

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



Faculté des Sciences de L'Ingénieur  
Département Génie Mécanique

# MEMOIRE DE MASTER

**Filière :** Electromécanique

**Spécialité :** Electromécanique

## Thème

---

Etude et mise en place d'un variateur de  
vitesse pour un compresseur à piston

---

**Présenté par :**

**Mr. HAMZA Riad Nacereddine**

**Mr.HANAFI Abdesslem**

**Promoteur :**

**Dr.S.BENAMMAR**

**Promotion 2018 - 2019**

# ***Remerciements***

*Nous tenons avant tout à remercier notre Bon Dieu tout Puissant de nous avoir donné le Courage, la force et de la volonté pour achever ce travail.*

*Puis Notre encadreur, Dr. BENAMMAR Samir, pour nous avoir encadrés, dirigé et conseillé, et pour mettre à notre disposition tous les moyens nécessaires à l'accomplissement de ce travail.*

*Nous remercions aussi notre encadrant Mr. BACHI Farid, Responsable maintenance, pour sa disponibilité à nous faire partager ses connaissances, son expérience et son savoir-faire qu'il nous a prodigués durant toute la période du stage.*

*Nos vifs remerciements également à Mr. HAMAZ Djamel et Mr. LAKHAL Fayçal pour leur accompagnement tout au long de notre période du stage.*

*Nous adressons nos chaleureux remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail.*

*Notre sincère reconnaissance à nos enseignants du département : Génie mécanique.*

*Finalement, nous remercions tous les personnes qui de près ou de loin ont contribué à l'accomplissement de ce travail.*

# *Dédicaces*

*Louange à dieu le tout puissant.*

*A mes très chers parents,*

*Aucun terme et aucune langue ne pourront exprimer mon grand amour et mes sentiments envers vous. En témoignage de mon affection et ma reconnaissance pour les efforts que vous avez consentis pour moi durant toutes ces années, je vous dédie cet humble travail.*

*A mes chères sœurs,*

*Je ne sais comment vous remercier pour tout ce que vous avez fait pour moi.*

*A toute ma famille.*

*A mes chers amis,*

*Pour tout le soutien que vous m'avez offert, je vous dis  
MERCI.*

Riad

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à ma chère mère, à mon cher père, qui m'ont soutenu et encouragé durant toutes mes études et nulle chose ne récompensera leurs sacrifices. Que dieu les garde pour moi.*

*A tous les membres de ma famille qui m'ont aidé de plusieurs manières et pour leur soutien précieux durant les longues années de ma formation, ce qui leur fait valoir ma grande gratitude. Qu'ils me pardonnent mon manque de disponibilité et mes absences. Que ce travail soit une part de ma reconnaissance envers eux.*

*A mes amis qui m'ont encouragé et suivi depuis longtemps : La réalisation de ce travail n'aurait pas été possible sans votre gentillesse et votre bonne humeur sans oublier bien sûr toutes les personnes que j'ai eu le plaisir de côtoyer toute au long de ces années passées à l'université*

Abdeslam

# *Table des matières*

## **Sommaire**

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Remerciements</b> .....                                                | I   |
| <b>Dédicaces</b> .....                                                    | II  |
| <b>Dédicaces</b> .....                                                    | III |
| <b>Figureset Tableaux</b> .....                                           | IV  |
| <b>Introductiongénérale</b> .....                                         | 1   |
| <b>Chapitre I</b> .....                                                   | 1   |
| <b>Présentationde l'entreprise et généralité sur le compresseur</b> ..... | 1   |
| I.1    PRÉSENTATIONDE L'ENTREPRISE NCA-ROUIBA .....                       | 2   |
| I.2    Introduction .....                                                 | 5   |
| I.3    Généralités .....                                                  | 5   |
| I.4    Types de compresseurs .....                                        | 6   |
| I.5    Description.....                                                   | 6   |
| I.6    Principe de fonctionnement des compresseurs à piston .....         | 7   |
| I.7    Cycle de compression .....                                         | 7   |
| I.8    Organe de compresseur .....                                        | 10  |
| I.9    Environnement du compresseur .....                                 | 11  |
| I.10   Mise en place .....                                                | 11  |
| I.11   Connexions .....                                                   | 12  |
| I.11.1   Connexions électriques .....                                     | 12  |
| I.11.2   Connexions pneumatiques.....                                     | 12  |
| I.11.3   Connexions de circuit de refroidissement .....                   | 12  |
| I.12   Les équipements périphériques du compresseur .....                 | 14  |
| I.12.1   Sécheur d'aire.....                                              | 14  |
| I.12.2   Tour de refroidissement .....                                    | 15  |
| I.12.3   Pompe à eau .....                                                | 15  |
| I.12.4   Bekomat .....                                                    | 16  |
| I.12.5   Moteur .....                                                     | 17  |
| I.13   Contrôle électrique .....                                          | 18  |
| I.13.1   Capteurs de température .....                                    | 18  |
| I.13.2   Capteurs de température eau .....                                | 18  |

## Table des matières

---

|                                                                        |                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----|
| I.13.3                                                                 | Capteurs de pression air .....                                     | 18 |
| I.13.4                                                                 | Capteurs de pression d'huile .....                                 | 18 |
| I.13.5                                                                 | Contrôleur de circulation eau .....                                | 18 |
| I.13.6                                                                 | Electrovannes de régulation et de purge.....                       | 18 |
| I.14                                                                   | Mise en service du compresseur .....                               | 19 |
| I.15                                                                   | Démarrage .....                                                    | 20 |
| I.16                                                                   | Période de rodage les 1000 premières heures.....                   | 21 |
| I.17                                                                   | Entretien du compresseur .....                                     | 24 |
| I.18                                                                   | Instruction en cas de fonctionnement anormal du compresseur :..... | 25 |
| <b>Chapitre II</b>                                                     | .....                                                              | 27 |
| <b>Généralités sur les moteurs asynchrones</b>                         | .....                                                              | 27 |
| <b>II. Généralité sur les moteurs asynchrones</b>                      | .....                                                              | 27 |
| II.1                                                                   | Introduction .....                                                 | 27 |
| II.2                                                                   | Constituions de la machine asynchrone.....                         | 28 |
| II.3                                                                   | Principe fonctionnement du moteur asynchrone .....                 | 28 |
| II.4                                                                   | Courant de démarrage.....                                          | 29 |
| II.5                                                                   | Les caractéristiques du moteur asynchrone .....                    | 30 |
| II.5.1                                                                 | Fonctionnement à vide .....                                        | 30 |
| II.5.2                                                                 | Fonctionnement en charge.....                                      | 30 |
| II.5.3                                                                 | En régime nominal .....                                            | 31 |
| II.5.4                                                                 | Le point defonctionnement.....                                     | 31 |
| II.5.5                                                                 | Le rendement du moteur asynchrone .....                            | 32 |
| II.5.6                                                                 | La vitesse du moteur asynchrone .....                              | 33 |
| II.5.7                                                                 | La variation de la fréquence .....                                 | 34 |
| II.6                                                                   | Conclusion .....                                                   | 34 |
| <b>Chapitre III</b>                                                    | .....                                                              | 32 |
| <b>Description et critères de choix d'un variateur de vitesse</b>      | .....                                                              | 32 |
| <b>III. Description et critères de choix d'un variateur de vitesse</b> | .....                                                              | 35 |
| III.1                                                                  | Introduction .....                                                 | 35 |
| III.2                                                                  | Historique .....                                                   | 35 |
| III.3                                                                  | Présentation .....                                                 | 35 |
| III.4                                                                  | Généralités .....                                                  | 35 |
| III.5                                                                  | Intérêt de la variation de vitesse .....                           | 36 |

## Table des matières

---

|                                                                  |                                                               |    |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----|
| III.6                                                            | Description :                                                 | 36 |
| III.7                                                            | Gestion de la variation de la demande                         | 37 |
| III.7.1                                                          | La régulation du compresseur                                  | 37 |
| III.7.2                                                          | Les variateurs de vitesse                                     | 37 |
| III.7.3                                                          | Régulation Marche/Arrêt                                       | 37 |
| III.7.4                                                          | Régulation Tout ou Rien                                       | 37 |
| III.8                                                            | Fonction des variateurs de vitesse                            | 38 |
| III.9                                                            | Avantages des convertisseurs électroniques:                   | 39 |
| III.10                                                           | Inconvénients                                                 | 39 |
| III.11                                                           | Critères de choix d'un variateur                              | 40 |
| III.12                                                           | Conclusion                                                    | 41 |
| <b>Chapitre IV</b>                                               |                                                               | 40 |
| <b>Mise en place du variateur de vitesse et étude économique</b> |                                                               | 40 |
| IV.                                                              | Mise en place du variateur de vitesse et étude économique     | 42 |
| IV.1                                                             | Introduction                                                  | 42 |
| IV.2                                                             | Objectif principale                                           | 42 |
| IV.3                                                             | Problématique                                                 | 42 |
| IV.4                                                             | Caractéristiques du moteur asynchrone triphasé                | 43 |
| IV.5                                                             | Les caractéristiques de la charge                             | 43 |
| IV.6                                                             | Caractéristiques du variateur de vitesse ATV71QD90N4          | 43 |
| IV.7                                                             | La solution qui a été proposée                                | 44 |
| IV.8                                                             | Présentation du variateur ATV71QD90                           | 44 |
| IV.9                                                             | Les principales fonctions de Schneider                        | 45 |
| IV.10                                                            | Interface utilisateur                                         | 45 |
| IV.11                                                            | Le banc d'essai expérimental                                  | 45 |
| IV.12                                                            | L'objectif de banc d'essai                                    | 45 |
| IV.13                                                            | Les performances et exigences du nouveau variateur            | 46 |
| IV.14                                                            | Le raccordement électrique du variateur Schneider ATV71QD90N4 | 46 |
| IV.15                                                            | Schéma de câblage                                             | 46 |
| IV.16                                                            | La mise en service                                            | 47 |
| IV.17                                                            | Adaptation du variateur Schneider ATV71Q                      | 47 |
| IV.18                                                            | Démarrage direct du moteur                                    | 47 |
| IV.19                                                            | Démarrage avec Altivar Process ATV71QD90                      | 48 |

## Table des matières

---

|                                 |                                                         |           |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------|
| IV.19.1                         | Le temps derampes .....                                 | 48        |
| IV.19.2                         | Adaptation automatique de la rampe dedécélération ..... | 49        |
| IV.20                           | Connexion d'un PC au variateur defréquence .....        | 49        |
| IV.21                           | Outil de configuration So Move pourPC .....             | 49        |
| IV.21.1                         | Présentation de So Move .....                           | 49        |
| IV.22                           | Interface .....                                         | 49        |
| IV.22.1                         | So Move version debase .....                            | 49        |
| IV.22.2                         | L'efficacité de logiciel So Move .....                  | 49        |
| IV.23                           | Essais de l'efficacité.....                             | 50        |
| IV.24                           | Arrêt du moteur avec Schneider ATV71Q .....             | 54        |
| IV.25                           | Le comportement du moteur en régime permanent .....     | 54        |
| IV.26                           | Évolution de la tension US en fonction de f .....       | 55        |
| IV.27                           | Etude économique.....                                   | 56        |
| IV.28                           | Calcule de l'investissement total pour le projet .....  | 56        |
| <b>Conclusiongénérale .....</b> |                                                         | <b>57</b> |

## *Figures et Tableaux*

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 :L’organigramme Général .....                                                                                        | 4  |
| Figure 2 : compresseur 40 bar .....                                                                                           | 5  |
| Figure 3 :organigramme des types de compresseur .....                                                                         | 6  |
| Figure 4 :Les temps du cycle de compression.....                                                                              | 7  |
| Figure 5 :vue de face de compresseur .....                                                                                    | 8  |
| Figure 6 :vue dessus de compresseur .....                                                                                     | 8  |
| Figure 7 :Schéma principe de circuit de refroidissement.....                                                                  | 13 |
| Figure 8 :sècheur d’aire.....                                                                                                 | 14 |
| Figure 9 :refroidisseur .....                                                                                                 | 15 |
| Figure 10 :principe de pompe a eau .....                                                                                      | 15 |
| Figure 11 :Bekomat.....                                                                                                       | 16 |
| Figure 12 :principe de Bekomat.....                                                                                           | 16 |
| Figure 13 :Vue extérieur de moteur .....                                                                                      | 17 |
| Figure 14 :différentes formes de maintenance.....                                                                             | 23 |
| Figure 15 :algorithme de choix du type de maintenance.....                                                                    | 25 |
| Figure 16 :vue éclatée du moteur asynchrone.....                                                                              | 28 |
| Figure 17 :Principe de fonctionnement du moteur asynchrone.....                                                               | 29 |
| Figure 18 :principe de démarrage étoile-triangle .....                                                                        | 30 |
| Figure 19 :Caractéristiques du moteur asynchrone en fonction de la puissance utile.....                                       | 31 |
| Figure 20 :Point d’intersection du couple utile du moteur et le couple résistant de la charge en fonction de la vitesse. .... | 32 |
| Figure 21 :Rendement du moteur asynchrone en fonction de la puissance utile .....                                             | 33 |

## Liste des figures

---

|                                                                                                                         |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Figure 22 :les variateurs de vitesse.....                                                                               | 37     |
| Figure 23 :Altivar Process ATV71Q.....                                                                                  | 45     |
| Figure 24 :Schéma électrique du variateur de vitesse ATV71QD90N4.....                                                   | 47     |
| Figure 25 :Évolution de courant et la montée en vitesse du moteur. ....                                                 | 48     |
| Figure 26 :Temps de rampe (d'accélération et décélération).....                                                         | 49     |
| Figure 27 :Évolution du courant moteur et sa montée en vitesse à vide pour une rampe d'accélération de 3s. ....         | 51     |
| Figure 28 :Évolution du couple instantané et sa montée en vitesse en charge pour une rampe d'accélération de 3s. ....   | 52     |
| Figure 29 :Évolution du courant moteur et sa montée en vitesse à vide avec une rampe d'accélération de 0.1s. ....       | 53     |
| Figure 30 :Évolution du couple instantané et la vitesse du moteur en charge pour une rampe d'accélération de 0.1s. .... | 54     |
| Figure 31 :Évolutions de la fréquence en fonction des rampes d'accélération et de décélération. ....                    | 55     |
| Figure 32 :Variation de la tension de sortie du variateur en fonction de la fréquence.....                              | 56     |
| <br>Tableau 1 :Caractéristiques du moteur asynchrone.....                                                               | <br>32 |
| Tableau 2 :caractéristiques de moteur.....                                                                              | 44     |
| Tableau 3 :La plaque signalétique de compresseur.....                                                                   | 44     |
| Tableau 4 :Investissement total pour le projet.....                                                                     | 57     |



# ***Introduction générale***

# *Introduction générale*

Le but de ce travail est d'économiser la consommation d'énergie des différents compresseurs qui permettent de fournir de l'air comprimé, nécessaire au fonctionnement des souffleuses de bouteilles et cela quelques soient les besoins de la production en air comprimé.

Pour minimiser les pertes d'énergie, il faut organiser le fonctionnement des compresseurs d'une façon à ce que leurs activations s'effectuent en fonction de la demande d'air comprimé.

Nous passerons par les différents chapitres pour expliquer la problématique et apporter une solution

La phase actuelle de développement, caractérisée par une avancée dans le domaine industriel, et l'amélioration des capacités de production.

Actuellement, les entreprises sont confrontées à un double défi économique qui consiste à augmenter la production tout en diminuant le cout de revient du produit. Pour cela tous les services de l'entreprise doivent participer à la rationalisation des couts.

La production de l'air comprimé, vecteur énergétique essentiel dans les unités de transformation, fait l'objet d'une étude de rationalisation des couts de maintenance.

Le mémoire intitulé (étude et mise en place d'un variateur de vitesse pour un compresseur à piston) est le résultat d'un travail effectué lors d'un stage dans NCA-ROUIBA, faisant de l'économisassions de la consommation d'énergie de la station de compresseur d'aire.

Il est structuré de la manière suivante : après cette introduction générale, une présentation de l'entreprise NCA-ROUIBA. L'étude technologique de l'installation de compresseur est faite dans le cadre de premier chapitre. Le second chapitre est consacré à l'étude des moteur asynchrone, suivie de troisième chapitre ou on a fait la description et les déférent model des variateurs de vitesse, et pour le quatrième chapitre la mise en place de variateur et l'étude techno-économique, en fin on a terminé par une conclusion générale.



# ***Chapitre I***

**Présentation de l'entreprise et  
généralité sur le compresseur**

## **I.1 PRÉSENTATION DE L'ENTREPRISE NCA-ROUIBA**

- **NCA-Rouïba** (Nouvelle Conserverie Algérienne), est une société privée de droit algérien
- **Création** : 1966
- **Siège Social** : Z.I Rouïba–RN n°5 -Alger –Algérie
- **Direction** : Sahbi Mohamed Othmani
- **Effectif** : 542
- **Activité** : Production et Distribution de boissons
- **Produits** : Jus de fruits, Nectar de fruits et Pur Jus de fruits

### ➤ **Certifications**

Iso 9002 versions 1994, Iso 9001 versions 2000, Iso 14001-2004 pour la protection de l'environnement et ISO 22000.

### ➤ **ISO 26000**

La NCA est la première entreprise à avoir intégré officiellement les principes de la Responsabilité Sociétale (RSE) édictés par la norme ISO 26000 dans le cadre du projet national RS-MENA.

### ➤ **Histoire**

Au commencement, un projet familial aux lendemains de l'Indépendance Fondée en Mai 1966, par Salah Othmani et son père Mohamed Said Othmani. Ils sont La Nouvelle Conserverie Algérienne (NCA). L'Entreprise se lança dans la fabrication de concentré de tomates, d'Harissa et de Confitures sous la marque Rouïba, affirmant tout son savoir-faire dans la Transformation de fruits.

En 2010, il est nommé Président du Conseil d'Administration par l'assemblée des actionnaires et passe à son tour le relai à M. Sahbi Othmani, pour la gestion opérationnelle de la NCA-Rouïba en qualité de Directeur Général.

Aujourd'hui La NCA-Rouïba est une Entreprise leader et cotée en bourse qui a traversé le temps et su opérer les mutations nécessaires afin de répondre aux attentes de nos consommateurs par une qualité irréprochable des produits, une large gamme et une disponibilité plus marquée sur le marché.

### ➤ Une Entreprise certifiée

La mise à niveau par une amélioration continue de la qualité lui a permis d'obtenir la certification Iso 9002 version 1994, Iso 9001 versions 2000, Iso 14001-2004 pour la protection de l'environnement et ISO22000. Première entreprise à avoir intégré officiellement les principes de la Responsabilité Sociétale (RSE) édictés par la norme ISO 26000 dans le cadre du projet national RSE-MENA. Une Entreprise qui exporte à l'International : Les produits NCA-Rouiba sont déjà exportés dans huit pays. Une Entreprise cotée en bourse L'introduction en bourse de la société NCA-Rouiba a été approuvée par les actionnaires de la société et elle est effective en Avril 2013.

Les dates clefs :

1966 : Lancement de L'Entreprise par le père et le fils, Mohamed et Salah Othmani

1984 : Démarrage de l'activité de boissons à base de fruits

1989 : Lancement Tetrapak en Algérie

2005 : Ouverture du capital à un fond d'investissement

2009 : 20 ans plus tard c'est +120 millions de packs de jus en Algérie

2010 : Un nouveau segment, le PET

2012 : 200 millions de packs

2013 : Introduction en bourse & Lancement du PET aseptique

### ➤ Produits

La NCA se consacre intégralement à la production et la distribution de boissons et produit 1 million de litres de Jus, nectar et boissons aux Fruits. En 2014, leurs ventes ont atteint 104 Millions de litres de jus, soit une croissance de 19% vs 2013.

### ➤ Réseau

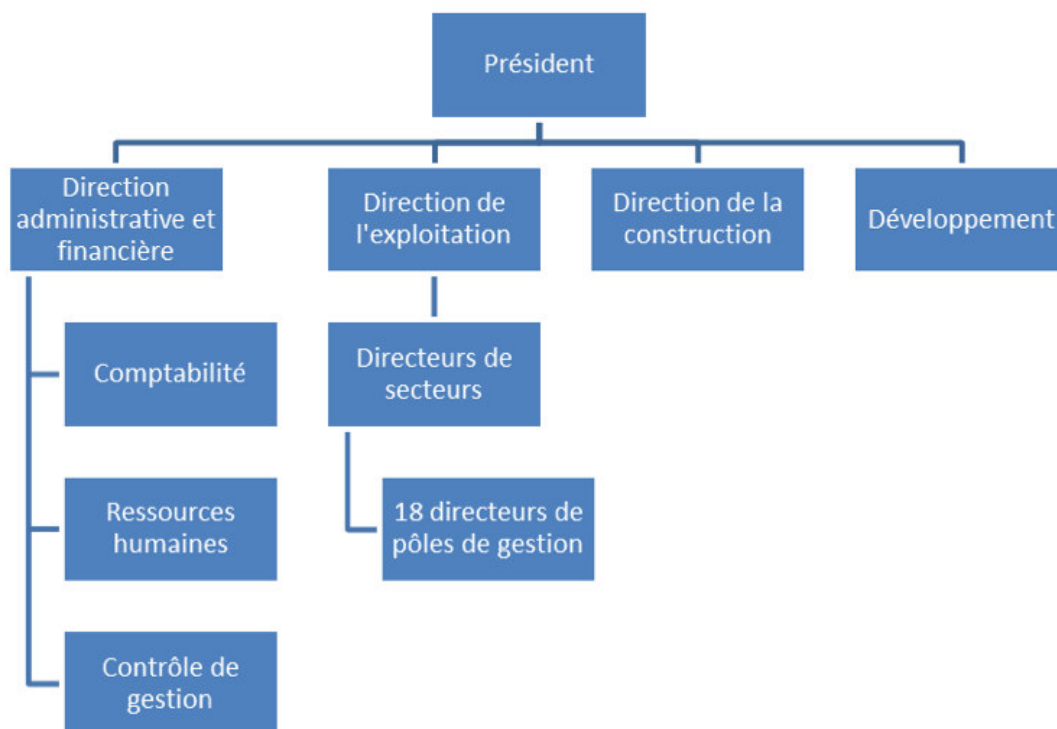
Ils assurent la diffusion de leur Produits sur le territoire national à travers la Distribution Directe (points de ventes) et la Distribution Indirecte (Distributeurs Agréés.). Leur Encadrement Commercial (Responsable Commerciaux, chefs de zones et superviseurs) et leur force de Vente sont présents au quotidien afin d'assurer un accompagnement et un service qualitatifs à leurs Clients. NCA-ROUIBA est également présente dans huit (8) pays répartis sur l'Afrique, l'Europe, l'Amérique et l'Australie. Leur ambition à horizon 2020 est de réaliser 20% de leur chiffre d'affaire à l'international.

