$)

On utilise la formule suivante :

$$\Delta U = \sqrt{3} I_z \left(\frac{\rho L}{S} \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi \right) \quad (\text{IV.26})$$

- I_z : courant d'emploi en ampère (A).
- ρ : résistivité du conducteur en service normal, $\rho = 0.0225 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ pour le cuivre.
- L : longueur du câble en mètres (m), $L = 50\text{m}$ dans notre cas.
- S : section des conducteurs en millimètres carrés (mm^2).
- λ : réactance linéique des conducteurs, $\lambda = 0.08 \times 10^{-3} \Omega/\text{m}$, pour les câbles tripolaires.

En pourcentage on obtient : $\frac{\Delta U}{U_n} \times 100\%$.

Les chutes de tension admissibles dans les réseaux BT sont de 8% (voir tableau A.3 en annexe).

Le résultat est présenté dans le tableau situé ci-dessus :

Récepteur	I_z [A]	\cos	\sin	[·mm/m]	U [V]	$U\%$	S_j [mm]	S_z [mm]
Compresseur à vis	308.68	0.85	0.53	0.0225	3.2637	0.8159	240	240
Compresseur à piston	144.27	0.85	0.53	0.0225	5.3088	1.3272	50	50
Sécheur	45.29	0.85	0.53	0.0225	7.6676	1.9169	10	10

La chute de tension calculée est inférieure à la chute de tension admissible (8%). Pour cela, les sections calculées auparavant sont convenables.

IV.7.3. Tenue au Court-Circuit (Section S_{cc})

on utilise la formule suivante :

$$S > \frac{I_{cc} \times \sqrt{t_c}}{K} \quad (\text{IV.27})$$

- K : Coefficient du matériau pour Cuivre PVC : $K = 143$ et Cuivre PR : $K = 176$
- S : Section calculée (en mm^2).
- t_c : Durée du défaut (généralement $t_c = 1\text{s}$ pour les disjoncteurs).

- I_{cc} : Courant de court-circuit aval (dépend de la distance du câble et du court-circuit amont de 10kA) A partir du (voir tableau A.11).

Le résultat est présenté dans le tableau IV.8 situé ci-dessus

TABLE IV.8.: Vérification des sections par rapport au court circuits après VSD

Récepteur	K	Icc (kA)	$\frac{I_{cc}\sqrt{t_c}}{K}$	S (mm ²)	Scc (mm ²)
Compresseur à vis	143	8.7	60.84	240	240
Compresseur à piston	176	7.6	43.18	50	50
Sécheur	176	1.7	9.65	10	10

Remarque :

Les sections des câbles sont vérifiées pour assurer la tenue au courant de court-circuit selon la norme NFC 15-100.

IV.8. Sélection des Dispositifs de Protection

IV.8.1. Choix des Disjoncteurs par Charge

Pour sélectionner les disjoncteurs adaptés à chaque charge de l'installation (compresseur à vis, compresseur à piston, sécheur), il faut se baser sur les courants d'emploi (I_b), les caractéristiques des moteurs, les sections de câbles retenues, ainsi que les règles de protection selon la norme NFC 15-100.

Compresseur à vis :

- **Puissance nominale :** 455 kW.
- **Courant d'emploi :** 303,68 A.
- **Section du câble :** 240 mm² (cuivre PVC2).
- **Tension :** 400 V.

Choix disjoncteur :

- Courant assigné disjoncteur $\geq 1.25 \times I_b \approx 386$ A.
- Disjoncteur magnétothermique 3P, calibre 400 A.
- Pouvoir de coupure ≥ 50 kA (poste BT protégé par transformateur 400 kVA, courant de court-circuit amont estimé 15-25 kA).

Selon les normes, nous avons utilisé le disjoncteur **NSX400N TM400D** (Disjoncteur Compact NSX, 400 A maximum, réglable, 3 pôles, déclencheur thermique-magnétique TM). [9]

Compresseur à piston :

- **Puissance nominale** : 240 kW.
- **Courant d'emploi** : 144,27 A.
- **Section du câble** : 50 mm² (cuivre PR2).
- **Tension** : 400 V.

