Faculté des Sciences et Techniques de Fès

Département de Génie Industriel

LST de Génie Industriel

Projet de Fin d'Etudes

Optimisation du circuit d'air comprimé dans l'atelier d'expédition du ciment.

Lieu : **LafargeHolcim-Meknès**
Référence : 6/18GI

Préparé par :

-Taouil Wafae
- Tsouli Salma

Soutenu le 5 Juin 2018 devant le jury composé de :

- Pr. Chamat (Encadrant FST)
- Pr. L'H.Hamedi (Examinateur)
- Pr. F. Kaghat (Examinateur)
- Mr. Tnani El Mustapha (Encadrant Société)

Dédicace

À nos très chers parents qui ont toujours été là pour nous, et qui nous ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Nous espérons qu'ils trouveront dans ce travail toute notre reconnaissance et tout notre amour. Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de nous.

À nos très chères sœurs et nos très chers frères, vous avez toujours été pour nous d'une aide très précieuse. Nous vous dédions ce travail en témoignage de notre grande affection.

À tous nos amis et à tous ceux avec lesquels nous avons partagé des moments de bonheur, de joie et de respect.

Remerciement

Avant de commencer la présentation de ce travail, nous profitons del'occasion pour remercier toutes les personnes qui ont contribué de prèsou de loin à la réalisation de ce projet de fin d'études.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements pour notre respectueux professeur, Mr. Chamat, d'avoir accepté de nous encadrer pour notre projet de fin d'études, ainsi que pour son soutien, ses remarques pertinentes et son encouragement.

Nous tenons à exprimer nos profondes reconnaissances et toutes nos penséesde gratitude à Mr. TNANI, qui nous a accompagnéde près duranttout ce travail, pour sa disponibilité, pour la confiance qu'il a suenous accorder et les conseils précieux qu'il nous a prodigués tout au long dela réalisation de ce projet.

Nous tenons à exprimer notre gratitude aux membres de jury qui sesont libérés de leurs obligations pour assister à la soutenance et jugernotre travail.

Veuillez trouver ici letémoignage de notre respect le plus profond.

Nos remerciements vont aussi à tous nos professeurs, enseignants ettoutes les personnes qui nous ont soutenus jusqu'au bout, et qui n'ont pas cesséde nous donner des conseils très importants en signe dereconnaissance.

Enfin, à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réussite dece travail, nous disons merci du fond du cœur.

SOMMAIRE

INTRODUCTION 1

CHAPITRE 1 : PRESENTATION GENERALE DE L'ENTREPRISE 2

I. Présentation du groupe LAFARGEHOLCIM 3
II. Présentation de LafargeHolcim-MAROC 4

CHAPITRE 2 : Processus de fabrication du ciment 9

I. Carrière : 10
II. Zone de Concassage 10
III. Atelier de Pré homogénéisation 11
IV. Zone de Broyage cru 11
V. Silo d'Homogénéisation 11
VI. Zone de Cuisson 12
VII. Zone de Broyage cuit 13
VIII. Zone d'Ensachage et d'expédition 13

CHAPITRE 3 : Description de l'installation de production d'air comprimé 14

I. Production d'air comprimé 15
II. Composants d'une unité de production d'air comprimé 15
III. Installation de production d'air comprimé de l'expédition 20

CHAPITRE 4 : Problématique 22

I . Définition de l'anomalie : 23
II. Circuit des conduites d'air comprimé d'expédition : 24
III. Description des grands consommateurs. 26
IV. Débits des compresseurs : 28
V. Calcul des pertes de charge : 28

CHAPITRE 5 : Solutions pour l'optimisation d'air comprimé d'expédition 33

I. Mesures simples d'optimisation d'air comprimé : 35
II. Investissements rentables pour l'optimisation 36

CONCLUSION 38
Bibliographie 39

Liste de figures

Figure 1 : Fiche signalétique du groupe LafargeHolcim 3
Figure 2 : Fusion LafargeHolcim 4
Figure 3: Disposition des différentes usines de LafargeHolcim au Maroc 5

Figure 4: Position prise par satellite de l'usine LafargeHolcim Meknès 5
Figure 5: Fiche signalétique de d'usine LafargeHolcim-Meknès 7
Figure 6: Organigramme de l'usine LafargeHolcim Meknès 7
Figure 7: Affiche des règles Santé et Sécurité dans l'usine 8
Figure 8: Carrière d'extraction de la matière première 10
Figure 9 : Etapes de concassage, transport et stockage 10
Figure 10: Broyage de la matière pré-homogène 11
Figure 11: Silo d'homogénéisation 11
Figure 12: Processus de cuisson du ciment. 12
Figure 13: Ensachage du ciment CPJ35, CPJ45 en sacs 13
Figure 14 : Transport du ciment CPA 55 en VRAC 14
Figure 15: Production d'air comprimé 15
Figure 16: Installation de production d'air comprimé 16
Figure 17: Principe de fonctionnement du compresseur selon la thermodynamique 17
Figure 18: Compresseur à vis bi-rotor 18
Figure 19: Sécheur de l'air comprimé 18
Figure 20: Fonctionnement du séparateur huile/condensats 19
Figure 21: Filtre Huile/Air 20
Figure 22: Exemple de réservoir d'air comprimé 20
Figure 23: Compresseur KAESER CSD 122 21
Figure 24: Problématique d'optimisation d'air comprimé dans l'atelier d'expédition 24
Figure 25: Conduite 1 d'air comprimé 25
Figure 26: Conduite 2 d'air comprimé d'expédition 26
Figure 27: Filtre à manches (à gauche), Ventilateur du filtre (à droite) 27
Figure 28: Principe de fonctionnement des vérins 27
Figure 29: Vérin pneumatique 28
Figure 30: Désignation du logiciel Pipe Flow Expert 29
Figure 31: Réseau d'air comprimé d'expédition tracé par le logiciel 30
Figure 32: Indicateur des débits par couleur 30
Figure 33: Facteurs majeurs des pertes d'énergie dans l'atelier expédition 33
Figure 34: Niveaux d'optimisation de l'air comprimé 35
Figure 35: Schéma optimisé des conduites de l'expédition 37
Figure 36: Réseau optimisé par Pipe Flow Expert 37

Liste de tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques du compresseur KAEZER CSD 122 12
Tableau 2 : Caractéristiques du compresseur KAEZER CSD 122 21
Tableau 3: Différence entre les pressions mesurées par Pipe Flow et le manomètre 31
Tableau 4: Pertes d'énergie calculées par le logiciel 32
Tableau 5 : Valeurs de pression dans les points du réseau optimisé 38
Tableau 6: Pertes d'énergie dans les conduites du réseau optimisé 38

Introduction

Dans un milieu industriel de plus en plus caractérisé par une compétitivité acharnée, les entreprises qui utilisent l'air comprimé se trouvent aujourd'hui, plus que jamais, dans l'obligation de satisfaire les impératifs : Qualité, Coût et Délai. Afin de conserver cet équilibre, elle cherche à éliminer tous les dysfonctionnements et les gaspillages existants de la production de l'air comprimé dans ses ateliers de LaFargeHolcim ; partant du principe que tout « problème » est une opportunité d'amélioration et doit être abordé comme une chance dans son activité.

L'air comprimé est une forme d'énergie utilisable, c'est une énergie potentielle très utilisée dans les sites de LafargeHolcim. Ses propriétés le rendent irremplaçable dans la mise en œuvre de nombreuses applications, son manque se considère comme un problème majeur qui doit être éliminé d'une manière radicale. C'est dans ce cadre que le présent PFE a été lancé.

Afin de mener à bien ce sujet, nous avons commencé tout d'abord par un diagnostic de l'existant ce qu'on appelle l'état des lieux de l'atelier d'expédition par l'élaboration d'une cartographie de réseau d'air comprimé. Ce travail va nous permettre de déceler les pistes de progrès afin de remédier les diverses anomalies au niveau de réseau de la production de l'air comprimé des compresseurs de l'atelier expédition. Finalement, nous avons proposé des solutions pour éliminer ce problème.

CHAPITRE I :
Présentation générale de l’entreprise

I. Présentation du groupe LAFARGEHOLCIM :

LafargeHolcim(*Figure.1)* est une société à l'échelle mondiale dont le secteur d'activité concerne les matériaux de construction. Elle est issue de la fusion de Lafarge et Holcim.

LafargeHolcim Ltd	
Création	2015
Forme juridique	Société anonyme
Action	Euronext : LHN [archive] SWX : LHN [archive]
Slogan	*A new leader for a new world*
Siège social	Jona Suisse
Direction	Jan Jenish (CEO)
Actionnaires	Thomas Schmidheiny (en)
Activité	Matériaux de construction
Produits	Ciment, béton et granulat
Effectif	115 000 (2015)
Site web	http://www.lafargeholcim.com [archive]
Capitalisation	29 Mds € (oct. 2016)
Chiffre d'affaires	30 Mds €

Figure1:Fiche signalétique du groupe LafargeHolcim

I.1. Contexte de la fusion LafargeHolcim :

Le groupe français Lafarge et le suisse Holcimprécisaient dans leurs communiqués que, compte tenu de la forte complémentaritéde leur portefeuille et de la proximité culturelle entre les deux sociétés, ils ont décidé la création de la nouvelle société LafargeHolcim,*figure 2*.Cette décisionse traduirait par des effets positifs tant pour les clients et les salariés que pour les actionnaires des deux groupes. Vue en un chiffre d'affaires cumulé de plus de 30 milliards d'euros.

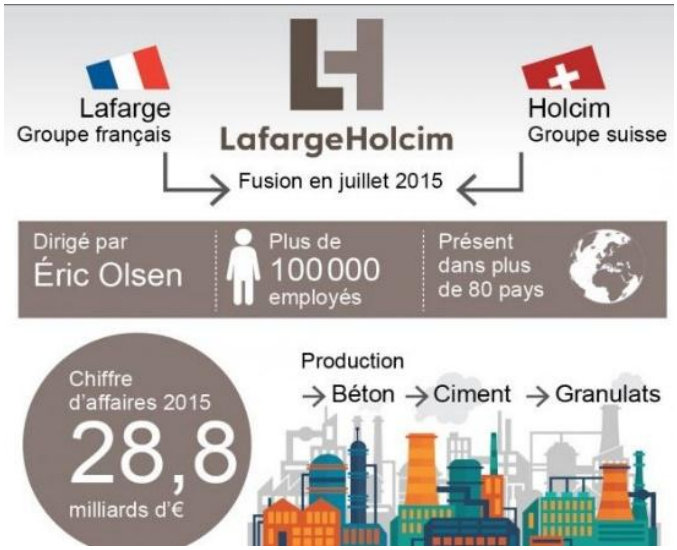

Figure2: Fusion LafargeHolcim

I.2. Activités et répartition dans le monde

LafargeHolcim est spécialisé dans la production et la commercialisation de matériaux de construction. Le CA par famille de produits se répartit comme suit :

- **Ciments** et **clinkers** (61,3%): 209.5 Mt vendues en 2017, etle groupe dispose de 271 cimenteries et stations de broyage dans le monde.
- **Granulats** (10,5%): 278,7 Mt vendues de sables, de graviers, de craies, et LafargeHolcim dispose de 629 sites de production dans le monde.
- **Autres** (28,2%) :principalement béton prêt à l'emploi (50,6 millions de m^3 vendus ; 1 479 sites détenus) et asphaltes.

La répartition géographique du CA est la suivante : Europe (26,2%), Asie-Pacifique (28,1%), Amérique du Nord (21,7%), Afrique et Moyen Orient (12,7%) et Amérique latine (11,3%).