### ➤ Infrastructures

La mise à niveau continue de leurs équipements et infrastructures est la clé du développement de leur Entreprise. C'est aussi le reflet d'une vision que nous portons sur notre activité à moyen et long terme. A cet effet, ils ont repensé le site industriel. La création de nouveaux emplacements et le réaménagement des ateliers ont été entrepris depuis 2006.

### ➤ Superficie totale de plus de 23 270 m<sup>2</sup>

Surface bâtie de 7228 m<sup>2</sup>, elle concerne les ateliers, les magasins, l'administration et les annexes Surface non couverte de 4042 m<sup>2</sup>, elle concerne les voies de communication et les aires de stationnement. Nouvelle acquisition d'une superficie de 12 000 m<sup>2</sup>, en cours de travaux pour l'aménagement d'un nouveau site qui sera opérationnel en Juillet 2015



**Figure 1 : L'organigramme Général**

### Compresseur à piston FRANÇOIS CE24A

#### I.2 Introduction

Les compresseurs d'air FRANÇOIS du type à pistons sans graissage à haute pression sont conçus pour le soufflage du PET. Il s'agit de machines spécifiques qui demandent un suivi plus attentif que pour un compresseur classique.



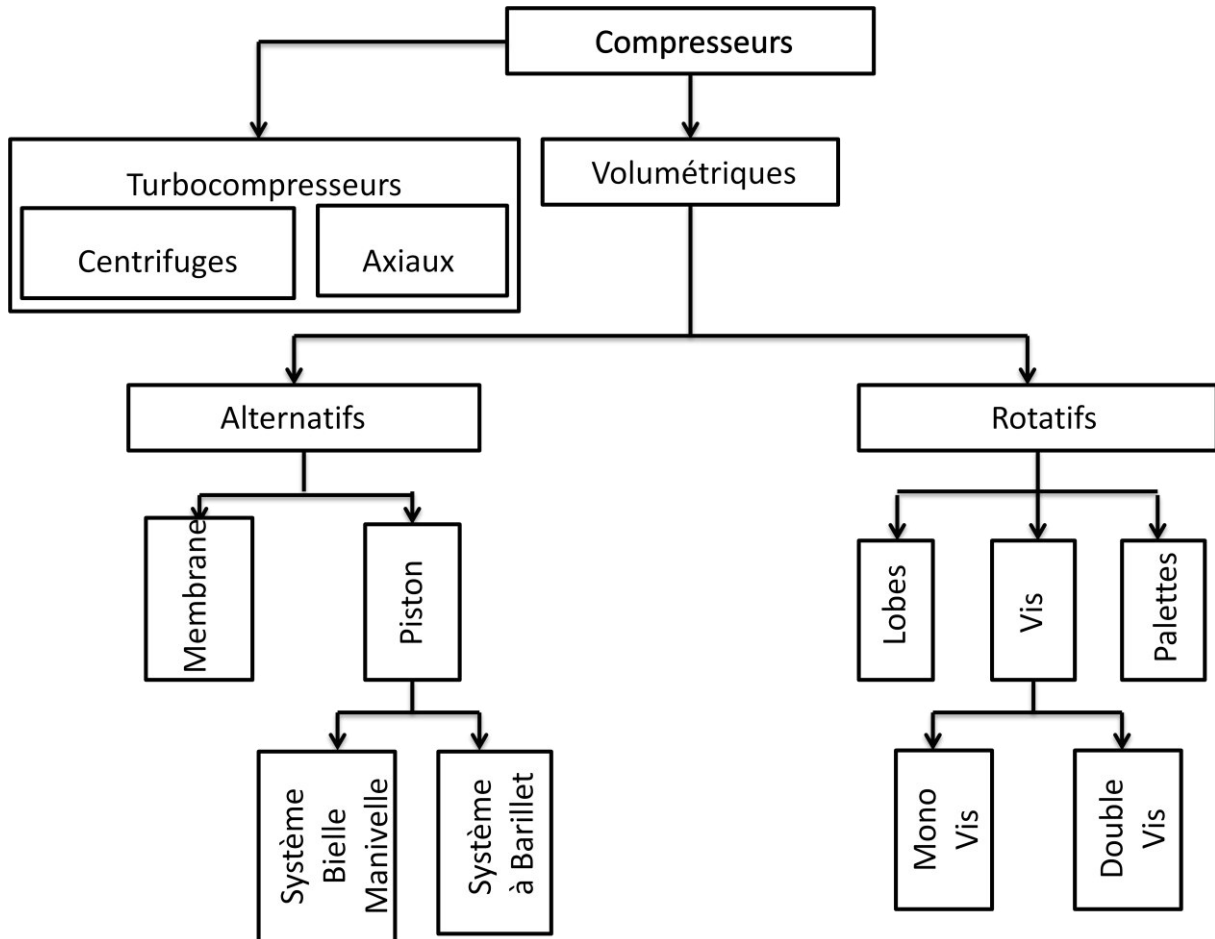
**Figure2 :** compresseur 40 bar

#### I.3 Généralités

Les compresseurs sont des turbomachines qui agissent sur des fluides compressibles comme l'aire, l'ammoniac, l'acétylène.

### I.4 Types de compresseurs

Organigramme des types de compresseurs :



**Figure3** : organigramme des types de compresseur

### I.5 Description

C'est un compresseur à piston de type horizontal, comprenant trois étages, un étage à double effet et deux autres à simple effet, avec un refroidissement intermédiaire, conçu pour comprimer l'air d'une pression atmosphérique d'un bar jusqu'à une pression de refoulement de 40 bars. L'air comprimé est destiné à alimenter les souffleuses des bouteilles.

Il est entraîné par un moteur électrique asynchrone triphasé qui est à son tour commandé par l'armoire électrique. Le déplacement des pistons se fait dans des sens opposés, cette position permet d'améliorer sensiblement l'équilibrage du compresseur et supprime le pilonnage des fondations.

### I.6 Principe de fonctionnement des compresseurs à piston

Le compresseur est une machine volumétrique à 3 étages de compression.

La compression multi-étage sans présence d'huile permet d'atteindre de hautes pressions en conservant à l'air une température raisonnable. Après chaque étage, l'air est refroidi à une température de 60°C environ.

Chaque cylindre comporte un nombre égal de soupapes aspiration et soupapes refoulement. Lorsque la pression de consigne finale est atteinte, les soupapes aspiration sont maintenues ouvertes par un dispositif électropneumatique. La machine ne comprime plus et l'air contenu dans les réfrigérants intermédiaires est évacué vers l'extérieur par l'entremise d'électrovanne de purge. Lorsque la pression diminue dans le réseau, le pressostat de commande remet en fonction les soupapes aspiration et la machine comprime à nouveau.

Dans les compresseurs à double effet, la compression se fait comme suit :

L'effet avant permet une aspiration de l'air à travers les clapets d'aspiration au moment où ceux du refoulement restent fermés. L'effet arrière assure une compression et une évacuation de l'air via les clapets de refoulement, tout en laissant ceux de l'aspiration fermés. Il y a compression dans l'effet arrière et évacuation de l'air par les clapets de refoulement, ceux d'aspiration restants fermés.

Pour augmenter la pression d'air, on peut agir sur sa température, son volume ou bien les deux à la fois. Si la température de l'air est maintenue constante, sa pression est inversement proportionnelle au volume. Un accroissement de pression peut donc être obtenu en réduisant le volume occupé par l'air. Dans ce cas, l'élévation de pression est le résultat d'une compression, c'est-à-dire une action directe sur le volume d'une masse d'air donnée. La diminution du volume d'air conduit toujours à un accroissement de pression.

### I.7 Cycle de compression

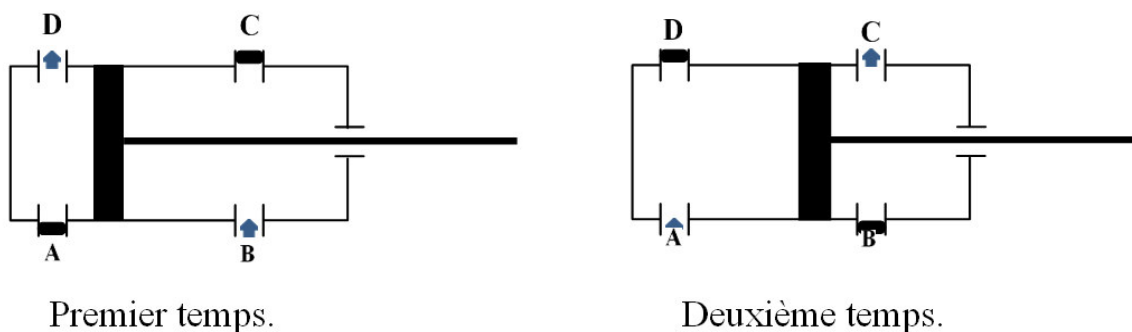
Le cycle de compression s'effectue en deux temps qui sont dus à l'architecture du compresseur, contenant deux clapets d'aspiration et deux clapets de refoulement.

Premier temps : Aspiration par « B », et le clapet « A » est fermé.

Refoulement par « D », et le clapet « C » est fermé.

Deuxième temps : Aspiration par « A », et le clapet « B » est fermé.

Refoulement par « C », et le clapet « D » est fermé.



**Figure4** : Les temps du cycle de compression

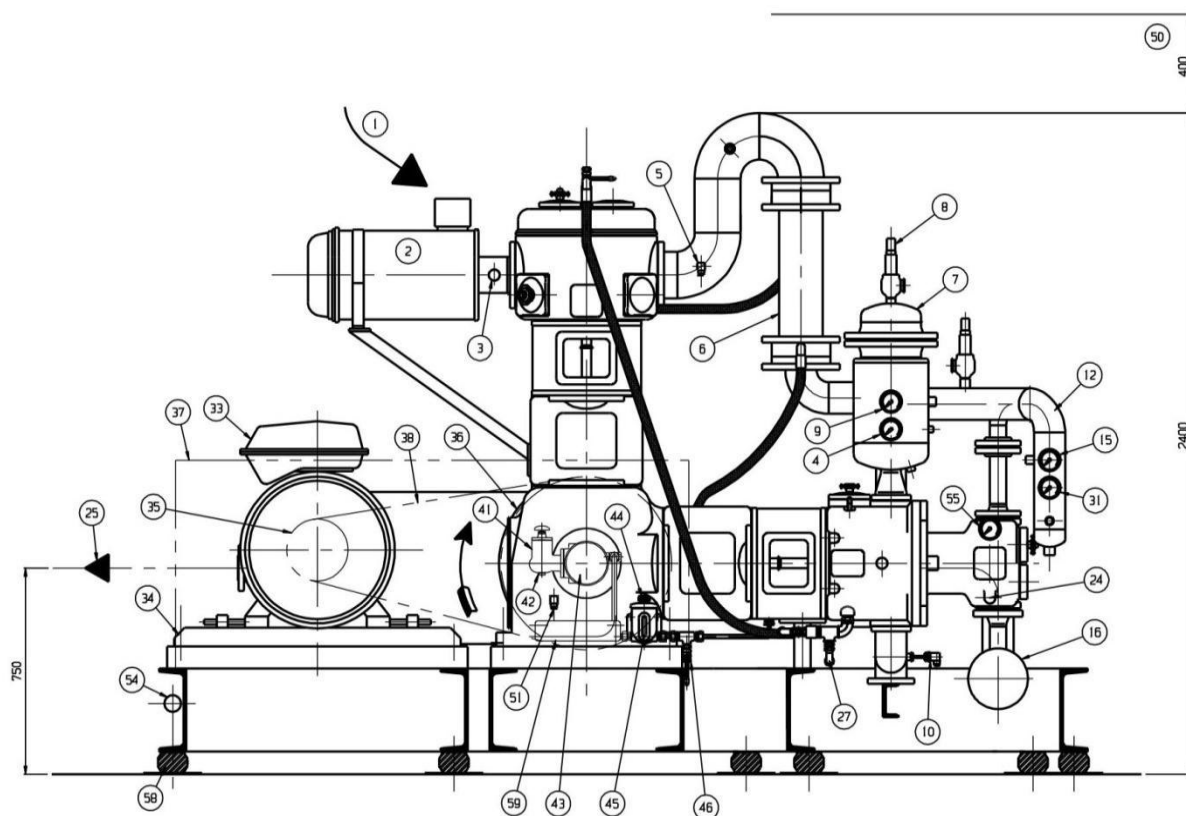


Figure5 : vue de face de compresseur

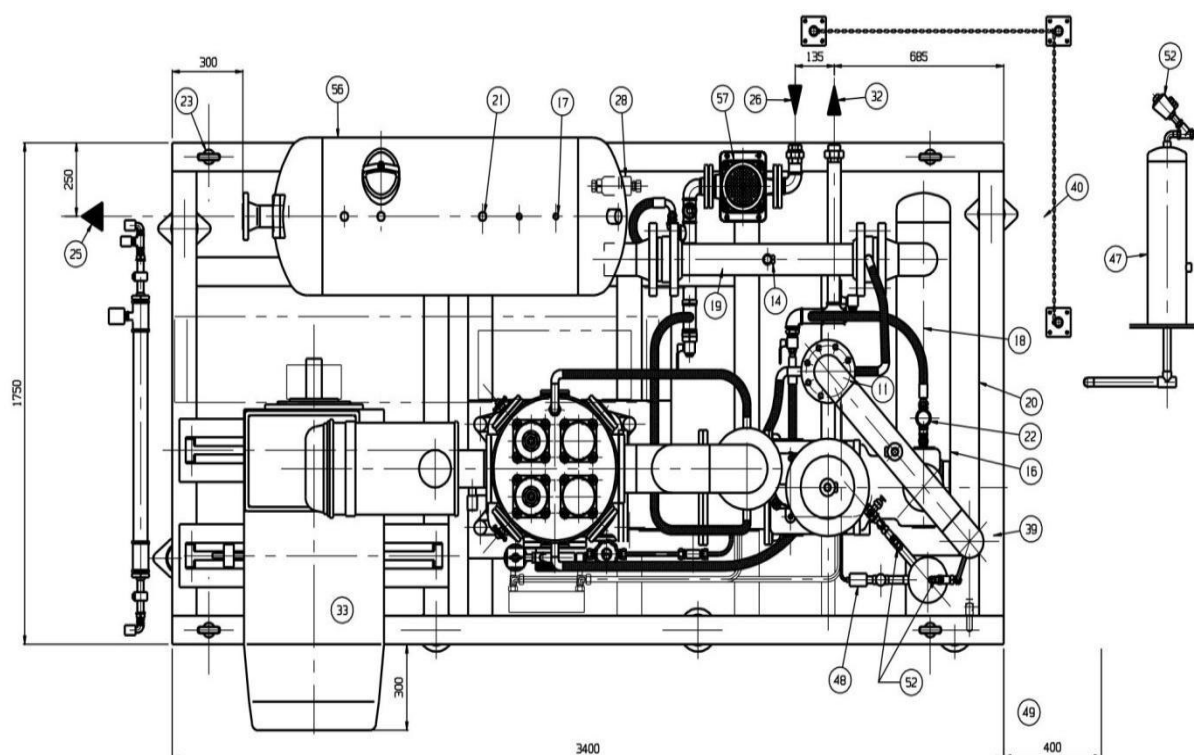


Figure6 : vue dessus de compresseur

1. entrée d'air
2. filtre d'air
3. indicateur de colmatage
4. pression d'air premier étage
5. température refoulement premier étage
6. réfrigérant température premier étage
7. séparateur premier étage
8. soupape de sureté premier étage
9. température aspiration deuxième étage
10. température refoulement deuxième étage
11. réfrigérant intermédiaire deuxième étage
12. séparateur deuxième étage
13. soupape de sureté deuxième étage
14. soupape de sureté circuit d'eau
15. température aspiration troisième étage
16. anti pulsateur
17. soupape de sureté troisième étage
18. température refoulement troisième étage
19. réfrigérant final
20. purgeur automatique de réservoir
21. température de sortie d'air
22. vanne thermostatique
23. anneaux de levage
24. purge d'eau de cylindre troisième étage
25. sortie d'air
26. entrée d'eau
27. Vidange du compresseur
28. Purgeur automatique de réservoir
30. résistante chauffante
31. Pression d'aire deuxième étage
32. Sortie d'air résistante chauffante
33. Moteur électrique
34. Rails du moteur
35. Poulie du moteur
36. Volant du compresseur
37. Grant de la transmission
38. Courroie jeu
39. Châssis du groupe
40. Grant anti pulsateur
41. Filtre d'huile
42. Purge de filtre d'huile
43. Pompe de graissage
44. Reniflard
45. Remplissage et niveau d'huile
46. Vidange d'huile
47. Réservoir de purge
48. Electrovanne de décompression
49. Distance pour démonter le piston
50. Distance pour démonter le piston
51. Température d'huile
52. Vanne pneumatique de purge
53. Collecteur de purge
54. réservoir de régulation
55. température d'eau
56. réservoir 300 l
57. pompe à eau
58. suspension de groupe
59. réfrigérant huile
61. pompe à l'huile
62. moteur pompe à huile

### I.8 Organe de compresseur

- **Cylindre :** il est fabriqué avec une double paroi de façon à ce que l'eau de refroidissement puisse circuler dans l'espace qui en résulte.
- **Entretoise :** elle sert à faire une liaison entre le bâti et le cylindre. Equipée de bagues racleuses d'huiles, qui assurent la récupération de l'huile de graissage de la partie mécanique et évitant son passage de la partie mécanique vers les cylindres, et éventuellement une première étanchéité entre le bâti et le sas.
- **Volant d'inertie :** il est destiné à optimiser le coefficient de régularité cyclique du compresseur. Il est solidarisé avec le vilebrequin par un élément de serrage à manchon conique ou par clavette.
- **Piston :** réalisé en alliage d'aluminium, il assure la compression de l'air, équipé de segments porteurs et d'étanchéité. Le serrage de piston sur la tige est effectué par un écrou tendeur ou un écrou de grande dimension.
- **Tige de piston :** en acier spéciale traité, elle est munie de déflecteur interdisant tout passage de lubrifiant dans le cylindre. Elle assure la liaison entre la crosse et le piston.
- **Bielles :** elles sont en acier, équipées de coussinets de tête de bielle de type mince revêtus de métal antifriction et de coussinets de pied de bielle en bronze.
- **Arbre vilebrequin :** réalisé en fonte grise à graphite sphéroïdal avec ou sans contrepoids intégrés dans la masse de vilebrequin, il transmet la puissance mécanique aux pistons de compression. La sortie d'arbre est munie d'un dispositif d'arrêt d'huile coté volant.
- **Crosses :** elles sont de type monobloc en fonte gris à graphite sphéroïdal, elles assurent la transformation du mouvement rotatif du vilebrequin en mouvement alternatif nécessaire aux pistons. Elles sont reliées aux bielles à l'aide d'un axe appelé axe de crosse. Le guidage de la crosse est assuré par la glissière de crosse qui est boulonnée sur le bâti.
- **Soupapes à clapets :** elles sont automatiques, à disque avec ressort et amortisseur à grande section de passage, assurant la distribution du fluide entre l'extérieur et l'intérieur de la cellule de compression tant à l'aspiration qu'au refoulement. La soupape d'aspiration et de refoulement sont munies d'actionneurs pneumatiques pour la mise à vide de la marche.
- **Coussinet de ligne d'arbre :** il est du type mince, en une ou deux parties, en acier et métal antifriction, avec lubrifiant sous pression. Le vilebrequin repose sur deux coussinets cote volant.
- **Pompe à l'huile :** attelée au vilebrequin, elle permet la distribution d'huile sous pression à l'intérieur du réseau de graissage.
- **Circuit de graissage :** le circuit de graissage de la partie mécanique permet la lubrification sous pression à partir de la pompe à huile. En aval de la pompe, un filtre à cartouche jetable, d'une finesse de filtration de 25 microns assure l'alimentation en huile propre de la rampe de graissage des paliers et des glissières en bout de rampe. Un ressortant d'huile décèle immédiatement toute baisse de pression et arrête le compresseur.
- **Garnitures :** assurent la meilleure étanchéité possible entre la cellule de compression et l'extérieure à la sortie de la tige de piston du cylindre, elles sont autolubrifiantes, éventuellement refroidies.

## Chapitre I : présentation de l'entreprise et généralité sur le compresseur

---

### I.9 Environnement du compresseur

Le local du compresseur doit remplir les conditions suivantes :

- **Accès facile pour le personnel demaintenance.**
- **Moyens de levage :** tels que pont roulant ou rail avec palan pour permettre le démontage des pièces lourdes (cylindres, pistons, moteur électrique).

Aération efficace : naturelle par ouïes ou forcée par extracteur d'air chaud.

- **L'air aspiré par la machine :** sera le plus frais possible, toutefois, si la température du local peut être inférieure à 5 °C / 41 °F, un chauffage du carter sera prévu.
- **Le sol :** doit être plat, de niveau et suffisamment résistant pour supporter le poids du compresseur monté sur suspensions élastiques (machine sur plots antivibratoires) ou équipé pour scellement de la machine (vérifier le dimensionnement de la dalle).
- **Ne pas stocker :** dans la salle des machines, de produits dangereux ou volatils susceptibles d'exploser.