Choix disjoncteur :

- Courant assigné disjoncteur $\geq 1.25 \times I_b \approx 180$ A.
- Disjoncteur magnétothermique 3P, calibre 200 A.

Selon les normes on a utilisé **NSX250F TM200D** Compact NSX, 200 A, 3 pôles, déclencheur TM . [9]

Sécheur :

- **Puissance nominale** : 69,5 kW.
- **Courant d'emploi** : 45,29 A.
- **Section du câble** : 10 mm² (cuivre PR3).
- **Tension** : 400 V.

Choix disjoncteur :

- Courant assigné disjoncteur $\geq 1.25 \times I_b \approx 57$ A.
- Disjoncteur magnétothermique 3P, calibre 63 A.

Selon les normes on a utilisé : **NSX100F TM63D** Compact NSX, 100 A, déclencheur TM. [9]

Disjoncteur Général de l'Installation :

- **Courant total d'emploi estimé** : 498,24 A.
- **Section du câble** : 185 mm² (cuivre PVC2).
- **Tension** : 400 V.
- **Disjoncteur général BT** .

Choix disjoncteur principal :

- Calibre Ib 630 A ,pour protection et sélectivité.
- Pouvoir de coupure : $\geq 50\text{kA}$.

Selon les normes on a utilisé **NSX630F TM630D Compact NSX 630 A**, déclencheur thermique-magnétique réglable. [9]

IV.8.2. Coordination Contacteurs et Relais Thermiques

Le choix des relais thermiques et contacteurs pour chaque charge de votre installation (compresseur à vis, compresseur à piston, sécheur), basée sur le courant d'emploi (Ib), le type de moteur, et la norme NFC 15-100, en respectant les plages de réglage thermique et les caractéristiques de démarrage moteur.

Compresseur à vis :

- **Contacteur** : LC1F330M7 Contacteur TeSys F – 400 A – Bobine 400 V AC . [9]
- **Relais thermique** : LR9F5375 Relais thermique TeSys F pour LC1F330. [9]

Compresseur à piston :

- **Contacteur** : LC1F185M7 Contacteur TeSys F – 185 A – Bobine 400 V AC . [9]
- **Relais thermique** : LR9F5359 Relais thermique TeSys F pour LC1F185. [9]

Sécheur :

- **Contacteur** : LC1D80M7 Contacteur TeSys D – 80 A – Bobine 400 V AC. [9]
- **Relais thermique** : LRD4365 Relais thermique TeSys D pour LC1D80. [9]

IV.9. Conclusion

L'intégration d'un variateur de vitesse (VSD) a permis de corriger efficacement le surdimensionnement du compresseur à piston, en adaptant sa vitesse à la demande réelle. Cette solution a réduit la consommation électrique, les courants moteurs et l'usure mécanique, tout en améliorant la performance énergétique (facteur de puissance porté à 0,94). Le dimensionnement précis des câbles et la sélection de protections adaptées garantissent la sécurité de l'installation. Cette approche optimise le fonctionnement sans nécessiter de remplacement d'équipements, alliant efficacité, fiabilité et rentabilité.

Conclusion général

Ce mémoire a porté sur l'étude, le dimensionnement et l'optimisation d'une station d'air comprimé au sein du complexe industriel Cevital de Béjaïa, plus précisément dans l'unité de conditionnement d'huile. Après avoir souligné l'importance stratégique de l'air comprimé dans les processus industriels, nous avons décrit en détail l'installation existante, composée notamment d'un compresseur à vis ZR, d'un compresseur à piston 2DN2 et d'un sécheur MD.

L'analyse énergétique et mécanique a révélé un surdimensionnement du compresseur à piston, générant une surconsommation électrique. Un redimensionnement a alors été proposé, incluant l'intégration d'un variateur de vitesse (VSD), permettant d'adapter le fonctionnement du compresseur à la demande réelle, d'améliorer son efficacité énergétique et de prolonger sa durée de vie.

Les bilans réalisés après modification ont confirmé une nette amélioration des performances globales de la station. Par ailleurs, le redimensionnement du poste électrique a permis de garantir une alimentation stable et sécurisée.