II. Présentation de LafargeHolcim-MAROC

II.1- Généralités :

LafargeHolcim Maroc est né de la fusion en 2016 de Lafarge Ciments et Holcim Maroc où Lafarge détient environ 40% du marché contre 25 à 30% pourHolcim.Toutes ses usines sont certifiées ISO 9001 (qualité) et ISO 14001 (environnement) par les experts de l'AFNOR (Agence Française de Normalisation) et del'IMANOR (InstitutMarocain de la Normalisation).

LafargeHolcim Maroc compte actuellement près de 50 sites industriels et 1300 collaborateurs présents sur l'ensemble du territoire marocain, (***figure 3).***Elledispose d'un maillage industriel multi activités : 6 cimenteries et 1 en construction, 1 usine de mortier ciment,

3 centres de broyage,26 centrales à béton,2 carrières de granulats,2 usines de plâtre,

1 usine de chaux,4 plateformes de valorisation des déchets. Elle propose aujourd'hui la gamme la plus large du marché : ciment, béton prêt à l'emploi, plâtre, granulats et chaux.

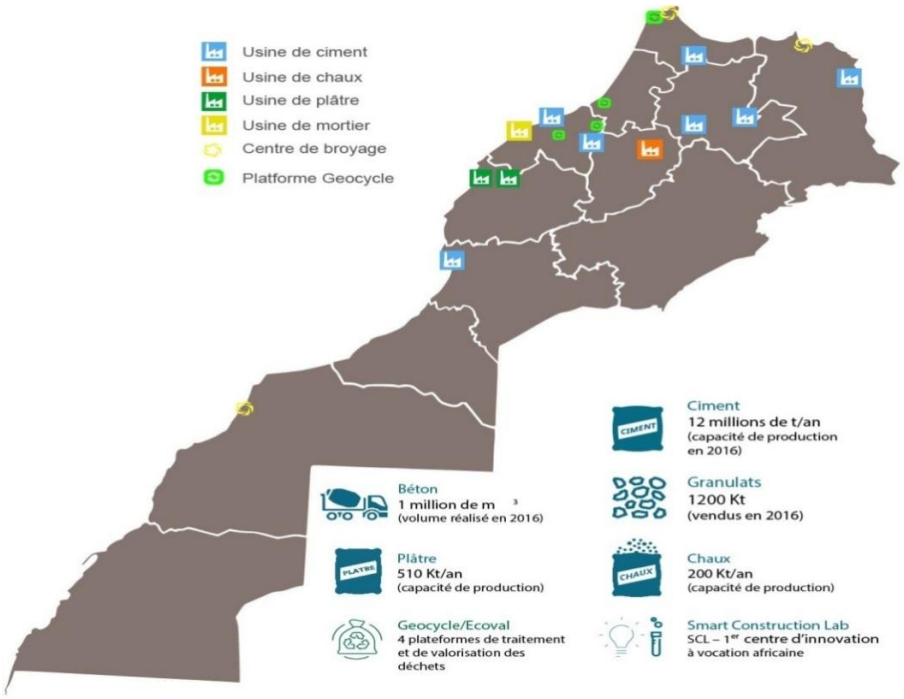

Figure3: Disposition des différentes usines de LafargeHolcim au Maroc

II.2. LafargeHolcim usine de Meknès :

II.2.1 Historiques

Située au nord-est de la ville, (*figure 4)*,LafargeHolcim de Meknès qui avait comme nom la CADEM (ciment artificiel de Meknès) a été créé en 1950.Elle assure la bonne continuité et le leadership de LafargeHolcim Maroc, en réalisant des ventes représentant environ de 30% des ventes de Lafarge Maroc.

Figure4: Position prise par satellite de l'usine LafargeHolcim Meknès

- 1952 : démarrage de l'usine sous le nom de La CADEM avec une seule ligne de production d'une capacité de 400 T/j.
- 1971 : amélioration de la capacité productive grâce à l'installation d'un nouveau four de 650 T/j.
- 1989 : installation d'un broyeur à ciment Bk.
- 1990 : effectuation des modifications pré calcination au charbon et au refroidisseur de la capacité de production en passant de 1500 à 1800 tonnes par jour.
- 1993 : démarrage d'une nouvelle ligne de cuisson.
- 1997 : La CADEM est devenu Lafarge ciment de Meknès.
- 2001 : mise en place d'un filtre à manche F1 en aval du four au service de la protection de l'environnement.
- 2004 : lancement d'une Nouvelle organisation usine /secteur.
- 2015 : Lafarge a concrétisé sa fusion et a donné la naissance de la nouvelle entité LafargeHolcim Maroc.
- 2018 : Modifications au niveau des conduites d'air comprimé d'ensachage

II.2.2 Fiche signalétique et organigramme

❖ **Fiche signalétique :**

SIGLE	LafargeHolcim Maroc
RAISON SOCIAL	**LAFARGEHOLCIM Meknès**
NATURE JURIDIQUE	**Société Anonyme (SA)**
CAPITAL	**702.138.750 DHS**
Produits fabriqués	-Ciment portland avec ajouts CPJ45 en sacs et en VRAC. -Ciment portland avec ajouts CPJ35 en sacs.
Siège social	**Casablanca**
ADRESSE POSTALE	8 km Route De Fès BP :233, Meknès, Fès
TELEPHONE	**+212 5355-22644**
PATENTE	**170 450 15**

CNSS	**1098343**

Figure5: Fiche signalétique de d'usine LafargeHolcim-Meknès

❖ **Organigramme :**

Le processus de fabrication nécessite l'existence de plusieurs services s'occupant chacun d'une ou plusieurs tâches. La*figure 6*montre les services existants dans l'usine.

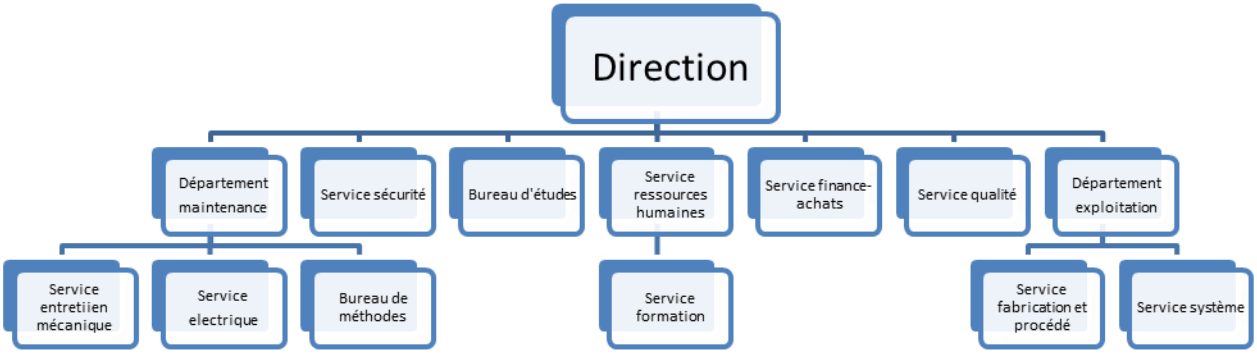

Figure6: Organigramme de l'usine LafargeHolcim Meknès

II.2.3 Services et activités

❖ **Service fabrication et procédé :**Il s'occupe des planifications des dates d'arrêt de l'installation et du suivi duprocessus de production.

❖ **Service bureau méthodes :** Il améliorela productivité globale de la production, améliore les conditions de travail et fournit les outils d'analyse nécessaires aux études de coûtsstandard.

❖ **Service maintenance mécanique :** Il réalise l'entretien, la maintenance, la mise à niveau ou la rénovation mécanique des matériels, équipements, installations de production/exploitation industrielles, selon les règles de sécurité et les impératifs de production (délai, qualité, ...).

❖ **Service Bureau d'étude :**Il concrétise le type de ciment à fabriquer après chaque phase de recherche.

❖ **Service maintenance électrique :**Il**e**ffectuela maintenance préventive ou corrective d'équipements ou

d'installations électriques, à partir de schémas électriques ou de plans d'implantation, selon les règles de sécurité et la réglementation.

- **Service contrôle qualité :** Il détermine une série de procédures visant à s'assurer qu'un produit ou un service en cours de développement répond aux exigences spécifiées.
- **Service Sécurité :**Il s'occupe des mesures de sécurité dans l'usine et de la sensibilisation.
- **Service Finance –Achats :** Il s'occupe de la comptabilité des opérations de comptabilité, de réception des factures, de règlement des fournisseurs et de contrôle de toutes les dépenses.
- **Service Ressources Humaines :**Il s'occupe de la gestion du personnel en assurant leurs formations, leursrémunérations, leurs congés…

II.2.4 Sécurité et environnement

La Santé & Sécurité est une préoccupation ancrée dans du quotidien de l'entreprise et s'inscrit en tête de ses priorités.Les différents collaborateurs de l'entreprise doivent suivre les règlesde la*figure 7*.

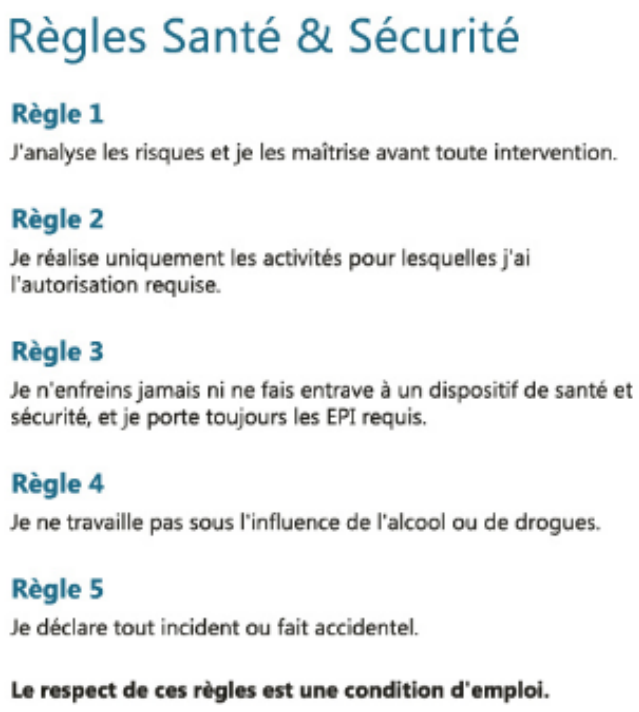

Figure7: Affiche des règles Santé et Sécurité dans l'usine

*EPI : équipements de protection individuelle.

CHAPITRE II :

Processus de fabrication du ciment

I. Carrière :

L'usine dispose de deux carrièrespour assurer son approvisionnement en matières premières, *figure 8*. L'une est située à 5Km de l'usine et couvre une surface de 150ha, la seconde est à 1km de l'usine et couvre une superficie de 50ha.Les carrières destinées à la production de la matière première du ciment fournissent deux éléments essentiels : le calcaire qui est très riche en carbonates de calcium (C_aCO_3) et le schiste qui contient des teneurs importantes de silice (S_iO_2), d'alumine (Al_2O_3) et d'oxyde de fer (Fe_2O_3), ces matières premières sont extraites de la carrière par abattage.

Figure8: Carrière d'extraction de la matière première

II.Zone deconcassage

Les matières premières et les matières d'ajout sont concassées afin de réduire la dimension des blocs en fragments de faibles dimensions en vue d'optimiser et de faciliter leur stockageet leur manutention. Les matières premières, après concassage, sont transportées à l'usine par un tapis roulant où elles sont stockées et homogénéisées, *figure 9*.