### I.10 Mise en place

Ne pas lever le groupe autrement que par les points d'ancrage prévus à cet effet. La manutention des groupes moto-compresseurs requiert un personnel qualifié. Généralité :

Une température ambiante supérieure à 35 / 40 °C (95/104 °F) entraîne une surchauffe du compresseur ce qui est nuisible à la longévité de la segmentation.

Le compresseur sera facilement accessible afin de permettre en entretien correct et commode. Il est impératif de prévoir un espace dégagé suffisant autour et au-dessus de la machine pour pouvoir démonter les pièces lourdes comme des ensembles tiges/pistons, cylindres, ...

Compresseur et accessoires montés sur châssis reposant sur des élastiques.

Le compresseur est directement déposé sur un sol plat et de niveau donc la résistance peut supporter le poids du matériel. La liaison au réseau d'air comprimé sera réalisée par un flexible à la sortie du groupe (réfrigérant final ou, suivant modèle, réservoir). Les suspensions élastiques seront fixées au sol par des boulons d'ancrage (un boulon par suspension est suffisant).

Compresseur et accessoires montés sur châssis fixe (à placer sur fondation béton).

Le respect des plans de génie civil est impératif. Les cotes de profondeur sont à vérifier en fonction des caractéristiques du sol et des réactions du compresseur.

Pour le montage, introduire en premier lieu les boulons d'ancrage dans les trous réservés à cet effet dans le châssis. Poser le groupe sur le socle et le mettre de niveau dans les deux sens au moyen des cales métalliques.

## **Chapitre I : présentation de l'entreprise et généralité sur le compresseur**

---

### **I.11 Connexions**

#### **I.11.1 Connexions électriques**

La section des conducteurs doit être adaptée à la puissance du moteur, à la tension d'alimentation, au mode de pose et conforme à la réglementation du pays concerné.

Respecter le schéma de câblage du tableau de commande en réalisant les connexions électriques.

#### **I.11.2 Connexions pneumatiques**

La section de la tuyauterie de distribution d'air comprimé doit être adaptée au débit du ou des compresseurs. Le diamètre sera au moins égal à celui du flexible de sortie.

Les tuyauteries seront protégées contre la corrosion interne et externe.

Si plusieurs compresseurs alimentent la même installation, il convient d'installer un clapet anti-retour entre le compresseur et le réseau, ainsi qu'une vanned'isolement.

Il est impératif de prévoir un nombre de points d'ancrage suffisant pour la tuyauterie d'air comprimé afin d'éviter toute transmission de vibrations vers les différents appareils et utilisateurs. Le premier support directement après le flexible de sortie sera conçu très rigide et sa fixation au sol très solide.

Le flexible métallique de sortie se monte parfaitement aligné par rapport à la tuyauterie fixe. Il ne peut être soumis ni à la traction, ni à la compression. Il ne peut non plus être courbé. Une protection contre l'éclatement est prévue. Cette protection ne peut être enlevée.

Les tuyauteries de liaison compresseur-souffleuse seront réalisées par du personnel agréé. Une épreuve à 1,5 fois la pression de service sera effectuée avant la mise en service.

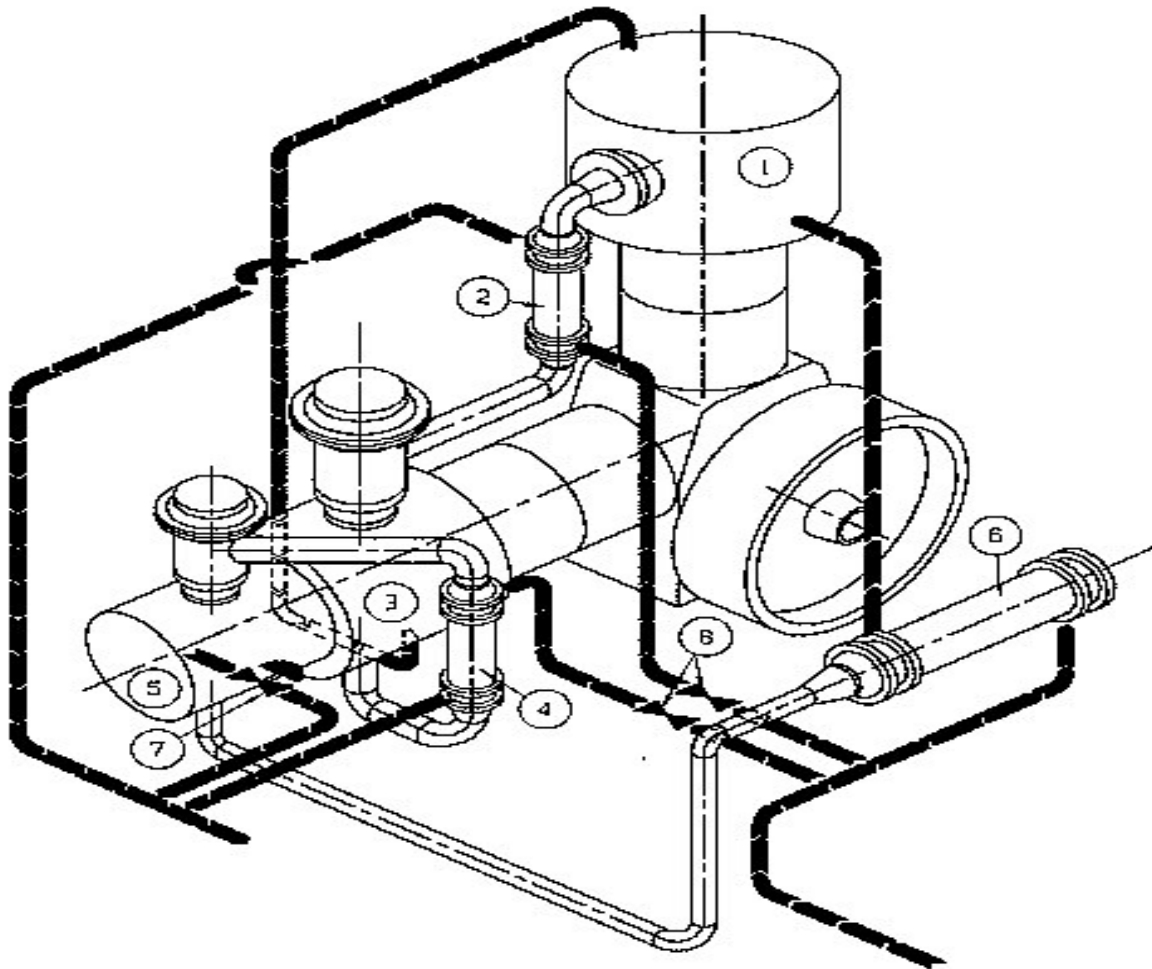
#### **I.11.3 Connexions de circuit de refroidissement**

La propreté et la température de l'eau de refroidissement sont essentielles pour assurer un fonctionnement fiable du compresseur.

La température à l'entrée du compresseur sera comprise entre 10 et 30 °C (50 et 86 °F). Maximum 45°C.

Le circuit interne au compresseur (de couleur verte) est réalisé par nos soins en usine, la connexion à celui-ci se fait via les flexibles livrés avec le compresseur en respectant les indications entrées et sortie.

Prévoir un manomètre à l'entrée du circuit.



**Figure7** : Schéma principe de circuit de refroidissement

- 1 : cylindre première étage
- 2 : réfrigérant intermédiaire première étage
- 3 : cylindre deuxième étage
- 4 : réfrigérant intermédiaire deuxième étage
- 5 : cylindre troisième étage
- 6 : réfrigérant final
- 7 : vanne thermostatique
- 8 : réglage de débit d'eau de refroidissement

### I.12 Les équipements périphériques du compresseur

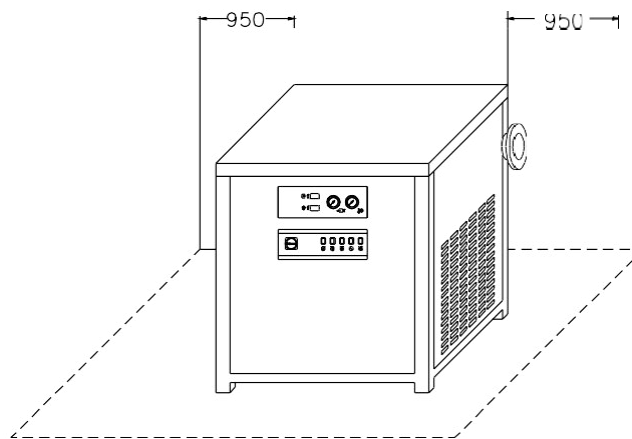
#### I.12.1 Sécheur d'air

Cet appareil ne peut être utilisé que dans des conditions des services prévus dans le manuel et uniquement en conjonction avec d'autres appareils, recommandés par le fabricant.

Le sécheur doit être installé à l'intérieur dans un endroit sec et non poussiéreux.

Pour l'entretien de l'installation il est indispensable de prévoir assez d'espace libre autour du sécheur. L'installation doit se faire sur un sol horizontal et lisse.

Les dimensions de la chambre à air destinée à l'arrivée et à la sortie de l'air frigorifique, à la gauche et à la droite doivent être: 1 m, pour le service. À l'arrière comme à l'avant, doivent être: 50 cm.



**Figure 8 : sécheur d'air**

L'élimination du condensat se fait par purgeurs automatiques. Après le réchauffement dans l'échangeur air/air, l'air comprimé se réchauffe d'une température de 10 K inférieure à la température d'entrée, quitte le sécheur.

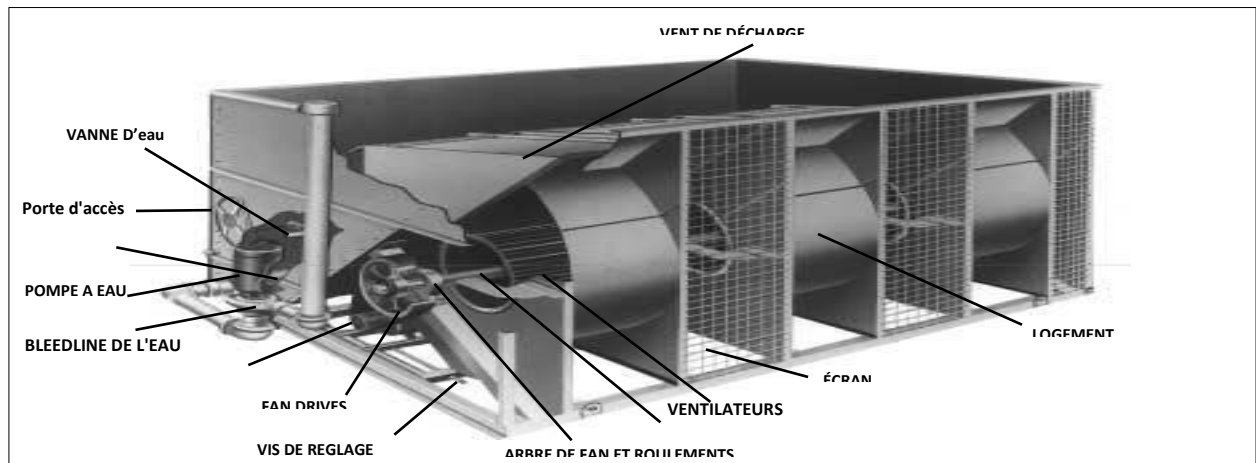
Le circuit frigorifique est hermétiquement fermé. Le compresseur frigorifique aspire le fluide frigorifique évaporé et le comprime à une pression supérieure. Dans le condenseur ce fluide frigorifique comprimé se liquéfie par refroidissement. Par un organe d'injection le fluide frigorifique liquéfié est détendu et injecté dans l'échangeur fluide frigorifique/air. Le fluide frigorifique évaporé est réaspiré de nouveau par le compresseur frigorifique.

Un régulateur by-pass des gaz chauds règle automatiquement le refroidissement nécessaire suivant la charge du sécheur.

### I.12.2 Tour de refroidissement

Le refroidissement est réalisé par l'évaporation de l'eau sur l'extérieur du tube de l'échangeur (tour en circuit fermé), l'air extérieur pulsé à l'intérieur de la tour par les ventilateurs, se réchauffent et emportent à l'extérieur de l'eau évaporée. Un appoint d'eau automatique permet de compenser la quantité d'eau évaporée.

Le contrôle de la concentration des sels de l'eau qui s'évapore, est nécessaire pour éviter les dépôts de calcaire dans le circuit.



Figures9 : refroidisseur

### I.12.3 Pompe à eau

L'électropompe doit être solidement ancrée avec les boulons prévus à cet effet dans des fondations en béton ou une structure métallique équivalente (console, plateforme).

Si la pompe est de grandes dimensions et doit être installée en proximité d'habitation, il est conseillé d'isoler la pompe de la structure en béton armé avec des supports anti vibrants et des segments de tuyaux anti vibrants sur l'aspiration et le refoulement en proximité de la pompe.

On contrôle que les tuyaux utilisés peuvent supporter la pression max. de service de la pompe le tuyau d'aspiration doit être absolument hermétique est dimensionnée selon les conditions d'aspiration.

Quand le niveau de fluide à transférer est plus bas que la pompe, il est indispensable d'appliquer un clapet de pied à l'extrémité du tuyau d'aspiration.

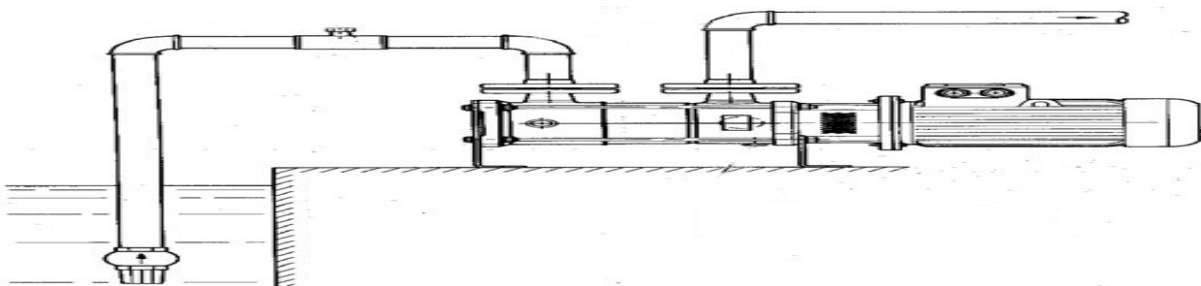


Figure10 : principe de pompe à eau

### I.12.4 Bekomat

La formation de condensation est inévitable dans les systèmes d'air comprimé. Il y a toujours un "sous-produit" de la production d'air comprimé et il se répand dans le réseau d'air comprimé. Environ les deux tiers de la condensation sont produits par le post-refroidisseur. Le reste se produit n'importe où dans le réseau ou l'air comprimé se refroidit. Ce problème est inhérent au système et peut causer des dommages et des coûts d'exploitation plus élevés. La solution est un système d'évacuation des condensats adapté à la quantité réellement produite. Cela permettra de réduire les coûts et prévenir les dommages.



**Figure 11 : Bekomat**

Le contrôle avec sonde capacitive conçu pour l'évacuation par voie électronique commandée par le niveau du condensât dans le réseau d'air comprimé fonctionne sans perte inutile d'air comprimé et avec un minimum d'énergie.

Avantages Par rapport aux purgeurs mécanique et à minuterie :

L'opération est non affectée par la saleté, ce qui entraîne un fonctionnement fiable

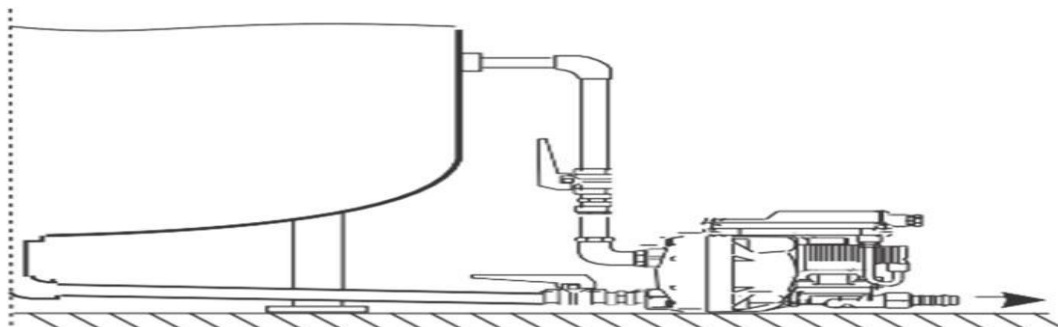
Nécessite peu d'entretien

Un minimum de perte de charge afin de prévenir l'émulsification

Exploité conformément à la quantité de condensat

Évite la perte inutile d'air comprimé

Est équipé d'une signalisation de défaut



**Figure 12 : principe de Bekomat**

### I.12.5 Moteur

Le moteur électrique qui est employé beaucoup plus dans l'industrie, c'est une machine électrique tournante d'induction, basée sur le principe du champ tournant. Il est composé de deux parties principales :

- **Le stator** : c'est la partie fixée qui comporte un circuit magnétique en forme de couronne et un enroulement triphasé qui peut être relié au réseau.
- **Le rotor** : partie mobile, qui tourne à l'intérieur de Stator. Celle-ci compote aussi un enroulement qui est complètement isolé de Stator et du réseau.

D'autres organes composant encore de moteur qui ne jouent aucun rôle magnétique, électrique mais qui sont néanmoins indispensables :

La carcasse qui maintient le Stator, porte les pattes de fixation ainsi que les protections contre les agents extérieurs, Un arbre qui porte le rotor et qui transmettent la puissance mécanique, il porte aussi le ventilateur de refroidissement, des flasques qui supportent les paliers qui centrent le rotor axialement et radialement.



**Figure 13:** Vue extérieur de moteur

### I.13 Contrôle électrique

Le fonctionnement électrique du compresseur est assuré par l'armoire électrique qui commande le moteur électrique, ce dernier sert à entraîner le compresseur. Son est asynchrone triphasé.

Il est basé sur l'utilisation des capteurs et de transmetteur qui sont qui guidés par l'armoire électrique ; ils déclarent tout changement de fonctionnement ainsi que les différentes pannes dues au fonctionnement du compresseur et parmi ceux-ci on cite les transmetteurs, qui regroupent l'ensemble du système de contrôle nécessaire pour le bon fonctionnement du compresseur ; ils sont installés en local sur les différents points de mesure :

#### I.13.1 Capteurs de température

Contrôlent la température de l'air de refoulement à la sortie de chaque étage de compression. Ils provoquent une alarme ou l'arrêt de compresseur en cas de température haute anormale.

#### I.13.2 Capteurs de température eau

Contrôlent la température d'eau en sortie du circuit compresseur. Ils provoquent la régulation du groupe de refroidissement ou l'arrêt du compresseur en cas de haute température.

#### I.13.3 Capteurs de pression air

Contrôlent la pression d'air sur le réservoir, ils provoquent soit la régulation soit l'arrêt du compresseur.

#### I.13.4 Capteurs de pression d'huile

Contrôlent la pression d'huile en bout d'arbre du circuit de graissage de la partie mécanique (sur le palier coté volant).

#### I.13.5 Contrôleur de circulation eau

Contrôle la circulation d'eau en sortie du circuit compresseur. En cas de manque d'eau, pendant plus de 25 secondes lors du démarrage ou de fonctionnement, il provoque l'arrêt du compresseur.

#### I.13.6 Electrovanes de régulation et de purge

Permettent la régulation de débit et de pression en donnant à chaque fois la mesure à l'automate. Ce dernier donne l'ordre de fermeture en cas de suppression ou de purge en cas d'augmentation de débit

## **Chapitre I : présentation de l'entreprise et généralité sur le compresseur**

---

### **I.14 Mise en service du compresseur**

Vérifications préalables :

Contrôler la qualité et la circulation de l'eau de refroidissement dans l'ensemble du groupe.

Si le compresseur est équipé d'une vanne thermostatique ou d'une vanne électromagnétique, le débit d'eau s'établira automatiquement au démarrage. La pression du circuit d'eau doit être de 3 bar eff. (Max. 4,5 bar)

Si par mégarde, le compresseur tournait sans que la circulation d'eau ne soit établie, il faut absolument arrêter la machine et la laisser refroidir avant d'admettre l'eau de refroidissement, sous peine d'avaries graves (choc thermique dans la fonte des cylindres).

Verser dans le carter de l'huile propre, de telle sorte qu'elle atteigne l'ailette supérieure se trouvant dans la boîte deremplissage.

Avant la mise en route, effectuer un tour complet du volant du compresseur en agissant manuellement sur les courroies. Rien ne doit s'opposer à la rotation libre de la machine. Pour la tension des courroies

Vérifier également l'état de surface des alésages des cylindres en enlevant une soupape de refoulement à chaque cylindre. En effet, une présence d'humidité lors du transport et/ou d'un stockage prolongé peut avoir provoqué une corrosion

Placer le commutateur de l'armoire électrique sur la position "MARCHE AVIDE".

## Chapitre I : présentation de l'entreprise et généralité sur le compresseur

---

### I.15 Démarrage

Lors de la première mise en marche, vérifier que le compresseur tourne dans le sens anti-horlogique en se plaçant face au volant. Si le sens de rotation est erroné, il faut inverser le raccordement électrique du moteur.

A la première mise en service, placer le commutateur (BS) situé sur la porte de l'armoire électrique sur la position "marche à vide" et laisser fonctionner le compresseur sans pression pendant deux heures environ. Pendant ce temps, contrôler la pression d'huile qui ne doit pas être inférieure à 2 bar eff.

Si tout est normal (pas de bruit anormal, ni de chute de pression d'huile ou de fuite d'eau), placer le commutateur sur la position "CHARGE".

Le compresseur pourra alors comprimer.

Il est conseillé de procéder à la mise en charge par paliers de la manière suivante:

Faire monter le compresseur jusqu'à une pression de sortie de 10 bar (voir manomètre de pression 3<sup>ème</sup> étage). Arrivé à cette pression, mettre le commutateur de l'armoire de commande sur la position "MARCHE AVIDE".