Plus précisément, ce travail a permis d'optimiser une installation existante et peut servir de méthode pour d'autres industries qui rencontrent les mêmes problèmes. Il montre qu'un bon dimensionnement et l'utilisation d'équipements adaptés permettent de rendre les systèmes plus performants, plus économiques et plus durables.

Annexe A.

UTILISATION	FACTEUR DE SIMULTANEITE
Eclairage	1
Chauffage électrique	1*
Conditionnement d'air de pièce	1
Chappe-eau	1*
Prise de courant (N étant le nombre de prises de courant alimentées par le même circuit)	0.1 + (0.9/N) si N<6 0.6 si N>6
Appareils de cuisson	0.7
Ascenseurs	Pour le moteur le plus puissant
** et monte-chARGE	Pour le moteur suivant
	Pour les autres

FIGURE A.1.: facteur de simultanéité K_s pour coffrets divisionnaires, terminaux (norme NF C 15-100 paragraphe 311.3)

NOMBRE DE CIRCUITS	FACTEUR DE SIMULTANEITE (1)
2 et 3	0.9
4 et 5	0.8
6 à 9	0.7
10 et plus	0.6

FIGURE A.2.: facteur de simultanéité K_s pour tableau général, tableau de distribution secondaire (norme NF C 63-410) si les conditions sont inconnues.

Type d'installations	Eclairage	Autres usages (force motrice)
Alimentation par le réseau BT de distribution publique	3%	5%
Alimentation par poste privé MT/BT	6%	8%
Lorsque les canalisations principales de l'installation ont une longueur supérieure à 100 m, ces chutes de tension peuvent être augmentées de 0,005 % par mètre de canalisation au-delà de 100 m, sans toutefois que ce supplément soit supérieur à 0,5 %.		

FIGURE A.3.: chutes de tension admissibles dans les réseaux BT

Puissance apparente kVA	In (A)	
	230 V	400 V
100	244	141
160	390	225
250	609	352
315	767	444
400	974	563
500	1218	704
630	1535	887
800	1949	1127
1000	2436	1408
1250	3045	1760
1600	3898	2253
2000	4872	2816
2500	6090	3520
3150	7673	4436

FIGURE A.4.: Puissances apparentes normalisées des transformateurs MT/BT triphasés et intensités nominales correspondantes.

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

FIGURE A.5.: Caractéristiques des transformateurs MT/BT.

type d'éléments conducteurs	mode de pose	lettre de sélection
conducteurs et câbles multiconducteurs	● sous conduit, profilé ou goulotte, en apparent ou encastré ● sous vide de construction, faux plafond ● sous caniveau, moulures, plinthes, chambranles	B
	● en apparent contre mur ou plafond ● sur chemin de câbles ou tablettes non perforées	C
câbles multiconducteurs	● sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé ● fixés en apparent, espacés de la paroi ● câbles suspendus	E
câbles monoconducteurs	● sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé ● fixés en apparent, espacés de la paroi ● câbles suspendus	F

FIGURE A.6.: Mode de pose (lettre de sélection).

lettre de sélection	cas d'installation	K1
B	● câbles dans des produits encastrés directement dans des matériaux thermiquement isolants	0,70
	● conduits encastrés dans des matériaux thermiquement isolants	0,77
	● câbles multiconducteurs	0,90
	● vides de construction et caniveaux	0,95
C	● pose sous plafond	0,95
B, C, E, F	● autres cas	1

FIGURE A.7.: Facteur de correction K₁.

lettre de sélection	disposition des câbles jointifs	facteur de correction K2 nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20
B, C, F	encastrés ou noyés dans les parois	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40
C	simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes non perforées	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	Pas de facteur de réduction supplémentaire pour plus de 9 câbles.		
	simple couche au plafond	1,00	0,85	0,76	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64			
E, F	simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou sur tablettes verticales	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72	Pas de facteur de réduction supplémentaire pour plus de 9 câbles.		
	simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, etc.	1,00	0,88	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78			

FIGURE A.8.: Facteur de correction K_2 .