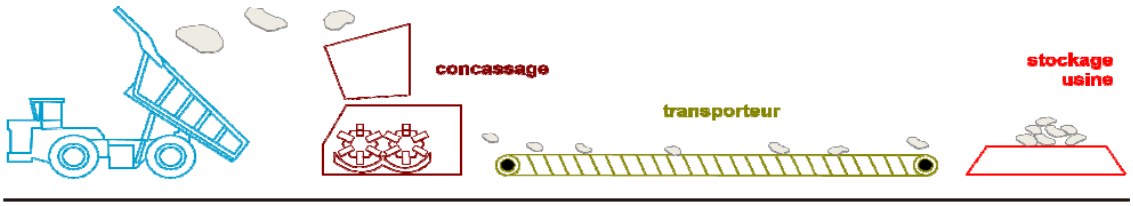

Figure9 : Etapes de concassage, transport et stockage

III. Atelier depré homogénéisation

Cet atelier sert à stocker et à mélanger la matière issue de la carrière. La pré-homogénéisation est une constitution d'un stock intermédiaire entre le concassage et l'atelier du broyage. L'homogénéisation,du calcaire, de la silice et de l'alumine,est réalisé avant son introduction au broyeur cru, afin d'obtenir un cru régulier. Cette phase consiste à créer dans un hall un mélange en disposant la matière en couches horizontalessuperposées, puis en la reprenant verticalement à l'aide d'une roue-pelle. Le produit arrivant du parc de pré-homogénéisation et du parc des ajouts est stocké dans des trémies. Suivant les pourcentages donnés par le laboratoire d'analyse, on procède au mélange du calcaire, de l'argile et autres ajouts.

IV. Zone debroyage cru

Les matières premières doivent être finement broyées pour faciliter les réactions chimiques au cours de la cuisson dans le four. La qualité du produit issu de cette étape exige la maitrise du broyeur sécheur. La fonction de séchage est nécessaire pour diminuer le taux d'humidité de la matière,*figure 10*.

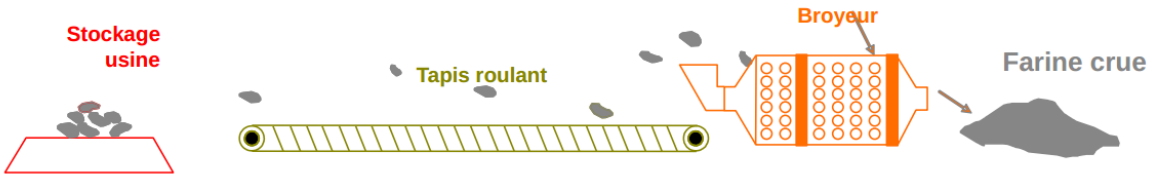

Figure10: Broyage de la matière pré-homogène

V. Silo d'homogénéisation

Le cru provenant des broyeurs est ensuite acheminé par des aéroglisseurs pour être stockédans les silos d'homogénéisation**,** *figure 11*,qui assurent à fois le stockage et l'homogénéisation de la farine. Le but est de réaliser un mélange final de la farine pour gommer les dernières dérives chimiques présentes.

Figure11: Silo d'homogénéisation

VI. Zone decuisson

L'opération de cuisson nécessite trois équipements essentiels à savoir la tour de préchauffage, le four et le refroidisseur.La farine crue constituée des éléments majeurs (Alumine, Fer, Silice, Chaux) est préchauffée puis elle passe au four. La tuyère, haute impulsion, assure une flamme atteignant 2000°C qui portera la matière à 1500°C, avant qu'elle ne soit refroidie, *figure 12*. Après cette opération, on obtient le clinker, matière de base nécessaire à la fabrication de tout ciment, *tableau 1*.

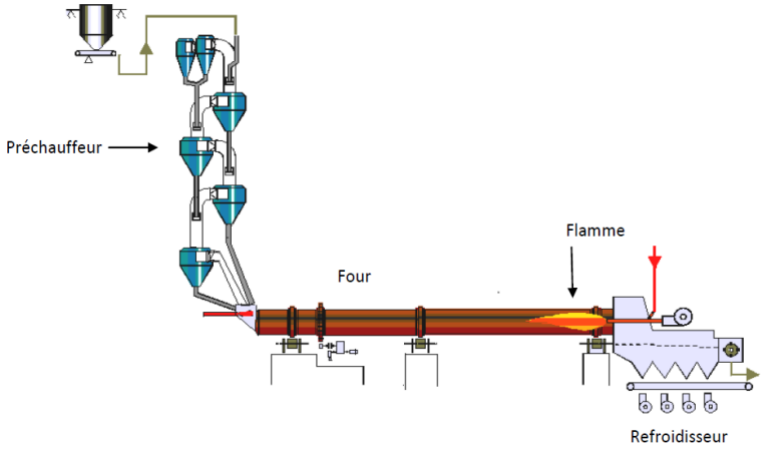

Figure12: Processus de cuisson du ciment.

Nom du composant	Symbole	Quantité demandé
Aluminoferrite tétracalcique ou Félite	C4AF (4CaOAl2O3FeO3)	5 à 10%
Aluminate tricalcique ou Célite	C3A (3CAOAl2O3)	5 à 15%
Silicate bicalcique ou Bélite	C2S (2CaOSiO2)	15 à 25%
Silicate tricalcique ou Alite	C3S (3CaOSiO2)	55 à 65%

Tableau 1 : Caractéristiques du compresseur KAEZER CSD 122

VI.1 La tour de préchauffage

C'est un échangeur de chaleur à voie sèche constitué de quatre étages. Elle permet d'effectuer un échange thermique à contre-courant entre les gaz chauds (850°C) sortant du four et la farine froide (50 à 60°C). Les gaz parcourent l'édifice de base en haut alors que la matière le parcourt en sens inverse.

VI.2 Lefour rotatif

C'est une grande enceinte rotative dans laquelle on injecte le combustible sous pression pour produire une flamme. Le four est un échangeur de chaleur à contre-courant dans lequel la

flamme et les gaz récupérés du refroidisseur cèdent leur chaleur à la farine qui arrive en sens inverse.

VI.3 Le refroidisseur

Situé à l'aval du four, le refroidisseur est à grilles horizontales. Le refroidissement du clinkerest assuré par 5 ventilateurs. L'air produit par ces ventilateurs est insufflé sous les grilles par deschambres. Le refroidisseur à un triple rôle :

- Assurer la trempe de clinker par un refroidissement rapide.
- Refroidir le clinker qui sort du four.
- Récupérer le maximum de la chaleur contenue dans le clinker.

Le clinker sort avec une température dépassant 1450°C et tombe dans le refroidisseur pour subir une trempe rapide afin de figer les C3S du clinker et de les empêcher de se transformer en C2S. En effet le C2S formé influe sur la qualité et la composition du clinker.

VII.Zone de broyage cuit

Après refroidissement, les granulats de clinker sont stockés, ensuite broyés avec addition de gypse et d'autres constituants secondaires. Cette addition a pour but de régulariser la prise du ciment, notamment de ceux qui contiennent des proportions importantes d'Aluminate tricalcique et aussi de conférer au ciment des propriétés correspondant à spécifiques différentes qualités des ciments cités auparavant (CPJ35, CPJ45, CPA55).C'est la variation des dosages de ces divers produits et la finesse du broyage qui permet de définir les différents types de ciment.

VIII. Zone d'ensachage et d'expédition

A la sortie du broyeur, le ciment est orienté vers les silos de stockage et de livraison. La livraison du ciment s'effectue soit en sacs à l'aide des *Havers, *figure 13*, soit à l'aide des **Vracs, *figure 14*, selon la demande.

Figure 13: Ensachage du ciment CPJ35, CPJ45 en sacs

Figure14 : Transport du ciment CPA 55 en VRAC

*Les machines HAVER :équipements et installations pour le conditionnement en sacs du ciment.

**VRAC : Livraison du ciment en camion.

CHAPITRE III :

Description de l'installation de production d'air comprimé

I. Production d’air comprimé

L'air comprimé est une forme d'énergie emmagasinée qui sert à faire fonctionner des machines, des équipements ou des procédés industriels.

Un compresseur d'air est entraîné souventpar un moteur électrique pour comprimerun volume d'airde la pression atmosphérique à unepression plus élevée (environ 7 bars). L'air à haute pression ainsi obtenu est distribué aux appareils ou aux outils dans lesquels il se détend à la pression atmosphérique, libérant ainsi l'énergie nécessaire à leur fonctionnement.Lors du processus de la compression, et du refroidissement ultérieur de l'air aux températures ambiantes, de la chaleur et de l'humidité se dégagent, *figure 15*.

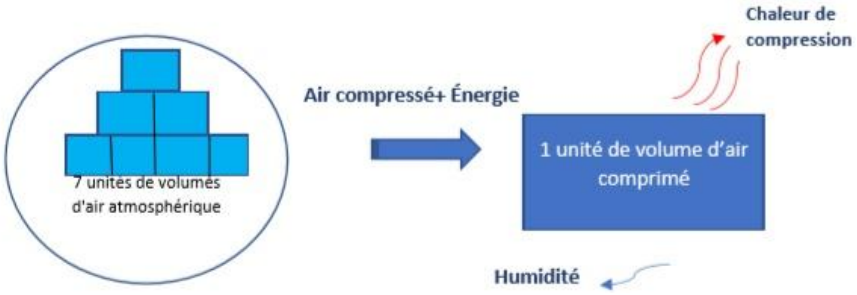

Figure15: Production d’air comprimé

II. Composants d'une unité de production d'air comprimé

Une installation de production d’air comprimé, *figure 16*, comporte :

-Un ou des compresseurs actionné(s) par un (des) moteur(s) électrique(s),

-Un séparateur d'huile/condensats,

-Un réservoir tampon,

-Un sécheur,

-Des filtres à particules,

-Eventuellement un système motorisé d'aspiration de l'air chaud ambiant.

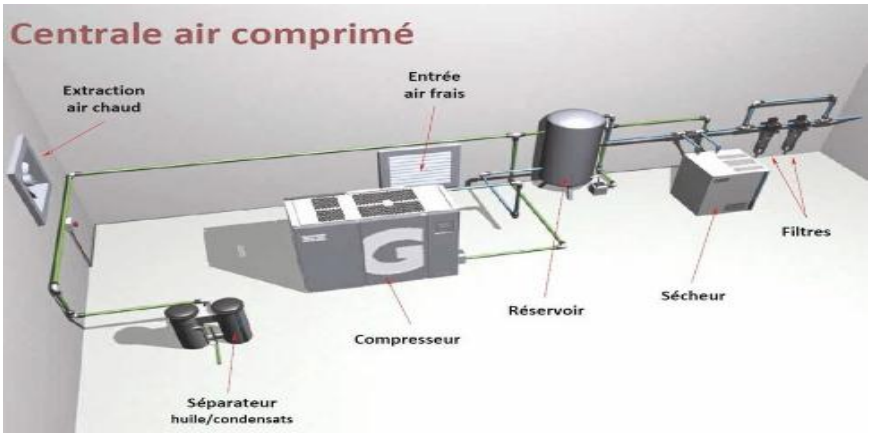

Figure16: Installation de production d'air comprimé

II.1 Compresseurs

II.1.1 Principe du compresseur :

A la compression, l'énergie électrique fournie au moteur est transformée en énergiemécaniquepuisen travail (**Win) utilisé pour comprimer l'air.Cettecompression engendre une augmentation de la température.

Le principe de conservation de l'énergie peut alors s'énoncer : $**W_{in} = *\Delta U - *\Delta Q$.

L'air comprimé ne peut en général pas être fourni au réseau sans être refroidi. Le plus souvent, l'air comprimé est fourni au réseau à une température proche de la température ambiante.

