

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA-BEJAIA



Faculté de Technologie
Département de Génie
Électrique

Mémoire de Fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en
Électrotechnique

Spécialité : électrotechnique Industrielle

Thème

**Régulation de vitesse d'un moteur asynchrone appliqué
à l'entraînement d'une pompe au sein de la SARL
BOISSON ITHRI « Ovitalé » (Akbou)**

Réalisé par :

- ❖ CHETTOUH Amazigh
- ❖ HAMIDOUCHE Nassim

Encadré par :

- ❖ Mme. ABDELLI Radia
- ❖ Mr. BENDIAB Abdenour

Année universitaire : 2021/2022

Remerciements

Nos remerciements vont tout d'abord pour dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonte et la patience durant toutes ces longues années d'études.

Nos remerciements s'adressent également à nos deux encadreurs **Madame ABDELLI RADIA** enseignante à l'université Abderrahmane Mira Bejaia et à **Monsieur BENDIAB ABDENOUR** ingénieur au sein de la SARL BOISSON ITHRI « Ovitalé » pour leurs efforts considérables et qui nous ont aidé et soutenu à persévérer durant notre réalisation de ce présent mémoire.

Nos remerciements s'adressent également à tous ceux qui ont contribué à notre aide de près ou de loin au sein de l'entreprise d'accueil lors de notre stage.

Nos remerciements sont destinés à toute personne qui nous a conforté, solidifié et encouragé durant notre parcours étudiant et pour la réalisation de ce présent projet.

Nous témoignons notre profonde gratitude aux membres du jury.

Dédicaces

A la mémoire de ma grand-mère

Je dédie premièrement ce travail à ma grand-mère que j'aurais aimé qu'elle soit à mes côtés, que dieu le tout puissant t'accueille dans son vaste paradis.

A mes chers parents

A toi mon cher père. Ce modeste travail est le fruit de tous les sacrifices que tu as déployé pour mon éducation et ma formation, tu as su m'inculquer le sens du travail et de la responsabilité. Ton amour face au savoir, ton optimisme, ta compréhension et ton encouragement sont pour moi le soutien

Indispensable que tu as toujours su m'apporter.

Je te dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je feraitoujours de mon mieux pour rester ta fierté et ta relève.

A toi ma chère maman, symbole de courage et source d'espoir, autant de phrases et d'expressions aussi éloquentes soient-elles ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance envers tes sacrifices et ta bonté.

Que dieu vous préserve, vous accorde santé, bonheur et vous protège de tout mal.

A mon frère et ma sœur.

A toute ma famille.

A mon ami et binôme Nassim.

A ma meilleure amie.

A mes chers amis.

Amazigh

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

A mes très chère parents, aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A toute ma famille de près ou de loin.

A mon frère et ma sœur à qui je souhaite un avenir plein de joie, de bonheur et de réussite.

A mes cousins et cousines.

A mon ami et binôme Amazigh.

A mes chers amis.

A mes amis qui sont au Canada.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit réalisable, je vous remercie du fond du cœur.

Nassim

Sommaire

Sommaire

| | |
|-----------------------------|---|
| Problématique | 1 |
| Introduction générale | 2 |

Chapitre I

| | | |
|--------|------------------------------------------------------------------|---|
| I.1 | Introduction | 3 |
| I.2 | Présentation de l'entreprise ovitale..... | 3 |
| I.2.1 | Historique..... | 3 |
| I.2.2. | Situation géographique..... | 3 |
| I.2.3. | Organigramme de l'entreprise ovitale..... | 4 |
| I.2.4. | Les objectifs de l'entreprise SARL BOISSONS ITHRI «Ovitale»..... | 5 |
| I.3. | Présentation de la chaine de production | 5 |
| I.3.1. | le processus d'embouteillage de l'eau minérale..... | 5 |
| • | Principe de fonctionnement | 5 |
| I.3.2. | Présentation des machines..... | 6 |
| 1- | Souffleuse..... | 7 |
| 2- | Remplissage des bouteilles et pose de bouchon | 7 |
| 3- | Etiqueteuse et marquage | 7 |
| 4- | Fardelage..... | 7 |
| 5- | Poignéteuse..... | 7 |
| 6- | Palettisations et housage..... | 7 |
| 7- | Expédition des palettes | 7 |
| I.4 | Conclusion..... | 7 |

Chapitre II

| | |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| Pompes centrifuges et moteurs asynchrones..... | 8 |
| II.1. Introduction | 8 |
| II.2 Définition de la Pompe | 8 |
| II.2.1. Catégories de pompe | 8 |
| a) Pompes volumétriques..... | 8 |
| b) Pompes centrifuge | 8 |
| Remarque : | 8 |
| II.2.2. Avantages et inconvénients des pompes centrifuges | 9 |
| Avantages..... | 9 |
| Inconvénients | 9 |
| II.2.3. Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge..... | 9 |
| II.2.4. Classification des pompes centrifuges | 11 |
| II.2.5. Paramètres d'une pompe centrifuge..... | 11 |
| De point de vue construction | 11 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| De point de vue fonctionnement | 11 |
| Le débit : | 11 |
| Débit massique : | 12 |
| <i>Hmt</i> (hauteur manométrique total) : | 12 |
| Puissance absorbée (puissance mécanique d'entre) : [6] | 12 |
| Puissance hydraulique (puissance utile) : [7] | 13 |
| Rendement global [3] | 13 |
| II.2.6. Courbe caractéristique et point de fonctionnement..... | 13 |
| II.2.7. Méthode de réglage du débit d'une pompe centrifuge [8] | 14 |
| a) Vanner au refoulement de la pompe | 14 |
| b) L'installation d'un variateur de fréquence..... | 14 |
| c) Le rognage de la roue..... | 15 |
| Remarque : | 15 |
| II.2.8. La pompe utilisée..... | 15 |
| II.3. Définition du moteur asynchrone à cage d'écureuil triphasé..... | 16 |
| II.3.1. Principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone à cage d'écureuil | 16 |
| II.4. Constitution de la machine asynchrone à cage | 18 |
| II.4.1. Le stator | 18 |
| II.4.2. Le rotor à cage d'écureuil..... | 19 |
| II.5. La plaque bornes du moteur..... | 19 |
| II.6. Couplage des enroulements..... | 20 |
| II.6.1. Couplage triangle | 20 |
| II.6.2. Couplage étoile..... | 20 |
| Hypothèse simplificatrice..... | 21 |
| II.7. Caractéristiques et équations principales du moteur | 21 |
| II.7.1. Equations électriques | 21 |
| II.7.2. Equations magnétiques | 22 |
| II.7.3. Equation mécanique..... | 23 |
| II.7.4. Vitesse de synchronisme | 23 |
| II.7.5. Le glissement et la vitesse de glissement..... | 24 |
| II.7.6. Bilan de puissance..... | 24 |
| a) Puissance absorbée P_a | 24 |
| b) Pertes par effet joule au stator P_Js | 24 |
| c) Pertes fer au stator P_{fs} | 24 |
| d) Puissance transmise au rotor P_{tr} | 25 |
| e) Les pertes fer P_{fr} et les pertes joules P_{jr} au stator | 25 |
| f) La puissance électromagnétique | 25 |
| g) Les pertes mécaniques $P_{méc}$ et la puissance utile P_u | 25 |
| h) Le rendement | 25 |
| II.8. Plaque signalétique | 26 |
| Le moteur utilisé..... | 27 |

| | |
|------------------------|----|
| II.9. Conclusion | 28 |
|------------------------|----|

Chapitre III

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Variateur de fréquence | 29 |
| III.1. Introduction | 28 |
| III.2. Convertisseur de fréquence | 28 |
| III.3. Principe..... | 29 |
| III.4. Schéma fonctionnel | 29 |
| III.5. Fonctions des composants d'un convertisseur de fréquence..... | 29 |
| III.5.1. Redresseur..... | 29 |
| Montage parallèle double : | 30 |
| III.5.2. Circuit intermédiaire (Filtre)..... | 31 |
| III.5.3. Onduleur..... | 31 |
| III.6. Modulation a largeur d'impulsion (MLI)..... | 32 |
| III.6.1. Définition de modulation à largeur d'impulsion (MLI)..... | 32 |
| III.6.2. Intérêt de modulation à largeur d'impulsion (MLI) dans le variateur de fréquence..... | 32 |
| III.7. Critères de choix d'un variateur | 32 |
| III.7.1. Facture technique..... | 32 |
| III.7.2. Facture économique..... | 33 |
| III.8. Choix du variateur | 33 |
| III.9. Conclusion..... | 33 |

Chapitre IV

| | |
|-----------------------------------------------------------|----|
| Régulation PID..... | 34 |
| IV.1. Introduction | 34 |
| IV.2. Définition de la régulation | 34 |
| IV.3. Eléments constituant une boucle de régulation | 34 |
| IV.4. Système en boucle ouverte..... | 34 |
| IV.5. Système en boucle fermée..... | 35 |
| IV.6. Principe de fonctionnement d'un régulateur..... | 35 |
| IV.7. Régulateur PID | 36 |
| IV.7.1. Actions des corrections P, I, D..... | 36 |
| Action proportionnel P..... | 36 |
| Action Intégrale I..... | 36 |
| Action dérivée D | 37 |
| IV.7.2. Différents montage des régulateurs PID | 37 |
| Structure PID serie..... | 37 |
| Structure PID parallèle..... | 37 |
| Structure PID mixte | 38 |

| | | |
|-------|-----------------|----|
| IV.8. | Conclusion..... | 38 |
|-------|-----------------|----|

Chapitre V

| | |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| La schématisation del'armoire et la programmation du système | 39 |
| V.1. Introduction | 39 |
| V.2. Logiciel designspark electrical..... | 39 |
| V.3. Automate programmable (API) | 39 |
| V.3.1 Definition..... | 39 |
| V.3.2. Extension analogique AD/DA..... | 39 |
| V.3.3. Principe de fonctionnent d'un API..... | 40 |
| V.4. Structure d'un système automatisé :..... | 40 |
| V.4.1. La partie opérative | 40 |
| V.4.2. La partie commande..... | 40 |
| V.4.3. Poste de contrôle..... | 41 |
| V.5. Programmation sous XCP Pro V3.3..... | 41 |
| V.5.1 langage ladder..... | 41 |
| V.5.2. Prestation du logiciel XCP Pro V3.3Q..... | 41 |
| V.6. Matériel utilisé..... | 41 |
| V.7. Schématisation de l'armoire | 42 |
| V.8. Programmation sous Ladder de l'automate | 57 |
| V.9. Fonctionnement des trois modes..... | 60 |
| V.9.1 le mode production (Prod)..... | 60 |
| Le pressostat..... | 62 |
| V.9.2. Le mode CIP | 63 |
| V.9.3. Le mode contre-courant | 64 |
| V.10. Conclusion..... | 65 |
| ConclusionGénérale | 66 |

Liste des figures

Liste des figures

Chapitre I

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Figure I.1 : Situation géographique du complexe ovitale..... | 4 |
| Figure I.2 : organigramme de l'entreprise..... | 4 |
| Figure I.3 : représente comment faire embouteillage des bouteilles dans les usines..... | 6 |

Chapitre II

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure II.1 : Élément de constitution d'une pompe centrifuge..... | 10 |
| Figure II.2 : Vue d'intérieur d'une pompe centrifuge..... | 10 |
| Figure II.3 : Diagramme H(Q)..... | 11 |
| Figure II.4 : Courbe caractéristique d'une pompe centrifuge..... | 14 |
| Figure II.5 : plaque signalétique de la pompe raccorderia..... | 15 |
| Figure II.6 : Champ magnétique tournant..... | 16 |
| Figure II.7 : Schéma représentant le principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone | 17 |
| Figure II.8 : Moteur weg 21..... | 17 |
| Figure II.9 : Eléments de constitution d'une MAS à cage d'écureuil | 18 |
| Figure II.10 : stator avec bobinage..... | 18 |
| Figure II.11 : stator sans bobinage..... | 18 |
| Figure II.12 : rotor..... | 19 |
| Figure II.13 : Plaque abornes du moteur..... | 19 |
| Figure II.14 : Schéma de couplage en triangle..... | 20 |
| Figure II.15 : Schéma de couplage en étoile... .. | 20 |
| Figure II.16 : bilan de puissance..... | 26 |
| Figure II.17 : plaque signalétique d'un MAS..... | 26 |
| Figure II.18 : plaque signalétique du moteur weg 21..... | 27 |

Chapitre III

| | |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure III.1 : Convertisseur de fréquence Schneider..... | 28 |
| Figure III.2 : Schéma fonctionnel d'un convertisseur de fréquence..... | 29 |
| Figure III.3 : Redresseur..... | 30 |
| Figure III.4 : Redresseur triphasé a pont de diode PD3..... | 30 |
| Figure III.5 : Structure de filtre..... | 31 |
| Figure III.6 : Structure d'un Onduleur..... | 31 |
| Figure III.7 : Modulation à largeur d'impulsion..... | 32 |
| Figure III.8 : plaque signalétique du variateur de fréquence..... | 33 |

Chapitre IV

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure IV.1 : système en boucle ouverte..... | 35 |
| Figure IV.2 : système en boucle fermée..... | 35 |
| Figure IV.3 : Régulateur PID..... | 36 |
| Figure IV.4 : Représentation d'un régulateur PID série par son schéma fonctionnel..... | 37 |
| Figure IV.5 : Représentation d'un régulateur PID parallèle par son schéma fonctionnel..... | 38 |
| Figure IV.6 : Représentation d'un régulateur PID mixte par son schéma fonctionnel..... | 38 |

Chapitre V

| | |
|----------------------------------------------------|----|
| Figure V.1 : Automate et Extension analogique..... | 40 |
| Figure V.2 : Vue de l'armoire électrique..... | 42 |
| Figure V.3 : Pupitre de commande..... | 57 |
| Figure V.4 : La Filtration de l'eau..... | 58 |
| Figure V.5 : Pressostat..... | 62 |

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Chapitre II

Tableau II.1 : Caractéristique électrique de la pompe.....15

Chapitre V

Tableau V.1 : (entres/sorties) de l'automate.....43

Tableau V.2 : configuration des boutons dans le programme.....57

Problématique

Problématique

Problématique

Dans notre process on a trois modes de fonctionnement qui sont différents l'un par rapport à l'autre.