températures ambiantes (°C)	isolation		
	élastomère (caoutchouc)	polychlorure de vinyle (PVC)	polyéthylène réticulé (PR) butyle, éthylène, propylène (EPR)
10	1,29	1,22	1,15
15	1,22	1,17	1,12
20	1,15	1,12	1,08
25	1,07	1,06	1,04
30	1,00	1,00	1,00
35	0,93	0,94	0,96
40	0,82	0,87	0,91
45	0,71	0,79	0,87
50	0,58	0,71	0,82
55	-	0,61	0,76
60	-	0,50	0,71

FIGURE A.9.: Facteur de correction K_3 .

lettre de sélection	isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)									
	caoutchouc ou PVC				butyle ou PR ou éthylène PR					
	B	PVC3	PVC2		PR3		PR2		PR2	
C		PVC3			PVC2	PR3		PR2		
E			PVC3		PVC2	PR3		PR2		
F				PVC3		PVC2	PR3		PR2	
section cuivre (mm ²)	1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26	
	2,5	21	24	25	27	30	31	33	36	
	4	28	32	34	36	40	42	45	49	
	6	36	41	43	48	51	54	58	63	
	10	50	57	60	63	70	75	80	86	
	16	68	76	80	85	94	100	107	115	
	25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
	35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
	50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
	70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
	95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
	120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
	150		299	319	344	371	395	441	473	504
	185		341	364	392	424	450	506	542	575
	240		403	430	461	500	538	599	641	679
	300		464	497	530	576	621	693	741	783
	400					656	754	825		940
	500					749	868	946		1 083
	630					855	1 005	1 088		1 254
section aluminium (mm ²)	2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	25	26	28	
	4	22	25	26	28	31	33	35	38	
	6	28	32	33	36	39	43	45	49	
	10	39	44	46	49	54	58	62	67	
	16	53	59	61	66	73	77	84	91	
	25	70	73	78	83	90	97	101	108	121
	35	86	90	96	103	112	120	126	135	150
	50	104	110	117	125	136	146	154	164	184
	70	133	140	150	160	174	187	198	211	237
	95	161	170	183	195	211	227	241	257	289
	120	186	197	212	226	245	263	280	300	337
	150		227	245	261	283	304	324	346	389
	185		259	280	298	323	347	371	397	447
	240		305	330	352	382	409	439	470	530
	300		351	381	406	440	471	508	543	613
	400					526	600	663		740
	500					610	694	770		856
	630					711	808	899		996

FIGURE A.10.: Détermination de la section minimale.