Lors de la détente, l'air comprimé produira un travail mécanique W_{out}et verra sa température (énergie interne) chuter fortement (ΔU), engendrant de ce fait une absorbation de chaleur (production de froid) (ΔQ) venant du milieu extérieur. Le principe de conservation de l'énergie doit une fois de plus être respecté : $**W_{out} = \Delta U - \Delta Q$. *(figure 17)*

*ΔU : Energie interne **W_{in} : Travail donnée

*ΔQ : Chaleur de compression **Wout : Travail fournie par l'air comprimé

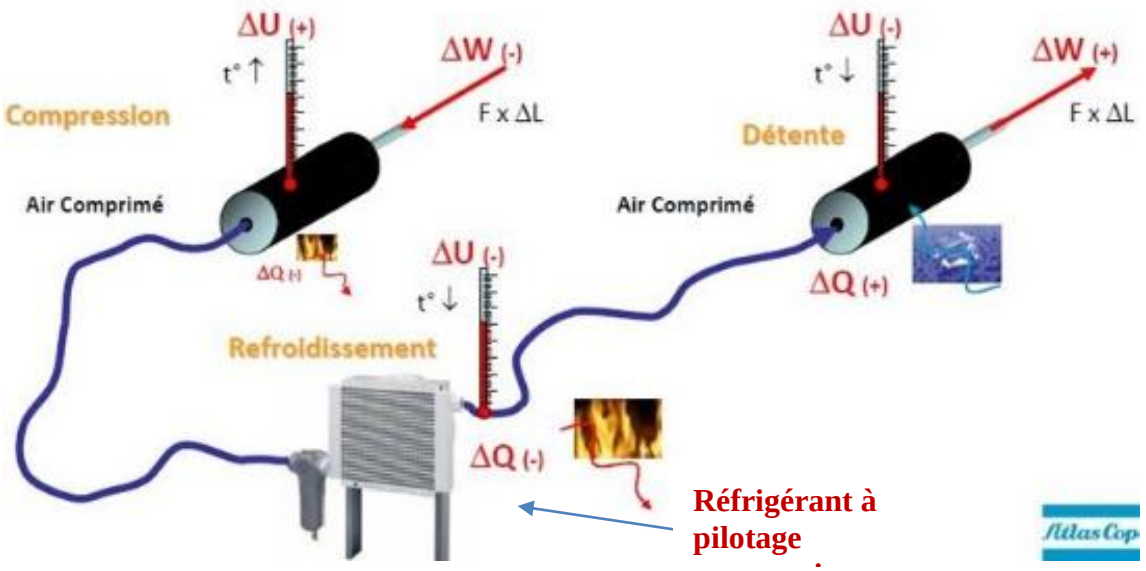

Figure17: Principe de fonctionnement du compresseur selon la thermodynamique

II.1.2 Types de compresseurs

Il existe deux grandes catégories de compresseur en fonction de la façon dont le fluide est comprimé :

- **Les compresseurs volumétriques ou alternatifs à piston :**

Le fluide est comprimé par variation de volume d'une capacité dans laquelle il a été préalablement aspiré. La compression peut être réalisée :

- Par un ou plusieurs pistons se déplaçant dans une capacité de volume donnée. Ce sont les **compresseursalternatifs.**
- Par déplacement, à l'intérieur d'un corps cylindrique creux (stator), d'une masse excentrée(Rotor), agissant sur une spirale fixe. Ce sont les **compresseurs rotatifs.**
- Par rotation d'une spirale mobile dans une spirale fixe. Ce sont les **compresseurs à spirales**.
- Par rotation de deux rotors hélicoïdaux. Ce sont les **compresseurs à vis,** *figure 18*.

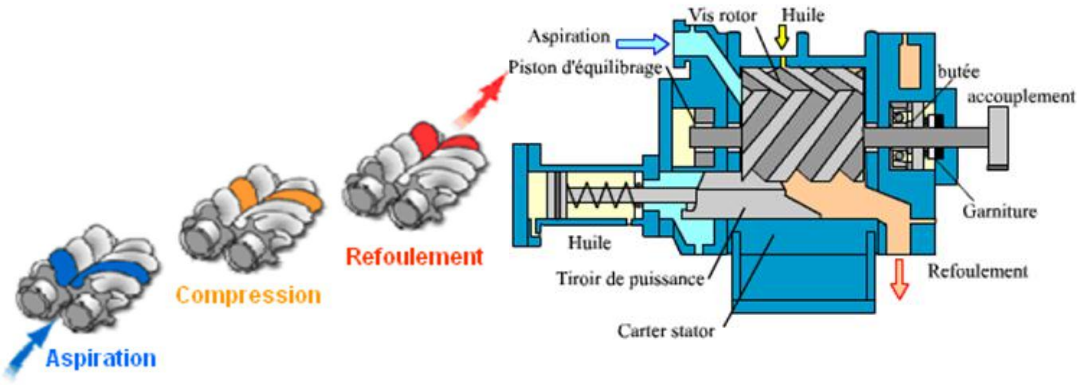

Figure18: Compresseur à vis bi-rotor

❖ **Les compresseurs centrifuges :**

La compression du fluide est due aux effets de la force centrifuge. Les compresseurscentrifuges sont munis de roues qui tournent à grande vitesse.

II.2Sécheur

II.2.1 Fonction d'un sécheur

L'air atmosphérique aspiré par un compresseur contient toujours de la vapeur d'eau. Un sécheur, *figure 19*, est utilisé pour réduire le taux d'humidité relative de l'air comprimé et éviter les problèmes liés à l'eau condensée ou à la corrosion dans un réseau d'air comprimé.

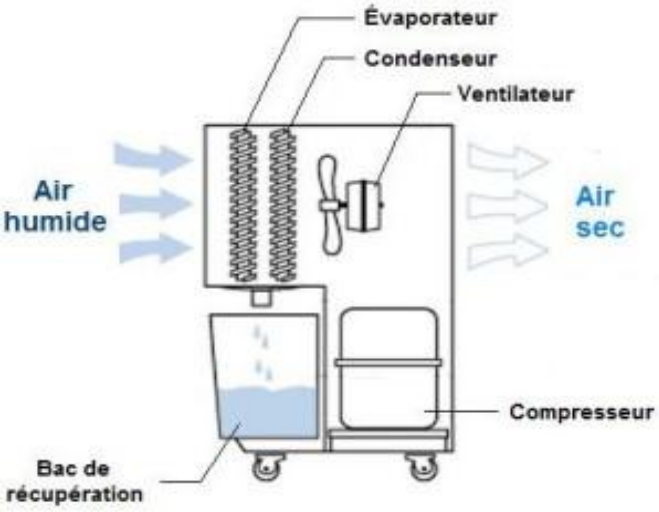

Figure19: Sécheur de l'air comprimé

II.2.2 Types de sécheurs

- **Sécheur frigorifique :**

Il utilise un circuit réfrigérant et un (ou plusieurs) échangeur(s) de chaleur pour réfrigérer l'air comprimé afin que la vapeur humide se condense, puis le réchauffer pour empêcher que la condensation ne s'accumule pas dans les tuyaux en aval.

- **Sécheur à adsorption :**

  Le principe du séchage par adsorption repose sur la capacité du matériau dessiccant à adsorber la vapeur d'eau présente dans l'air comprimé.

- **Sécheur à *membranes :**

  Ce type de sécheur repose sur le principe de perméation :les gaz auront tendance à migrer au travers avec une vitesse qui dépend de la nature du gaz. L'air comprimé traverse des fibres creuses et poreuses qui ne laissent échapper que les molécules d'eau. L'air ainsi asséché est dirigé vers le réseau.

  ***membrane :**une structure de faible épaisseur, séparant deux milieux en empêchant toute la matière, ou s une partie de la matière de passer de l'un à l'autre des milieux.

II.2.3 Séparateur huile/ condensats

En compressant l'air, plusieurs corps étrangers, vapeur d'eau et bien d'autres substances se mélangent pour former un condensat non désiré. Le séparateur reçoit les condensats en provenance des purges. Sa fonction est de séparer l'huile de l'eau, évitant ainsi tout risque de rejet polluant, *figure 20*.

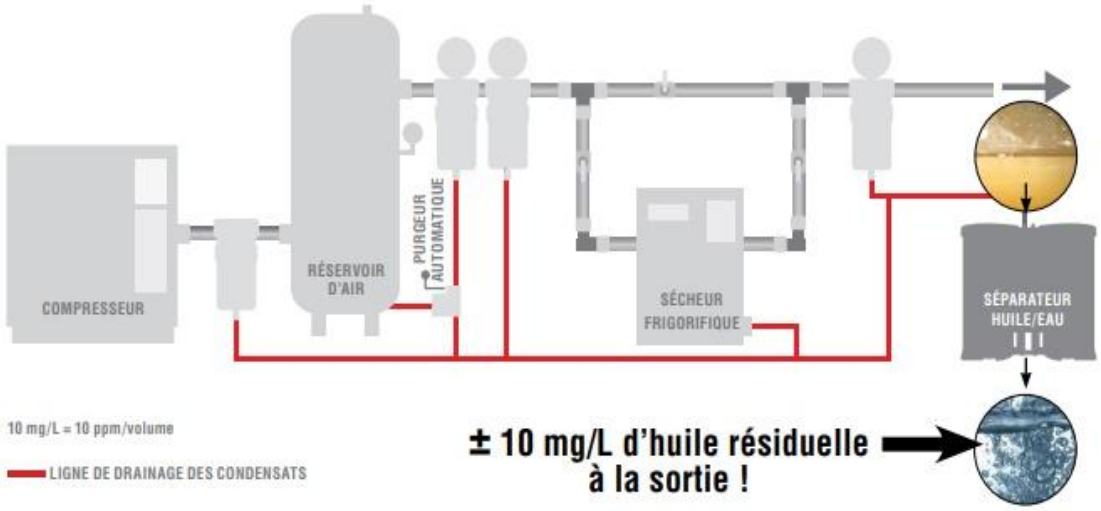

Figure20: Fonctionnement du séparateur huile/condensats

II.2.4 Filtres à particules

L'air atmosphérique contient jusqu'à 190 millions de particules en suspension, hydrocarbures et micro-organismes par mètre cube, le compresseur augmente la concentration de ces

particules en suspension. Ces filtres, *figure 21*, limitent la concentration des particules, de l'huile et de l'eau qui sont véhiculées par l'air comprimé dans le réseau.

Figure21: Filtre Huile/Air

II.2.5 Réservoir d'air comprimé

Le réservoir d'air comprimé, *figure 22*, assure une qualité d'air constante dans le réseau en stockant de l'air asséché et filtré, prêt à être utilisé.En l'absence d'un réservoir d'appoint, les sécheurs et les filtres subiront eux aussi les pointes de consommation.

Figure22: Exemple de réservoir d'air comprimé

III. Installation de production d'air comprimé de l'expédition

L'usine dispose d'une salle de compresseur comportant :

-Deux compresseurs : KAESER CSD 122.

- Un séparateur d'huile/condensats ATLAS COPO CD280
- Un sécheur frigorifique KAESER
- Un réservoir tampon KAESER

III .1 Caractéristiques techniques du compresseur KAESERCSD 122

Kaeser Compresseurs est l'un des leaders européens dans la fourniture de compresseurs et de systèmes d'air comprimé. C'est une filiale américaine de Kaeser dont le siège est à Coburg en Allemagne, il fabrique les produits d'air comprimé y compris les compresseurs rotatifs à vis, *figure 23*, compresseurs à piston sans huile, des sécheurs réfrigérés et déshydratant, filtres, systèmes de gestion de condensat et d'autres produits connexes.

Figure23: Compresseur KAESER CSD 122

-KAESER CSD 122 est un compresseur rotatif à vis dont les caractéristiques sont présentées dans le *tableau 2*.

Modèle	**Pression de service maxi (bar)**	**Débit réel à la pression deservice maxi (m^3/min)**	**Pression de service max (bar)**	**Puissance nominale moteur (kW)**	**Dimensions L*H*P (mm)** **L : longueur** H : hauteur **P : profondeur**	**Niveau sonore (dB)**	**Poids (Kg)**
CSD 122	**7.5** **10** **13**	**12.01** **10.04** **8.08**	**8** **11** **15**	**75**	**1650*1041*1865**	**71**	**1330**

Tableau 2:Caractéristiques du compresseur KAEZER CSD 122

Le compresseur KAESER CSD 122 est un compresseur à vis :

Avantages : rendement élevé et grande flexibilité de débit, grande durée de vie (15 ans à 8h/j), peu de frais de maintenance, bruit faible (71 dB).