On a une machine en mode production qui doit être alimentée constamment avec une pression d'eau constante.

On a une autre machine (mode CIP) qui doit être aussi alimentée à haute pression, elle est nécessaire pour assurer le nettoyage régulier (une fois par semaine) des installations tuyauterie et de la machine de production.

On a un autre mode (mode contre-courant) où il faut déboucher les filtres qui sont colmatés à cause des particules qui sont présentes dans l'eau.

Pour cela on va élaborer un système programmé au lieu d'utiliser plusieurs pompes chacune câblée séparément, on va utiliser une seule pompe pour effectuer ces trois modes de fonctionnement.

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Les moteurs asynchrones ont été très compliqués à commander que ce soit au démarrage ou en variation de vitesse, grâce à l'évolution de l'électronique de puissance et avec les asservissements qui permettent de réguler le fonctionnement par les trois actions PID en boucle fermée, fait que les moteurs asynchrones sont très utiles dans le domaine de l'industrie notamment en mouvement de translation, rotation ou levage.

Par ailleurs l'automatisation permet de gérer des processus très complexes et donner la possibilité d'optimiser le fonctionnement des systèmes par un ensemble de conditions et de paramètres pré-programmés et par l'usage des interfaces homme /machine l'opérateur a la possibilité de sélectionner les conditions et les valeurs des paramètres qui améliorent au mieux le rendement du système.

Notre travail est de concevoir un système automatisé qui permettra de faire fonctionner la pompe dans les modes exigés par le processus avec une interface IHM qui permettra à l'opérateur d'interagir avec le système lorsque le besoin est nécessaire.

À la place d'utiliser trois pompes distinctes, l'utilisation d'une seule pompe gérée par le système conçu permettra d'économiser sous le plan matériel et par conséquent une économie financière pour l'entreprise.

.

Notre mémoire est composé des chapitres suivants :

- ✓ Le premier chapitre fera le sujet de la présentation de la SARL BOISSON ITHRI.
- ✓ Le deuxième chapitre sera consacré à la présentation des pompes centrifuges et des moteurs asynchrones.
- ✓ Le troisième chapitre sera consacré à l'étude du variateur de fréquence.
- ✓ Dans le quatrième chapitre, on parlera sur le régulateur PID.
- ✓ Le cinquième chapitre sera consacré à la partie pratique, schématisation de l'armoire et programmation du système.

Chapitre I

Présentation de l'entreprise

I.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons introduire l'historique de l'entreprise et organigramme de complexe ovitale. Par la suite nous passerons à la Présentation de la chaine de production.

I.2 Présentation de l'entreprise ovitale :**I.2.1. Historique :**

L'entreprise OVITALE a été créée par Mr : HAMIDOUCHE BOUBKEUR en 1991 sous forme d'ETS HAMIDOUCHE, sise à Arafou Commune Akbou W. BEJAIA, cette dernière a pour activité principale la production des SODA.

En 1998, ETS HAMIDOUCHE s'agrandit par l'acquisition d'un terrain sur la route du Marché Akbou.

En 1998, dans le but de faire une extension pour l'unité, le propriétaire acquiert un terrain sis à la route du marché de gros Commune Akbou W. BEJAIA, pour élargir son activité.

En 2000 le propriétaire cède l'unité à ses quatre fils qui décident de changer de dénomination ;d'ETS HAMIDOUCHE à SARL ITHRI SODA,

En 2003, après s'être lancé dans la production de soda dans la nouvelle unité, ils ont découvert des sources d'eau dans les nappes de l'unité. Après les recherches et les analyses nécessaires pour la conformité de ces sources, ils décident de se lancer dans la production d'eau minérale, en changeant de dénomination de la SARL ITHRI SODA à LA SARL BOISSONS ITHRI spécialisée dans la production d'eau minérale et boissons divers non alcoolisées.

L'entreprise OVITALE, aujourd'hui, a une capacité de production d'eau de source de 14000bouteilles par heure en 1.5 et 0.5 litres, et de 12000 bouteilles par heure en 5 litres. Pour le sodaet jus une capacité de 12000 bouteilles par jour. En 2012 la SARL se lance dans l'eau embouteillée, sous la marque OVITALE, en produisant uniquement le format la 5 litres.

En 2019 acquisition de nouvelles machines d'une très grande capacité de production, à la pointe de la technologie et conforme aux normes internationales conçues par des leaders du domaine.

I.2.2. Situation géographique :

Le complexe ovitale est implanté à 70 Km de Bejaia, à 185 Km à l'est de la capitale Alger, à proximité de la RN26, et à 500 mètres de marché véhicules et bétails, à côté la FIRM Kherbouche industrie, voir la figure au-dessous.



Figure I.1 : Situation géographique du complexe ovitale

I.2.3. Organigramme de l'entreprise ovitale

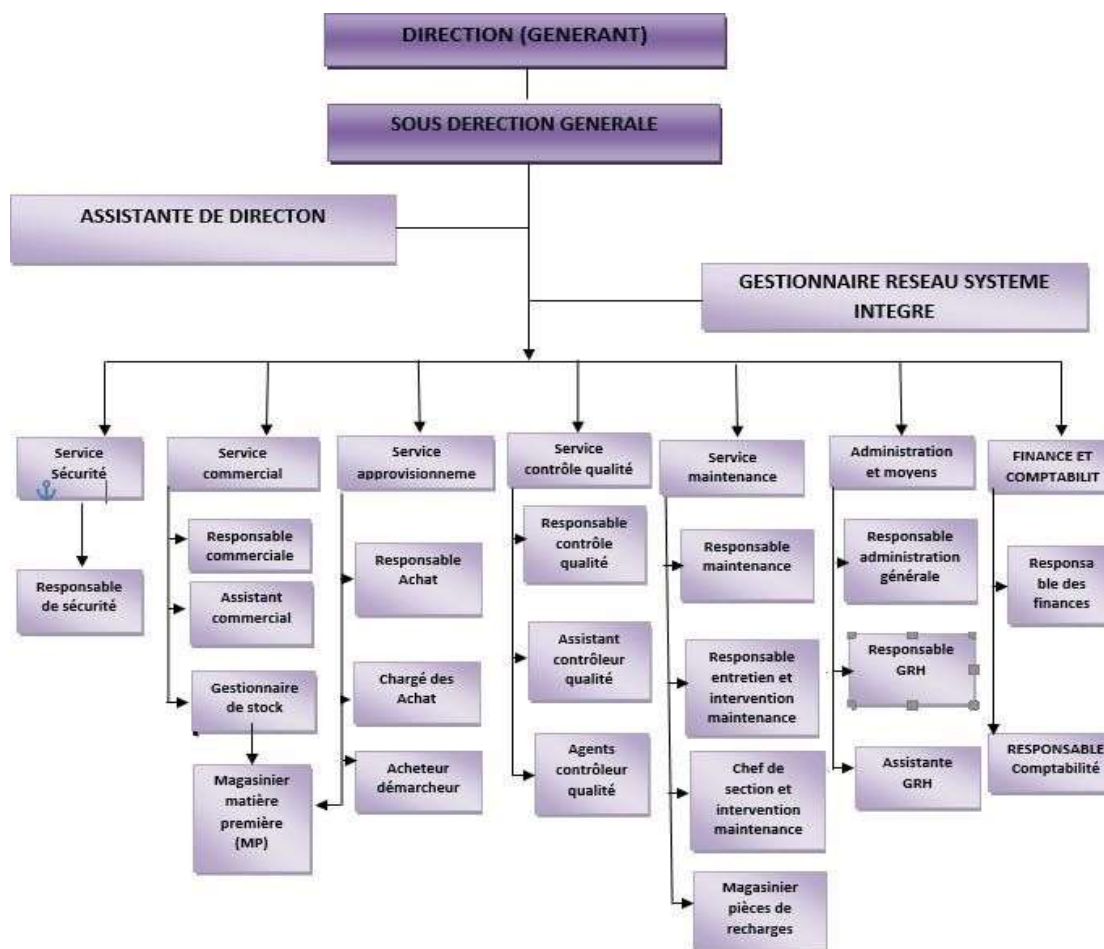


Figure I.2: Organigramme de l'entreprise

I.2.4. Les objectifs de l'entreprise SARL BOISSONS ITHRI «Ovitale»

- Donner une meilleure image à l'entreprise.
- Offrir le meilleur rapport qualité prix à la clientèle.
- Convaincre les clients de faire appel à l'entreprise et à ses produits.

I.3. Présentation de la chaîne de production**I.3.1. Le processus d'embouteillage de l'eau minérale**

- **Principe de fonctionnement**

Pour obtenir une bouteille d'eau consommable, on passe par plusieurs étapes. Tout d'abord, les bouteilles sont à l'origine des préformes. Ces dernières sont basculées à une machine où elles sont chauffées puis soufflées pour obtenir une bouteille vide prête au remplissage avec de l'eau minérale. Ces bouteilles sont transportées grâce à un convoyeur à air jusqu'à une autre machine pour être remplies et bouchées. Comme tout produit consommable, les bouteilles comportent une DLUO (Date Limite d'Utilisation Optimale), et le numéro du lot, qui sont marqués au laser afin d'assurer la traçabilité des produits. Ensuite Les bouteilles seront mises sur un convoyeur mécanique jusqu'à une machine qui se charge de coller l'étiquette sur les bouteilles qui sont pleines, bouchées, contenant une poignée et une date d'expiration. Ensuite les bouteilles sont contrôlées par un ouvrier ou par une machine de contrôle. Les bouteilles qui ne respectent pas les normes à la fin de la chaîne seront éjectées. Le reste de bouteille satisfaisant les normes seront transportées dans des rails pour être regroupées en six sous film d'emballage. Les packs sont acheminés debout sur un convoyeur mécanique jusqu'à une autre machine, qui a comme fonction de poser des poignées sur les packs. À la fin, les packs sont placés sur des palettes puis recouverts d'une housse et expédiés.



Figure I.3 : représente comment faire embouteillage des bouteilles dans les usines.

I.3.2. Présentation des machines.

La mise en bouteille nécessite différentes machines

1- Souffleuse

Conditionnées les préformes thermiquement, pour qu'elle puisse leur donner la forme des bouteilles prêtes à remplir, à l'aide d'un moule où on introduit les préformes et on y souffle par un compresseur.

2- Remplissage des bouteilles et pose de bouchon

Les bouteilles vides provenant de la soufflante sont transportées jusqu'à l'étoile d'entrée de la remplisseuse. Les opérations de remplissages commencent. La bouteille pleine se trouve maintenant sur la capsulerie et alignée aux têtes de bouchage. Après le bouchage la bouteille est portée, à l'aide d'un guide, à l'étoile et de là sur la bande de sortie.

3- Etiqueteuse et marquage

C'est la machine qui se charge de coller l'étiquette sur la bouteille et La date limite d'utilisation optimale (DLUO) et le numéro du lot sont marqués au laser afin d'assurer la traçabilité des produits.

4- Fardelage

Les bouteilles sont regroupées par 6 sous un film d'emballage.

5- Poignéteuse

Machine automatique pour l'application de posage des poignées en plastique sur les packs pour vous faciliter le transport.

6- Palettisations et houssage

Placés sur des palettes puis recouverts d'une housse anti-UV imperméable, les packs bénéficient d'une protection optimale pendant le transport et le stockage.

7- Expédition des palettes**I.4. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu général sur le complexe Ovitale comme suit : l'historique de l'entreprise, situation géographique, son organigramme et les objectifs de l'entreprise après on a passé sur Présentation de la chaîne de production.

Chapitre II

Pompes centrifuges et moteurs asynchrones

II.1. Introduction

Ce chapitre est dédié à l'étude de la pompe centrifuge et du moteur asynchrone à cage où on va mettre en avant leur principe de fonctionnement, leurs constitutions, d'autres paramètres et notre pompe et moteur choisis.

II.2 Définition de la Pompe

La pompe est un dispositif qui communique de l'énergie hydraulique à un fluide en vue de son déplacement d'un point à un autre.

Les pompes pour les eaux usées sont des pompes roto-dynamique qui utilisent un mouvement de rotation pour communiquer l'énergie au fluide pompé. Ces pompes utilisent donc des roues tournant à une grande vitesse (1500 à 3000 tours/min) dans une volute.

II.2.1. Catégories de pompe [1]

Il existe deux grandes familles de systèmes de pompage qui diffèrent selon l'utilisation que l'on souhaite en faire, ce qui sera déterminé par les procédés fluides. Si l'on souhaite augmenter la pression d'un fluide, il faudra se tourner vers les pompes volumétriques dont l'écoulement résulte de la variation d'une capacité occupée par le liquide. Si l'on veut en augmenter le débit, on utilisera les pompes centrifuges. Là, le mouvement du liquide résulte de l'accroissement d'énergie qui lui est communiqué par la force centrifuge.

a) Pompes volumétriques

La pompe volumétrique, ou dite à capacité variable, est une pompe dans laquelle l'écoulement du fluide résulte de la variation d'une capacité occupée par le fluide. Son fonctionnement repose sur le principe du mouvement cyclique.

b) Pompes centrifuge

Une pompe centrifuge transforme la puissance mécanique du moteur électrique en une puissance hydraulique qui est fournie au fluide c'est une machine rotative qui pompe un liquide en le forçant au travers d'une roue à aube ou d'une hélice appelée impulseur (souvent nommée improprement turbine). C'est le type de pompe industrielle le plus commun. Par l'effet de la rotation de l'impulseur, le fluide pompé est aspiré axialement dans la pompe, puis accéléré radialement, et enfin refoulé tangentiellement.