Laisser ensuite tourner la machine à vide pendant environ 5 minutes.

Répéter cette opération aux pressions de 20, 30 et 40 bar. Ne pas passer d'une pression à l'autre si les températures ne sont pas stabilisées.

En travaillant à sa pression maximum, le pressostat de régulation doit déclencher et enclencher (vide/charge) aux pressions de réglage préétablies.

Contrôle des pressions et des températures

Contrôle de la temporisation de l'ouverture des électrovannes de purge

Si l'une des valeurs relevées s'écarte de celles de la fiche d'essais de plus de 10%, pour autant que les paramètres soient identiques, arrêter la machine

### I.16 Période de rodage les 1000 premières heures

Maintenance et contrôles à effectuer :

Remarques préliminaires importantes :

- Avant toute intervention sur le compresseur, s'assurer que l'alimentation électrique est coupée.
- Fermer la vanne d'isolement du compresseur et décompresser la tuyauterie de refoulement à l'aide de la purge.
- Employer exclusivement des pièces granite d'origine a.f.
- Placer un panneau "hors service - ne pas démarrer" sur l'armoire électrique de commande lors de toute intervention sur le compresseur.

#### A. Tous les jours

- Vérifier et relever : niveau d'huile, toutes les pressions et températures (remplir la fiche de contrôle journalier, très important pour la maintenance préventive).
- Décraasser le filtre de graissage du carter en exerçant une rotation d'un tour sur la manette du filtre à peigne.
- S'assurer qu'aucun bruit anormal ne se produit en cours de marche.

#### B. Après les 50 premières heures de marche

- Vidanger et nettoyer le carter ainsi que le filtre à huile.
- Pour le nettoyage du carter, employer des chiffons propres et non fibreux, non pelucheux.
- Pour le nettoyage du filtre à huile, dévisser le bouchon aimanté situé à la partie inférieure du filtre. Laisser écouler toute l'huile dans un récipient.
- Dévisser les 4 vis de fixation de la cartouche filtrante, la démonter, la nettoyer et la remettre en place.
- Remonter après nettoyage du bouchon aimanté pourvu d'un nouveau joint. Une légère présence de limaille (fonte essentiellement) est normale au moment de la première vidange.
- Contrôler et resserrer si nécessaire les écrous de fixation des couvercles de soupapes
- Contrôler et resserrer si nécessaire les écrous de fixation des fonds de cylindre sur les cylindres ainsi que ceux de l'assemblage des cylindres 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> étage.
- Démonter les portes de visite des guide-crosses.
- Vérifier le serrage des écrous de fixation des tiges de piston sur les crosses.
- Vérifier l'état de surface des tiges de piston. Il ne doit pas y avoir de présence de rayures.
- En regardant au travers des portes de visite en plexiglas, vérifier le bon fonctionnement des racleurs d'huile.
- Remplir le carter avec de l'huile fraîche jusqu'au niveau de l'aillette supérieure se trouvant dans la boîte de remplissage.

Note : ne jamais laisser descendre le niveau d'huile, dans le bâti, en dessous de l'aillette inférieure située dans la boîte de remplissage.

### C. A 250heures

- Vérifier la propreté du filtre d'aspiration en contrôlant le dépressiomètre situé entre le filtre et le cylindre basse pression. Si nécessaire, le nettoyer.
- Vérifier la propreté du bain d'huile.
- Nettoyer le filtre à huile.
- Dévisser le bouchon aimanté situé à la partie inférieure du filtre. Laisser écouler toute l'huile dans un récipient. Dévisser les 4 vis de fixation de la cartouche filtrante, la démonter, la nettoyer et la remettre en place.
- Remonter après nettoyage du bouchon aimanté pourvu d'un nouveau joint. Une légère présence de limaille (fonte essentiellement) est normale au moment de la première vidange.
- Vérifier le bon fonctionnement des électrovannes de purge en s'assurant de l'évacuation complète des condensats à intervalles réguliers.
- Vérifier la fixation des couvercles et des soupapes ainsi que les écrous de fixation des fonds de cylindres en contrôlant la valeur des couples de serrage.

### D. A 1.000heures

- Répéter les opérations décrites "250heures".
- Déposer les portes de visite des guides crosses.
- Vérifier le bon état des surfaces de frottement des glissières.
- Vérifier l'état d'usure de la segmentation et des cylindres en pratiquant de la façon suivante.
- Démonter une soupape de refoulement supérieure et inférieure. Les soupapes de refoulement, contrairement aux soupapes d'aspiration, ne sont pas reliées entre elles par une tuyauterie en cuivre de 8mm de diamètre.

Procéder de la manière suivante:

- Desserrer les écrous de fixation du couvercle.
- Retirer l'ensemble couvercle/lanterne - soupape en faisant levier avec un tournevis introduit entre le couvercle et le cylindre ou le fond du cylindre.
- Les soupapes étant déposées, vérifier visuellement l'état de surface du diamètre interne du cylindre à l'aide d'une lampe de poche. La surface doit être parfaitement lisse et ne pas présenter de trace de grippage.
- Vérifier le jeu entre le cylindre et le piston de la façon suivante:
- Amener le piston en position haute (en agissant sur les courroies).
- Vérifier le jeu entre le cylindre et le piston à l'aide de jauges d'épaisseur.
- Répéter les opérations a et b avec le piston en position basse 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> étages (cylindres horizontaux)
- Démonter de la même manière que pour le 1<sup>er</sup> étage la soupape de refoulement de chaque cylindre.
- Vérifier l'état des cylindres en amenant les pistons 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> étages en position côté carter.
- Vérifier l'état d'usure des segments en amenant les pistons 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> étages côté fond de cylindre.
- Pour la mesure, pratiquer de la même manière que décrite pour le 1<sup>er</sup> étage.
- Les relevés des jeux à 1000 heures doivent être réinscrits sur la feuille journalière

## Chapitre I : présentation de l'entreprise et généralité sur le compresseur

Remontage des soupapes 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> étages:

- Placer un nouveau joint de soupape dans son logement.
- Placer la soupape et le couvercle -lanterne.
- Pulvériser un film de téflon sur le joint torique du couvercle -lanterne.
- Remonter les écrous de fixation du couvercle et appliquer un couple de serrage.

Remise en service du compresseur.

- Vérifier la libre rotation du compresseur en agissant manuellement sur les courroies, effectuer un tour complet.
- Prendre en garde à ne pas se coincer les doigts.
- Redémarrer la machine.
- Après 24 heures de fonctionnement, vérifier et resserrer les vis et les écrous des ensembles soupapes

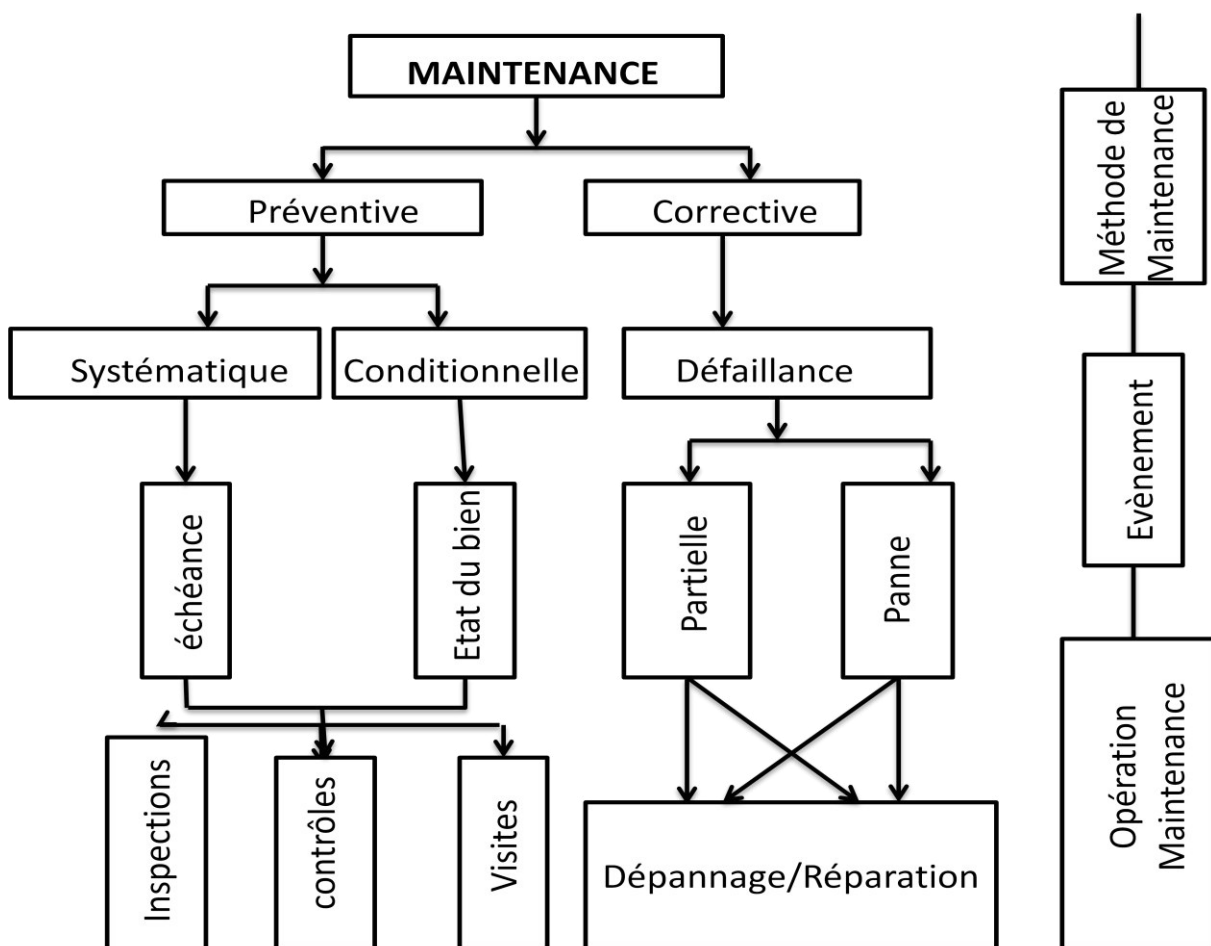


Figure 14 : différentes formes de maintenance

### I.17 Entretien du compresseur

#### a) Tous les jours

- Vérifier les pressions, températures et autres paramètres suivant la fiche journalière à remplir.

#### b) Toutes les 2000 heures

- Vidanger le carter d'huile et nettoyer le filtre à huile.
- Vérifier le fonctionnement des purges.
- Démonter et nettoyer le filtre à air en soufflant la cartouche de l'intérieur vers l'extérieur
- Contrôler les tampons désembueurs.
- Contrôler la tension des courroies.
- Contrôler le jeu entre les pistons et cylindres 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> étage.

#### c) Toutes les 4000 heures

- Reprendre les opérations à effectuer à 2000 heures et en plus :
- Vérifier l'état de propreté des soupapes.
- Contrôler le jeu entre segments porteurs et cylindre 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> étage. En cas d'usure prononcée, remplacer les segments usés.

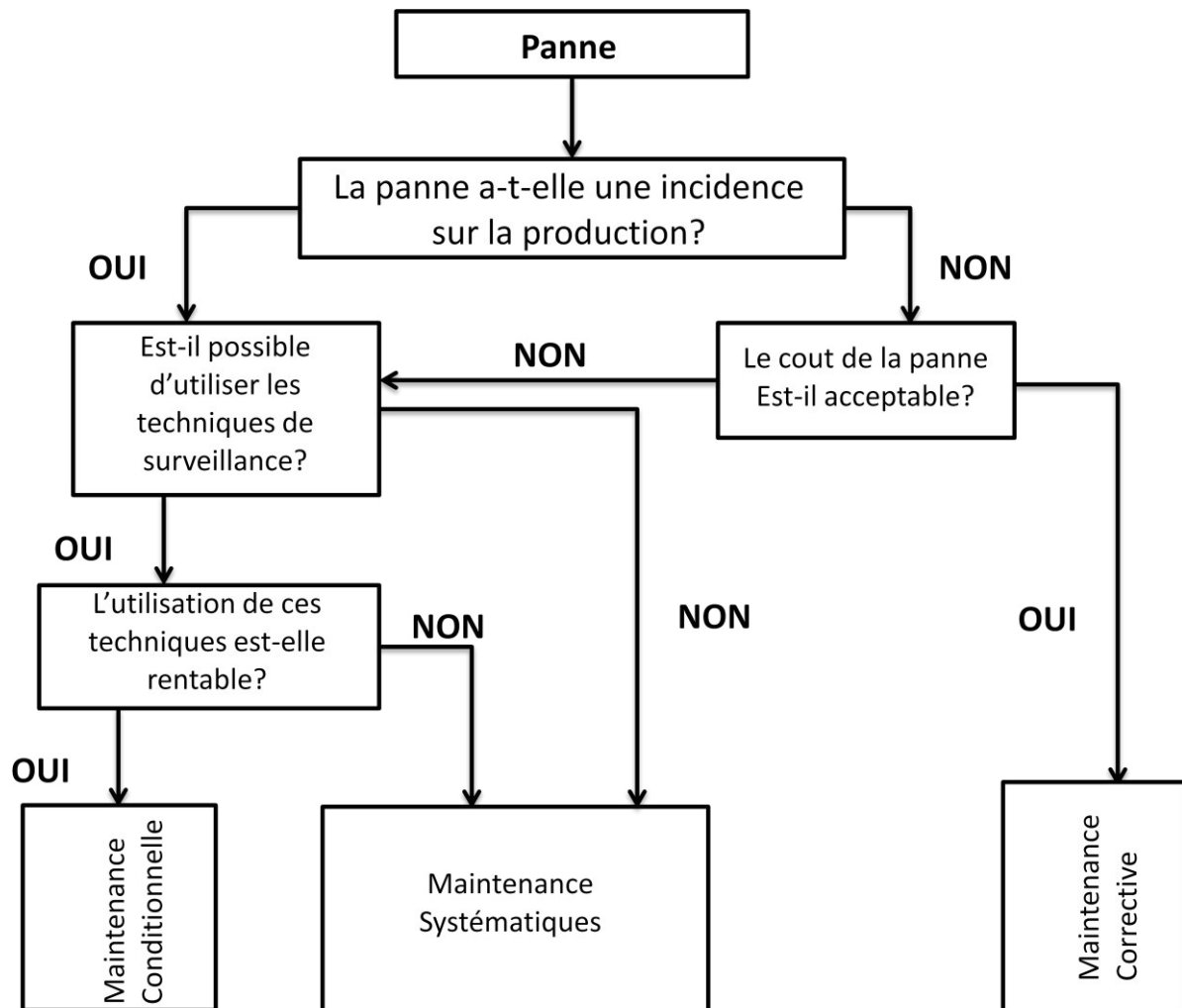
#### d) Toutes les 8000 heures

- Reprendre les opérations à effectuer à 2000 et 4000 heures et en plus :
- Démonter et réviser toutes les soupapes (placer de nouveaux joints) et les remplacer par des soupapes neuves ou révisées.
- Remplacer les membranes de mise à vide.
- Contrôler le fonctionnement correct des soupapes de sécurité.
- Nettoyer complètement le circuit d'eau (placer de nouveaux joints).
- Remplacer, si nécessaire, les segmentations 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> étage.
- Vérifier les bourrages racleurs d'huile et d'étanchéité côté air. Les remplacer si nécessaire.

#### e) Toutes les 20000 heures

- Remplacer les boulons tête de bielle.
- Vérifier l'état du mouvement.
- Remplacer les courroies trapézoïdales.
- Remplacer les tampons désembueurs.

### I.18 Instruction en cas de fonctionnement anormal du compresseur :



**Figure 15 :** algorithme de choix du type de maintenance

En cas d'élévation de température, de bruit anormal, de vibration anormale ou de manque de débit, arrêter la machine et procéder à la vérification des points suivants.

- Elévation anormale de la température sortie d'air 1<sup>er</sup> étage:
  - Vérifier l'état de propreté du filtre à air (voir dépressiomètre).
  - Vérifier la température de l'entrée d'eau de refroidissement (max. 45 °C); sauf situation climatique exceptionnelle.
  - Vérifier l'étanchéité des soupapes de refoulement du 1<sup>er</sup> étage.
  - Vérifier l'étanchéité de la soupape d'aspiration du 2<sup>ème</sup> étage.
  - Vérifier l'état d'encrassement du réfrigérant 1<sup>er</sup> étage côté air (très rare).

- Elévation anormale de la température sortie d'air 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> étage:
  - Idem que ci-dessus, sauf filtre à air.
  - Vérifier l'étanchéité des soupapes d'aspiration et de refoulement du 2<sup>ème</sup> étage.
  - Vérifier l'étanchéité des soupapes d'aspiration et de refoulement du 3<sup>ème</sup> étage.
  - Vérifier l'état d'encrassement des réfrigérants 1ers et 2ème étage côté eau.
- Elévation des pressions aux 1<sup>ers</sup>, 2<sup>ème</sup> étage:
  - Vérifier l'étanchéité des soupapes d'aspiration et de refoulement.
  - Vérifier le bon fonctionnement des déclencheurs des soupapes d'aspiration pour la mise à vide en exerçant une pression manuelle sur l'écrou central de la soupape.
  - Vérifier le passage d'air dans le(s) réfrigérant(s) intermédiaire(s).
  - Vérifier l'état d'usure des segments.
- Pression d'huile trop faible:
  - Vérifier l'état de propreté du filtre à huile.
  - Vérifier les jeux à l'embellage.
  - Vérifier la viscosité de l'huile.
- Bruits anormaux:
  - Vérifier la fixation des écrous des tiges sur les crosses.
  - Vérifier la fixation des soupapes.
  - Vérifier la fixation des écrous de blocage des pistons sur leur tige.
  - Vérifier la fixation des boulons tête de bielle.
  - Vérifier le jeu entre les pivots de crosse et les buselures pied de bielle.
  - Vérifier la fixation des cylindres sur les entretoises.
- Présence d'eau dans le carter d'huile ou dans le circuit d'air comprimé interne à la machine:
  - Vérifier le bon fonctionnement des purges de condensats.
  - Vérifier l'étanchéité du joint de culasse 1<sup>er</sup> étage en démontant une soupape de refoulement afin de constater la présence (ou pas) d'eau dans le cylindre.
  - Vérifier l'étanchéité des réfrigérants intermédiaires en laissant le circuit d'eau de refroidissement sous pression et en démontant les tuyauteries de purge. Si vous constatez une présence d'eau importante, démonter le(s) réfrigérant(s) défectueux et procéder à une épreuve hydraulique.
- Présence d'eau importante sur le circuit de distribution d'air après le réfrigérant final:
  - Vérifier le bon fonctionnement de la purge de condensats du réfrigérant final.
  - Vérifier le bon fonctionnement du purgeur du filtre (placé éventuellement à l'entrée du sécheur).
  - Vérifier le point de rosée du sécheur et le bon fonctionnement de sa purge.
  - Démonter une soupape de refoulement du 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> étage. Contrôler l'état de surface des cylindres. Il y a présence d'eau, vérifier le joint entre le 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> étage.
  - Si la purge fonctionne correctement, démonter le réfrigérant final et procéder à une épreuve hydraulique.



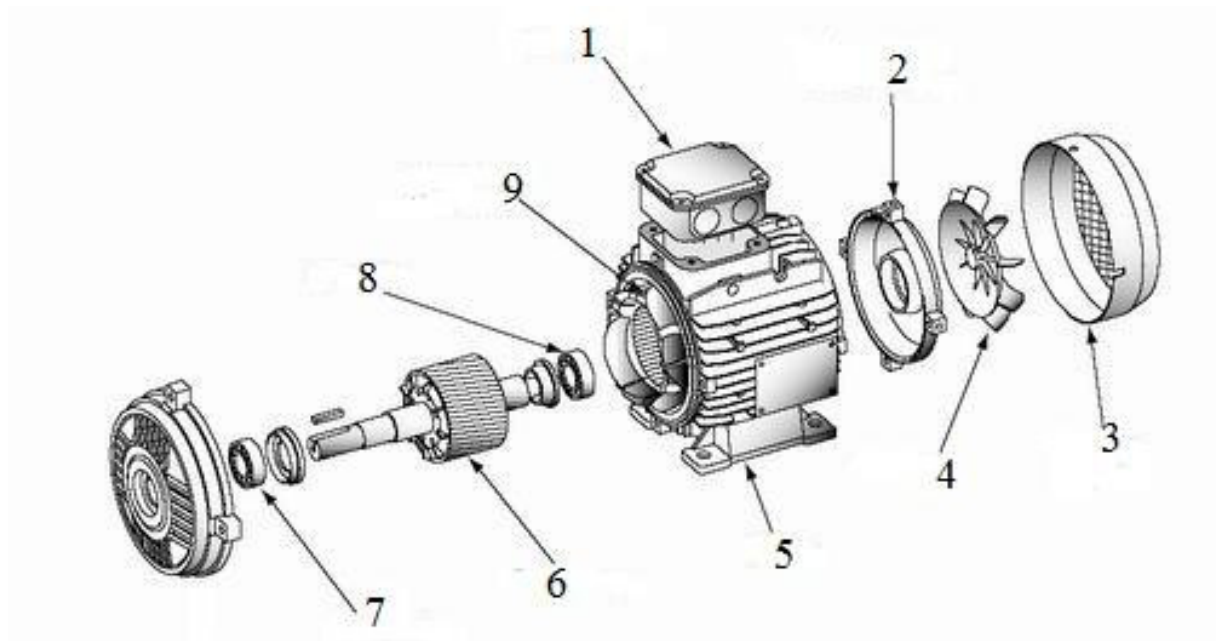
# ***Chapitre II***

## **Généralité sur les moteurs asynchrones**

## II. Généralité sur les moteurs asynchrones

### II.1 Introduction

La machine asynchrone est une machine à courant alternatif pour laquelle la vitesse de rotation de l'arbre est différente de la vitesse de rotation de champs tournante. Elle est très utilisée (on estime que 80% des moteurs de la planète sont des moteurs asynchrones) car leur coût est inférieur à celui des autres machines, de plus ces machines sont robustes. Comme les autres machines, la machine asynchrone est réversible et de très nombreuses génératrices asynchrones de puissance inférieure à quelques 5 MW fournissent un surplus d'énergie active aussi bien sur des réseaux terrestres qu'à bord des navires.