Désavantages :coût élevé.

III .2. Remarques

Pour choisir le bon type de compresseur et les équipements associés, il faut connaître ou déterminer certaines conditions. Une évaluation précise des besoins réels permettra une utilisation optimale du système sélectionné en termes de capacité et de budget.

Les facteurs suivants doivent absolument être pris en compte lors de la conception d'un système de compression :

• Quelle quantité d'air comprimé est requise pour effectuer la tâche proposée ?

• Durant quel cycle de fonctionnement l'air comprimé est-il utilisé ?

• Quelle est la teneur en eau, en huile et en particules requise dans l'air comprimé pour les équipements ?

• Quelle est la pression de service requise pour les équipements ?

CHAPITRE IV: Problématique

I.Définition de l'anomalie :

INTRODUCTION

La production de l'air comprimé au niveau de l'expédition est assurée par un compresseur (indépendamment du reste de l'usine), qui fonctionne en charge si la pression est inférieure à son seuil bas, et à vide si la pression est supérieure à son seuil haut. Un deuxième compresseur est mis en stand-by pour remplacer l'autre en cas de panne ou insuffisance du premier.Parmi les consommateurs d'air comprimé à l'atelier d'expédition, on trouve :

- Les filtres.
- Les vérins.

On souhaite minimiser les chutes de pression, autrement dit diminuer les pertes de charge dans l'atelier d'expédition et d'optimiser le circuit d'air comprimé pour diminuer les coûts et augmenter l'efficience*(figure 24).*

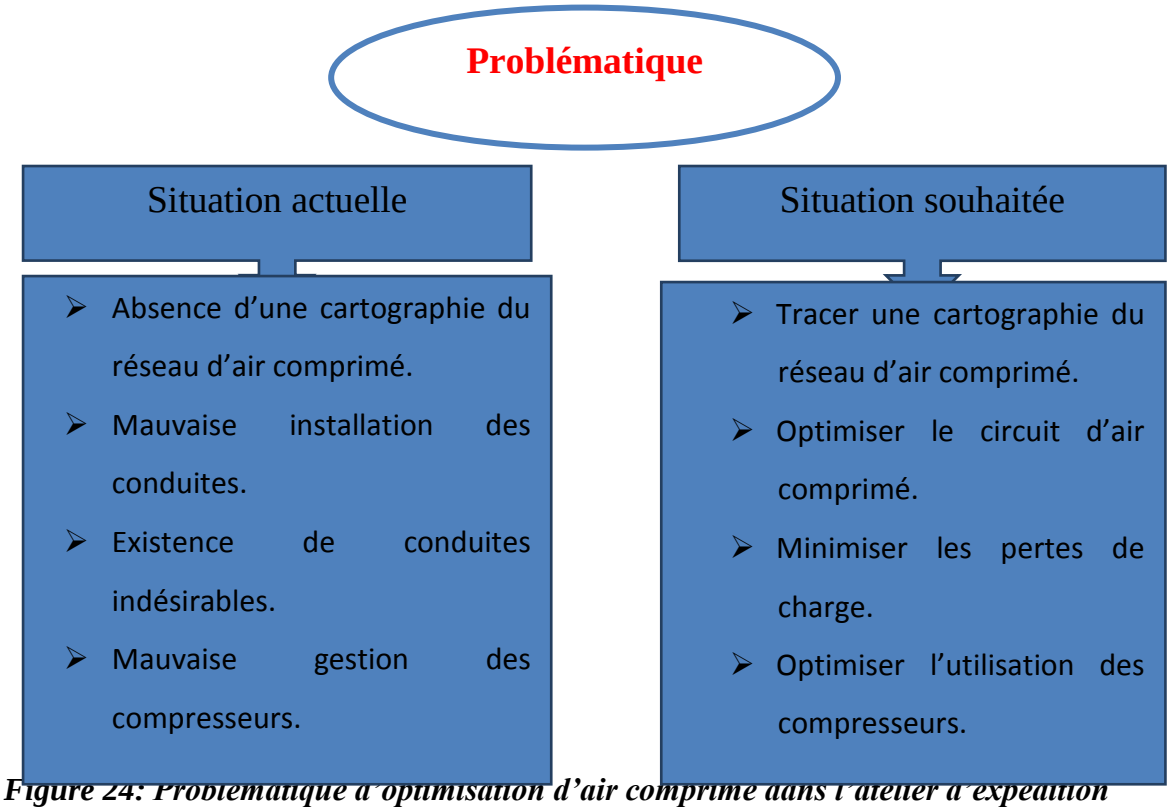

Figure 24: Problématique d'optimisation d'air comprimé dans l'atelier d'expédition

II.. Circuit des conduites d'air comprimé d'expédition :

L'objectif de la schématisation des conduites d'aircomprimé de l'atelier expédition est de déterminer la source d'alimentation des machines et la maintenance des équipementsencas depannes,d'identifier les conduites inertes et leurs dimensions, d'optimiser ce schéma, et enfin de proposer quelques améliorations.

. Réseau d'air comprimé d'expédition

On désigne deux conduites majeures dans l'atelier expédition, *figure 25* et *figure 26* :

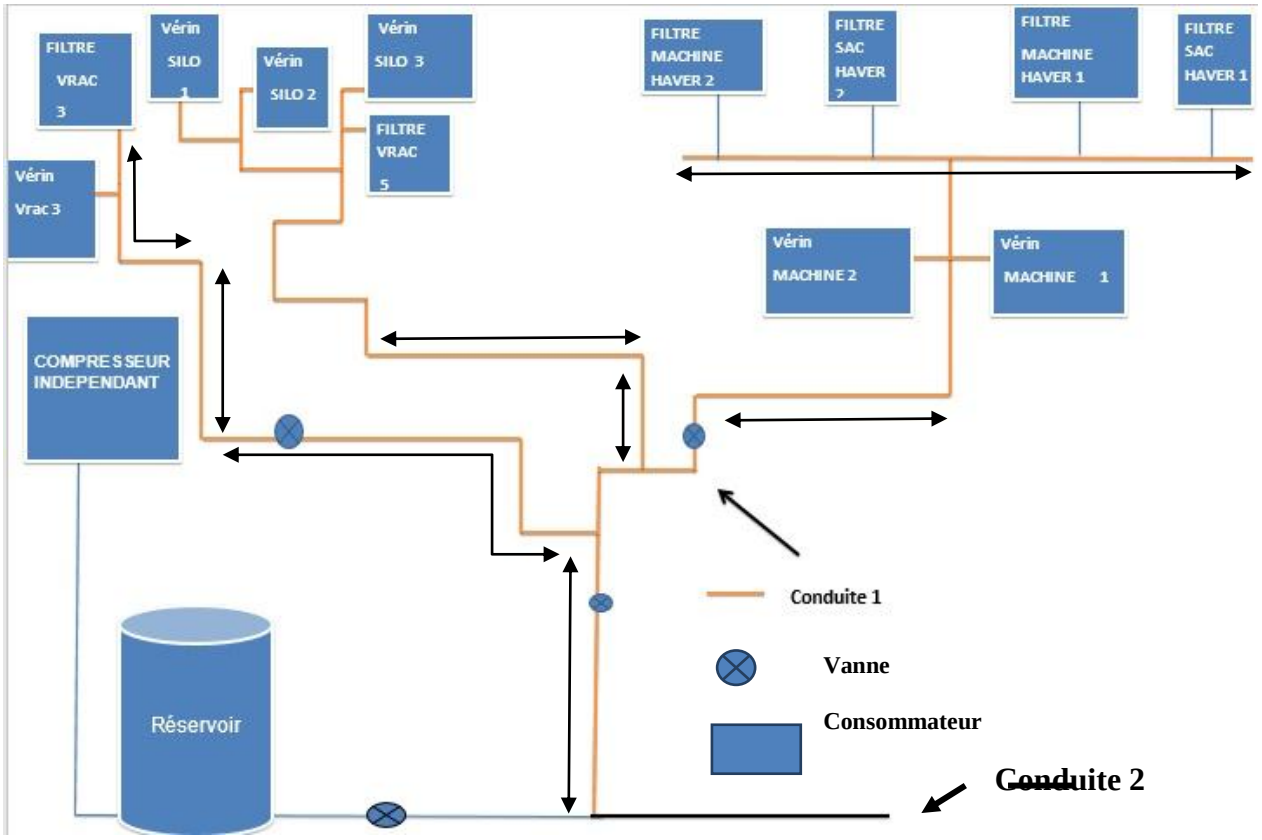

Figure25: Conduite 1 d'air comprimé

Description :

Depuis le réservoir d'air comprimé aussi appelé ballon d'air, la première conduite en acier noir fait passer l'air comprimé reçue par le compresseur aux plus grands consommateurs de l'atelier expédition. Lors de son passage, il y a un pourcentage important de pertes de charges singulières dues aux coudes rencontrés et aussi de la disposition des conduites par rapport aux consommateurs.

➡ **Nécessité de modification de la disposition des conduites du réseau.**

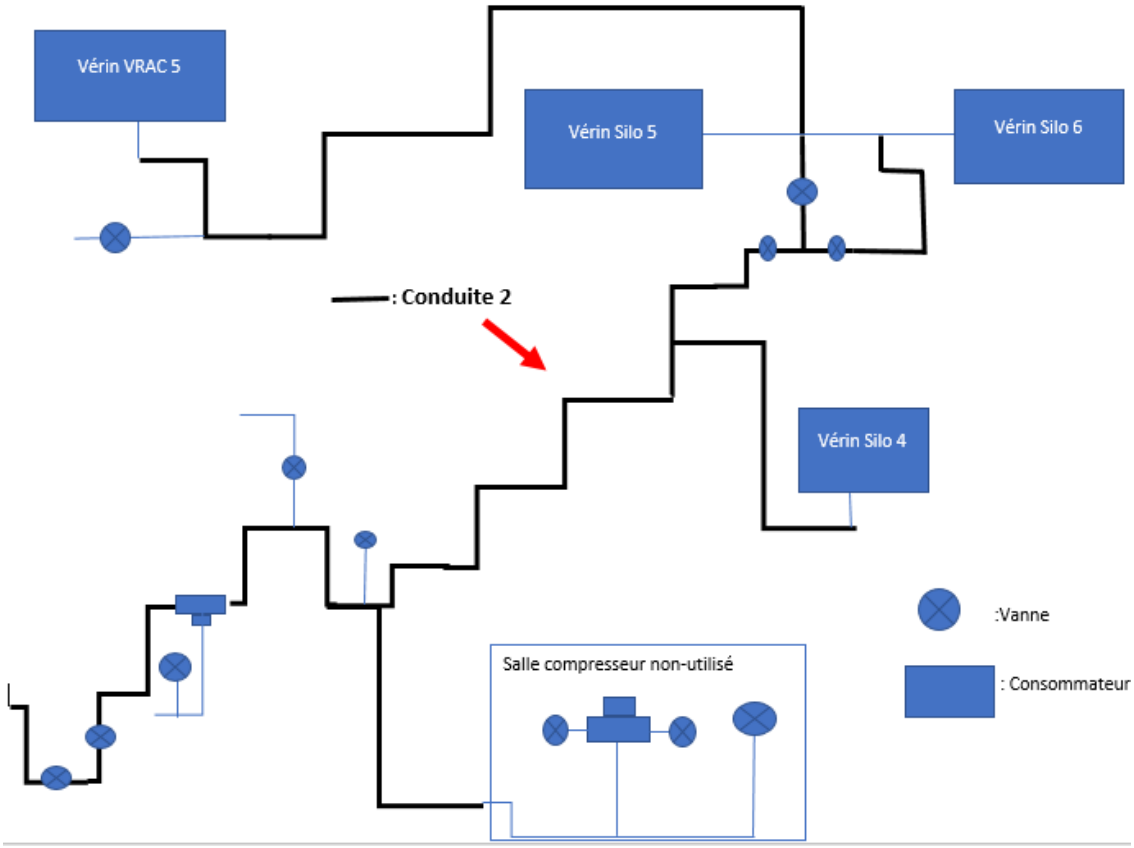

Figure26: Conduite 2 d'air comprimé d'expédition

Description :

La deuxième conduite, *figure 26*, est pratiquement supplémentaire et constitue une perted'énergie.