Remarque :

Dans notre travail on va s'intéresser uniquement aux pompes centrifuges.

II.2.2. Avantages et inconvénients des pompes centrifuges [2]**Avantages**

- Construction simple, peu de composants mobiles, longue durée de service.
- Débit de refoulement facile à ajuster par une soupape à la sortie de la pompe ou par la vitesse de rotation.
- Vitesse de rotation élevée, entraînement direct possible par moteur électrique ou turbine.
- Limiteur de pression intégré, pas de soupape de sécurité requise.
- Convient à des puissances élevées.
- Concentration élevée de la puissance et petit espace de construction.
- Refoulement continu sans pulsations.

Inconvénients

- Pas auto-amorçantes (des types spéciaux tels que la pompe à canal latéral peut être auto-amorçantes).
- Plusieurs étages requis pour les pressions de refoulement élevées.
- Le débit volumétrique dépend de la pression de refoulement.
- Risque de cavitation avec de l'eau chaude ou des pressions d'aspiration faibles.

II.2.3. Principe de fonctionnement d'une pompe centrifuge [3]

Une pompe centrifuge est constituée :

- Un trou à aubes tournant autour de son axe
- Un distributeur dans l'axe de la roue
- Un collecteur de section croissante, en forme de spirale appelé volute.

Le liquide arrive dans l'axe de l'appareil par le distributeur et la force centrifuge le projette vers l'extérieur de la turbine. Il acquiert une grande énergie cinétique qui se transforme en énergie de pression dans le collecteur à la section est croissante. L'utilisation d'un diffuseur (roue à aubes fixes) à la périphérie de la roue permet une diminution de la perte d'énergie. La figure II.1 explique brièvement le fonctionnement d'une pompe centrifuge.

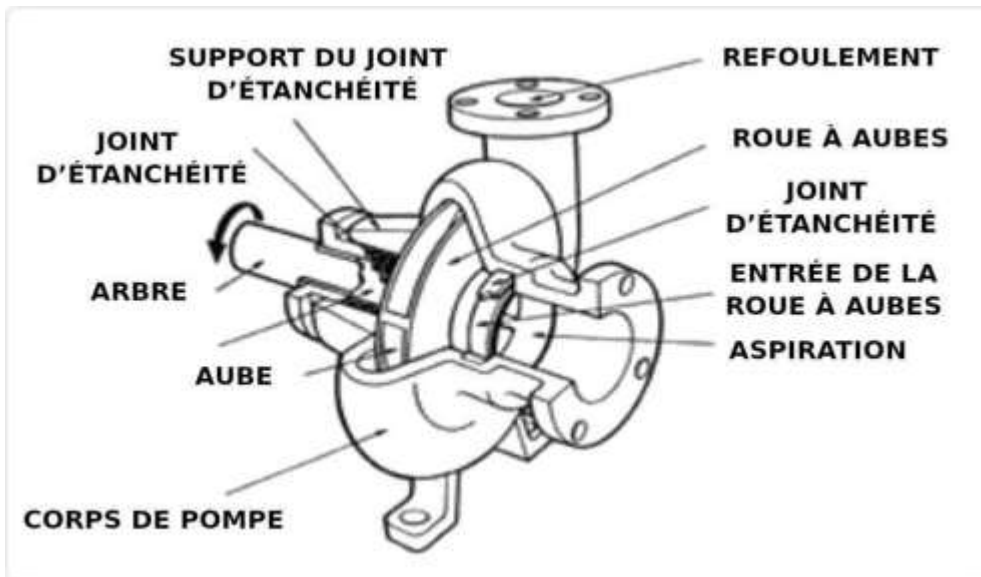


Figure II.1 : Élément de constitution d'une pompe centrifuge.

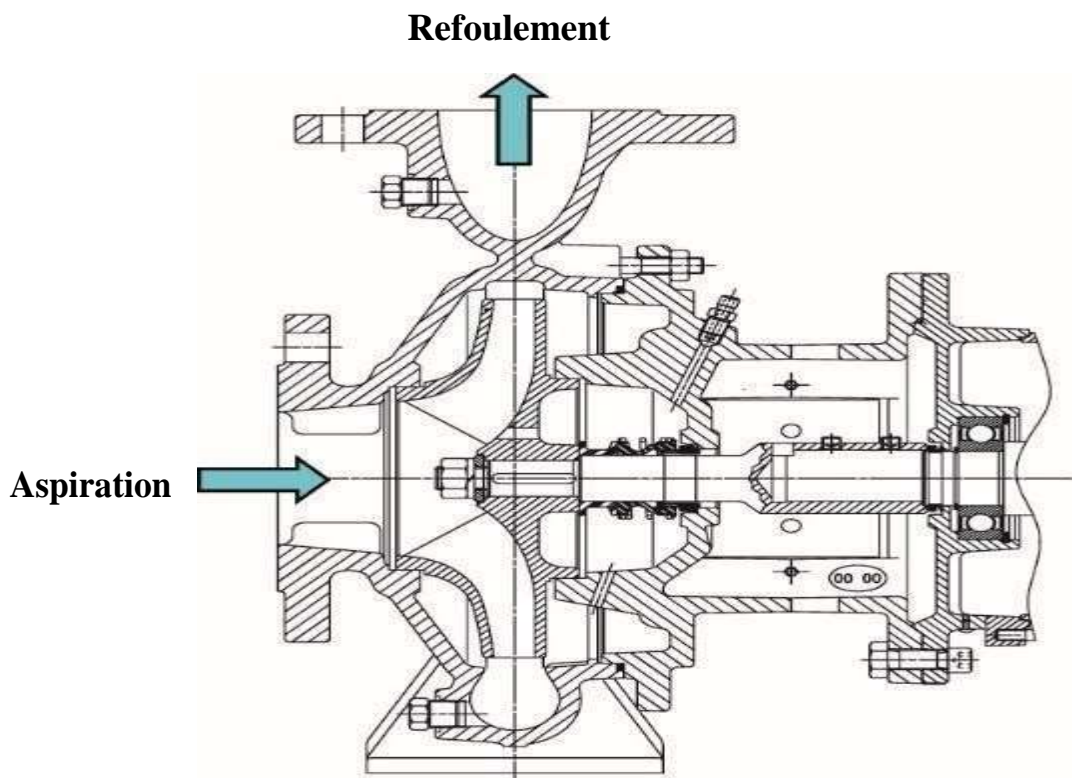


Figure II.2 : Vue d'intérieur d'une pompe centrifuge. [4]

II.2.4. Classification des pompes centrifuges [5]

On peut classer les pompes selon deux manières :

- de point de vue construction.
- de point de vue fonctionnement

De point de vue construction

- Les pompes à axe horizontal, vertical, oblique.
- Les pompes à simple effet, à double effet.

De point de vue fonctionnement

- Pompes centrifuge radiale.
- Pompes semi axiales.
- Pompes axiales.

II.2.5. Paramètres d'une pompe centrifuge : [4]

Les principales courbes qui caractérisent une pompe centrifuge et qui expriment ses performances sont : (le diagramme $H(Q)$)

-Le débit Q correspond au volume débité au refoulement de la pompe par unité de temps.

-La hauteur manométrique totale H d'une pompe appelée aussi parfois « colonne de fluide », correspond au travail mécanique fourni au fluide refoulé par unité de poids.

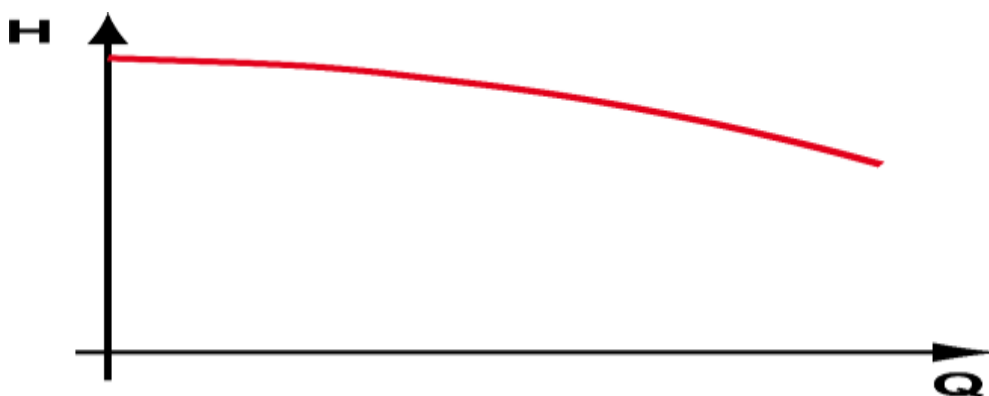


Figure II.3 : Diagramme $H(Q)$. [4]

Le débit :

Le débit est la quantité de matière (exprimé par une masse ou un volume) qui passe à chaque unité de temps à travers cette section. Si on choisit d'exprimer la quantité de matière, alors on parlera de débit massique. Si on choisit un volume on parlera de débit volumique. On notera Q_m le débit massique et Q_v

le débit volumique.

Débit volumique Q_v :

Le débit volumique « Q_v » caractérise la quantité de liquide qui passe à travers une section donnée (section de refoulement) « S » par unité de temps « t ».

Cette quantité de liquide est aussi caractérisée par la vitesse de passage à travers cette section.

$$Q_v = V.S$$

Débit massique :

On obtient la relation entre le débit massique et le débit volumique $Q_m = Q_v * \rho$

HMT (hauteur manométrique total) :

L'énergie que fournit la pompe au liquide se présente sous deux formes :

- **L'énergie de pression** : correspond à l'augmentation de la pression de la pompe.
- **L'énergie cinétique** : Correspond de la vitesse du liquide entre l'aspiration et le refoulement.

La HMT s'exprime en mètre de liquide sous la formule suivante :

$$HMT = \frac{p_r - p_a}{\gamma} + \frac{v_r^2 - v_a^2}{2g} + z(m) \quad (I.1)$$

p_r : la pression de refoulement mesuré par le manomètre (bar)

p_a : la pression d'aspiration mesurée par le vacuomètre (bar)

v_r : vitesse de l'eau au refoulement (m/s)

v_a : la vitesse de l'eau à l'aspiration (m/s)

z : la différence de niveau entre le manomètre et le vacuomètre (m)

Dans de nombreux cas la différence d'énergie cinétique est négligeable au regard de l'augmentation de la pression.

Puissance absorbée (puissance mécanique d'entrée) : [6]

$$p_a = \frac{2\pi \cdot n \cdot c}{60} \quad (II.2)$$

c : couple (N.m)

n : vitesse de rotation du moteur (tr/min).

Puissance hydraulique (puissance utile) : [7]

La puissance hydraulique (P_{hyd}) est la puissance fournie au fluide par la pompe. Elle est égale à la puissance utile (P_u) fournie par le moteur.

$$P_{hyd} = P_u = \omega * Q * H \quad (II.3)$$

ω : poids volumique de l'eau (N/m).

Q : débit (m³/s).

H : hauteur (m).

Rendement global [3]

Le rendement global permet de quantifier la transformation de l'énergie électrique en énergie hydraulique. Il s'exprime en %.

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} = ((9.81 * Q * H) / P_a) * 100 \quad (II.4)$$

P_a : puissance absorbée (w)

P_u : puissance utile (w)

II.2.6. Courbe caractéristique et point de fonctionnement

La courbe caractéristique d'une pompe détermine le développement de la hauteur en fonction du débit. La courbe du réseau (également appelée caractéristique du circuit) représente l'énergie par unité de poids H ou encore l'énergie par unité de volume Δp à fournir au fluide pour le faire circuler avec un débit Q_v . Elle tient donc compte de l'élévation éventuelle du fluide, et des pertes de charge dans le circuit de refoulement, comme illustré sur la figure ci-dessous. L'intersection de la courbe du réseau et de la caractéristique de la pompe définit le point de fonctionnement et donc le débit nominal.

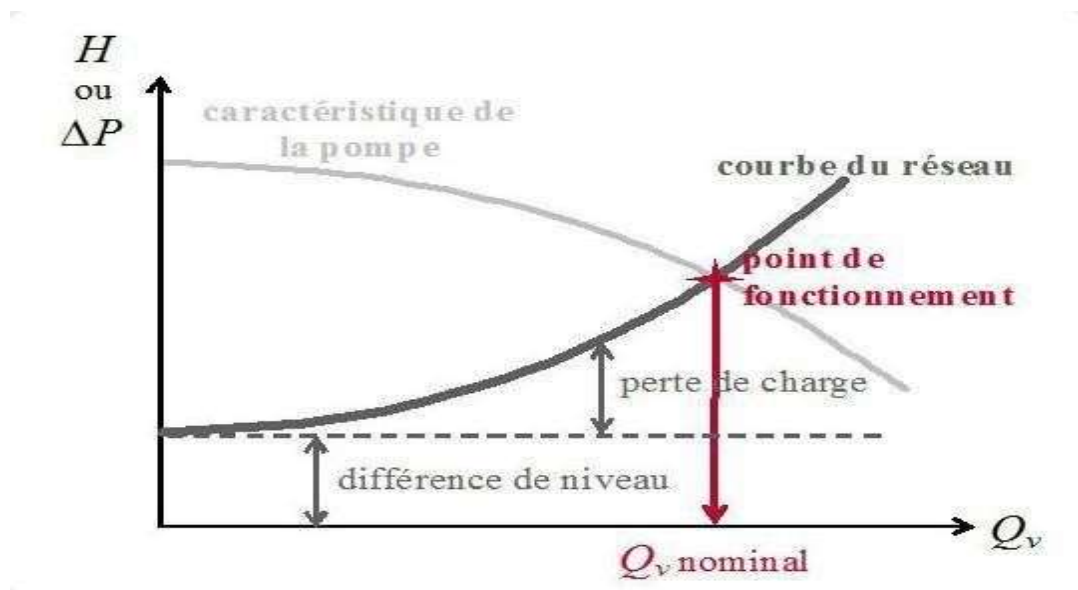


Figure II.4 : Courbe caractéristique d'une pompe centrifuge

II.2.7. Méthode de réglage du débit d'une pompe centrifuge [8]

Dans le domaine industriel, il existe de nombreuses méthodes pour changer les caractéristiques d'une pompe par la variation du débit.

a) Vanner au refoulement de la pompe

En fermant partiellement la vanne au refoulement de la pompe, vous augmentez artificiellement les pertes de charge dans le circuit et réduisez le débit de la pompe centrifuge.