**Figure 16:** vue éclatée du moteur asynchrone.

- |                                    |                           |
|------------------------------------|---------------------------|
| 1. Boîte de raccordement           | 6. Rotor                  |
| 2. Flasque palier cote ventilateur | 7. Roulement              |
| 3. Capote de ventilation           | 8. Roulement              |
| 4. Ventilateur                     | 9. Enroulement statorique |
| 5. Stator                          |                           |

### II.2 Constitutions de la machine asynchrone

Le moteur asynchrone, appelé aussi à moteur à induction, il est basé sur l'entraînement d'une masse métallique par l'action d'un champ tournant, ils comportent deux armatures à champ tournant coaxiales ; l'une est fixe, l'autre est mobile. Le stator comporte une carcasse en fonte ou en tôle d'acier dans laquelle est inséré un circuit magnétique formé d'un empilage de tôles. Il porte un enroulement triphasé réparti dans des encoches du circuit magnétique. Rotor (mobile) se divise en deux catégories suivant la structure de leur rotor qui peut être bobiné ou à cage d'écureuil.

Moteur asynchrone à cage d'écureuil, dans ce cas les encoches contiennent des barres reliées aux deux extrémités par des anneaux de court-circuit. L'ensemble forme une cage d'écureuil. Ce moteur est le plus connu. Il impose grâce à sa robustesse, sa simplicité de construction et sa facilité d'entretien. Il est destiné en premier lieu à l'entraînement de vitesse unique.

Moteur asynchrone à rotor bobiné, les encoches présentes à la périphérie du moteur contiennent un enroulement similaire à celui du stator. Le bobinage rotorique est toujours couplé en étoile et il est accessible de l'extérieur grâce à un système de bagues et balais, ce qui permet soit de le court-circuiter, soit de le relier à un circuit permettant d'agir sur les caractéristiques de la machine dans certains fonctionnements.

### II.3 Principe de fonctionnement du moteur asynchrone

Le principe de fonctionnement du moteur asynchrone est suivant :

Considérons un moteur asynchrone à l'arrêt, et connectons son stator à une tension alternative triphasée. Des courants alternatifs circulent alors dans ses enroulements et créent un champ tournant à vitesse synchrone.

Le rotor étant encore à l'arrêt, il est balayé par ce champ variable. Ses spires interceptent un flux variable et sont donc le siège de tensions induites. Comme elles sont court-circuitées sur elles-mêmes, ces tensions induites créent des courants induits.

L'interaction de ces courants avec le champ tournant provoque l'apparition d'un couple mécanique. Le rotor démarre et se met à tourner dans le sens du champ tournant.

Ceci peut s'expliquer par la loi de Lenz, qui dit que tout phénomène induit cherche à s'opposer à la cause qui l'a induit. Dans le cas présent, la cause de l'apparition de courants induits au rotor est la différence de vitesse entre le champ tournant et le rotor. Le couple mécanique provoque l'accélération du rotor et la diminution de cette différence de vitesse, donc une diminution des courants induits au rotor.

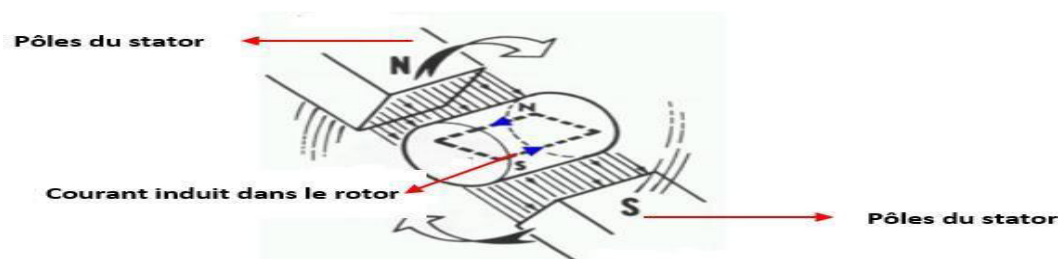


Figure 17: Principe de fonctionnement du moteur asynchrone.

### II.4 Courant de démarrage

Au démarrage d'un moteur asynchrone, les courants dans le stator et le rotor peuvent être très élevés. Ils peuvent atteindre dans certains cas 5 à 6 fois le courant normal. Ces courants peuvent engendrer des échauffements dangereux pour le moteur, donc ces derniers doivent être protégés par des relais dont le seuil doit être réglé assez élevé pour tenir compte de l'intensité du courant au démarrage.

Pour réduire les risques de détérioration dus aux surintensités au démarrage, on procède à celui étoile-triangle.

#### Démarrage étoile triangle

Il consiste à coupler les trois enroulements en étoile pendant le démarrage, puis à rétablir le couplage en triangle quand le rotor a pris à peu près sa vitesse de régime. Ce démarrage n'est donc possible qu'avec un moteur asynchrone triphasé à cage construite pour fournir sa puissance normale, sous la tension de la ligne. Quand les trois enroulements de son stator sont comptés en triangle, le démarrage se fait à deux temps :

- ✓ **Premier temps** : les bobinages du rotor sont couplés en étoile et les extrémités sont raccordées respectivement aux lignes du réseau. Dans ce raccordement, chacune des trois parties de l'enroulement est soumise à une tension dite étoilée.
- ✓ **Deuxième temps** : les bobinages du rotor sont couplés en triangle. Et les extrémités sont raccordées respectivement aux phases du réseau. Dans ce couplage, chaque bobinage est branché sur la tension composée U. on peut réaliser le démarrage en deux temps au moyen d'un contacteur tripolaire à deux directions.

En résumé, le démarrage en étoile-triangle permet de réduire l'intensité du courant au démarrage à une valeur égale à deux fois environ l'intensité nominale.

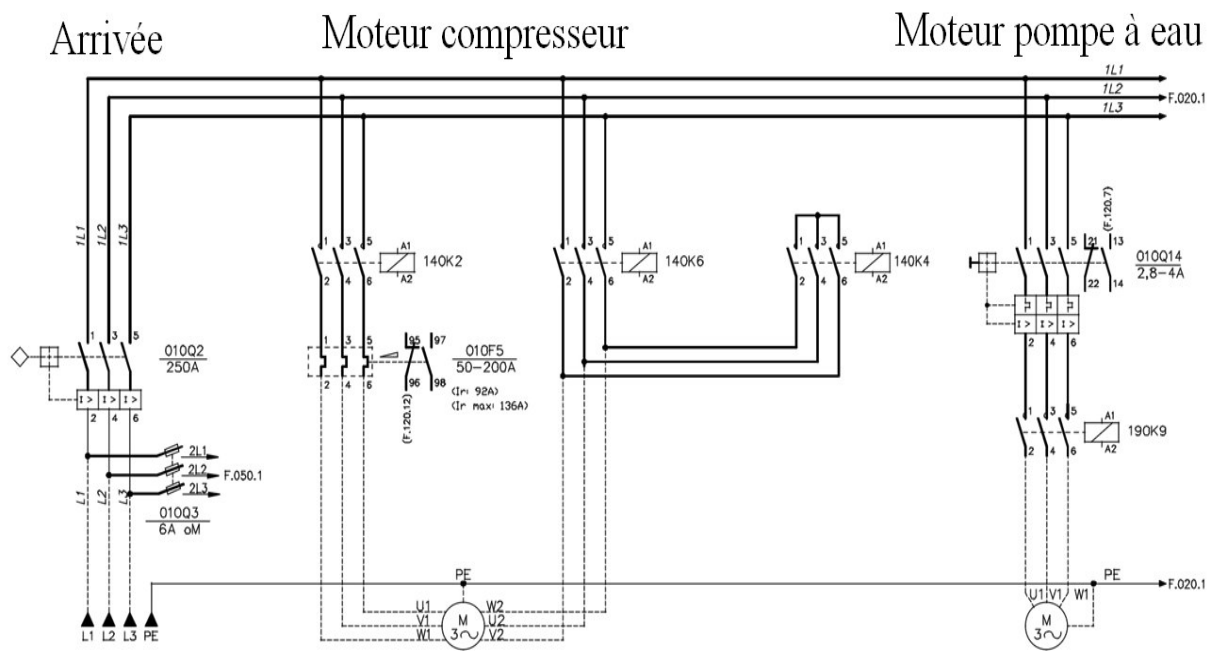


Figure 18 : principe de démarrage étoile-triangle

### II.5 Les caractéristiques du moteur asynchrone

#### II.5.1 Fonctionnement à vide

A vide, le moteur n'entraîne pas de charge par conséquent le glissement est nul et le moteur tourne à la vitesse de synchronisme.  $g=0$  donc  $n_s=n$

Notons que le glissement :  $g = (n_s - n) / n_s$

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

Avec

$n_s$  : Vitesse de rotation du champ en tr/s.

$n$  : Vitesse de rotation du rotor.

$g$  : glissement.

#### II.5.2 Fonctionnement en charge

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

La puissance mécanique à fournir par le moteur augmente.

Le courant appelé augmente.

La facture de puissance augmente.

La fréquence de rotation baisse un peu.

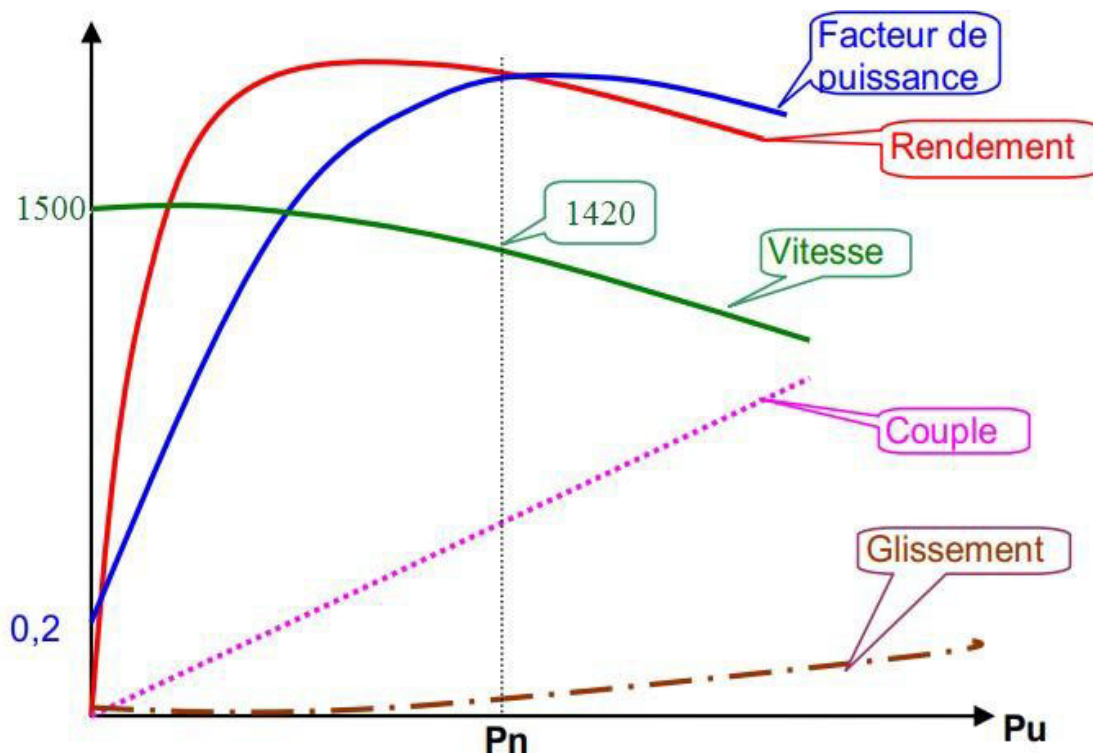


Figure 19: Caractéristiques du moteur asynchrone en fonction de la puissance utile

### Commentaire

On remarque que le facteur de puissance sa valeur baisse beaucoup quand la charge diminue. A vide il est d'environ 0,2. Il faut donc éviter d'installer des moteurs plus puissants qu'il n'est nécessaire. Le rendement est bon à partir de la demi-charge. Il est maximal au voisinage de la puissance nominale. La vitesse décroît quand la charge augmente. Toutefois la variation est faible puisqu'elle est seulement de 5% entre la marche à vide et la marche à pleine charge. Le glissement des gros moteurs est plus faible encore. C'est parce que les moteurs d'induction n'ont pas une vitesse rigoureusement constante et surtout parce que cette vitesse ne résulte pas seulement de la fréquence du courant d'alimentation qu'on les nomme **moteurs asynchrones**. Mais une variation de la vitesse de 2 à 5 % entre la marche à vide et la marche à pleine charge est négligeable dans la plupart des cas d'emplois industriels de moteurs.

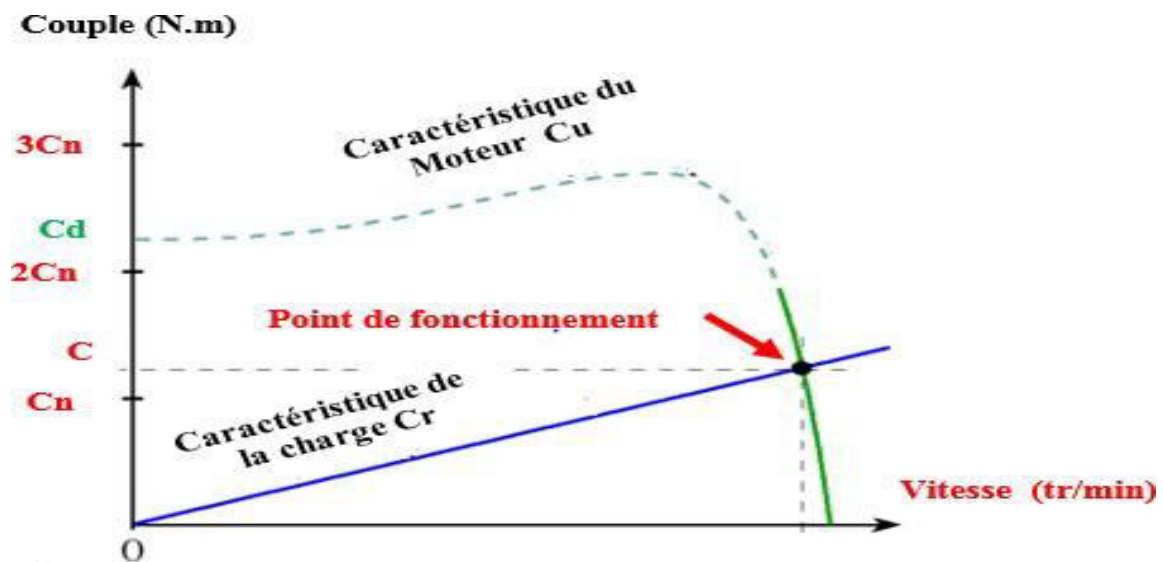
On remarque que ; le moteur asynchrone est capable de démarrer en charge.

### II.5.3 En régime nominal

**Tableau1** : Caractéristiques du moteur asynchrone.

| La vitesse du moteur | Le glissement | Fonctionnement de la machine |
|----------------------|---------------|------------------------------|
| $n = 0$              | $g = 1$       | démarrage                    |
| $n = n_s$            | $g = 0$       | synchronisme                 |
| $0 < n < n_s$        | $0 < g < 1$   | moteur                       |
| $n > n_s$            | $g < 0$       | génératrice                  |

### II.5.4 Le point de fonctionnement



**Figure20** : Point d'intersection du couple utile du moteur et le couple résistant de la charge en fonction de la vitesse.

### Commentaire

On observe que le couple ( $C$ ) varie avec vitesse de rotation du moteur accouplé à la charge entraînée (supposée fixe). Les caractéristiques du moteur et de la charge se croisent au point de fonctionnement pour lequel les couples moteur et résistant sont identiques.

### II.5.5 Le rendement du moteur asynchrone

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

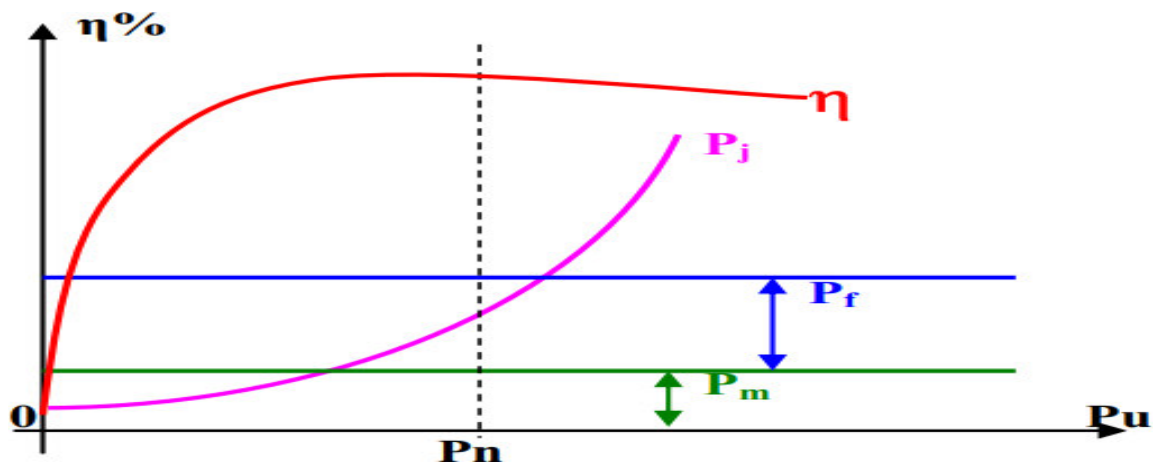


Figure 21 : Rendement du moteur asynchrone en fonction de la puissance utile.

#### ▪ Entraînement des moteurs asynchrones

Tous les moteurs asynchrones peuvent être classés suivant la variation du couple et de la puissance en fonction de la vitesse, cependant on distingue quatre entraînements qui sont :

#### ▪ Couple constant

Dans l'industrie, 90% des moteurs rencontrés, les pompes mise à part, sont des systèmes fonctionnant à couple constant.

Le couple demandé par le moteur est indépendant de la vitesse. Ce type de couple fonctionnement se trouve dans le convoyeur et les bodes transporteuses.

#### ▪ Puissance constante

Pour les moteurs fonctionnant à puissance constante, la puissance demandée est indépendante de la vitesse et le couple varie de façon inversement proportionnelle à la vitesse.

Ce type de fonctionnement se rencontre le plus souvent dans les moteurs outils et dans les systèmes d'enroulement.

- **Couple croissant linéairement la vitesse**

Pour ces moteur, le couple varie linéairement avec la vitesse, tandis que la puissance varie comme le carré de la vitesse. Ceci se rencontré avec certaines pompes volumétriques à vis d'Archimède et mélangeurs.

- **Couple croissant comme le carré de la vitesse**

Pour ces moteurs, le couple varie comme le carré de vitesse, tandis que la puissance varie comme le cube de la vitesse. Ce type de fonctionnement se rencontré avec les pompes centrifuge et le ventilateur.

### II.5.6 La vitesse du moteur asynchrone

- **Vitesse de synchronisme**

$$n_s = 60f / p$$

C'est la vitesse de rotation du champ tournant.

- **Vitesse angulaire**

$$\Omega = 2\pi n$$

- **Variation de vitesse d'un moteur asynchrone**

D'après l'équation on constate qu'on peut varier la vitesse en agissant sur les paramètres **f**, **p**.

- **Action sur les paires de pôles**

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

Si le nombre de paires de pôles augmente. La fréquence de rotation du moteur diminue.

Si le nombre de paires de pôles diminue. La fréquence de rotation du moteur augmente.

- **Action sur la fréquence d'alimentation du moteur**

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

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

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

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

### II.5.7 La variation de la fréquence

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

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

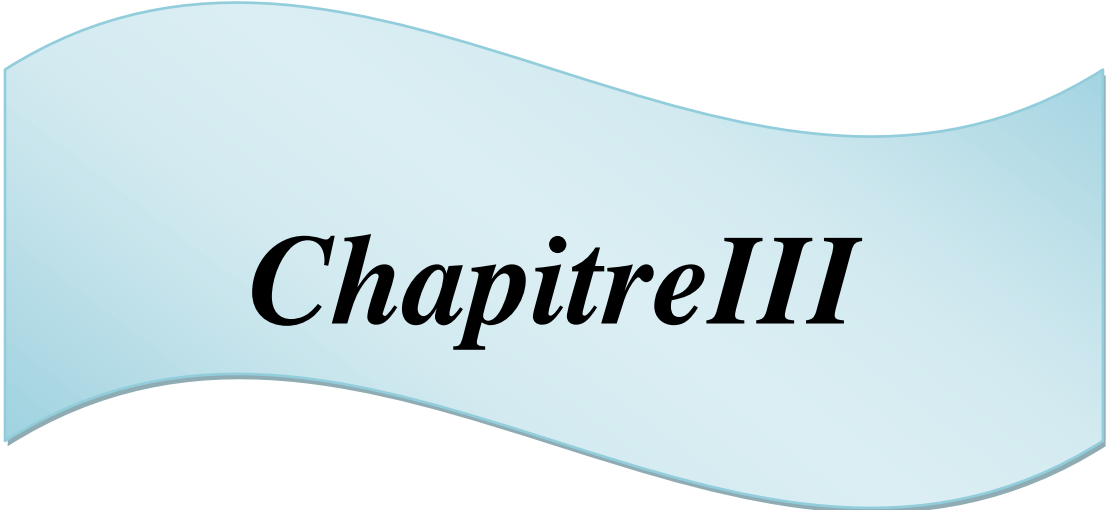
### II.6 Conclusion

Les moteurs asynchrones de forte puissance peuvent fonctionner à vitesse variable dans un large domaine, Toutefois l'emploi de ce type de moteur est évité en très forte puissance car la consommation de puissance réactive est alors un handicap.