D'après le réseau de chaque conduite, on résume quelques remarques sur le circuit d'air comprimé :

- ✓ Existence des conduites supplémentaires et inutiles qui augmentent la perte d'énergie.
- ✓ Le matériau des conduites est en acier noir cela peut nuire à la qualité d'air comprimé.
- ✓ Le circuit d'air comprimé est mal dimensionné ce qui augmente la perte de charge de pression et d'énergie.

III. Description des grands consommateurs.

III.1 Les Filtres à manches :

Les filtres à manches, *figure 27*, sont des filtres employés dans la filtration industrielle, Ils font partie des techniques d'assainissement (amélioration) particulaire de l'air ambiant en milieu industriel. Ils sont l'un des moyens les plus performants de séparer les poussières transportées par une veine d'air, collectée dans un conduit.

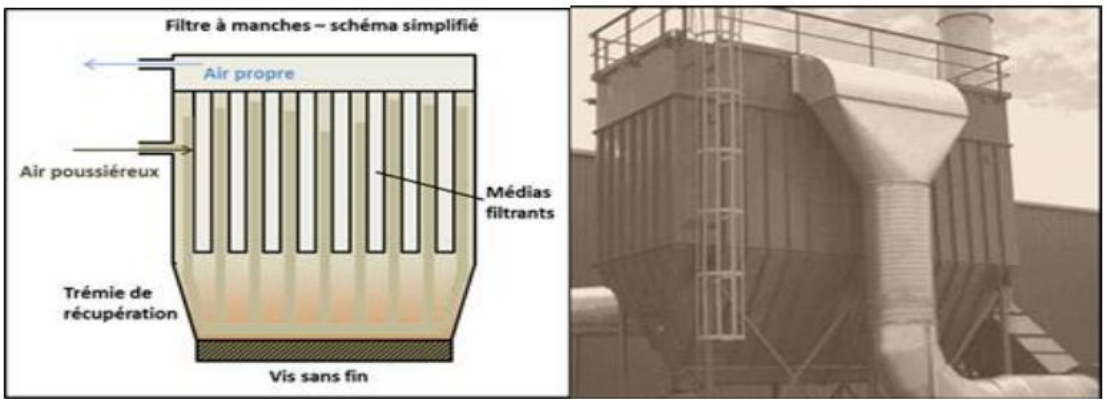

Figure27: Filtre à manches (à gauche), Ventilateur du filtre (à droite)

Le filtre à manche est principalement constitué de :

-Un caisson métallique de grande dimension pouvant être réalisé en plusieurs sections,

- Des médias filtrants dont les plus utilisés sont les manches cylindriques,

- D'une trémie de récupération des poussières,

-D'un système d'évacuation des poussières qui est le plus souvent une vis sans fin,

- D'un système de nettoyage des médias filtrants.

❖ ***Principe de fonctionnement :***

Le filtre est raccordé à une alimentation en air comprimé, Souvent, il comporte une nourrice assurant un débit instantané suffisant. L'air comprimé doit être sec et propre, à une pression réglable de 3 à 6 bars. De façon à économiser l'usure des manches filtrantes, et à maintenir un gâteau optimal, on devra chercher la pression minimale nécessaire au maintien d'une perte de charge correcte au niveau du filtre.

L'air comprimé est envoyé successivement dans des rampes par l'intermédiaired'électrovannes spécialement conçues pour cet usage. Elles ont la particularité de pouvoir offrir une grande ouverture de passage avec un temps de réponse très court.

Le décolmatage est assuré par l'air induit par le mouvement de l'impulse d'air comprimé.

III.2. Les vérins

Le vérin pneumatique fait partie des actionneurs pneumatiques *(figure 28*).

Figure28: Principe de fonctionnement des vérins

L'énergie mécanique est produite sous forme d'unmouvement permettant de provoquer un déplacement oude créer une force.Quel que soit le vérin, son type et son constructeur, il sera

constitué des mêmeséléments. Le piston est solidaire de la tige qui peut se déplacer à l'intérieur du corps. Le corps est délimité par le nez et le fond dans lesquels sont aménagés des orificesd'alimentation en air comprimé.

Les espaces vides qui peuvent être remplis d'air comprimé s'appelle les chambres.

- ***Principe de fonctionnement :***

C'est l'air comprimé qui, en pénétrant dans l'une des chambres, pousse le piston. Latige se déplace, *figure 29*. L'air présent dans l'autre chambre est donc chassé et évacué ducorps du vérin.

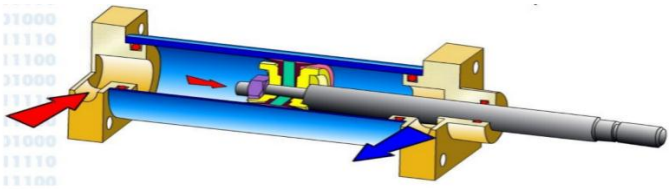

Figure 29: Vérin pneumatique

VI. Débits des compresseurs :

VI .1. Débit du compresseur d'air de service :

Nombre: 1

Type:KAEZER CSD 122.

Débit: 12,01 (m^3/min).

Pressiondifférentielle : 8 bars.

Puissancemoteur : 75 *K*Watt.

VI.2. Débit du compresseur air de service stand-by :

Nombre: 1

Type:CSD 122.

Débit: 12,01 (m^3/min).

Pressiondifférentielle : 8 bars.

Puissancemoteur : 75 *K*Watt.

V. Calcul des pertes de charge :

V.1 Introduction :

Lorsqu'on considère un fluide compressible comme l'air comprimé les pertes d'énergie aussi appelées pertes de charge dépendent **de la forme**, **des dimensions** et de **la rugosité de la canalisation**, de la **vitesse d'écoulement** et de **la viscosité** du liquide et la valeur de **la pression** qui règne dans le liquide.Les pertes de charge sont des chutes de pression dues à la résistance que rencontre le fluide enécoulement.

Dans notre cas, les manomètres accordés aux filtres et aux vérins des Havers et Vracs indiquent la chute de pression. Δp = p1 - p2 la différence entre la pression donnée et celle reçue par le consommateur qui est assez importante.

On résume ainsi les pertes de charge au niveau du réseau d'air comprimé de l'expédition par le **logiciel Pipe flow expert**.

V.2 Pipe flow expert :

Un programme qui fournit des résultats instantanés et précis, Pipe Flow Expert *(figure 30)*est la première application logicielle pour la conception et l'analyse de réseaux de tuyauterie complexe où les flux et les pressions doivent être équilibrées pour résoudre le système.

Utilisation du logiciel :

-Il résout les débits et les chutes de pression dans un réseau de canalisations.

-Il peut gérer les systèmes en boucle ouverte et fermée.

-Il peut gérer plusieurs points d'alimentation et plusieurs points de décharge.

-Il permet la création de rapports de conception PDF professionnels.

Figure30: Désignation du logiciel Pipe Flow Expert

On trace ainsi le réseau d'air comprimé sur le logiciel en donnant les données nécessaires, ce dernier calcule les débits de chaque consommateur *(figure 31)*, *(figure 32)* et les pertes d'énergie relatives :

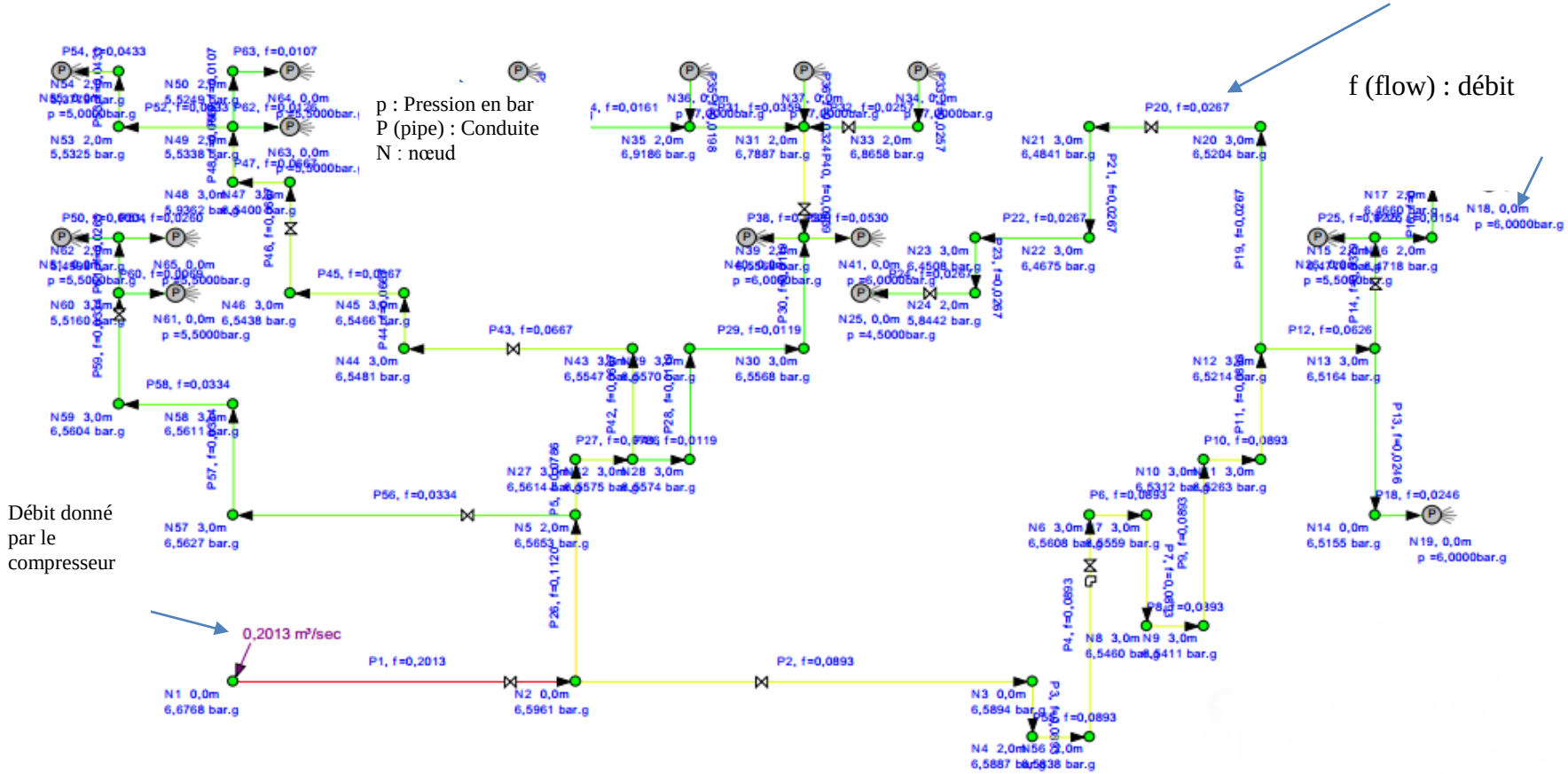

Figure31: Réseau d'air comprimé d'expédition tracé par le logiciel

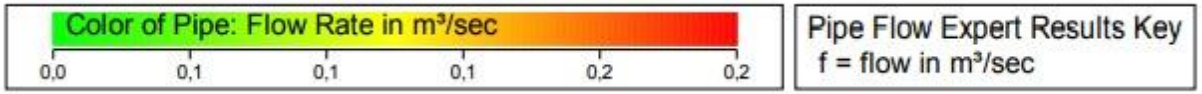

Figure32: Indicateur des débits par couleur

On compare ainsi les valeurs de pression données par le logiciel et celle données par le manomètre on obtient le *tableau 3* :

Point de mesure	Pression donnée par le manomètre (bar)	Pression donnée par Pipe Flow (bar)
N17	6	6,4660
N18	6	6,4841
N24	4,5	5,0001
N25	5,5	5,8442
N33	7	6,8658
N35	7	6,9186
N36	7	6,9186
N37	7	6,9186
N38	6	6,5568
N39	6	6,5568
N50	5,5	5,5249
N51	5,5	5,5249
N54	5	5,3779
N60	6	5,5160
N62	5,5	5,4998
N63	5	5,4998

Tableau 3: Différence entre les pressions mesurées par Pipe Flow et le manomètre

Remarque: On remarque qu'il n'y a pas une grande différence entre les deux mesures, mais les pressions mesurées par pipe flow expert seront plus précis.