Acceptable voilà quelques années, cette solution va transformer une partie de l'énergie électrique investie dans le moteur en friction sur la vanne.

Cette solution énergivore n'est donc plus à conseiller aujourd'hui où le rendement de votre poste de relevage doit être le plus élevé possible.

b) L'installation d'un variateur de fréquence

Avec la chute des prix des composants électriques, de nombreuses pompes centrifuges peuvent être équipées de variateur de fréquence à moindre frais. En réduisant la fréquence alimentant le moteur couple à la pompe, on réduit la vitesse de rotation de la pompe et donc le débit de celle-ci.

En supposant que le rendement reste constant, lorsque la vitesse varie on peut considérer :

1. Q (débit) proportionnelle à Ω

2. HMT proportionnelle à Ω^2 c) **Le rognage de la roue**

Le diamètre de la roue centrifuge de la pompe influence directement la pression et donc le débit de la pompe. En rognant ce diamètre, on réduit le débit de la pompe pour une même vitesse de rotation du moteur. C'est une solution qui peut être économique, bien que demandant le démontage de la roue et son usinage par un atelier équipé de ce type de machine. C'est également une solution irréversible et peu conseillée si la pompe centrifuge est auto-amorçante. En effet, dans cette configuration, le rognage de la roue va réduire la capacité d'amorçage. C'est une solution qui devra être répétée à chaque changement de roue, sans l'oublier à la commande de la pièce détachée.

Remarque :

La variation de la vitesse des moteurs asynchrone est la méthode la plus utilisée pour régler le débit d'une pompe centrifuge, grâce à sa construction simple et sa robustesse.

Au cours de cette partie nous présentons les différents procédés de variation de vitesse de ce type de moteur.

II.2.8. La pompe utilisée

On a utilisé La pompe raccorderia :

| Puissance | Tension | Fréquence |
|-----------|---------|-----------|
| 22Kw | 400/690 | 50Hz |

tableau II.1 : caractéristique électrique



Figure II.5 : Plaque signalétique de la pompe raccorderia.

II.3 Définition du moteur asynchrone triphasé a cage d'écureuil

Le moteur asynchrone triphasé transforme l'énergie électrique en énergie mécanique , il est extrêmement robuste et plus répandu dans l'industrie vu sa simple constitution, sa fiabilité, son faible coût, sa simplicité de construction et sa réversibilité en fonctionnement.

II.3.1. Principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone cage d'écureuil :

Il est constitué de trois enroulements décalés géométriquement de 120° l'un de l'autre, ils sont alimentés chacun par une phase d'un réseau triphasé alternatif.

Les courants alternatifs qui parcourent les enroulements statoriques produisent un champ magnétique tournant à une vitesse (Ω_s) appelé vitesse de synchronisme.

Les courants rotorique induit crée un champ magnétique tournant à une vitesse (Ω_r) appelé vitesse rotorique qui est légèrement inférieure à la vitesse de synchronisme.

On définit le rapport relative comme étant le glissement :

$$\frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega} = g$$

Ω_s : vitesse de synchronisme (rad/s)

Ω : vitesse rotorique (rad/s)

g : glissement

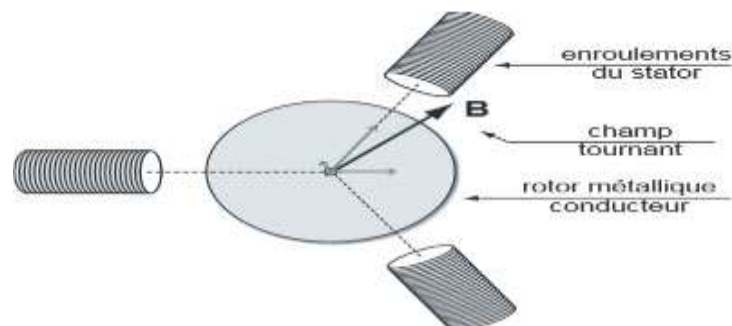


Figure II.6 : champ magnétique tournant

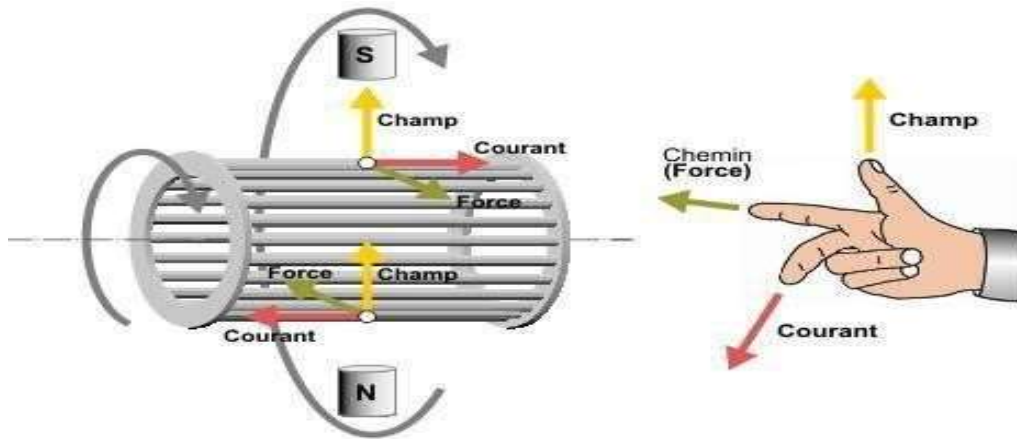


Figure II.7 : Schéma représentant le principe de fonctionnement d'un moteur asynchrone à cage.



Figure II.8: Moteur asynchrone Weg 21.

II.4. Constitution de la machine asynchrone a cage

La machine asynchrone est composée de deux composantes principales, une partie fixe appelée stator et une partie tournante appelée rotor :

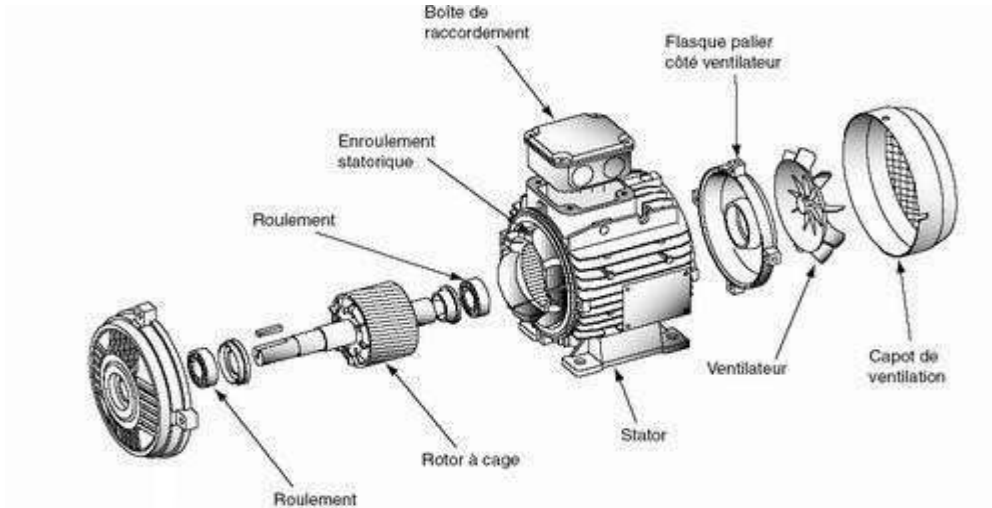


Figure II.9 : Eléments de constitution d’une MAS à cage d’écureuil.

II.4.1. Le stator

C’est la partie stationnaire d’un moteur électrique ou d’un alternateur, il comporte une carcasse en acier renfermant un empilage de tôles identiques qui constituent un cylindre vide, ces tôles sont percées de trous à leurs périphéries intérieures. L’alignement de ces trous forme des encoches dans lesquels on loge un bobinage triphasé. Ces tôles sont isolées entre elles par oxydation pour les moteurs de petites et moyennes puissances ou par un verni pour les moteurs de grandes puissances.



Figure II.10 : Stator avec bobinage. **Figure II.11 :** Stator sans bobinage.

II.4.3. Le rotor à cage d'écureuil

L'enroulement à cage d'écureuil est constitué de barres de cuivre nues introduites dans les encoches. Ces barres sont soudées à chaque extrémité à deux anneaux qui les court-circuitent, l'ensemble ressemble à une cage d'écureuil.

Dans les moteurs de petites et moyennes puissances, les barres et les anneaux sont formés d'un seul bloc d'aluminium coulé.

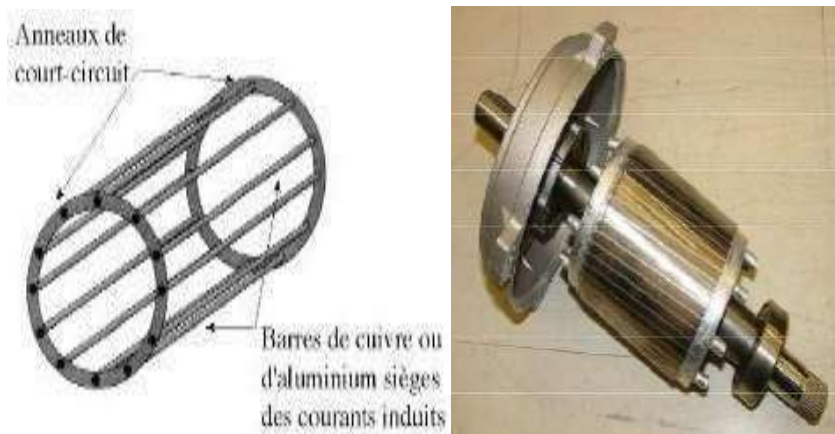


Figure II.12 : Exemple de rotor d'une MAS

II.5. Plaque a bornes :

C'est sur la plaque a bornes situées dans la boîte a bornes, que sont raccordés les enroulements du moteur. C'est également sur cette plaque que vient de raccordés l'alimentation du moteur.

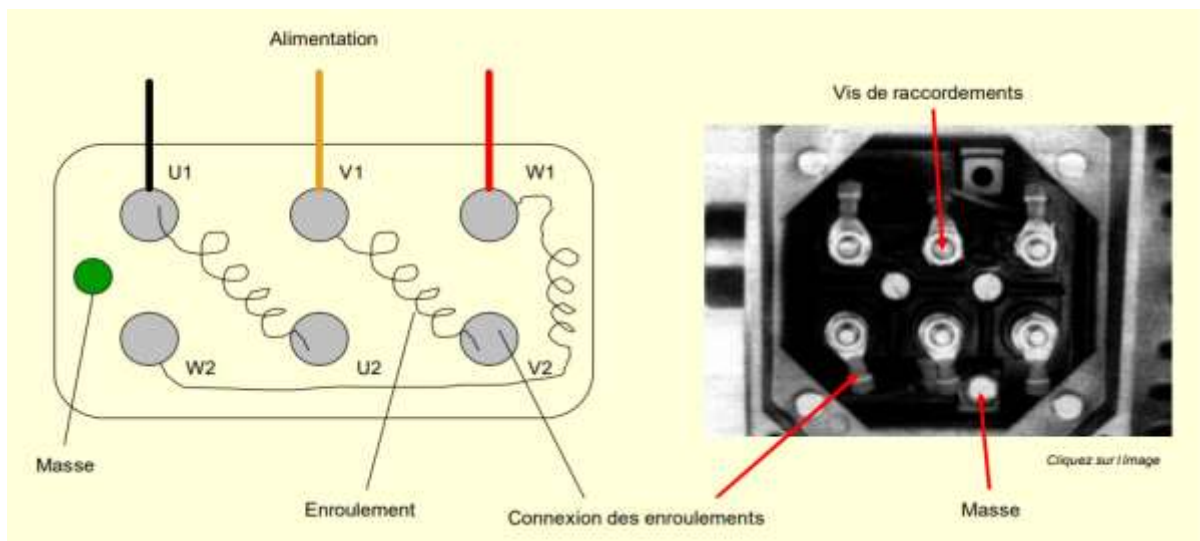


Figure II.13 :Plaque a bornes du moteur

II.6. Couplage des enroulements

Le couplage des enroulements statoriques du moteur asynchrone peut se faire de deux manières différentes selon la tension du réseau ou celle que peuvent supporter l'enroulement, ce qui lui permet de marcher sous deux tensions différentes.

Le couplage est réalisé par une connexion, à l'aide de barrettes, sur la plaque à bornes pour déterminer le couplage des enroulements statoriques il faut :

- Connaître la tension sous laquelle il doit être alimenté.
- Regarder sur la plaque signalétique la tension voulue est lire le couplage qui doit être fait.