Cuirre	Section des conducteurs de phase (mm²)	Longueur de la canalisation (en mètres)																																
		1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	2 x 120	2 x 150	2 x 185	3 x 120	3 x 150	2 x 240	3 x 185	4 x 185	4 x 240								
230 V 400	1,5																																	
	2,5																	1,1	1,5	2,1	3,0	4,3	6,1	8,6	12	17	24	34						
	4																	1,7	1,9	2,6	3,7	5,3	7,4	10,5	15	21	30	42						
	6																	1,4	2,0	2,8	4,0	5,6	7,9	11,2	16	22	32	45	63					
	10																	2,1	3,0	4,3	6,1	8,6	12,1	17	24	34	48	68	97	137				
	16																	1,7	2,4	3,4	4,8	6,8	9,7	14	19	27	39	55	77	110	155	219		
	25																	1,3	1,9	2,7	3,8	5,4	7,6	10,7	15	21	30	43	61	86	121	171	242	342
	35																	1,9	2,6	3,7	5,3	7,5	10,6	15	21	30	42	60	85	120	170	240	339	479
	50																	1,8	2,5	3,6	5,1	7,2	10,2	14	20	29	41	58	81	115	163	230	325	460
	70																	2,6	3,7	5,3	7,5	10,6	15	21	30	42	60	85	120	170	240	339		
	95																	2,5	3,6	5,1	7,2	10,2	14	20	29	41	58	81	115	163	230	325	460	
	120 →	1,6	2,3	3,2	4,5	6,4	9,1	13	18	26	36	51	73	103	145	205	291	411																
	150	1,2	1,7	2,5	3,5	4,9	7,0	9,9	14	20	28	39	56	79	112	158	223	316	447															
	185	1,5	2,1	2,9	4,1	5,8	8,2	11,7	16	23	33	47	66	93	132	187	264	373	528															
	240	1,8	2,6	3,6	5,1	7,3	10,3	15	21	29	41	58	82	116	164	232	329	465	658															
	300	2,2	3,1	4,4	6,2	8,7	12,3	17	25	35	49	70	99	140	198	279	395	559																
	2 x 120	2,3	3,2	4,5	6,4	9,1	12,8	18	26	36	51	73	103	145	205	291	411	581																
	2 x 150	2,5	3,5	4,9	7,0	9,9	14	20	28	39	56	79	112	158	223	316	447	632																
	2 x 185	2,9	4,1	5,8	8,2	11,7	16,5	23	33	47	66	93	132	187	264	373	528	747																
	3 x 120	3,4	4,8	6,8	9,6	13,6	19	27	39	54	77	109	154	218	308	436	616																	
	3 x 150	3,7	5,2	7,4	10,5	14,8	21	30	42	59	84	118	168	237	335	474	670																	
	2 x 240	3,6	5,2	7,2	10,2	14,6	21	30	42	58	82	116	164	232	328	464	658																	
	3 x 185	4,4	6,2	8,8	12,4	17,5	25	35	49	70	99	140	198	280	396	560																		
	4 x 185	3,8	8,2	11,6	16,4	23	33	46	66	94	132	186	264	374	528	746																		
	4 x 240	7,2	10,4	14,4	20	29	41	60	84	116	164	232	328	464	656																			