-utiliser dans le domaine des entraînements industriels à vitesse variable.

-le générateur asynchrone est beaucoup plus rare que l'alternateur, mais on le trouve dans quelques applications de puissance limité comme la microcentrale hydraulique.

-le moteur asynchrone occupe surtout la plus grande part du marché des éoliennes, le plus souvent avec des machines à cage d'écureuil pour la puissance modeste.



# ***Chapitre III***

**Description et critères de choix d'un  
variateur de vitesse**

### III. Description et critères de choix d'un variateur de vitesse

#### III.1 Introduction

Les développements dans le domaine de l'électronique de puissance, soient au niveau des éléments semi-conducteurs, soit au niveau des convertisseurs statiques, permettent la réalisation d'organes de commande avec des puissances de sortie élevées et facilement commandables.

Les convertisseurs de fréquence sont des systèmes qui permettent le transfert de puissance entre un réseau de tension et de fréquence, le plus généralement fixe et un autre réseau d'amplitude et de fréquence différentes, que lésant utilisés pour alimenter les moteurs asynchrones, ils permettent essentiellement de faire varier la vitesse de rotation de ces moteurs.

#### III.2 Historique

Pour démarrer les moteurs électriques et contrôler leur vitesse, les démarreurs rhéostatiques, les variateurs mécaniques et les groupes tournants ont été les premières solutions ; puis les démarreurs et variateurs électroniques se sont imposés dans l'industrie comme la solution moderne, économique, fiable et sans entretien.

#### III.3 Présentation

Améliorer le rendement et maximiser la rentabilité avec une seule solution pour toutes les applications de commande des moteurs. Le variateur de vitesse moyenne tension permet un démarrage progressif et une commande de vitesse variable. Dans un processus qui exige une grande puissance, la variation de vitesse du moteur est la meilleure solution pour réduire les coûts d'énergie, de maintenance et d'usure des moteurs.

La technologie très évoluée des semi-conducteurs de puissance réduit le nombre de composants à un niveau inférieur à celui de n'importe quel variateur moyen tension du marché. Cela se traduit par de nombreux avantages d'économies et de fiabilité, des temps d'arrêt inférieurs et moins de pièces détachées. Ces variateurs utilisent des stratégies de commande intelligente du moteur pour un contrôle parfait, notamment à l'aide d'un logiciel de communication et de capacités de programmation permettant de surveiller et de commander les processus.

#### III.4 Généralités

Deux types de moteurs sont présents sur les systèmes :

Les moteurs à **courant continu** : leur vitesse est **proportionnelle à la tension** d'alimentation.

Les moteurs **asynchrones** : leur vitesse est **proportionnelle à la fréquence** d'alimentation.

### III.5 Intérêt de la variation de vitesse

De nombreux systèmes industriels entraînés par des moteurs électriques utilisent la variation de vitesse pour optimiser leur fonctionnement.

Deux technologies permettent d'obtenir cette variation de vitesse :

La technologie **mécanique**(boîte de vitesse, système poulies- courroie, système pignon-chaîne)

La technologie **électronique**(convertisseur d'énergie).



**Figure 22** : les variateurs de vitesse

### III.6 Description :

Un variateur de vitesse est un équipement permettant de faire varier la vitesse d'un moteur, une nécessité pour de nombreux procédés industriels.

En effet, la plupart des moteurs tournent à vitesse constante. Pour moduler la vitesse des équipements de procédé, on a longtemps eu recours à divers dispositifs mécaniques. Aujourd'hui, on fait surtout appel à des variateurs de vitesse électroniques.

Pour les procédés industriels exigeant une régulation précise de la vitesse, on a d'abord utilisé des moteurs asynchrones commandés par des variateurs électroniques. Cette technique consistait à faire varier la vitesse proportionnellement à la fréquence.

Variateur de vitesse à fréquence variable Depuis, l'électronique de puissance a fait des progrès considérables et on installe de plus en plus des variateurs de vitesse à fréquence variable avec des moteurs à courant alternatif. Ces variateurs de vitesse exploitent le plus souvent la modulation de largeur d'impulsion et les transistors bipolaires à grille isolée.

### III.7 Gestion de la variation de la demande

Les besoins en air comprimé d'une usine changent de façon permanente. Les systèmes de contrôle permettent d'adapter en temps réel la fourniture d'air comprimé avec la demande du système. Ces systèmes de contrôle constituent l'un des facteurs les plus déterminants dans le rendement énergétique du système.

#### III.7.1 La régulation du compresseur

Pour la régulation des compresseurs, il existe plusieurs moyens avec leurs performances propres et leurs technologies d'application, et grâce à ces derniers, on pourra améliorer la performance de production d'air comprimé.

On peut évoquer une méthode :

#### III.7.2 Les variateurs de vitesse

La variation de vitesse, assurée par des variateurs (convertisseurs de fréquence AC) intégrés dans les moteurs d'entraînement qui sont en générale des moteurs asynchrones (Les variateurs de vitesse), et peuvent-être le moyen le plus efficace de contrôle de la capacité des compresseurs. La vitesse des compresseurs est régulée en fonction de la pression demandée. Grâce à ce type de contrôle, la pression de sortie peut être maintenue à un niveau très précis.

#### III.7.3 Régulation Marche/Arrêt

Cette option n'est présentée que sur les petits compresseurs, avec une capacité. Le moteur s'arrête dès que la demande est satisfaite. Cette méthode est très efficace énergétiquement (consommation 0 % à l'arrêt et 100 % au fonctionnement).

Cependant, le redémarrage trop fréquent du moteur à charge partielle peut créer des problèmes.

#### III.7.4 Régulation Tout ou Rien

Beaucoup de compresseurs utilisent ce type de régulation qui fonctionne souvent avec une vanne d'aspiration, celle-ci se ferme complètement lorsque la pression monte au-delà d'un certain niveau, alors que le compresseur continue de fonctionner à vide, ce qui diminue considérablement la puissance absorbée. Lorsque la pression redescend jusqu'à un certain seuil, la vanne s'ouvre à nouveau pleinement et le compresseur fonctionne alors à charge nominale.

Lorsque le fonctionnement à vide se prolonge au-delà d'un certain temps (15 à 20 minutes) le moteur peut être arrêté automatiquement.

### III.8 Fonction des variateurs de vitesse

Au niveau des ascenseurs, parmi la multitude de possibilités de fonctions qu'offrent les variateurs de vitesse actuels, on épinglera :

1. **L'accélération contrôlée:** Le profil de la courbe de démarrage d'un moteur d'ascenseur est avant tout lié au confort des utilisateurs dans la cabine. Il peut être soit linéaire ou en forme de "s". Ce profil ou "rampe" est la plupart du temps ajustable en permettant de choisir le temps de mise en vitesse de l'ascenseur.
2. **La décélération contrôlée:** Les variateurs de vitesse permettent une décélération contrôlée sur le même principe que l'accélération. Dans le cas des ascenseurs, cette fonction est capitale dans le sens où l'on ne peut pas se permettre de simplement mettre le moteur hors tension et d'attendre son arrêt complet suivant l'importance du couple résistant (le poids du système cabine/contre-pieds varie en permanence) ; Il faut impérativement contrôler le confort et la sécurité des utilisateurs par le respect d'une décélération supportable, d'une mise à niveau correcte,...

On distingue, au niveau du variateur de vitesse deux types de freinage:

En cas de décélération désirée plus importante que la décélération naturelle, le freinage peut être électrique soit par renvoi d'énergie au réseau d'alimentation, soit par dissipation de l'énergie dans un système de freinage statique.

En cas de décélération désirée moins importante que la décélération naturelle, le moteur peut développer un couple moteur supérieur au couple résistant de l'ascenseur et continuer à entraîner la cabine jusqu'à l'arrêt.

3. **La variation et la régulation de vitesse:** Parmi les fonctionnements classiques des variateurs de vitesse, on distingue :

La variation de vitesse proprement dite où la vitesse du moteur est définie par une consigne d'entrée (tension ou courant) sans tenir compte de la valeur réelle de la vitesse du moteur qui peut varier en fonction de la charge, de la tension d'alimentation, ... On est en boucle "ouverte" (pas de feedback).

La régulation de vitesse où la consigne de la vitesse du moteur est corrigée en fonction d'une mesure réelle de la vitesse à l'arbre du moteur introduite dans un comparateur. La consigne et la valeur réelle de la vitesse sont comparées, la différence éventuelle étant corrigée. On est en boucle "fermée".

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

Soit par inversion de la consigne d'entrée.

Soit par un ordre logique sur une borne.

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

5. **Le freinage d'arrêt:** C'est un freinage de sécurité pour les ascenseurs : Avec des moteurs asynchrones, le variateur de vitesse est capable d'injecter du courant continu au niveau des enroulements statoriques et par conséquent stopper net le champ

tournant, la dissipation de l'énergie mécanique s'effectuant au niveau du rotor du moteur (danger d'échauffement important).

Avec des moteurs à courant continu, le freinage s'effectue au moyen d'une résistance connectée sur l'induit de la machine.

6. **Protections** : La protection thermique du moteur est le plus souvent intégrée. Pour le variateur une protection en amont par disjoncteur magnétique rapide ou fusibles ultra-rapides est nécessaire.

### III.9 Avantages des convertisseurs électroniques:

- **Economie d'énergie** : L'énergie est économisée car le moteur tourne avec une vitesse correspondant à son besoin momentané. Ceci est particulièrement valable pour les pompes et les ventilateurs. La consommation de courant est également moindre pour une vitesse plus faible et un couple plus élevé.
- **Optimisation des processus** : L'adaptation de la vitesse au processus de production apporte plusieurs avantages tels que production efficace et utilisation optimale des installations. La vitesse peut être adaptée de manière optimale à des conditions spéciales.
- **Fonctionnement souple du moteur** : Le nombre de démarrages et d'arrêts est réduit. On évite ainsi une sollicitation importante inutile des pièces mécaniques.
- **Frais d'entretien réduits** : Le convertisseur de fréquence ne nécessite aucun entretien.
  - ✓ Diminution des pertes mécaniques présentes dans les variateurs mécaniques (poulies et courroies, engrenages)
  - ✓ Limitation voire suppression des surintensités lors du démarrage.
  - ✓ Adaptation précise de la vitesse et modification facile.
  - ✓ Allongement de la durée de vie des constituants mécaniques des systèmes (moins d'à-coups).
  - ✓ Limitation du bruit.
  - ✓ Démarrage progressif des moteurs réduisant les chutes de tension dans le réseau.
  - ✓ Amélioration du facteur de puissance.
  - ✓ Précision accrue de la régulation de vitesse.
  - ✓ Prolongement de la durée de service du matériel entraîné.
  - ✓ Diminution de la consommation d'électricité.
  - ✓ De nouveaux variateurs de vitesse plus performants peuvent éviter l'interruption des procédés en cas de perturbation du réseau de courte durée.

### III.10 Inconvénients

Tous les variateurs de vitesse intégrant des dispositifs de commutation (diodes, thyristors, etc.) forment une charge non linéaire qui engendre des courants harmoniques, sources de distorsion de l'onde (chute ou perturbation de la tension) dans le réseau électrique. Cette dégradation de l'onde peut perturber tant que les équipements électriques du client que ceux du réseau électrique si aucune mesure d'immunité n'est prise. Par ailleurs, des résonances harmoniques peuvent également apparaître entre les variateurs de vitesse et les batteries des condensateurs.

### III.11 Critères de choix d'un variateur

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

- La tension du réseau d'alimentation.
  - Type de rotor du moteur (bobiné ou cage).
  - La puissance et la vitesse nominale.
  - Le régime d'utilisation (régime permanent ou intermittent).
  - La plage de variation de la vitesse.
  - Type de variation de la vitesse (progressive ou échelonnée).
  - Le type du couple résistant de la charge entraînée.
  - La précision de contrôle de couple et de la vitesse.
  - Les contraintes d'installation (place disponible, degrés de protection).
  - Le coût total d'investissement (le coût du variateur et son installation).
- **La précision :** La précision s'exprimant en % de la vitesse affichée est l'écart maximal admissible par rapport à la vitesse de consigne. Cette précision s'étend donc sur toute la gamme de vitesse.

La précision de vitesse dépend du type de lecture de la vitesse.

- **La gamme de vitesse :** La gamme de vitesse est le rapport entre la vitesse maximale et la vitesse minimale de fonctionnement souhaité. Si on demande à un variateur une gamme de vitesse trop importante par rapport à son emploi normal, sa précision se dégrade. Le variateur doit posséder une gamme de vitesse supérieure à celle que réclame l'application.
- **Les quadrants de fonctionnement :** L'emploi d'un variateur électronique n'exclut pas d'utiliser des moyens conventionnels, mais l'électronique de puissance permet de réaliser les freinages et les inversions de sens de rotation avec souplesse, rapidité, précision et aux moindres frais en consommation d'énergie. Pour un bon fonctionnement de l'ensemble à mouvoir, il est indispensable de choisir un appareil fonctionnant dans les quadrants désirés.

À noter que lorsque la machine fonctionne en générateur elle doit bénéficier d'une force d'entraînement. Cet état est notamment exploité pour le freinage. L'énergie cinétique alors présente sur l'arbre de la machine est soit transférée au réseau d'alimentation, soit dissipée dans des résistances ou, pour les petites puissances, dans les pertes de la machine.

- **La puissance :** La puissance d'un variateur est définie par le besoin mécanique de l'application (en régime permanent comme en régime transitoire). Le calcul de la puissance concerne aussi le moteur qui est le premier maillon à définir. La puissance du moto-variateur est définie en fonction :

De la puissance maximale nécessaire au fonctionnement de la machine en régime établi. Le couple délivré doit être supérieur au couple résistant demandé par la mécanique, ceci sur toute la plage de vitesse.

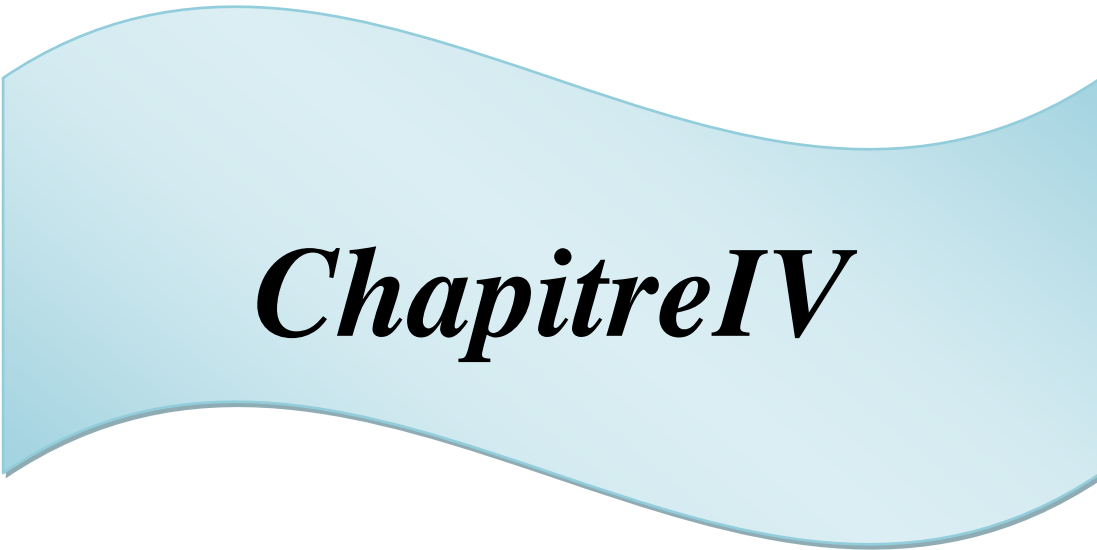
Du couple de démarrage nécessaire pour la mise en vitesse de la machine dans le temps souhaité. Le couple maximal que peut délivrer l'ensemble moto-variateur doit être supérieur au couple de démarrage.

Du diagramme de charge en cas de fonctionnement cyclique et d'échauffement très variable dans le temps suivant les phases du mouvement.

Il faut prendre en compte, en plus, le fonctionnement permanent ou cyclique de l'application et des conditions d'environnement spécifiques à chaque procédé.

#### III.12 Conclusion

De nos jours, du fait de l'utilisation croissante des variateurs de vitesse dans les procédés industriels, il est préférable de protéger les installations existantes contre les perturbations électriques. Les moyens pour assurer l'immunité sont plus accessibles et plus performants. Lors de l'acquisition de nouveaux variateurs de vitesse, il est fortement recommandé de les immuniser suffisamment pour maintenir le bon fonctionnement des équipements en cas de perturbations électriques.



# ***Chapitre IV***

**Mise en place du variateur de vitesse  
et étude économique**

## **IV. Mise en place du variateur de vitesse et étude économique**

### **IV.1 Introduction**

Dans le cadre de ce chapitre, nous présentons les essais expérimentaux effectués sur un banc d'essai que nous avons installé dans un atelier à l'entreprise NCA Rouiba. Ce banc d'essai est constitué d'un moteur asynchrone triphasé d'une puissance 90/108 kW alimenté sans variateur de vitesse par la suite nous appliquons une charge de compresseur au moteur entraînant.

Ces tests ont pour but de décrire le comportement du moteur asynchrone sans variateur de vitesse (caractéristique des courbes d'un démarrage direct) dans le premier cas, puis à travers un variateur de vitesse dans le deuxième cas, et aussi dans les cas à vide et en charges pendant les régimes transitoires et permanents de compresseur.

### **IV.2 Objectif principale**

Rechercher un variateur de vitesse le plus optimale (non sur dimensionné et non sous dimensionné) pour apporter des solutions suite à la consommation d'énergie importante.

Tester ce variateur pour qu'il puisse répondre aux exigences du moteur et la charge à entraîner (cahier des charges).

Décrire (rapport finale) sur le comportement électromécanique de l'entraînement (moteur et charge) associée à ce variateur de vitesse.

Validation de choix du variateur par vérification des performances.

### **IV.3 Problématique**

- Chute et perturbation de la tension du réseau électrique
- Les coûts d'entretien du compresseur
- La consommation élevée d'énergie

### IV.4 Caractéristiques du moteur asynchrone triphasé

**Tableau2** : caractéristiques de moteur.

| Puissance | Tension   | Courant  | Vitesse     | Phase |
|-----------|-----------|----------|-------------|-------|
| 90/108 KW | 380/415 V | 157.78 A | 1480 tr/min | 3     |

### IV.5 Les caractéristiques de la charge

Lors de l'essai en charge le moteur asynchrone est couplé à une charge mécanique constituée d'un compresseur.

**Tableau3** : La plaque signalétique de compresseur

| Puissance absorbée | Livraison d'air libre | Pression | Voltage | La vitesse |
|--------------------|-----------------------|----------|---------|------------|
| 90 KW              | 8.5                   | 40 bar   | 400 V   | 570 rmp    |

### IV.6 Caractéristiques du variateur de vitesse ATV71QD90N4

Gamme de produits : Altivar Process ATV71QD90

Fonction produit : Variateur de vitesse

Nom abrégé de l'appareil : ATV71Q

Variante : Version standard

Destination du produit : Moteurs asynchrones

Variante de construction : Avec dissipateur thermique

Mode d'installation : Montage au mur

Variante : Version renforcée

Fréquence d'alimentation : 50...60 Hz - 5...5 %

Limites de fréquence réseau : 47.5...63 Hz

Nombre de phases réseau : 3 phases

Tension d'alimentation : 380...480 V - 15...10 %

Limites de la tension d'alimentation : 323...528 V

Puissance moteur kW : 90 kW

Puissance moteur HP : 125 hp

Courant de ligne : 166 A pour 380 V 3 phases / 90 kW / 125 hp

134 A pour 480 V 3 phases / 90 kW / 125 hp

Fréquence de sortie : 0.1...500 Hz

### IV.7 La solution qui a été proposée

Le problème a été pris au sérieux et par la suite une analyse profonde du problème a été faite pour en finir prendre une décision finale qui est de placer un variateur de vitesse qui présentera des performances élevées et flexible.

Notre choix c'est accentué sur un variateur de marque Schneider ATV71QD90N4.

Pour le choix du variateur Schneider ATV71QD90N4, c'est un variateur qui dépend de plusieurs critères dont la puissance du moteur, la tension d'alimentation, ainsi que les autres exigences de l'application et de l'architecture du système dans lequel il est installé.

Aujourd'hui la clé du succès dépend de l'innovation. C'est pourquoi Schneider propose une gamme complète du variateur de vitesse, spécialement conçue pour toutes les applications. Ils sont étudiés pour optimiser les performances de notre installation tout en réduisant la consommation d'énergie, le niveau sonore et les temps d'arrêt.

### IV.8 Présentation du variateur ATV71QD90

Le seul moyen pour faire varier précisément la vitesse d'un moteur électrique est l'utilisation des dispositifs électroniques. Le variateur électronique de vitesse est devenu l'élément indispensable pour un bon fonctionnement des moteurs asynchrones.

Les paramètres qui nous permettent de choisir un variateur de fréquence qui convient pour le moteur sont : moteur asynchrone triphasé, réseau triphasé, la tension d'alimentation (380-415V), la puissance nominale du moteur et la fréquence d'alimentation ( $f = 50$  Hz), est en fonction du courant du moteur actuel à la charge maximale de l'installation. Le courant nominal de sortie du variateur de fréquence. Doit être supérieur ou égal au courant moteur nécessaire.

Selon le catalogue Schneider, le variateur qui répond à ces exigences c'est la série ATV71QD90N4 est livré pour les plages de tension secteur : 380-480.



**Figure 23 :** Altivar Process ATV71Q

### IV.9 Les principales fonctions de Schneider

Schneider est un variateur universel, et performant, conçu pour tous types d'applications tout en offrant une grande simplicité d'utilisation dans le domaine industriel.