II.6.1. Couplage triangle

Lorsque la tension entre-phase (composée) du réseau d'alimentation est égale à la tension de fonctionnement la plus basse.

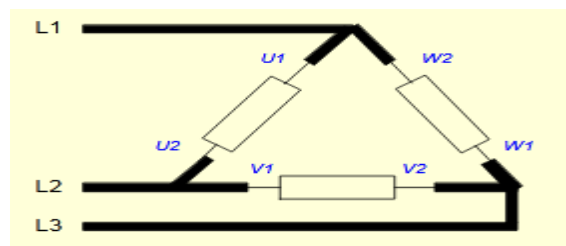


Figure II.14 : Schéma de couplage en triangle.

II.6.2. Couplage Etoile :

Lorsque la tension entre phase du réseau d'alimentations est égale à la tension de fonctionnement la plus élevée.

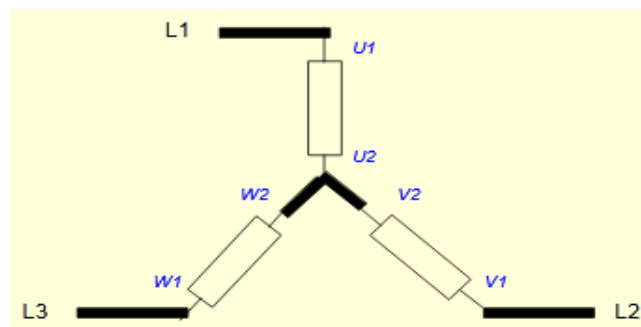


Figure II.15 : Schéma de couplage en étoile.

Hypothèse simplificatrice :

La modélisation de la machine asynchrone s'appuie sur un certain nombre d'hypothèses simplificatrices, qui sont :

- Les circuits magnétiques sont symétriques.
- La répartition de l'induction dans l'entrefer est sinusoïdale.
- L'entrefer est constant.
- On néglige les phénomènes de saturation, ce qui permet de considérer le flux magnétique comme fonction linéaire des courants.
- L'effet de l'encoche est négligeable.
- L'influence de l'effet de peau et de l'échauffement sur les caractéristiques n'est pas prise en compte.

II.7. Caractéristiques et équations principales du moteur

Les trois types d'équation qui régissent le moteur asynchrone triphasé sont :

II.7.1. Equations électriques

- **Equations de tension du stator et du rotor :**

En désignant par :

$$V_{sa} = R_s * I_{sa} + \left(\frac{d\Phi_{sa}}{dt}\right) \quad (\text{II.7})$$

$$V_{ra} = R_r * I_{ra} + \left(\frac{d\Phi_{ra}}{dt}\right) \quad (\text{II.10})$$

$$V_{sb} = R_s * I_{sb} + \left(\frac{d\Phi_{sb}}{dt}\right) \quad (\text{II.8})$$

$$V_{rb} = R_r * I_{rb} + \left(\frac{d\Phi_{rb}}{dt}\right) \quad (\text{II.11})$$

$$V_{sc} = R_s * I_{sc} + \left(\frac{d\Phi_{sc}}{dt}\right) \quad (\text{II.9})$$

$$V_{rc} = R_r * I_{rc} + \left(\frac{d\Phi_{rc}}{dt}\right) \quad (\text{II.12})$$

V_{sa}, V_{sb}, V_{sc} : tensions appliquées aux trois phases statoriques.

I_{sa}, I_{sb}, I_{sc} : courants qui traversent les trois phases statoriques.

$\Phi_{sa}, \Phi_{sb}, \Phi_{sc}$: flux totaux à travers ses enroulements.

V_{ra}, V_{rb}, V_{rc} : tensions rotoriques.

I_{ra}, I_{rb}, I_{rc} : courants rotoriques.

II.7.2. Equations magnétiques

Les hypothèses simplificatrices citées antérieurement conduisent à des relations linéaires entre les flux et les courants de la machine asynchrone, ses relations s'écrivent matriciellement comme suit Pour le stator :

$$\begin{bmatrix} \Phi_{sa} \\ \Phi_{sb} \\ \Phi_{sc} \end{bmatrix} = [Ls] * \begin{bmatrix} isa \\ isb \\ isc \end{bmatrix} + [Msr] * \begin{bmatrix} ira \\ irb \\ irc \end{bmatrix} \quad (II.13)$$

Pour le rotor :

$$\begin{bmatrix} \Phi_{ra} \\ \Phi_{rb} \\ \Phi_{rc} \end{bmatrix} = [Lr] * \begin{bmatrix} ira \\ irb \\ irc \end{bmatrix} + [Mrs] * \begin{bmatrix} isa \\ isb \\ isc \end{bmatrix} \quad (II.14)$$

Tel que : $[Msr] = [Mrs]^T$

On désigne par :

$[Ls]$: Matrice des inductances statoriques.

$[Lr]$: Matrice des inductances rotoriques.

$[Msr]$: Matrice des inductances mutuelles statoriques.

$[Mrs]$: Matrice des inductances mutuelles rotoriques. Où :

$$[Ls] = \begin{bmatrix} Ls & Ms & Ms \\ Ms & Ls & Ms \\ Ms & Ms & Ls \end{bmatrix} \quad (II.15)$$

$$[Lr] = \begin{bmatrix} Lr & Mr & Mr \\ Mr & Lr & Mr \\ Mr & Mr & Lr \end{bmatrix} \quad (II.16)$$

Ainsi :

$$[Msr] = [Mrs]^t = M \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (II.17)$$

θ : Angle électrique définit la position relative instantanée entre les axes rotoriques et les axes statoriques qui sont choisis comme axes de références.

L_s : Matrice des inductances statoriques.

L_r : Matrice des inductances rotoriques.

l_s : Inductance propre d'une phase statorique.

l_r : Inductance propre d'une phase rotorique.

M_s : Inductance mutuelle entre phases statoriques.

M_r : Inductance mutuelle entre phases rotoriques.

M_{sr} : Inductance mutuelle entre stator et rotor.

II.7.3. Equation mécanique

L'étude des caractéristiques de la machine asynchrone fait introduire de la variation non seulement des paramètres électriques (tension, courant, flux) mais aussi des paramètres mécaniques (couple, vitesse).

$$C_e = P[is(abc)]^T \frac{d}{dt} [M_{sr}][ir(abc)] \quad (\text{II.18})$$

Pour avoir un modèle complet de la machine il nécessite d'introduire l'équation du mouvement de la machine est exprimée comme suivant :

$$j \frac{d}{dt} \Omega_r = C_e - C_r \quad (\text{II.19})$$

J : Moment d'inertie des masses tournantes.

C_r : Couple résistant imposé à l'arbre de la machine.

Ω_r : Vitesse rotorique.

C_e : Couple électromagnétique.

II.7.4. Vitesse de synchronisme

La vitesse de synchronisme est directement conditionnée par la fréquence du courant et le nombre de paires de pôle du moteur. Elle correspond à la vitesse de rotation du champ tournant créé par les enroulements. Elle est donnée par la relation :

$$n_s = \frac{60f}{p}$$

f : fréquence d'alimentation en HZ.

P : nombre de pair de pole par phase.

n_s : vitesse de rotation en (tr/min).

II.7.5. Le glissement et la vitesse de glissement

Le moteur est dit asynchrone car il est impossible au rotor d'atteindre la même vitesse que le champ statorique : la différence entre la vitesse synchrone et la vitesse du rotor est appelée la vitesse de glissement ng :

$$\text{On a: } ng = n_s - n \quad (\text{II.20})$$

Par ailleurs le glissement (g) d'un moteur asynchrone est la différence de vitesse entre la vitesse synchrone et celle du rotor exprimée relativement à la vitesse synchrone on peut

l'écrire :

$$g = \frac{(n_s - n)}{n_s} \quad (\text{II.21})$$

g : le glissement.

n_s : vitesse synchrone.

n : vitesse de rotor.

II.7.6. Bilan de puissance du MAS

a) Puissance absorbée P_a

Le moteur reçoit la puissance électrique $P_a = \sqrt{3} * U * I * \cos(\varphi)$ quelque-soit le couplage. Cette puissance est transmise au stator de la machine qui est le siège de deux types de pertes.

c) Pertes par effet joule au stator P_{js}

Si le moteur est couplé en étoile :

$$P_{js} = 3 * r * I^2$$

Si le moteur est couplé en triangle :

$$P_{js} = r * I^2$$

Quel que soit le couplage du stator, les pertes par effet joules sont :

$$P_{js} = (3/2) * R * I^2$$

c) Pertes fer au stator P_{fs}

Ces pertes ne dépendent que de la tension U et de la fréquence f , elles sont considérées comme constantes si le moteur est branché sur le réseau triphasé.

d) Puissance transmise au rotor P_{tr}

Cette puissance est transmise du stator au rotor :

$$\text{On a: } P_{tr} = P_a - (P_{js} + P_{fs})$$

Cette puissance P_{tr} crée le couple électromagnétique : $c_{em} = \left(\frac{P_{tr}}{\Omega_s}\right)$.

P_{tr} : en [W].

Ω_s : en [rad/s].

c_{em} : en [N.m].

e) Les pertes fer P_{fr} et les pertes joules P_{jr} au rotor

Les pertes fer au rotor sont souvent négligeables, elles sont faibles en fonctionnement normal car la fréquence rotorique est petite : $P_{fr} \approx 0$

Les pertes par effet Joule au rotor sont donnée par : $P_{jr} = g * P_{tr}$.

f) La puissance électromagnétique

Le rotor, tournant à la vitesse Ω , est soumis à un couple électromagnétique T_{em} et reçoit par conséquent une puissance électromagnétique égale à:

$$P_{em} = c_{em} * \Omega \text{ et } c_{em} = \left(\frac{P_{tr}}{\Omega_s}\right) \text{ d'où : } P_{em} = \left(\frac{P_{tr} * \Omega}{\Omega_s}\right).$$

On obtient : $P_{em} = P_{tr} (1 - g)$.

g) Les pertes mécaniques P_{mec} et la puissance utile P_u

Le rotor est fixé à l'arbre du moteur par l'intermédiaire de roulements, il y a donc des pertes mécanique P_{mec} et :

$$P_u = P_{em} - P_{mec}$$

$$P_u = P_{tr} - (P_{jr} + P_{mec}).$$

$$P_u = P_a - (P_{js} + P_{fs} + P_{jr} + P_{mec})$$

h) Le rendement

C'est le rapport entre la puissance utile et la puissance absorbée. Le rendement (η) du moteur asynchrone est donnée alors par :

$$\eta = \frac{p_u}{p_a}$$

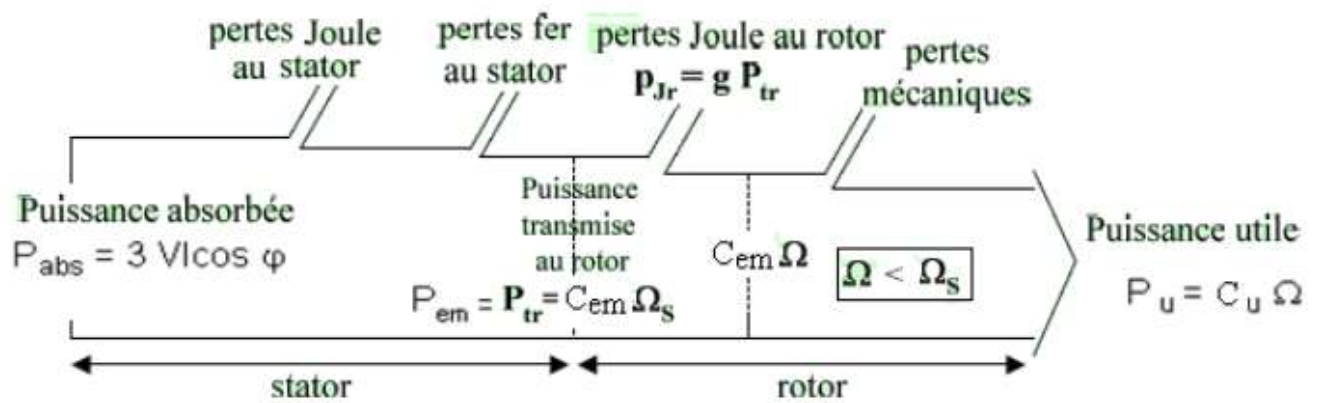


Figure II.16 : Le bilan de puissance d'un MAS.

II.8. Plaque signalétique

Chaque machine électrique dispose d'une plaque signalétique qui constitue une sorte de carted'identité du moteur.