Le logiciel nous a aussipermis de calculer le total des pertes d'énergie de chaque conduite comme le montre le *tableau 4 :*

Désignation de la conduite

Pertes d'énergiedues à la rugosité (kW)

Pertes d'énergie dues au coudes

Perte de charges totale en kW

Pipe Id	Pipe Name	Energy Loss To Pipe Friction	Energy Loss To Pipe Fittings	TOTAL USED Sum of All Items
		Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts
1	P1	1,442489	0,182578	1,625067
2	P2	0,043995	0,015930	0,059925
3	P3	0,004037	0,000000	0,006184
4	P4	0,067048	0,136998	0,205119
5	P5	0,030361	0,000000	0,031307
6	P6	0,043995	0,000000	0,043995
7	P7	0,087989	0,000000	0,087989
8	P8	0,043995	0,000000	0,043995
9	P9	0,087989	0,000000	0,087989
10	P10	0,043995	0,000000	0,043995
11	P11	0,043995	0,000000	0,043995
12	P12	0,031206	0,000000	0,031206
13	P13	0,003204	0,000000	0,002316
14	P14	0,124277	0,023463	0,147284
15	P15	0,008974	0,000000	0,008974
16	P16	0,008974	0,000000	0,008974
17	P17	0,719994	0,000000	9,986030
18	P18	1,268812	0,000000	16,037878
19	P19	0,002701	0,000000	0,002701
20	P20	0,088846	0,008208	0,097055
21	P21	0,044423	0,000000	0,044423
22	P22	0,044423	0,000000	0,044423
23	P23	1,621835	0,000000	1,621513
24	P24	3,243670	0,350228	15,622186
25	P25	2,199351	0,000000	14,569647
26	P26	0,341962	0,000000	0,344656
27	P27	0,030361	0,000000	0,030361
28	P28	0,000416	0,000000	0,000416
29	P29	0,000277	0,000000	0,000277
30	P30	0,000139	0,000000	0,000005
31	P31	0,466421	0,000000	0,466421
32	P32	0,172307	0,025361	0,197668

Pipe Id	Pipe Name	Energy Loss To Pipe Friction	Energy Loss To Pipe Fittings	TOTAL USED Sum of All Items
33	P33	0,343679	0,000000	0,344296
34	P34	0,043586	0,000000	0,043586
35	P35	0,160977	0,000000	0,161453
36	P36	0,682791	0,000000	0,683569
37	P37	0,086938	0,000000	0,087324
38	P38	2,946531	0,000000	34,682135
39	P39	2,950619	0,000000	34,730248
40	P40	1,821787	0,355957	2,177743
41	P41	0,000139	0,000000	0,000139
42	P42	0,018788	0,000000	0,018788
43	P43	0,037575	0,006636	0,044212
44	P44	0,009394	0,000000	0,009394
45	P45	0,018788	0,000000	0,018788
46	P46	0,018788	0,006636	0,025424
47	P47	4,026262	0,000000	4,026262
48	P48	2,684175	0,000000	2,683373
49	P49	0,009591	0,000000	0,009591
50	P50	0,000002	0,000000	0,237809
51	P51	0,000126	0,000000	14,317503
52	P52	0,005400	0,000000	0,005400
53	P53	0,670199	0,000000	0,670199
54	P54	1,639119	0,000000	23,310042
55	P55	0,043995	0,000000	0,043995
56	P56	0,007773	0,000833	0,009008
57	P57	0,005101	0,000000	0,005101
58	P58	0,002550	0,000000	0,002550
59	P59	3,145595	0,341181	3,486776
60	P60	0,011316	0,000000	3,817755
61	P61	0,043141	0,000000	0,042823
62	P62	0,042861	0,000000	6,968822
63	P63	0,026977	0,000000	5,935990

Tableau 4: Pertes d'énergie calculées par le logiciel

On constate ainsi que :

-La perte d'énergielinéaire est logiquement proportionnelle à la longueur de la canalisation : elle augmente quand la longueur de canalisation augmente.

-Existences des conduites supplémentaires et inutiles dans l'expédition sans alimentation des machines pneumatiques.

-Mauvaise installation des conduites, certaines conduites sont enterrées pour alimenter certains équipements.

-Beaucoup de fuites dans l'expédition contribuent à augmenter les pertes de charge de l'air comprimé dans l'expédition.

La figure montre les facteurs majeurs des pertes de charge dans l'atelier d'expedition :

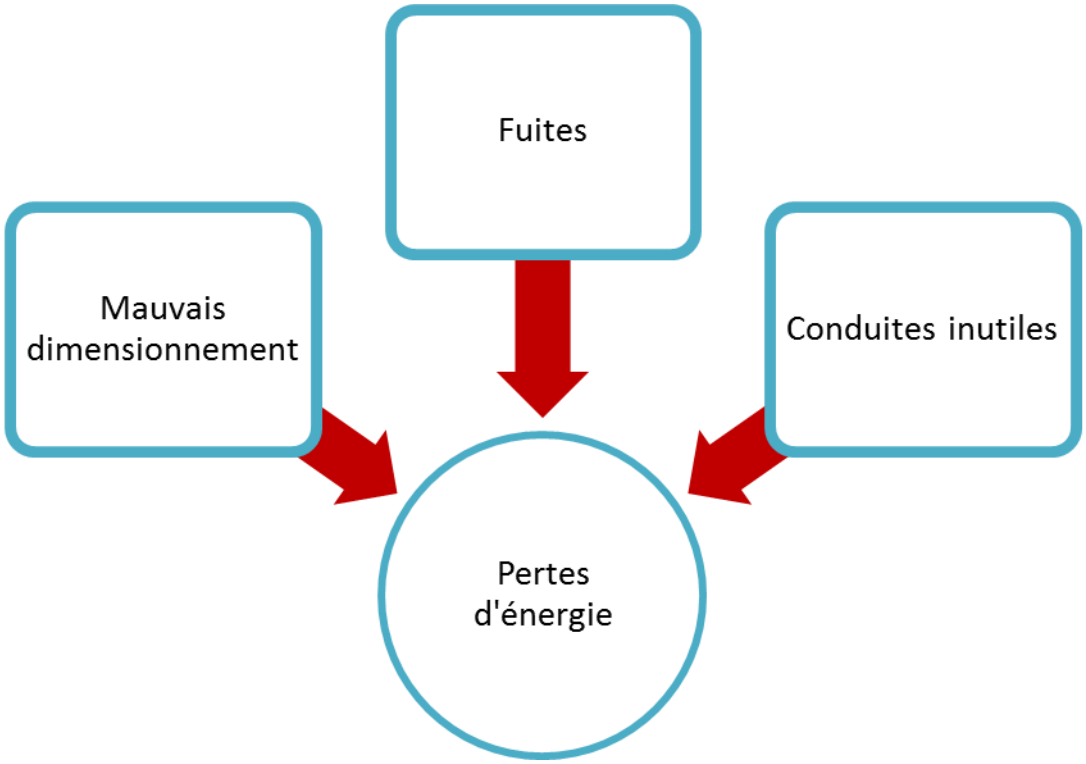

Figure 33: Facteurs majeurs des pertes d'énergie dans l'atelier expédition

CHAPITRE V:

Solutions pour l'optimisation d'air comprimé d'expédition

Introduction

L'air comprimé est une forme d'énergie très coûteuse. Une gestion de l'air comprimétenant compte des aspects énergétiques,ménagedes opportunités considérables de réduire les pertes de charge. Dans ce chapitre nous proposons des niveaux à suivre pour optimiser l'utilisation d'air comprimé. Ces procédures peuvent se distinguer comme suit, *figure34* :

- Du consommateur à la conduite de distribution d'air comprimé.
- De la conduite d'air comprimé à la centrale à air comprimé.
- De la centrale à air de la salle.

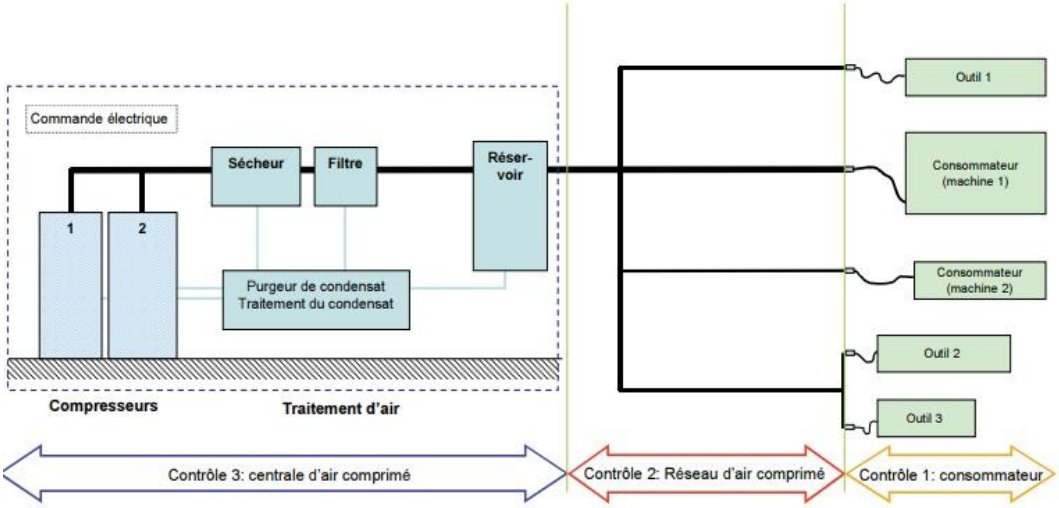

Figure 34: Niveaux d'optimisation de l'air comprimé

I.Mesures simples d'optimisation d'air comprimé :

Cette rubrique contient des instructions pratiques pour améliorer l'efficience et abaisser les coûts d'exploitation de l'installation à air comprimé. Ses recommandations se concentrent délibérément sur les 20% de mesures hautement efficaces qui génèrent 80% des effets.

On distingue dans notre cas les mesures les plus pertinentes nécessaires :

I.1 Supprimer les fuites

Les fuites dans le système sont la principale source de pertes pour une large part desinstallations. Des études montrent que 25 à 60% de l'air comprimé produit est perdu en raison de fuites {1}. Même les installations soigneusement entretenues ont régulièrement des fuites. Il est toujours profitable d'accorder une attention toute particulière à ce que le système soit hermétique et exempt de fuites.

I.2. Optimiser la gestion des compresseurs

Dans notre cas on dispose de deux compresseurs. Pour optimiser la coordination des compresseurs, il faut procéder comme suit :

-Régler la vitesse du compresseur de service de façon variable opérant toujours au niveau inférieur ou supérieur de la pression voulue.