Icc amont en kA	Icc	Courant de court-circuit au niveau considéré (Icc aval en kA)																																
	100	93,5	91,1	87,9	83,7	78,4	71,9	64,4	56,1	47,5	39,0	31,2	24,2	18,5	13,8	10,2	7,4	5,4	3,8	2,8	2,0	1,4	1,0											
	90	82,7	82,7	80,1	76,5	72,1	66,6	60,1	52,8	45,1	37,4	30,1	23,6	18,1	13,6	10,1	7,3	5,3	3,8	2,7	2,0	1,4	1,0											
	80	74,2	74,2	72,0	69,2	65,5	61,0	55,5	49,2	42,5	35,6	28,9	22,9	17,6	13,3	9,9	7,3	5,3	3,8	2,7	2,0	1,4	1,0											
	70	65,5	65,5	63,8	61,6	58,7	55,0	50,5	45,3	39,5	33,4	27,5	22,0	17,1	13,0	9,7	7,2	5,2	3,8	2,7	1,9	1,4	1,0											
	60	56,7	56,7	55,4	53,7	51,5	48,6	45,1	40,9	36,1	31,0	25,8	20,9	16,4	12,6	9,5	7,1	5,2	3,8	2,7	1,9	1,4	1,0											
	50	47,7	47,7	46,8	45,6	43,9	41,8	39,2	36,0	32,2	28,1	23,8	19,5	15,6	12,1	9,2	6,9	5,1	3,7	2,7	1,9	1,4	1,0											
	40	38,5	38,5	37,9	37,1	36,0	34,6	32,8	30,5	27,7	24,6	21,2	17,8	14,5	11,4	8,8	6,7	5,0	3,6	2,6	1,9	1,4	1,0											
	35	33,8	33,8	33,4	32,8	31,9	30,8	29,3	27,5	25,2	22,6	19,7	16,7	13,7	11,0	8,5	6,5	4,9	3,6	2,6	1,9	1,4	1,0											
	30	29,1	29,1	28,8	28,3	27,7	26,9	25,7	24,3	22,5	20,4	18,0	15,5	12,9	10,4	8,2	6,3	4,8	3,5	2,6	1,9	1,4	1,0											
	25 →	24,4	24,4	24,2	23,8	23,4	22,8	22,0	20,9	19,6	18,0	16,1	14,0	11,9	9,8	7,8	6,1	4,6	3,4	2,5	1,9	1,3	1,0											
	20	19,6	19,6	19,5	19,2	19,0	18,6	18,0	17,3	16,4	15,2	13,9	12,3	10,6	8,9	7,2	5,7	4,4	3,3	2,5	1,8	1,3	1,0											
	15	14,8	14,8	14,7	14,6	14,4	14,2	13,9	13,4	12,9	12,2	11,3	10,2	9,0	7,7	6,4	5,2	4,1	3,2	2,4	1,8	1,3	0,9											
	10	9,9	9,9	9,9	9,8	9,7	9,6	9,5	9,3	9,0	8,6	8,2	7,6	6,9	6,2	5,3	4,4	3,6	2,9	2,2	1,7	1,2	0,9											
	7	7,0	7,0	6,9	6,9	6,9	6,8	6,7	6,6	6,5	6,3	6,1	5,7	5,3	4,9	4,3	3,7	3,1	2,5	2,0	1,6	1,2	0,9											
	5	5,0	5,0	5,0	5,0	4,9	4,9	4,9	4,8	4,7	4,6	4,5	4,3	4,1	3,8	3,5	3,1	2,7	2,2	1,8	1,4	1,1	0,8											
	4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,9	3,9	3,9	3,8	3,8	3,7	3,6	3,4	3,2	3,0	2,7	2,3	2,0	1,7	1,3	1,0	0,8											
	3	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,2	2,0	1,7	1,5	1,2	1,0	0,8	0,7											
	2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3	1,2	1,0	0,8	0,7											
	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0											