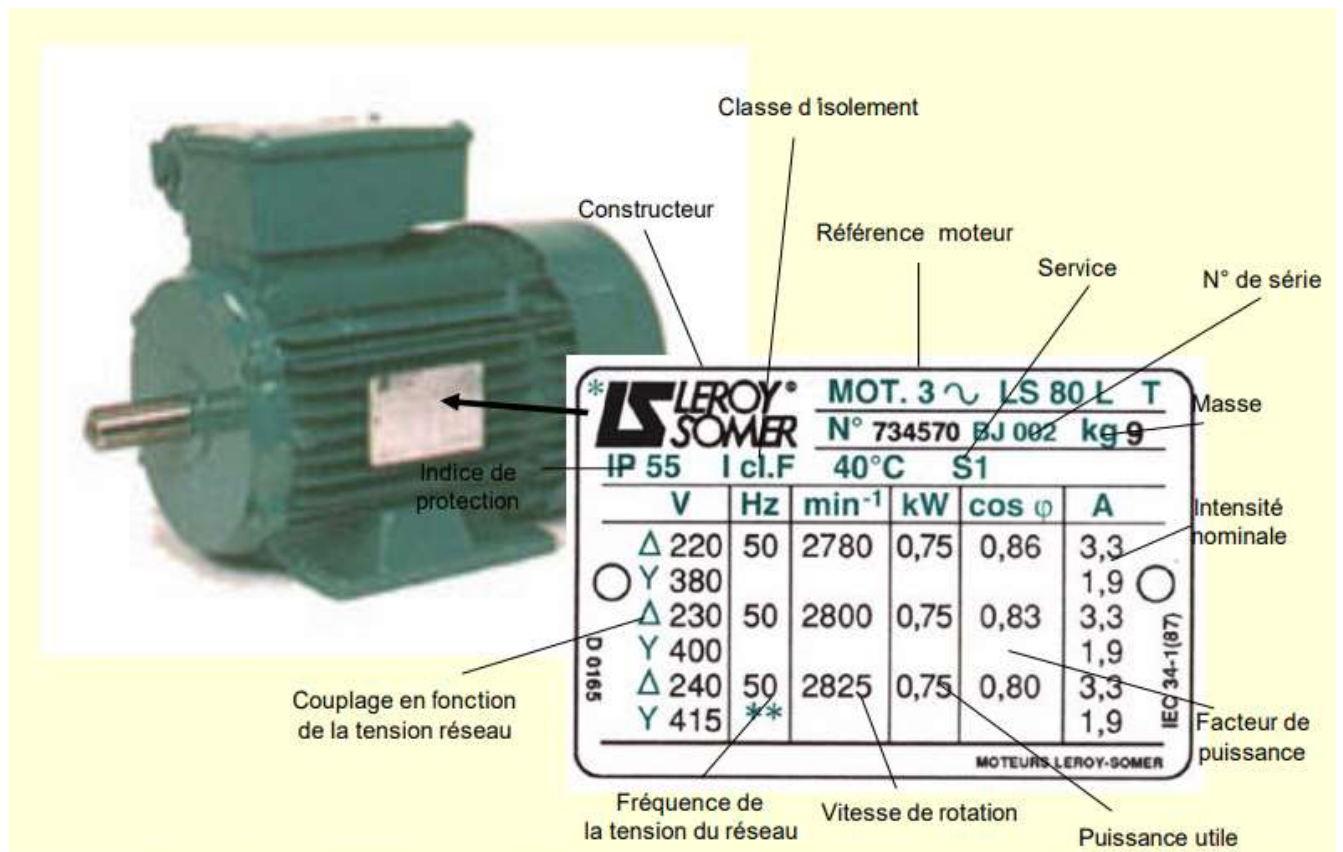


Figure II.17 : plaque signalétique d'un MAS.

Le moteur utilisé

On a utilisé un moteur asynchrone à cage d'écureuil Weg21 de 22Kw :



Figure II.18 : Plaque signalétique du moteur Weg21.

II.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons commencé par présenter la pompe en général, après en a détails sur la pompe centrifuge. Ensuite nous avons présenté le moteur asynchrone à cage d'écureuil (principe de fonctionnement, constitutions, mode de couplage, bilan de puissance).

Dans notre cas, on a choisi une pompe centrifuge raccordia de 22Kw et un moteur asynchronea cage d'écureuil Weg21 de 22KW.

Chapitre III

Variateur de fréquence

III.1. Introduction

Pour démarrer les moteurs électriques et contrôler leur vitesse, les démarreurs rhéostatiques, les variateurs mécaniques et les groupes tournants ont été les premières solutions. Les démarreurs et variateurs électroniques se sont imposés par la suite dans l'industrie comme la solution moderne, économique, fiable et sans entretien. Les progrès de l'électronique de puissance et de la microélectronique ont permis la réalisation de convertisseurs de fréquence fiables et économiques. Dans ce chapitre nous présentons ce convertisseur, son principe de fonctionnement, ses différentes parties (redresseur, filtre, onduleur),

III.2. Convertisseur de fréquence

La solution qui paraît, a priori, la plus simple pour faire varier la vitesse d'un moteur asynchrone est celle qui consiste à faire varier la fréquence de sa source d'alimentation. Le variateur fournit à partir d'un réseau alternatif à fréquence fixe, une tension alternative triphasée de valeur efficace et de fréquence variable. 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.



Figure III.1 : Convertisseur de fréquence Schneider.

III.3. Principe

Il consiste à fournir au moteur une onde de tension à amplitude et fréquence variables, en maintenant le rapport tension / fréquences en sublimant constant.

La tension d'alimentation est en relation directe avec la fréquence. Ce fonctionnement est souvent nommé fonctionnement à U/f constant ou fonctionnement scalaire.

III.4. Schéma fonctionnel

Pour mieux comprendre le fonctionnement général d'un convertisseur de fréquence nous allons nous intéresser maintenant à sa composition. Un convertisseur de fréquence est composé d'un redresseur, d'un filtre, d'un onduleur selon les besoins. Nous allons étudier chacune de ces différents composants en détails.

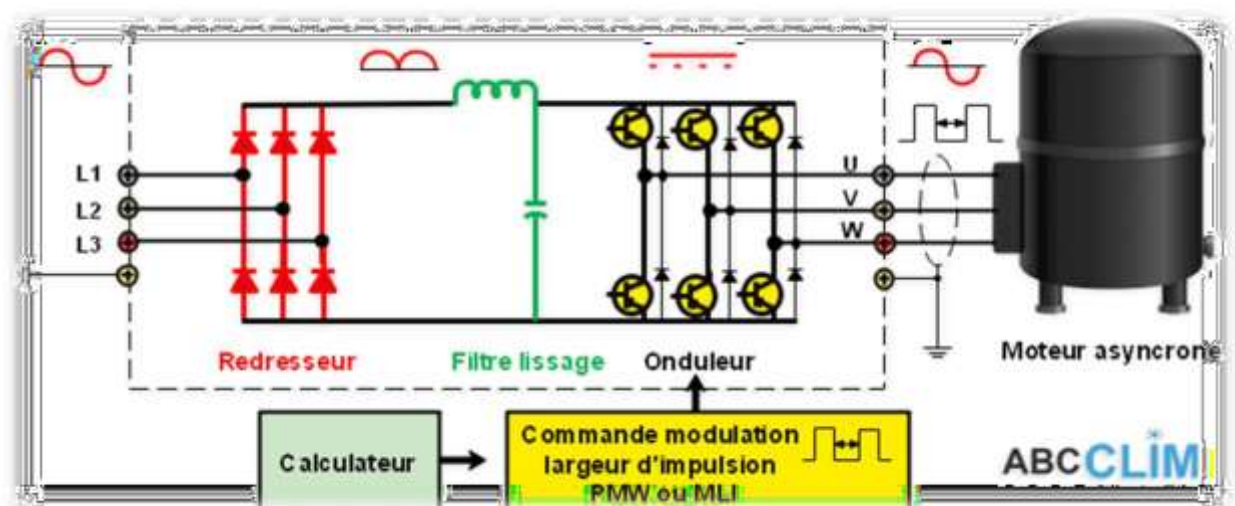


Figure III.2 : Schéma fonctionnel d'un convertisseur de fréquence

III.5. Fonctions des composants d'un convertisseur de fréquence

III.5.1. Redresser

Ce sont des convertisseurs alternatif-continu qui permettent de convertir une tension alternative en une tension continue unidirectionnelle, peut être non commandé ou commandé. En pratique, il est difficile d'obtenir une tension de sortie parfaitement continue, ce qui donne en général une tension continue comportant une ondulation. [10]



Figure III.3 : Redresseur.

Cette opération se réalise par l'utilisation :

- Soit par des diodes, le redresseur est « non-commandé »
- Soit par des thyristors, alors le redresseur est « commandé »

Dans notre étude nous nous intéressons à l'étude des redresseurs non commandé de type parallèle double alimenté par une source de tension alternative triphasée.

Montage parallèle double :

Les redresseurs parallèles double (en pont) sont constitués de deux commutateurs un plus positif et l'autre plus négatif.

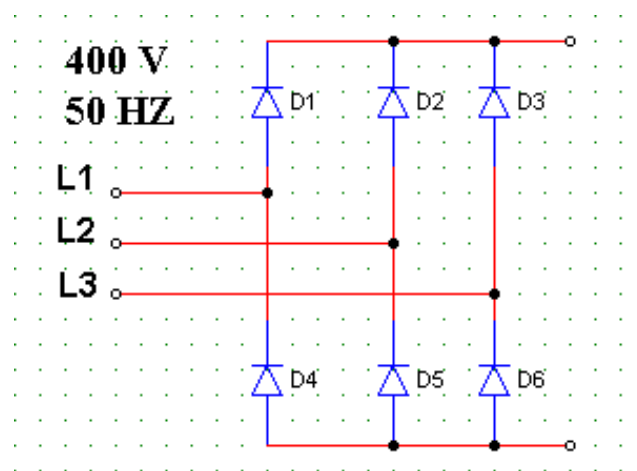


Figure III.4 : Redresseur triphasé a pont de diode PD3

III.5.2. Circuit intermédiaire (Filtre)

Le circuit intermédiaire joue le rôle d'un circuit de transition entre le redresseur et l'onduleur, sa fonction consiste à diminuer les variations résiduelles du système de redressement ou autres causes. Il est constitué d'une inductance montée en série avec un condensateur.

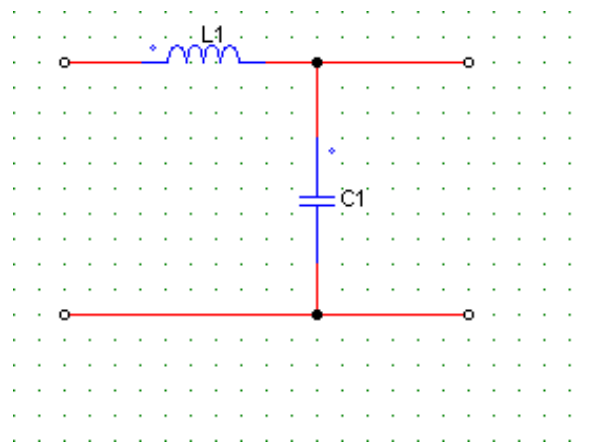


Figure III.5 : Structure de filtre.

III.5.3. Onduleur

L'onduleur constitue la dernière partie du variateur de fréquence. Il s'agit d'un convertisseur statique continu-alternatif (DC/AC), permettant de fabriquer une source de trois tensions alternatives à partir d'une source de tension continue.

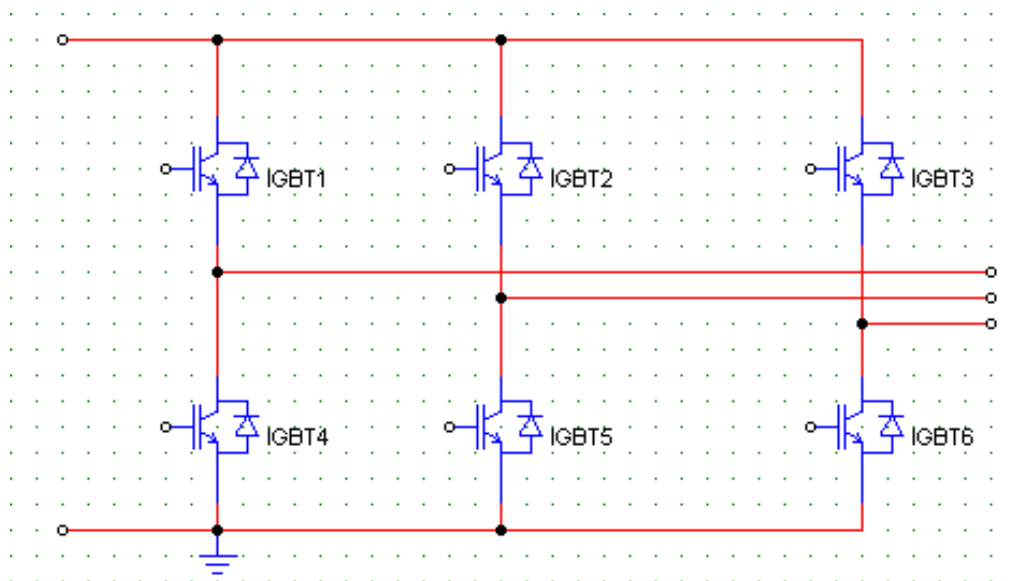


Figure III.6 : Structure d'un Onduleur.

L'onduleur est composé de semi-conducteurs (en général des IGBT et des diodes de roue libre associées) disposés par paires en trois bras.

La tension continue est généralement obtenue par le redresseur triphasé à diodes suivi d'un filtrage par le circuit intermédiaire.

L'onduleur est très utilisé en commande à MLI pour l'alimentation des récepteurs triphasés équilibrés à tension et fréquence variables.

III.6. Modulation à largeur d'impulsion (MLI)

III.6.1. Définition de modulation à largeur d'impulsion (MLI)

Elle consiste à changer la largeur des impulsions de tension de sortie avec des commandes appropriées des interrupteurs à semi-conducteurs.

III.6.2. Intérêt de modulation à largeur d'impulsion (MLI) dans le variateur de fréquence

La tension de sortie générée est obtenue par découpage de la tension moyenne d'impulsions dont la durée, donc la largeur est modulée de telle manière que le courant alternatif résultant soit aussi sinusoïdal que possible.