Les fonctions intégrées sont les suivantes :

Un rendement élevé > 98% (à partir de 90kW)

Une utilisation simple

Une programmation dans 27 langues

Compteur énergétique

Optimisation automatique de l'énergie

Durée de vie moyenne de 10 ans

Protections IP et revêtement tropicalisé en option pour une performance fiable

Fonctions de déclassement automatique au-delà de 50°C

Déclassement automatique s'il y a sur-température de l'air ambiant

Large gamme de protections des moteurs et variateurs

Variateur à maintenance réduite

Diagnostics du système en texte

### IV.10 Interface utilisateur

L'interface utilisateur lui permet de démarrer et d'arrêter le moteur ainsi que d'ajuster la vitesse. Elle peut aussi inclure le fonctionnement du moteur en sens opposé, un sélecteur pour choisir entre commande manuelle ou automatique, respectivement locale ou à distance, de la vitesse. L'interface dispose d'un affichage donnant des informations sur le statut du moteur. Des touches permettent à l'utilisateur de communiquer avec l'interface. Des ports d'entrée ou sortie, sont souvent fournis pour connecter d'autres périphériques, signaux... Un port, par exemple série, sert à configurer le variateur de vitesse à partir d'un ordinateur.

Notre choix est accentué sur un variateur de marque Schneider ATV71QD90N4.

Pour le choix du variateur ATV71QD90N4, c'est un variateur qui n'est pas systématique mais il dépend de plusieurs critères dont la puissance du moteur, la tension d'alimentation, ainsi que les autres exigences de l'application et de l'architecture du système dans lequel il est installé.

### IV.11 Le banc d'essai expérimental

Un banc d'essai expérimental permet d'analyser le comportement du moteur asynchrone lors d'une adaptation du variateur de vitesse Schneider ATV71QD90N4.

### IV.12 L'objectif de banc d'essai

De connecter les éléments de la chaîne d'entraînement (variateur, moteur, charge).

De mesurer la tension et courant d'entrée ainsi que la tension et courant de sortie.

De mesurer la vitesse de rotation et la puissance du moteur.

De tester le comportement du moteur alimenté via le variateur de vitesse.

### IV.13 Les performances et exigences du nouveau variateur

Le choix du nouveau variateur Schneider ATV71QD90N4, doit répondre aux quatre exigences suivantes :

- Latension.
- Lecourant.
- Lapuissance.
- La vitesse derotation.

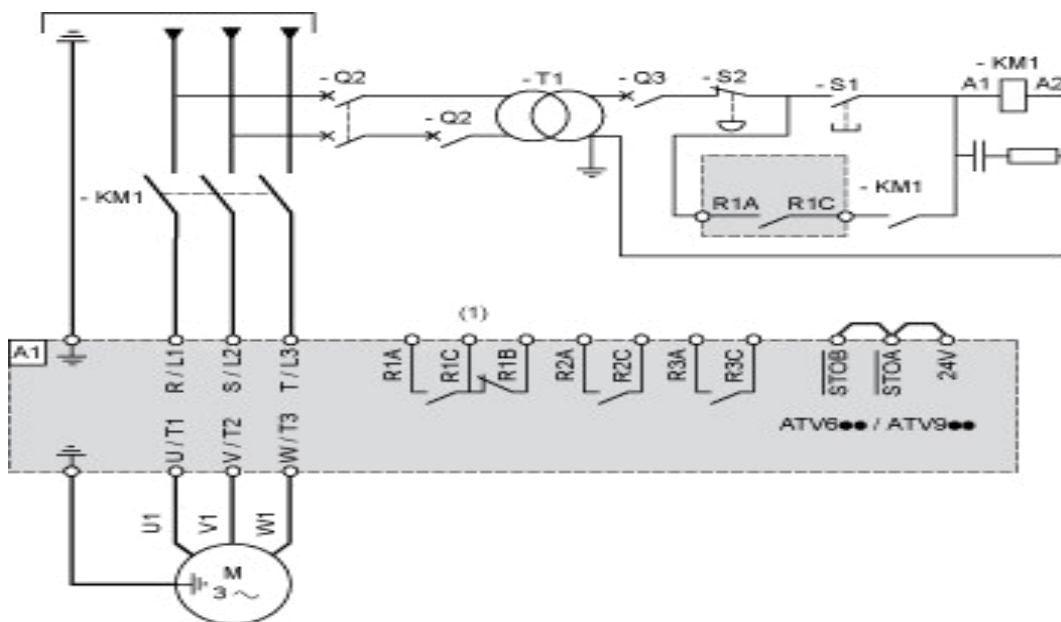
### IV.14 Le raccordement électrique du variateur Schneider ATV71QD90N4

Le variateur de vitesse ATV71QD90N4 de Schneider est raccordé au moteur en utilisant un couplage étoile, vu que c'est le variateur qui alimente le moteur. Le variateur est un convertisseur de fréquence pour des moteurs asynchrones triphasés de tensions de 380 V à 480V de 90 à 125 kW.

Ce dernier est conçu pour répondre aux performances rencontrées dans les principales installations industrielles.

En plus ce variateur est robuste, compact et facile à installer. Ses fonctions intégrées sont particulièrement adaptées pour répondre aux applications de machines industrielles.

### IV.15 Schéma de câblage



**Figure 24:** Schéma électrique du variateur de vitesse ATV71QD90N4

### IV.16 La mise en service

Lorsqu'elle est mise en service, le variateur demande des informations nécessaires au lancement de l'application, Sont les suivantes :

Nombre de moteurs connectés : 1

Protection thermique, oui/non : oui

Fréquence moteur nominale : 50/60 Hz

Tension moteur : 380-415 v

Puissance moteur totale : 90/108 KW

Courant moteur total : 157.78 A

Vitesse moteur nominale : 1480 tr/min

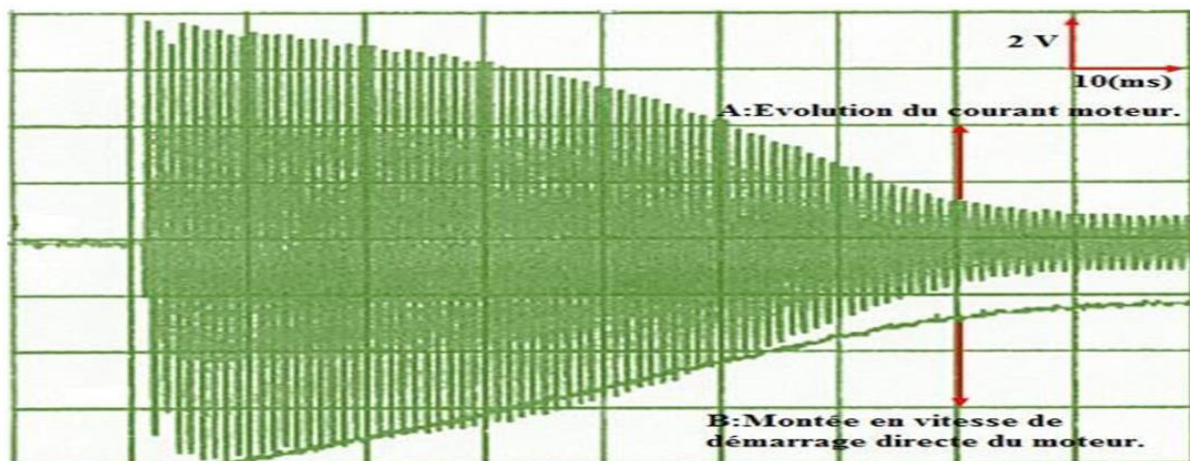
Application : ventilateur, pompe ou compresseur : compresseur

### IV.17 Adaptation du variateur Schneider ATV71Q

Ils sont apparus sur le marché des variateurs de vitesse pour machine asynchrone à commande ( $U/f = \text{cte}$ ). Récemment ces variateurs sont à contrôle vectoriel avec couplage sans capteur. Pour bien dimensionner la puissance du variateur Schneider ATV71Q, nous procédons à l'enregistrement de la caractéristique de démarrage du moteur sans variateur de vitesse (démarrage direct).

### IV.18 Démarrage direct du moteur

Il est obtenu en fermant le disjoncteur de tête et en supprimant le variateur. Un autotransformateur permet de limiter la tension de réseau à (380 V).



**Figure 25:** Évolution de courant et la montée en vitesse du moteur.

Les oscillogrammes de la figure (A et B), présentent l'évolution du courant du moteur et sa vitesse respectivement.

#### Commentaire

La montée en vitesse n'est pas linéaire au démarrage. La durée de mise en vitesse (environ 10ms), est déterminée par l'inertie totale autour de l'arbre de rotation.

### IV.19 Démarrage avec Altivar Process ATV71QD90

On utilise directement le réseau 380 V, puisque la montée en tension est graduelle ( $U/f=\text{constant}$ ). Le variateur utilisé est un Altivar Process ATV71QD90. La rampe d'accélération a été réglée à 3s puis à 0.1s.

#### IV.19.1 Le temps de rampe

Temps de rampe d'accélération et de décélération

Permet la détermination des temps d'accélération et des décélérations.

$t_1$  correspond à la durée de l'accélération nécessaire pour passer de 0 Hz à la fréquence nominale du moteur  $f_{M,N}$ . Cette fonction suppose que le courant de sortie n'atteint pas la limite de courant.

$t_2$  correspond à la durée de la décélération nécessaire pour passer de la fréquence nominale du moteur  $f_{M,N}$  à la fréquence 0 Hz, sous réserve que le fonctionnement du moteur comme un générateur ne provoque pas de surtension dans l'onduleur.

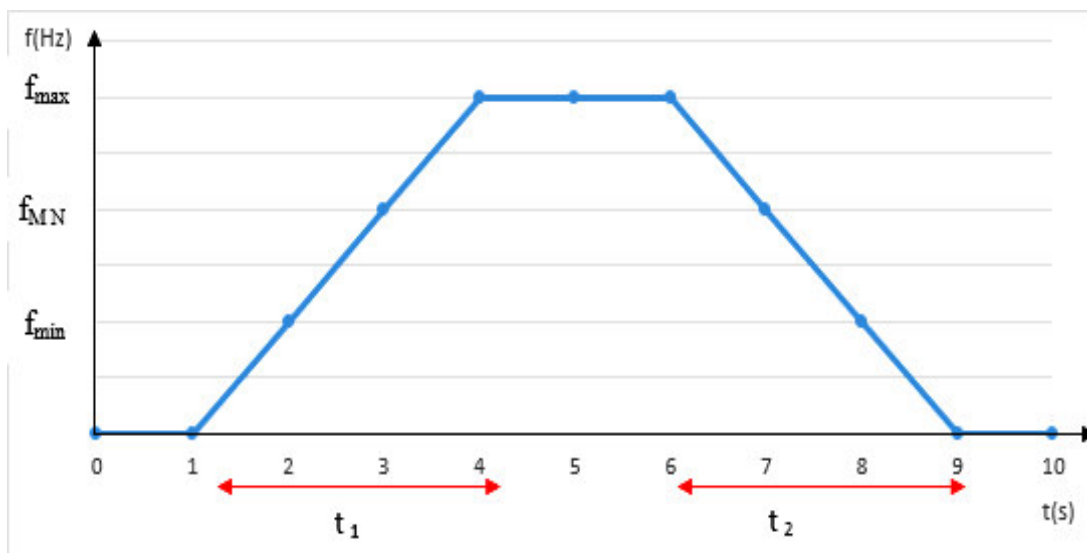


Figure 26 : Temps de rampe (d'accélération et décélération).

#### Indications

$f_{M,N}$  : Fréquence nominale moteur.

$t_1$  : Temps d'accélération.

$t_2$  : Temps de décélération.

Les durées  $t_1$  et  $t_2$  réglables indépendamment de 0,02 à 3600 s (selon l'incrément de rampe 0,02s ; 0,1 s ou 1 s) ; préréglage : 3s. La forme des rampes d'accélération et de décélération, permet l'évolution progressive de la fréquence de sortie à partir d'une consigne de vitesse, suivant une loi linéaire ou une loi préétablie.

### IV.19.2 Adaptation automatique de la rampe de décélération

Permet l'adaptation automatique de la rampe de décélération si le réglage initial est trop faible compte tenu de l'inertie de la charge. Cette fonction évite le verrouillage éventuel du variateur sur défaut "freinage excessif". Lorsque la fonction est activée et que le temps de décélération réglé est court, le variateur optimise l'alimentation du moteur pour obtenir un couple de freinage important.

Cette fonction est employée à toutes les applications ne nécessitant pas un arrêt précis et n'utilisant pas des résistances de freinage. L'adaptation automatique doit être supprimée dans le cas de machine avec positionnement d'arrêt sur rampe et avec résistance de freinage.

### IV.20 Connexion d'un PC au variateur de fréquence

Pour contrôler ou programmer le variateur de vitesse à partir d'un PC, installer l'outil de configuration So Move pour PC. Le PC est connecté via un câble USB standard comme indiqué dans le Manuel de configuration du Variateur.

### IV.21 Outil de configuration So Move pour PC

Tous les variateurs de vitesse sont équipés d'un port de communication série. Schneider, propose un outil PC pour la communication entre le PC et le variateur de fréquence :

#### IV.21.1 Présentation de So Move

C'est un logiciel de configuration qui fournit une vue d'ensemble et un contrôle aisé des différents variateurs installés. L'outil traite toutes les données relatives au variateur, en détail et de manière générale.

### IV.22 Interface

Le logiciel So Move comprend une interface qui s'utilise comme un explorateur « Windows » ce qui facilite l'utilisation et l'exploitation des équipements.

#### IV.22.1 So Move version de base

Fonction oscilloscope.

Assistants graphiques en temps réel pour la maintenance préventive.

Communication par bus de terrain (USB,).

#### IV.22.2 L'efficacité de logiciel So Move

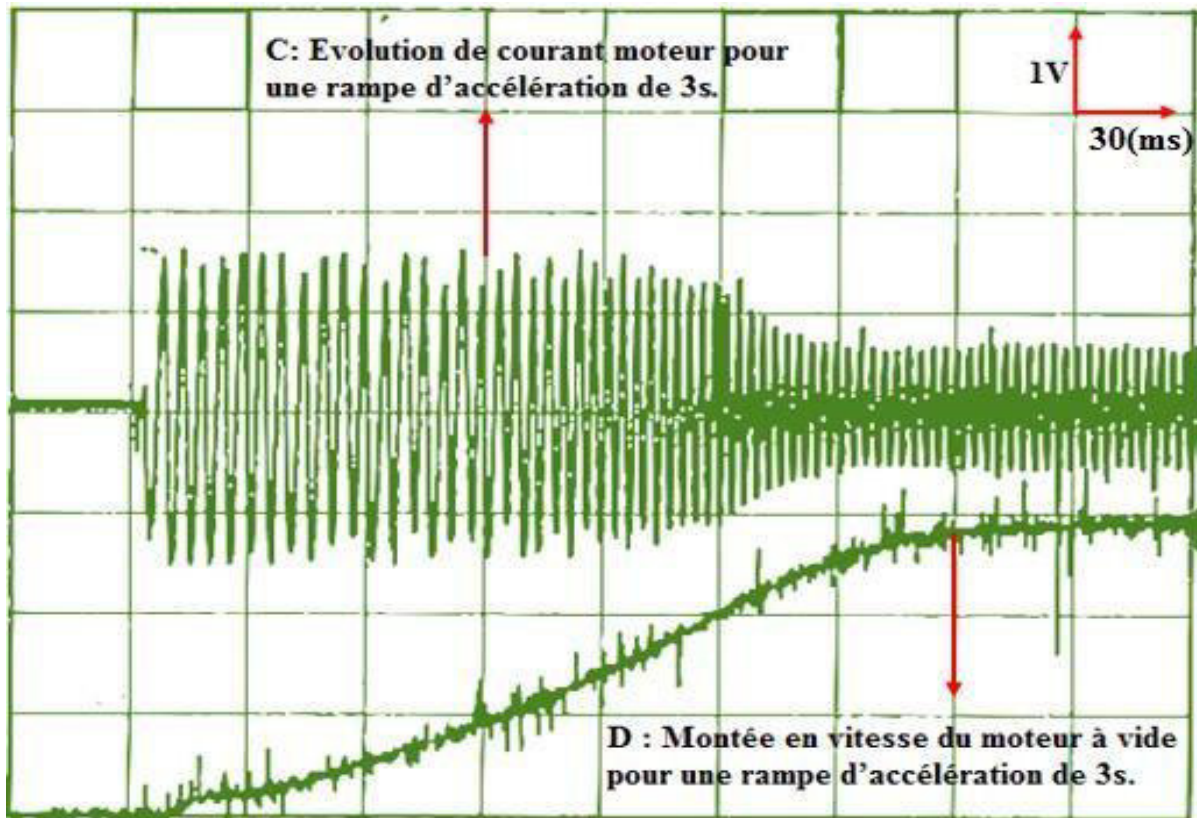
Nous travaillons avec les paramètres d'un variateur "virtuel". Cela nous permet de programmer l'ensemble du système (variateur de vitesse, moteur asynchrone à cage, la charge).

Avant de transférer la configuration aux variateurs. En mode projet (USB), Nous pouvons configurer le système avant même d'installer les variateurs. Une seule commande du logiciel So Move mettra à jour l'ensemble du système. En cas de remplacement d'un variateur par une nouvelle gamme, le logiciel est capable de configurer le variateur pour fonctionner exactement comme son prédécesseur.

### IV.23 Essais de l'efficacité

#### 1) 1<sup>er</sup> cas ; Démarrage à vide pour une rampe d'accélération de 3s

Les oscillogrammes des figures (C et D) présentent la courbe de courant moteur et la montée en vitesse pour la rampe d'accélération sélectionnée.

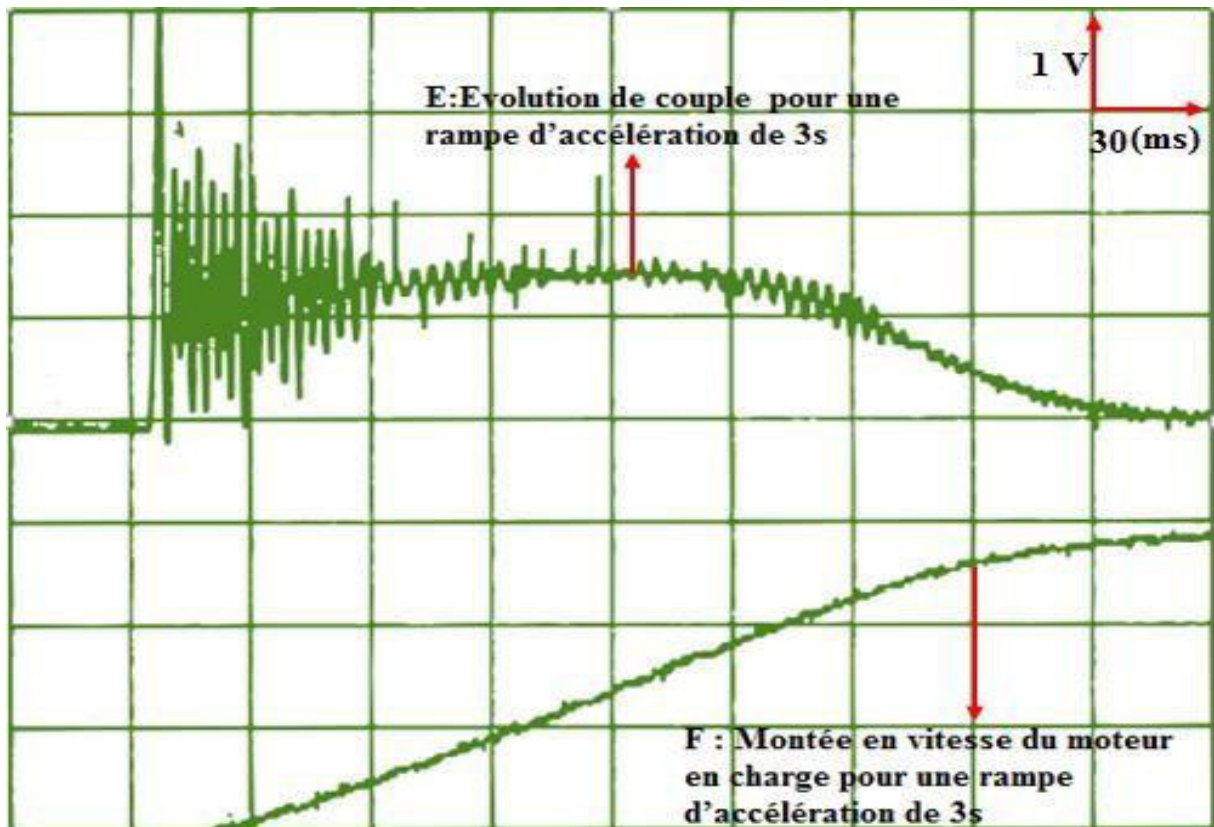


**Figure 27 :** Évolution du courant moteur et sa montée en vitesse à vide pour une rampe d'accélération de 3s.

#### Commentaire

L'appel de courant au démarrage est bien maîtrisé et l'on peut noter l'évolution progressive de la fréquence délivrée par l'onduleur du variateur en cours du démarrage. Pour le temps de montée en vitesse on peut affirmer que la rampe choisie (3s), coïncide effectivement à la durée du régime transitoire. On remarque que le signal de la montée en courant du moteur à vide est perturbé à cause de l'absence de la charge (lissage).