FIGURE A.11.: Valeurs du courant de court-circuit I_{k3} (kA) (aval) en fonction de la longueur, la section et le I_{k3} (amont).

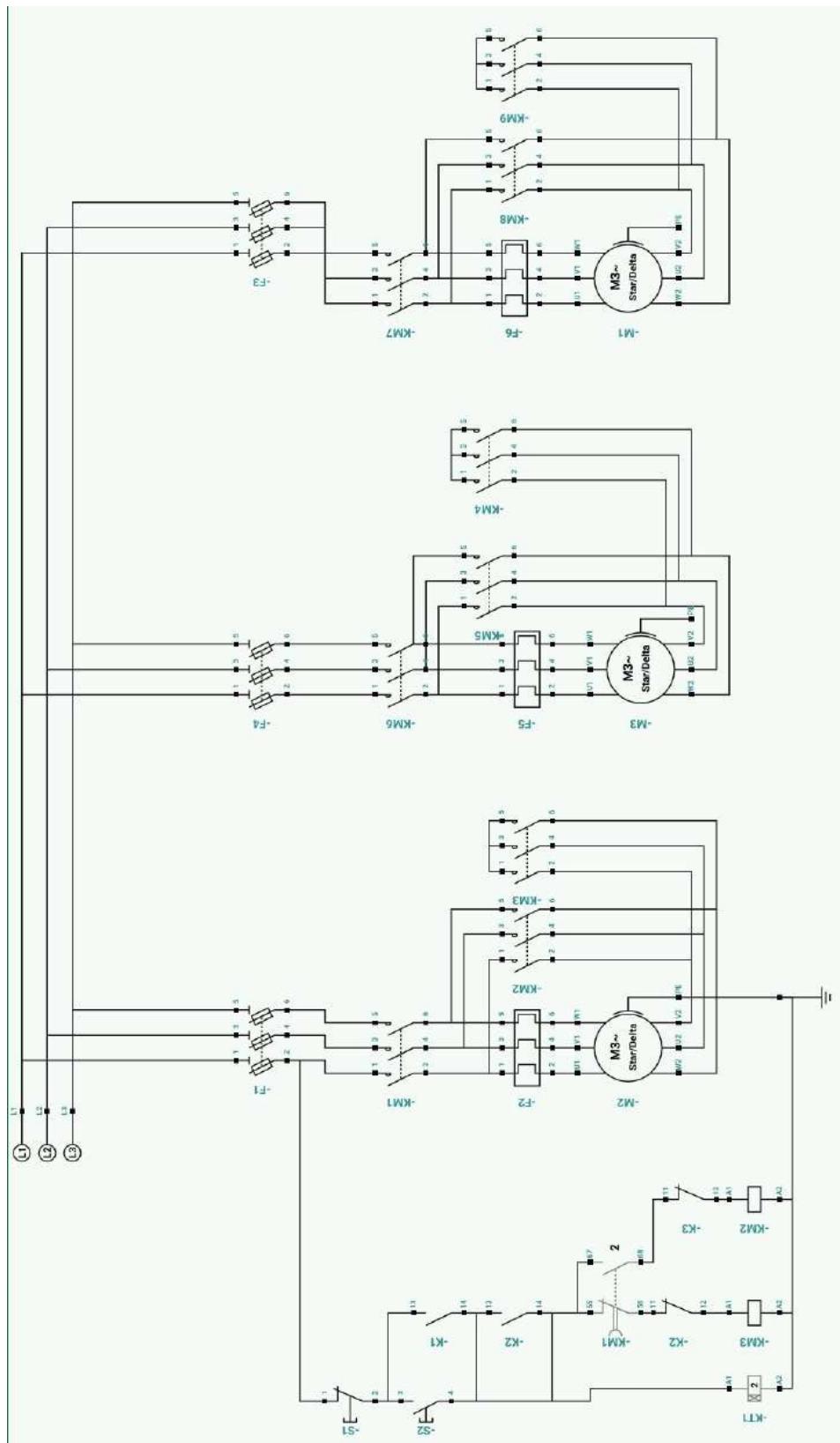


FIGURE A.12.: Schéma électrique de l'installation.