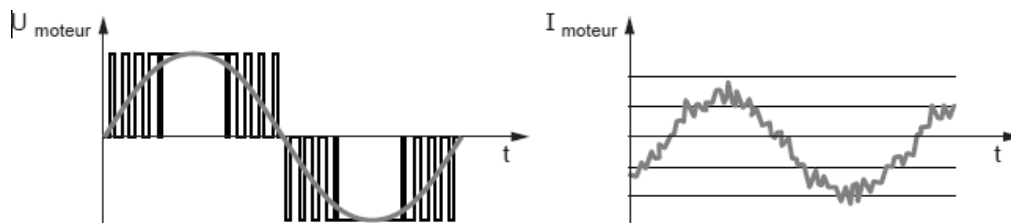


Figure III.7 : Modulation à largeur d'impulsion

III.7. Critères de choix d'un variateur

Critères de choix d'un variateur de fréquence à installer pour les moteurs asynchrones sont nombreux ;

III.7.1. Facture technique

- La tension du réseau d'alimentation.
- La puissance et la vitesse nominale.
- Type de rotor de moteur (bobiné ou cage).
- Type de variation de la vitesse (régime permanent ou intermittent).

- Les contraintes d'installation (place disponible, degrés de protection).
- Type de machine entraînée (inertie, caractéristique de couple résistant selon la vitesse).

III.7.2. Facture économique

Un critère essentiel est bien sûr le coût total d'investissement de l'entraînement comprenant le coût du variateur, du moteur et de leur installation.

Le coût d'exploitation de l'entraînement (maintenance, coût d'indisponibilité) est un critère économique supplémentaire de choix.

III.8. Choix du variateur

Nous allons donc choisir Altivar 61 (22KW, 30 CV, 500V) comme variateur de fréquence associé au moteur asynchrone utilisé, répondant bien aux exigences du processus. Comme il présente plus d'options et d'applications.



Figure III.8 : plaque signalétique du variateur de fréquence.

III.9. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté en général les convertisseurs de fréquence (principe, ses différentes parties, Critères du choix).

Parmi les convertisseurs de fréquence utilisés pour la variation de la vitesse des moteurs asynchrones, on a choisi le montage redresseur-onduleur de tension à M.L.I, car c'est une technologie de référence pour toutes les applications industrielles de faible et moyenne puissance.

Dans notre cas, nous avons choisi ALTIVAR 61 qui est adapté à notre système avec une gamme de puissance de 22KW.

Chapitre IV

Régulation PID

IV.1. Introduction :

La majorité des processus industriels nécessitent de contrôler un certain nombre de paramètres : température, pression, niveau, débit, vitesse, etc.

Il appartient à la chaîne de régulation (et plus généralement à la chaîne d'asservissement) de maintenir à des niveaux prédéterminés les paramètres qui régissent le fonctionnement du processus.

Le régulateur standard le plus utilisé dans l'industrie est le régulateur PID (proportionnel intégral dérivé).

IV.2. Définition de la régulation :

La régulation est l'action de régler automatiquement une grandeur de telle sorte que celle-ci garde constamment sa valeur ou reste proche de la valeur désirée, quelles que soient les perturbations qui peuvent subvenir.

IV.3. Eléments constituant une boucle de régulation

Elle doit comporter au minimum les éléments suivants :

- Un capteur de mesure.
- Un transmetteur souvent intégré au capteur.
- Un régulateur ; un actionneur.

Le **régulateur** reçoit deux informations :

- Le signal de mesure provenant du capteur.
- La consigne (qui peut être locale ou externe).

IV.4. Système en Boucle ouverte

En boucle ouverte la valeur de la sortie n'est pas utilisée pour corriger l'erreur. La boucle ouverte ne peut fonctionner que si le modèle du procédé est en absence de perturbations. Pratiquement, beaucoup de phénomènes comme les bruits de fond, perturbations, erreurs de mesure nous empêchent d'utiliser cette dernière.

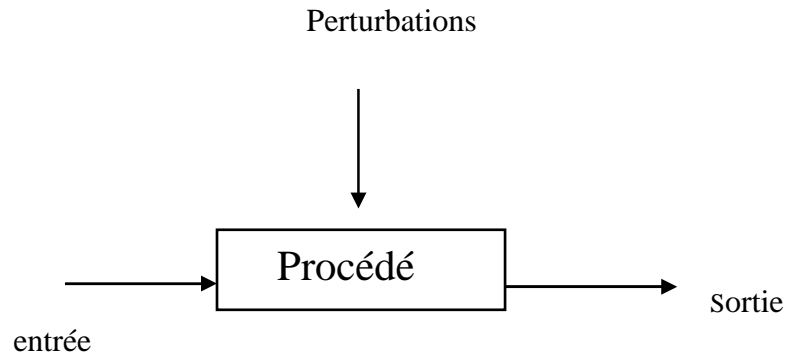


Figure IV.1 : Système en boucle ouverte.

IV.5. Système en boucle fermée

Une boucle est dite fermée si la grandeur de la mesure affecte la grandeur de la correction. La forme de la perturbation est en général imprévisible et l'objectif est de garder la sortie aussi voisine que possible de la consigne désirée et ce quel que soit la perturbation.

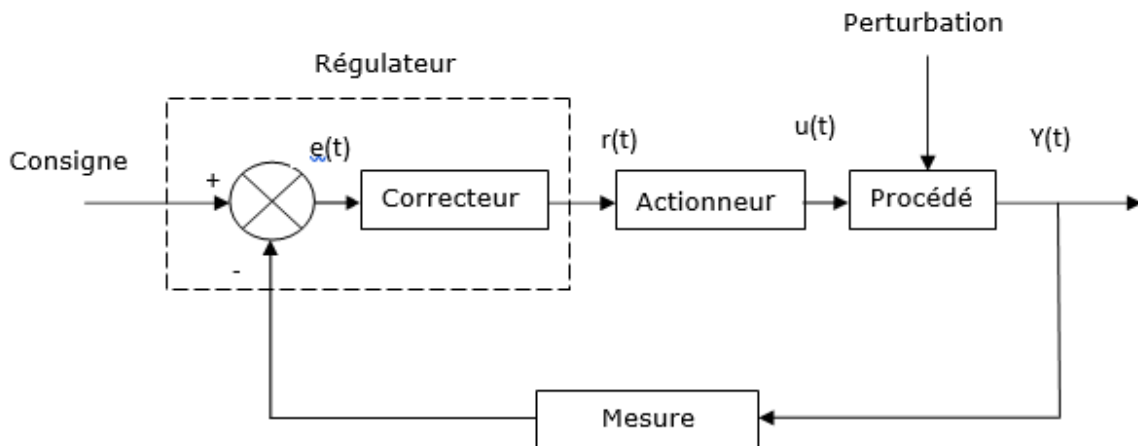


Figure IV.2 : Système en boucle fermée.

IV.6. Principe de fonctionnement d'un régulateur

On mesure la sortie à l'aide d'un appareil de mesure donné, la valeur indiquée par le capteur on la compare à la consigne d'où l'écart : $e = \text{Consigne} - \text{Mesure}$.

La valeur de l'écart est fournie au correcteur principal qui a pour fonction de modifier la valeur de la variable de commande U afin de réduire l'écart e .

Le correcteur n'agit pas directement, mais généralement à travers un actionneur auquel il fournit une valeur r .

L'ensemble du comparateur et du correcteur constitue le système de commande appelé régulateur. Celui-ci peut effectuer aussi bien des actions de régulation que d'asservissement.

IV.7. Régulateur PID

Régulateur PID (Proportionnel, Intégral, Dérivée) C'est un système d'auto régulation (boucle fermée), qui cherche à réduire l'erreur entre la consigne et la mesure. [11]

$$e = \text{consigne} - \text{mesure}$$

Un régulateur PID est obtenu par l'association de ces trois actions et il remplit essentiellement les trois fonctions suivantes :

1. Il fournit un signal de commande en tenant compte de l'évolution rapport à la consigne.
2. Il élimine l'erreur statique grâce au terme intégrateur.
3. Il anticipe les variations de la sortie grâce au terme dérivateur.

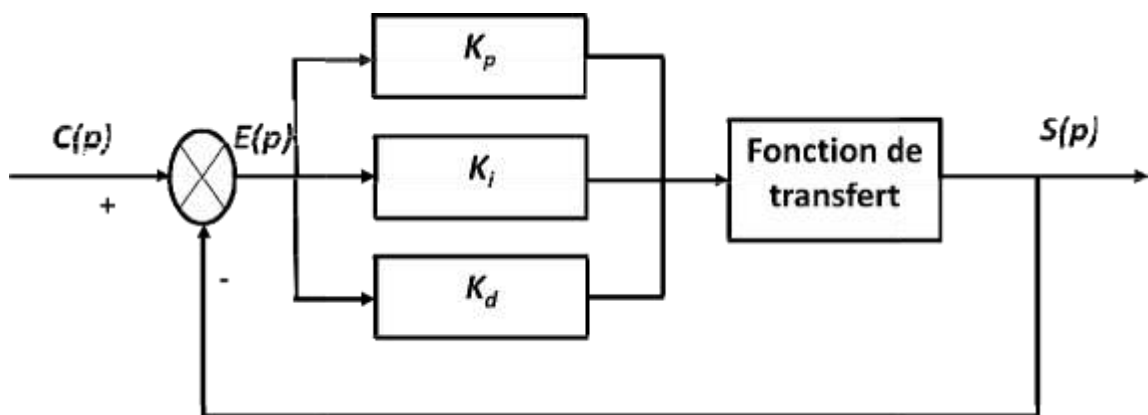


Figure IV.3 : Régulateur PID.

IV.7.1. Actions des corrections P, I, D [12]

Action proportionnelle P

-L'action proportionnelle corrige de manière instantanée, donc rapide, tout écart de la grandeur à régler, elle permet de vaincre les grandes inerties du système.

-Afin de diminuer l'écart de réglage et rendre le système plus rapide, on augmente le gain mais, on est limité par la stabilité du système (dilemme stabilité - précision).

-Le régulateur P est utilisé lorsqu'on désire régler un paramètre dont la précision n'est pas importante, exemple : régler le niveau dans un bac de stockage.

Action Intégrale I

L'action est dite intégrale lorsque le signal de commande est proportionnel à l'intégrale du signal d'erreur. Elle complète l'action proportionnelle. Elle est utilisée lorsqu'on désire avoir en régime permanent, une précision parfaite (écart entre l'entrée et la sortie). Afin de rendre le système plus

dynamique (diminuer le temps de réponse), on diminue l'action intégrale mais, ceci peut provoquer l'instabilité en état fermé.

Action dérivée D

L'action est dite dérivée lorsque le signal de commande est proportionnel à la dérivée du signal d'erreur. L'action dérivée compense les effets du temps mort du processus. Elle a un effet stabilisateur mais une valeur excessive peut entraîner une instabilité. La présence de cette action permet d'augmenter la rapidité du système en augmentant le gain sans être inquiété par la stabilité.

IV.7.2. Différents montages des régulateurs PID [12]

Structure PID série

Fonction de transfert :

$$F.T = K * \left(1 + \frac{1}{T_i P}\right) * (1 + T_d P) \tag{III. 1}$$

Schéma fonctionnel du régulateur PID série

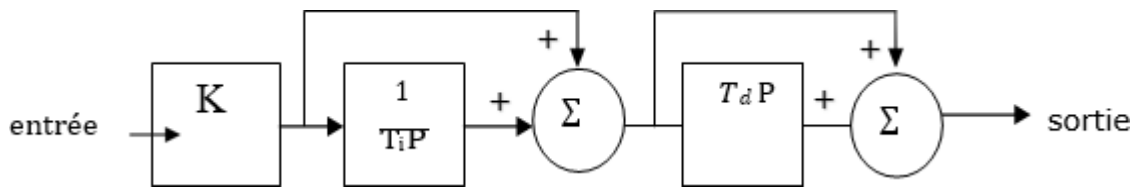


Figure IV.4 : Représentation d'un régulateur PID série par son schéma fonctionnel.

Structure PID parallèle

Fonction de transfert :

$$F.T = K + \frac{1}{T_i P} + T_d P \tag{III. 2}$$

Schéma fonctionnel du régulateur PID parallèle

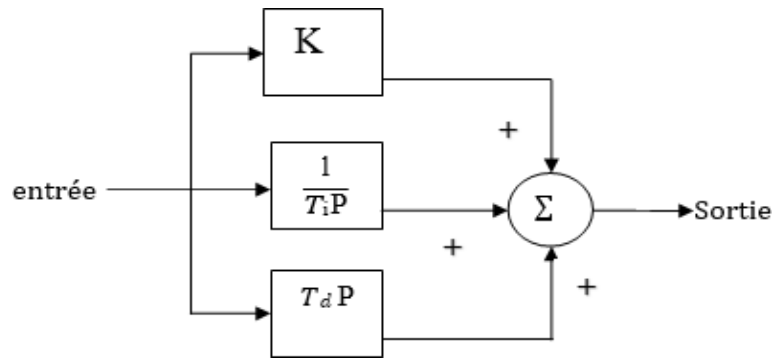


Figure IV.5 : Représentation d'un régulateur PID parallèle par son schéma fonctionnel.

Structure PID mixte

Fonction de transfert

$$F.T=K \left(1 + \frac{1}{T_i P} + T_d P \right) \tag{III.3}$$

Schéma fonctionnel du régulateur PID mixte :

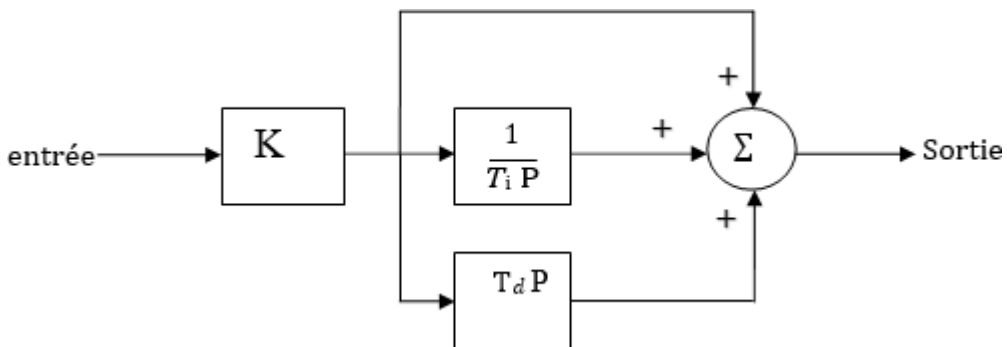


Figure IV.6 : Représentation d'un régulateur PID mixte par son schéma fonctionnel.