2) 2<sup>ème</sup> cas : Démarrage en charge pour une rampe d'accélération de 3s

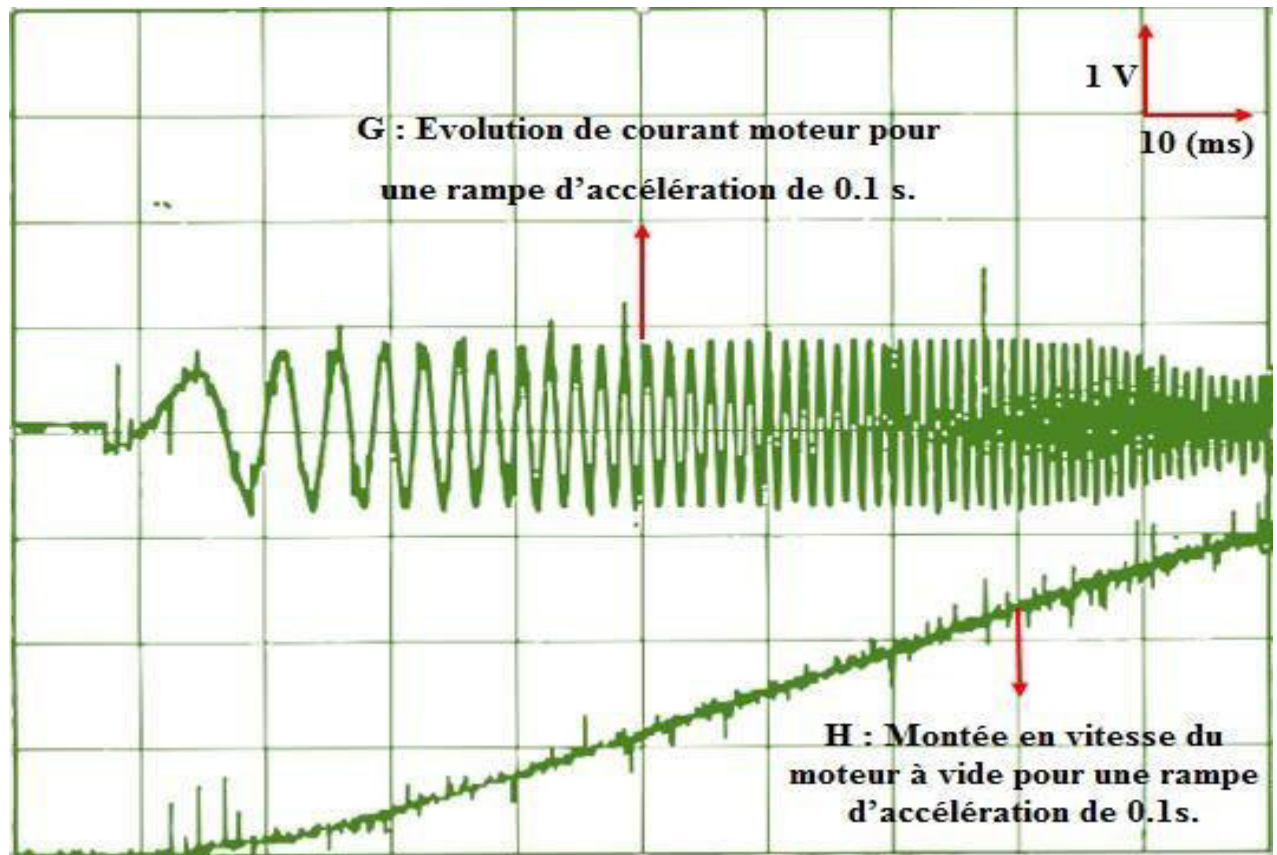


**Figure 28:** Évolution du couple instantané et sa montée en vitesse en charge pour une rampe d'accélération de 3s.

**Commentaire**

On remarque que les oscillations du couple instantané lors de la mise sous tension pendant une durée de 3s. Ainsi le couple instantané crête à 40N.m alors que le couple nominal du moteur est de l'ordre de 5 N.m. Bien sûr, ces oscillations seraient encore plus importantes sous tension nominale.

3) 3<sup>ème</sup> cas : Démarrage à vide avec une rampe d'accélération de 0.1s

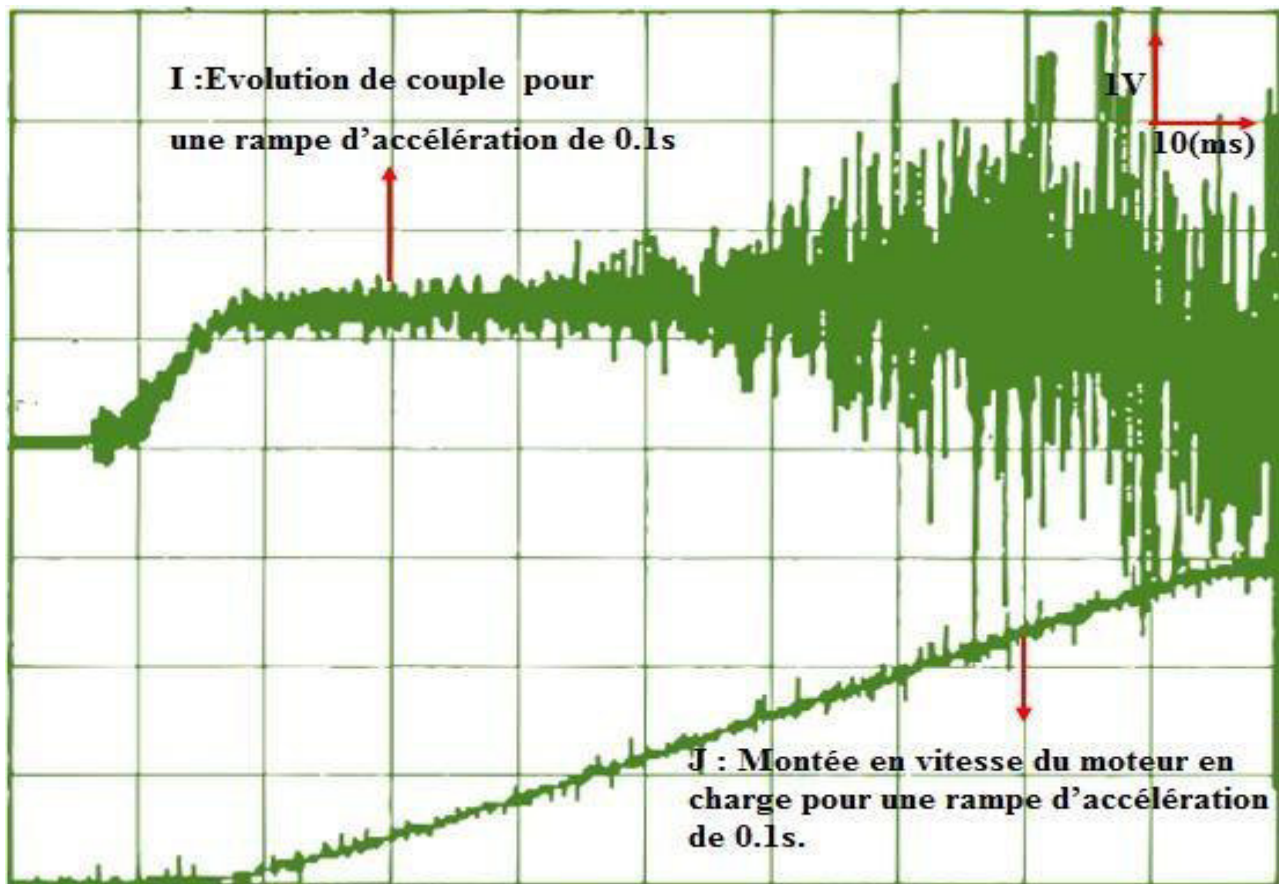


**Figure 29:** Évolution du courant moteur et sa montée en vitesse à vide avec une rampe d'accélération de 0.1s.

**Commentaire**

On observe que l'amplitude du courant de démarrage est diminuée, lorsque le temps de la rampe est très petit. Et que le filtre surveille le courant du moteur et modifie la tension. Le filtre réagit à des niveaux se référant au courant nominal du moteur. Si le courant du moteur se situe de 10%, la tension du moteur diminuera la montée en vitesse du moteur jusqu'à ce que la tension atteigne et l'on peut noter que la fréquence délivrée par l'onduleur du variateur au cours du démarrage.

4) 4<sup>ème</sup> cas : Démarrage en charge avec une rampe d'accélération de 0.1s



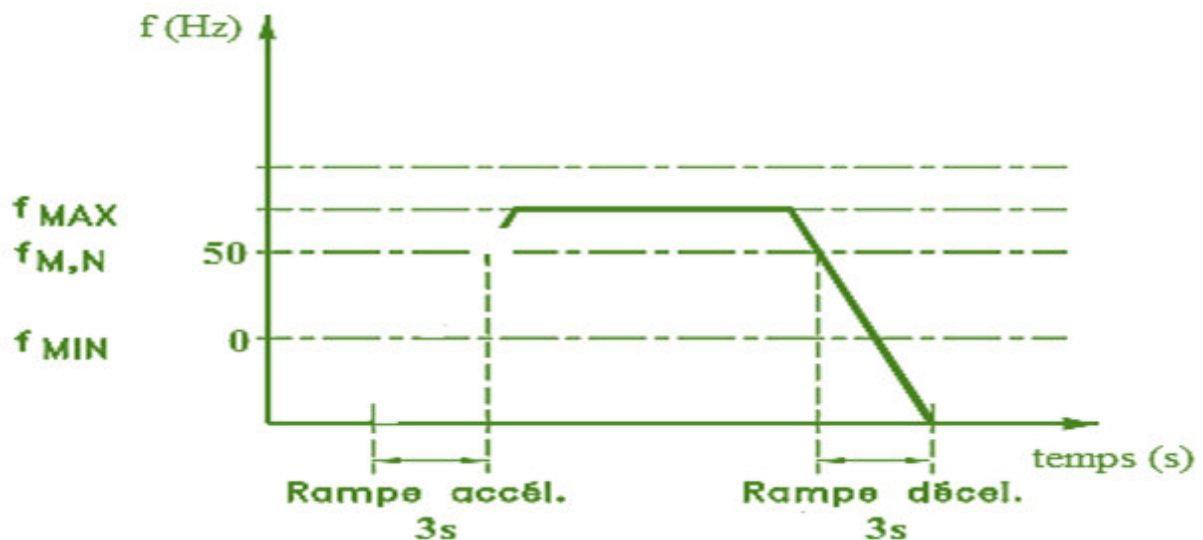
**Figure30 :** Évolution du couple instantané et la vitesse du moteur en charge pour une rampe d'accélération de 0.1s.

**Commentaire**

On remarque que les oscillations du couple instantané lors de la mise sous tension pendant une durée de 0.1s. Ainsi le couple instantané max diminue de moitié à 20 N.m pour une rampe moins importante de 0.1s, et le couple nominal du moteur est de l'ordre de 5 N.m. Bien sûr, ces oscillations seraient encore plus importantes sous tension nominale.

### IV.24 Arrêt du moteur avec Schneider ATV71Q

Pour l'arrêt du moteur associé à Schneider ATV71Q, nous sélectionnons une rampe de décélération de 3s. L'oscillogramme de la figure, montre l'arrêt du moteur correspond effectivement au temps (affiché) sur Schneider.



**Figure 31:** Évolutions de la fréquence en fonction des rampes d'accélération et de décélération.

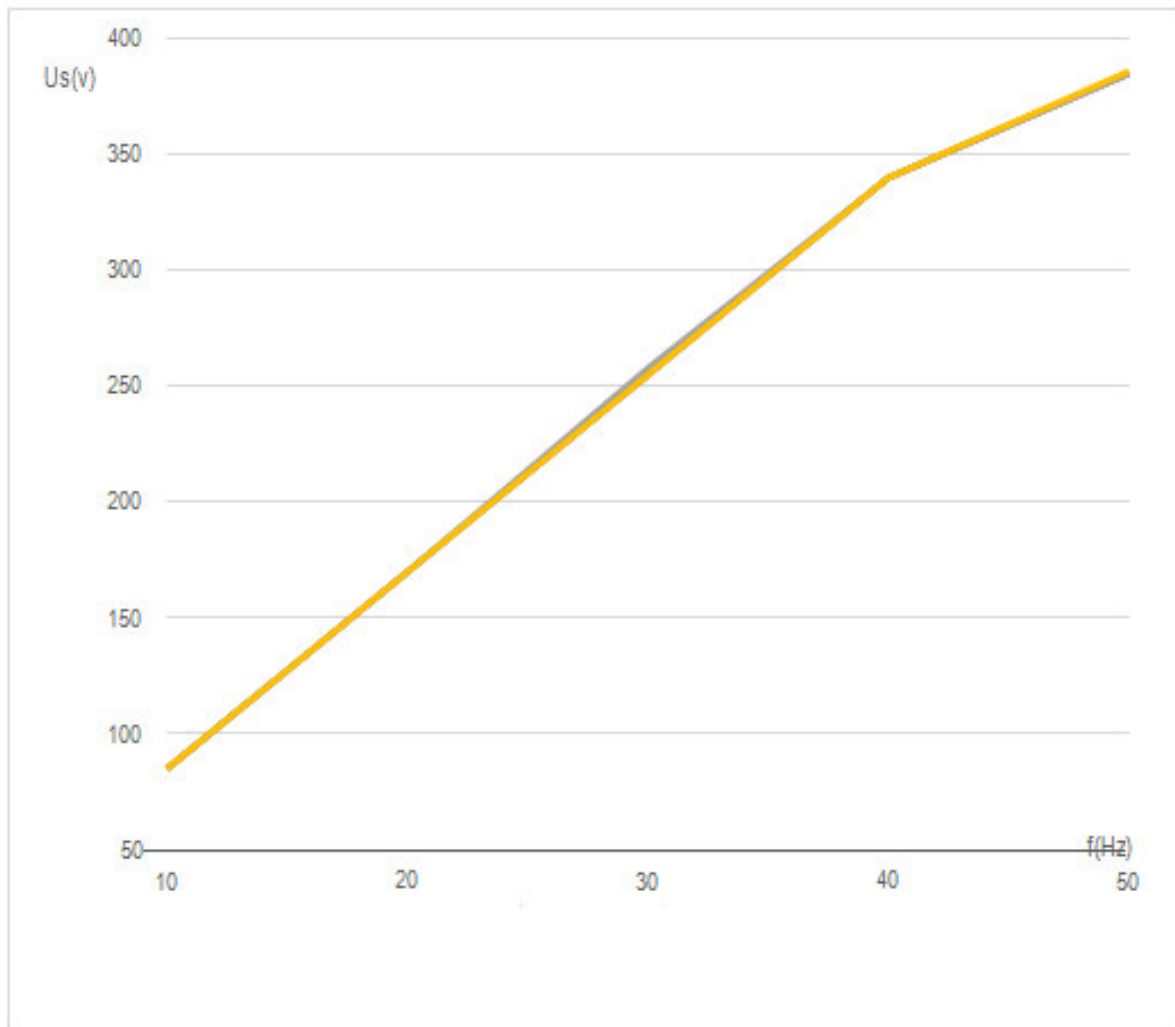
Les relevés précédents mettent en évidence les spécificités de Schneider ATV71Q et les performances que l'on peut attendre.

### IV.25 Le comportement du moteur en régime permanent

Les essais en régime permanent sont effectués sur le moteur alimenté à travers le variateur Schneider ATV71Q alimenté par le réseau 380V. Le moteur asynchrone est chargé par une génératrice à courant continu débitante sur une charge résistive.

La variation de la fréquence de consigne se fait à travers la variation de la position d'un potentiomètre branché sur Schneider ATV71Q.

### IV.26 Évolution de la tension US en fonction de f



**Figure 32 :** Variation de la tension de sortie du variateur en fonction de la fréquence.

#### Commentaire

La courbe de la figure donne les variations de la tension de sortie de Schneider en fonction de la fréquence. Cette caractéristique observe la constance du rapport entre les deux grandeurs  $U_s$  et  $f$ . Ceci confirme que le loi de commande du moteur asynchrone à flux constant.

### IV.27 Etude économique

Etude économique des substitutions retenues pour l'installation du variateur de vitesse :

L'analyse différentielle pour le remplacement des immobilisations prend en compte ce qui suit :

Coûts variables annuels des nouveaux et anciens équipements.

Durée de vie prévue du nouvel équipement.

Coût du nouvel équipement.

Manant de la vente du vieil équipement (démarreurs).

Le flux monétaire annuel en cout.

Cette partie permet de calculer les coûts économiques de notre installation, ainsi ses bénéfices.

Les coûts sont essentiellement de deux natures. Nous avons les coûts fixes et les coûts variables.

- **Coûts fixes**

- Ce sont surtout les coûts d'investissements :
- Coûts d'achat de variateur de vitesse (y compris le cout du transport).
- Coût du génie civil.
- Coûts divers.
- Coût d'installation, cout de démarrage et le test.
- Coût formation personnel d'exploitation de d'entretien éventuel.

- **Coûts variables**

- Coût de consommation d'énergie.
- Coût maintenance annuelle.
- Coût pièces de rechanges.
- Coût de maintenance spécialisée.
- 

### IV.28 Calcule de l'investissement total pour le projet

**Tableau4** : Investissement total pour le projet

| Elément                | Montant    |
|------------------------|------------|
| Variateur de vitesse   | 910000 DZD |
| Installation           | 130000 DZD |
| Démarrage et teste     | 150000 DZD |
| Consommation d'énergie | 60 %       |

**L'investissement total pour le projet : 1190000 DZD**



## ***Conclusion générale***

## *Conclusion générale*

Le travail que nous avons présenté dans ce mémoire s'inscrit dans le cadre de l'étude et la mise en place d'un variateur de vitesse pour un compresseur à piston.

L'étude consiste à traiter le problème majeur de la consommation d'énergie, qui cause pratiquement assez de pertes. Toutes ces pertes influent sur le rendement global de la production puisque la partie motrice est la plus essentielle dans l'industrie.

L'étude théorique nous a permis de connaître les entraînements électriques en générale et en particulier le moteur asynchrone. Connaître le comportement du variateur de vitesse ce qui amené d'une part à classer les différents procédés permettant de faire varier la vitesse du moteur asynchrone, et d'autre part à citer les types des variateurs.

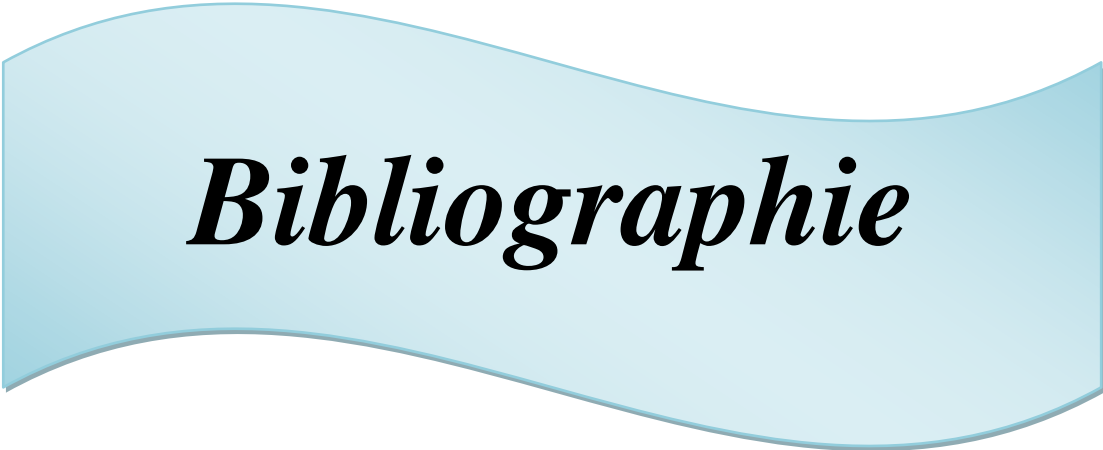
Afin d'aborder cette étude, nous avons élaboré au premier chapitre quelques généralités sur le compresseur utilisé dans l'industrie, nous avons présenté une image globale du compresseur, son principe de fonctionnement et ses caractéristiques de base.

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des moteurs asynchrone, on a détaillé la structure des convertisseurs en particulier celle de fréquence.

Nous avons étudié les variateurs de vitesse dans le troisième chapitre, En modifiant la fréquence de la tension d'alimentation du moteur, le variateur permet de modifier la vitesse du champ tournant du stator et donc la vitesse de rotation du moteur. Par la suite nous présentons une étude détaillée

L'étude détaillée du système nous a permis de toucher plusieurs disciplines, l'adaptation du variateur à performances exigées par le moteur, le comportement électromécanique de compresseur. Après un bref rappel sur les critères de choix du variateur de vitesse et son fonctionnement.

Le quatrième chapitre aborde le choix de variateur et l'étude économique, qui permet de contrôler le comportement du moteur asynchrone ; ce qui nous a amené, d'une autre part à classer les différents procédés de faire varier la vitesse du moteur asynchrone



# ***Bibliographie***

# *Bibliographie*

- [1] Documentation technique NCA ROUIBA. Année2016.
- [2] Milsant Francis, « Cours d'électrotechnique, diode, thyristors, commande des moteurs», Edition Eyrolles, paris, 1981.
- [3] Cahier technique n°280 : Démarreurs et variateurs de vitesse électroniques. Schneider Electric.
- [4] D.BareilleetJ.P.DaunisÉlectrotechnique:Transformateuretmachinestournantes. Édition DUNOD, Paris 2006
- [5] GIMELEC La vitesse variable. Éditions TECHNO-NATHAN, Paris1992.
- [6] P. LE BRUN Cours variation de vitesse des machines asynchrones. Lycée Louis ARMAND, Janvier2000
- [7] N. Tabi « application des convertisseurs matriciels a la commande des machinesà courant alternatif », mémoire magister, Bejaia2004.
- [8] NacerBenameur ,« Itroudction à la commande des machines électriques »,centre des publications universitaire ,Manouba ,Tunisie,2010.
- [9] Document ADEME/DABEE/Département Industrie etAgriculture « *Compresseurs D'air* », 2006.
- [10] T. DESTOOP, « *Compresseurs volumétriques* », Technique de l'ingénieur, traite de génie mécanique, pp. B 4 220 1 - B 4 22029.
- [11] Document ADEME/DABEE/Département Industrie et Agriculture « *Régulation De L'air Comprimé*»,2006.
- [12] « *Compresseurs et Turbines* », Edité par : Energie, Mines et Ressourcescanada.
- [13] Dossier technique du Variateur de vitesse PowerFlex 7000 Allen-Bradley