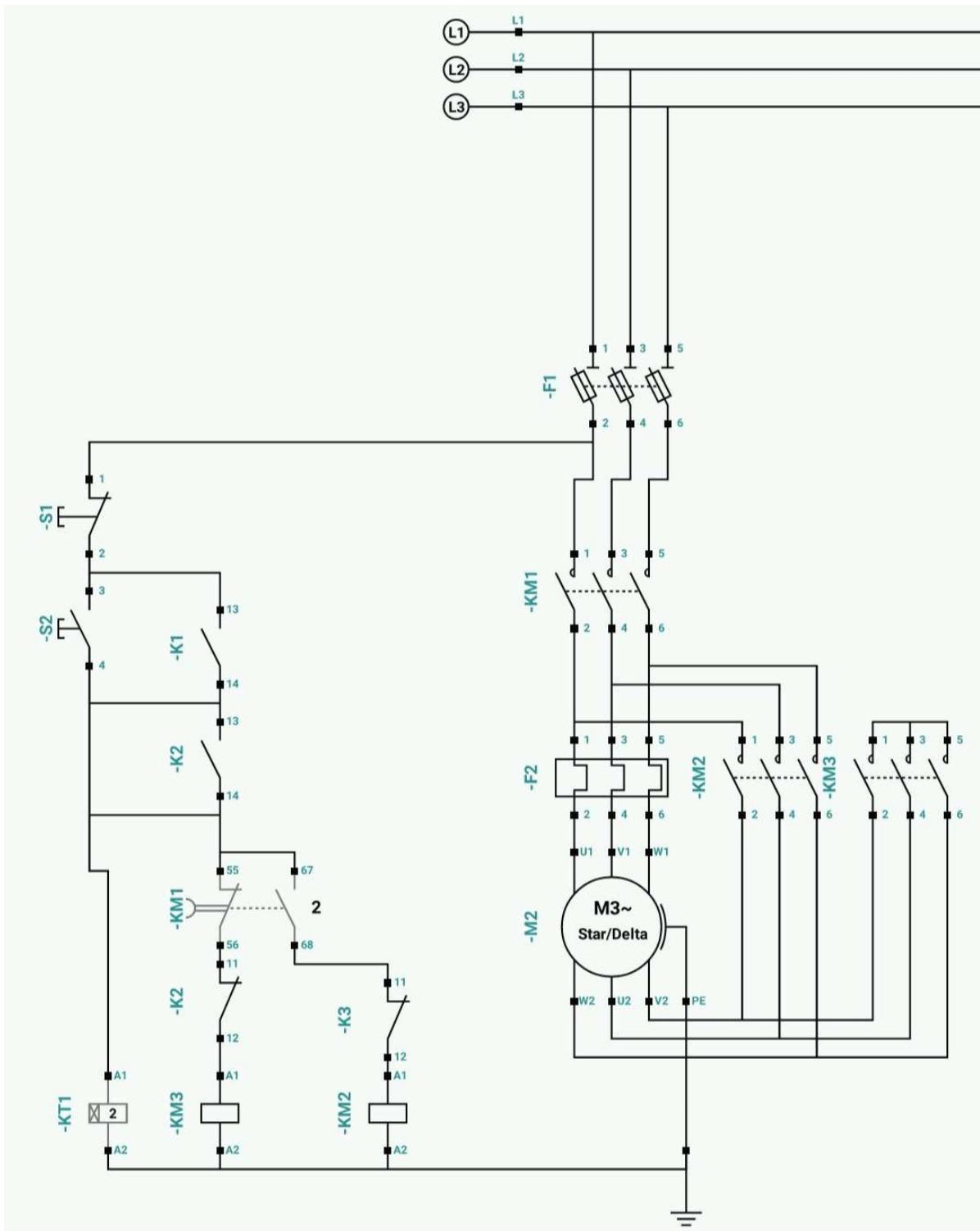


FIGURE A.13.: Schéma électrique partiel de commande électrique et de moteur.

Bibliographie

- [1] Chapitre 2.l'atmosphÈre terrestre, <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/315137/3/2Atmosphere.pdf>.
- [2] R. Saker Ouaragli, Cours sur les compresseurs, université des sciences et de la technologie d'oran mohamed-boudiaf usto-mb, 2022.
- [3] Documentation cevital.
- [4] Manual d'instruction ZR, 2021.
- [5] Manual d'instruction 2DN2, 2020.
- [6] T. Destoop, Compresseurs volumétriques, 1995.
- [7] Atlas copco compressed air manual 8th edition.
- [8] Manual d'instruction MD, 2021.
- [9] shnider elecrrique, <https://www.se.com/ww/en/>.
- [10] Compresseurs d'air à entraînement à vitesse variable, <https://www.atlascopco.com/fr-dz/compressors/wiki/compressed-air-articles/what-is-a-vsdc-compressor>.

Résumé

Ce mémoire traite de l'étude, du dimensionnement et de l'optimisation d'une station d'air comprimé située au sein du complexe industriel de Cevital à Béjaïa, plus précisément dans l'unité de conditionnement d'huile. L'air comprimé étant une énergie indispensable dans les procédés industriels, l'étude a d'abord présenté les principes de production, de traitement et de distribution de cette énergie. L'installation analysée comprend un compresseur à vis ZR, un compresseur à piston 2DN2 et un sécheur MD. L'analyse technique a mis en évidence un surdimensionnement du compresseur à piston, entraînant une consommation énergétique excessive. Une solution d'optimisation a été proposée : l'intégration d'un variateur de vitesse (VSD), permettant d'adapter le fonctionnement du compresseur à la demande réelle. Ce dispositif a permis d'améliorer le rendement énergétique, de réduire les pertes électriques, et d'assurer une meilleure régulation de la pression. En parallèle, le redimensionnement de l'installation électrique (transformateur, câbles, protections) a permis d'atteindre une alimentation fiable et sécurisée. Les résultats obtenus confirment l'efficacité de la démarche et offrent une solution applicable à d'autres installations industrielles confrontées à des problématiques similaires.

Abstract

This thesis focuses on the study, sizing, and optimization of a compressed air station within the Cevital industrial complex in Béjaïa, specifically in the oil packaging unit. As compressed air is essential in industrial processes, the study first presented its production, treatment, and distribution methods. The existing installation includes a ZR screw compressor, a 2DN2 piston compressor, and an MD dryer. Technical analysis revealed the piston compressor was oversized, leading to excessive energy consumption. To address this, a variable speed drive (VSD) was integrated to adjust compressor operation to actual demand, improving energy efficiency and pressure regulation. Additionally, the electrical system (transformer, cables, protections) was resized to ensure reliable and secure power supply. The results confirmed a significant performance improvement, offering a practical solution for similar industrial challenges.