-Régler l'ordre d'activation des compresseurs selon le besoin quotidien.

I.3. Optimiser la pression du réseau

Une pression excessive d'un bar dans le système d'air comprimé augmente de 7% les coûts énergétiques sans apporter d'utilité supplémentaire. En outre, les pertes dues aux fuites diminuent si la pression baisse. Abaisser la pression du réseau au niveau nécessaire pour le consommateur en réduisant la pression d'exploitation à la sortie du compresseur.

II. Investissements rentables pour l'optimisation

II.1. Changer les éléments des filtres.

Changez tous les éléments des filtres au moins une fois par an ou dès que la perte de pression est supérieure à 0,3 bar.

II.2. Contrôler la section, la longueur des conduites

-Limiter les brusques réductions de sectionet les coudes des flux d'air.

-Choisir le diamètre en fonction de la pression requis et des pertes de charge admissibles.

-Raccourcir les conduites trop longues.

II.3. Changer le type de matériau des conduites

Les technologies qui proposent une rugosité interne faible (aluminium) permettent de limiter très fortement les pertes de charge, donc les coûts d'exploitation. Par contre, les réseaux en acier galvanisé attaqués par la rouille après quelques années de fonctionnement, engendrent des coûts d'exploitation élevés.

II.4. Optimiser la disposition des conduites :

Pour cela on propose un changement dans le réseau de distribution d'air comprimé dans l'atelier expédition.On a essayé d'éliminer certaines conduites supplémentaires, raccourcir le trajet de certaines autres, *figure 35*.

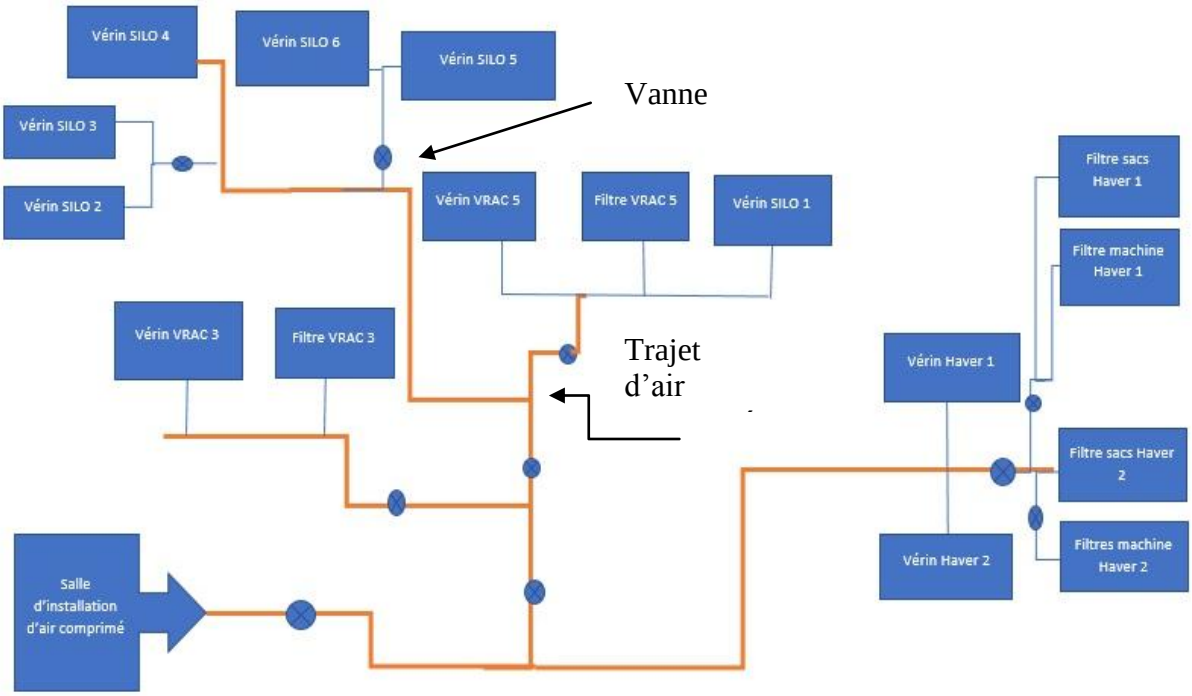

Figure 35: Schéma optimisé des conduites de l'expédition

En utilisant le logiciel Pipe Flow Expert pour le schéma optimiséproposé on obtient, *figure 36* :

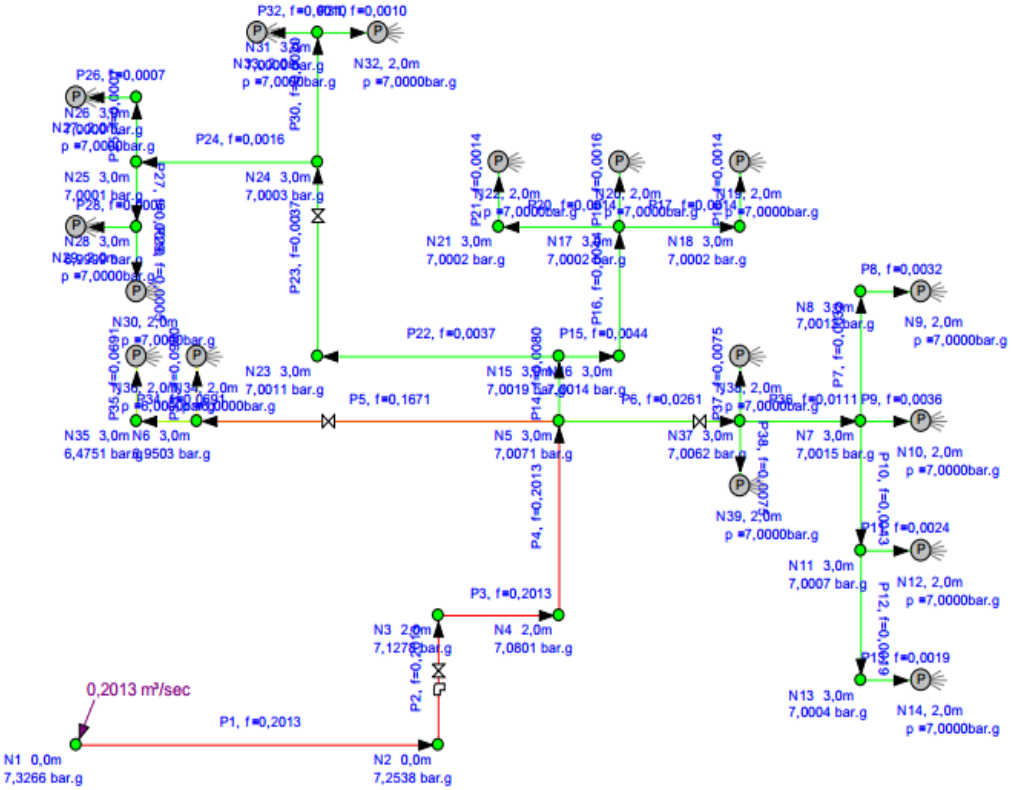

Figure 36: Réseau optimisé par Pipe Flow Expert

On remarque dans ce réseau, *figure 36*, que :

- Les pressions dans les points d'arrivée sontplus élevées que le réseau précédant (*Tableau 5*).

Node	Press. at Node bar.g
N1	7,3266
N2	7,2538
N3	7,1278
N4	7,0801
N5	7,0071
N6	6,9503
N7	7,0015
N8	7,0012
N9	7,0000
N10	7,0000
N11	7,0007
N12	7,0000
N13	7,0004
N14	7,0000
N15	7,0019
N16	7,0014
N17	7,0002
N18	7,0002
N19	7,0000
N20	7,0000
N21	7,0002
N22	7,0000
N23	7,0011
N24	7,0003
N25	7,0001

Node	Press. at Node bar.g
N34	6,0000
N35	6,4751
N36	6,0000
N37	7,0062
N38	7,0000
N39	7,0000

Tableau 5 : Valeurs de pression dans les points du réseau optimisé

- Les pertes d'énergiediminuent dans le réseau optimisé. *(Tableau 6)*

Pipe Id	Pipe Name	Energy Loss To Pipe Friction	Energy Loss To Pipe Fittings	TOTAL USED Sum of All Items
		Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts
1	P1	1,465569	0,000000	1,465569
2	P2	0,961659	1,570171	2,536671
3	P3	0,961659	0,000000	0,961659
4	P4	1,465569	0,000000	1,467989
5	P5	0,845771	0,104477	0,950248
6	P6	0,001930	0,000399	0,002329
7	P7	0,000100	0,000000	0,000100
8	P8	0,000410	0,000000	2,229015
9	P9	0,000575	0,000000	2,510636
10	P10	0,000358	0,000000	0,000358
11	P11	0,000188	0,000000	1,688893
12	P12	0,000050	0,000000	0,000050
13	P13	0,000100	0,000000	1,350889
14	P14	0,004185	0,000000	0,004185
15	P15	0,000246	0,000000	0,000246
16	P16	0,000491	0,000000	0,000491
17	P17	0,000010	0,000000	0,000010
18	P18	0,000041	0,000000	0,979731
19	P19	0,000058	0,000000	1,110854
20	P20	0,000010	0,000000	0,000010
21	P21	0,000041	0,000000	0,979731
22	P22	0,000295	0,000000	0,000295
23	P23	0,000295	0,000021	0,000316
24	P24	0,000032	0,000000	0,000032
25	P25	0,000006	0,000000	0,000006
26	P26	0,000006	0,000000	0,462320
27	P27	0,000015	0,000000	0,000015
28	P28	0,000001	0,000000	0,341503
29	P29	0,000001	0,000000	0,341503
30	P30	0,000042	0,000000	0,000042
31	P31	0,000017	0,000000	0,708011
32	P32	0,000017	0,000000	0,708011

Tableau 6: Pertes d'énergie dans les conduites du réseau optimisé

Remarque :
La réduction des conduites indésirables et le redimensionnement possible de certaines autres nous permettra de réduire les pertes d'énergie**.**

Conclusion

En guise de conclusion, ce projet nous a permis de mettre la lumière sur l'état actuel de la production de l'aircomprimé et sur son circuit à l'atelier expédition. En effet vu le rôle capital quelle joue dans le processus, elle assure unedisponibilité qualifiée et élevée d'air comprimé surtout pour l'atelier expédition. Cette qualité demandée reste une préoccupation majeure.

Pour mener à bien ce projet nous avons établi un planning des actions à effectuer. Nous avons commencé par réaliser une étude critique de l'état des lieux par la réalisation du schéma actuel de l'air comprimé, puis on a étudié les pertes de charge et les chutes de pression dans les différentes conduites grâce au logiciel Pipe Flow et de proposer une nouvelle disposition des conduites pour diminuer ces pertes de pression dans l'atelier d'expédition.

Ce travail nousa permis devivre une expérience très pertinente dans le domaine de laproduction d'air comprimé dont la perfection et la hautetechnologie des compresseurs est une des préoccupations majeures.

Enfin, le projet nous a permis d'avoir des contacts avec le monde industriel, et d'échanger des informations, nous a aussi permis de se familiariser avec le logiciel Pipe flow Expert.

Bibliographie

- « Le guide de l'air comprimé » - Worthington Creyssensac
- « Guide technique de l'air comprimé : Notions fondamentales, informations pratiques et conseils utiles » - Kaezer compresseurs.

- « Guide pour une installation à air comprimé économiquement efficace » -Collection Suisse énergie.

- « Efficacité énergétique-Le guide des bonnes pratiques dans le domaine de l'air comprimé » - Collection Airflux.

- « Cours de mécanique des fluides » -Mr. Hammoumi.

{1} : : études menées parPhilippe Anselme, responsable commercial Industrie dans la région Est du gestionnaire de services énergétiques Dalkia.