IV.8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la régulation en général (définition, éléments qui constituent une boucle, type de boucle, principe de fonctionnement). Ensuite on a détaillé le régulateur PID qu'on a utilisé dans notre travail.

Chapitre V

La schématisation de l'armoire et la programmation du système

Chapitre V : La Schématisation de l'armoire et la programmation du système

V.1. Introduction

Ce dernier chapitre sera consacré à la réalisation de l'armoire électrique de l'installation de la pompe centrifuge, on le schématise grâce au logiciel designspark électrique, ensuite on va programmer notre automate de telle sorte que le moteur pompe fonctionne dans les trois modes (production, CIP, contre-courant) grâce au logiciel XCP PRO.

V.2. Logiciel designspark electrical

C'est un logiciel complet avec des avantages clé qui permet de gagner du temps est d'éviter des erreurs lors de la conception d'un projet d'automatisme et d'installation électrique. Il permet de schématiser des installations électriques automatisées.



V.3. Automate programmable (API)

V.3.1. Définition

C'est un appareil électronique programmable, adapté à l'environnement industriel, qui réalise des fonctions d'automatisme pour assurer la commande de pré-actionneurs et D'actionneurs à partir d'informations logiques, analogiques ou numériques.[9]

V.3.2. Extension analogique AD/DA

C'est un appareil relié à l'automate qui est composé de canal d'entrées et de sorties. Il convertit les entrées analogiques en numériques pour les transmettre à l'automate qui va les analyser. Les résultats seront transmis à l'extension qui va les convertir du numérique à l'analogique pour les canaux de sorties.

Chapitre V : La Schématisation de l'armoire et la programmation du système



Figure V.1 : Automate et extension analogique.

V.3.3. Principe de fonctionnement d'un API

L'API reçoit des données par ses entrées, celles-ci sont ensuite traitées par un programme défini, le résultat obtenu étant délivré par ses sorties. L'automate programmable est géré par l'unité centrale appelée CPU, cette dernière reçoit, mémorise et traite les données entrantes et détermine l'état des données sortantes en fonction du programme établi.

V.4. Structure d'un système automatisé :[9]

Elle est composée de trois parties :

V.4.1. La partie opérative

Elle agit sur la matière d'œuvre (produit) afin de lui donner sa valeur ajoutée. Les Actionneurs (moteurs, vérins) agissent sur la partie mécanique du système qui agit à son tour sur la matière d'œuvre. Les capteurs / détecteurs permettent d'acquérir les divers états du système.

V.4.2. La partie commande

C'est la partie qui donne des ordres de fonctionnement à la partie opérative.

ChapitreV : La Schématisation de l'armoire et la programmation du système

V.4.3. Poste de contrôle

C'est l'interface entre l'opérateur et la machine. Il permet à l'opérateur de commander le système.

V.5. Programmation sous XCP Pro V3.3

V.5.1. Langage Ladder [9]

Langage Ladder ou schéma à contact est un langage utilisé pour la programmation de l'automatisme qui consiste à utiliser des contacts, relais et blocs fonctionnels. C'est le langage le plus utilisé dans le domaine.

V.5.2. Prestation du logiciel XCP Pro V3.3Q

C'est un logiciel de programmation de série XC de Xinjie une marque d'un Plc chinoise. Il peut concevoir, configurer, tester et mettre en service un système d'automatisme. L'interface et la méthode de programmation sont similaires avec l'automate Mitsubishi.

V.6. Matériel utilisé

On va utiliser un automate de marque Xinjie XC3-60R-C qui est composé de :

- 60 entrées sorties Tor qui veut dire 36 entrées Tor et 24 sorties

Dans notre travail on a besoin de :

- 21 entrées (Tor).
- 12 sorties (RELAY).
- Extension analogique xc-E4A2DA.
- Un pupitre tactile de marque TOUCHWIN pour communiquer avec l'automate via un port com RS232.
- Une alimentation 24v DC.
- Un sectionneur Schneider compact ins 63.
- Porte fusible DF 103 (10x38).

Chapitre V : La Schématisation de l'armoire et la programmation du système

V.7. Schématisation de l'armoire



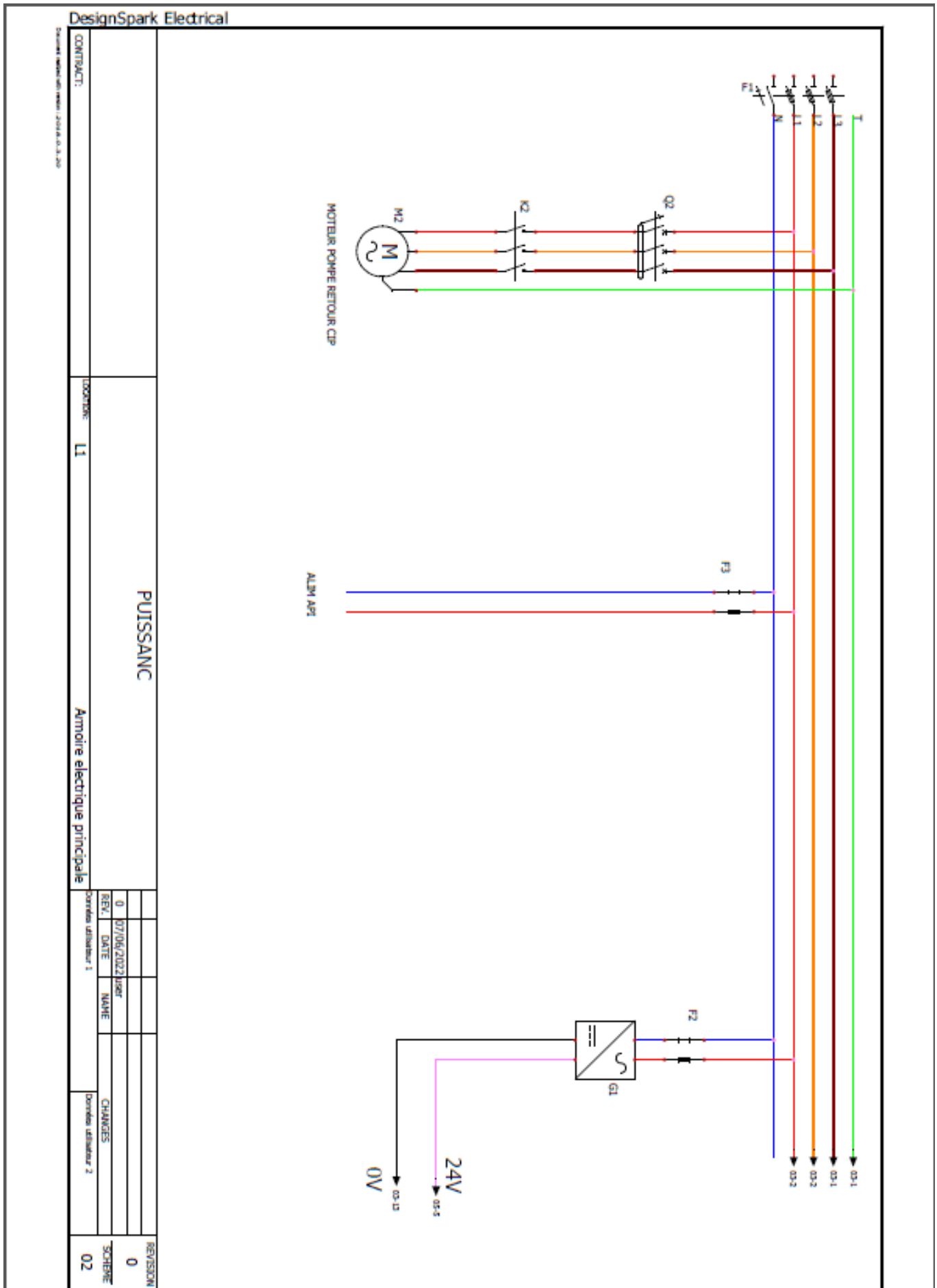
Figure V.2 : Vue de l'armoire électrique

Chapitre V : La Schématisation de l'armoire et la programmation du système

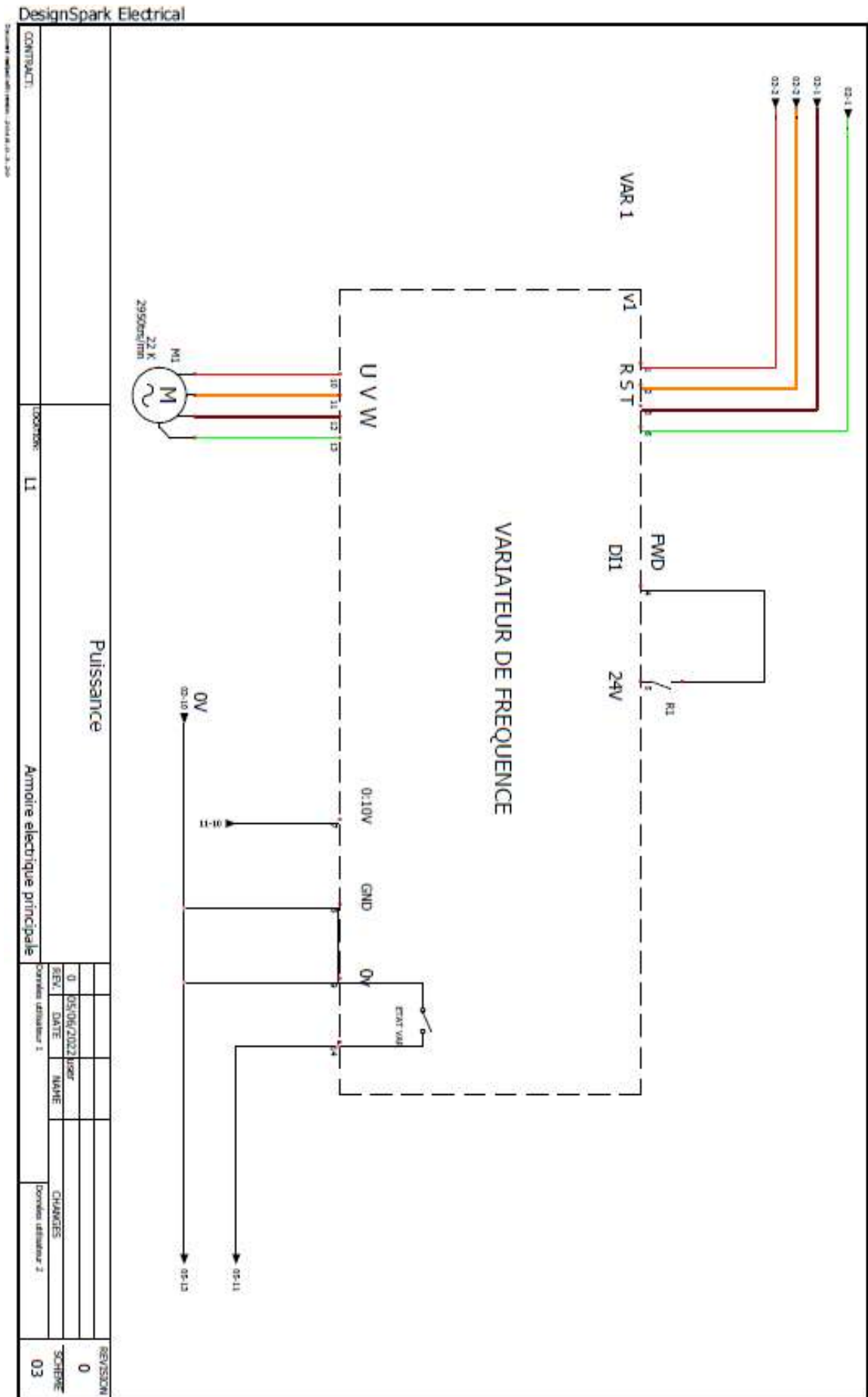
| Entre API | | Sortie API | |
|------------|-------------------------------|------------|-----------------------|
| X0 | Défaut variateur | Y0 | Variateur marche |
| X1 | Défaut pompe CIP | Y1 | Pompe retour CIP |
| X2 | Pompe forage 1 ok | Y2 | Pompe forage 1 |
| X3 | Pompe forage 2 ok | Y3 | Pompe forage 2 |
| X4 | Vanne de contre-courant ferme | Y4 | Electrovanne cuve 1 |
| X5 | CIP filtre boucle | Y5 | Electrovanne cuve 2 |
| X6 | CIP cuve 1 boucle | Y14 | Mode CIP |
| X7 | CIP cuve 2 boucle | Y15 | Pompe CIP en marche |
| X10 | Cuve 1 production | Y16 | Ligne vide |
| X11 | Cuve 2 production | Y22 | Pompe mode production |
| X12 | Vanne alimentation cuve 1 on | Y23 | Produit disponible |
| X13 | Vanne alimentation cuve 1 off | Y24 | Fin production |
| X14 | Vanne alimentation cuve 2 on | | |
| X15 | Vanne alimentation cuve 2 off | | |
| X20 | Cip prêt | | |
| X21 | Envoie CIP | | |
| X22 | CIP phase fin | | |
| X23 | Demande d'eau | | |
| X27 | Mode fil prod | | |
| X30 | Demande production | | |
| X31 | Fin production | | |

Tableau V.1 : (Entrées /sorties) de l'automate.

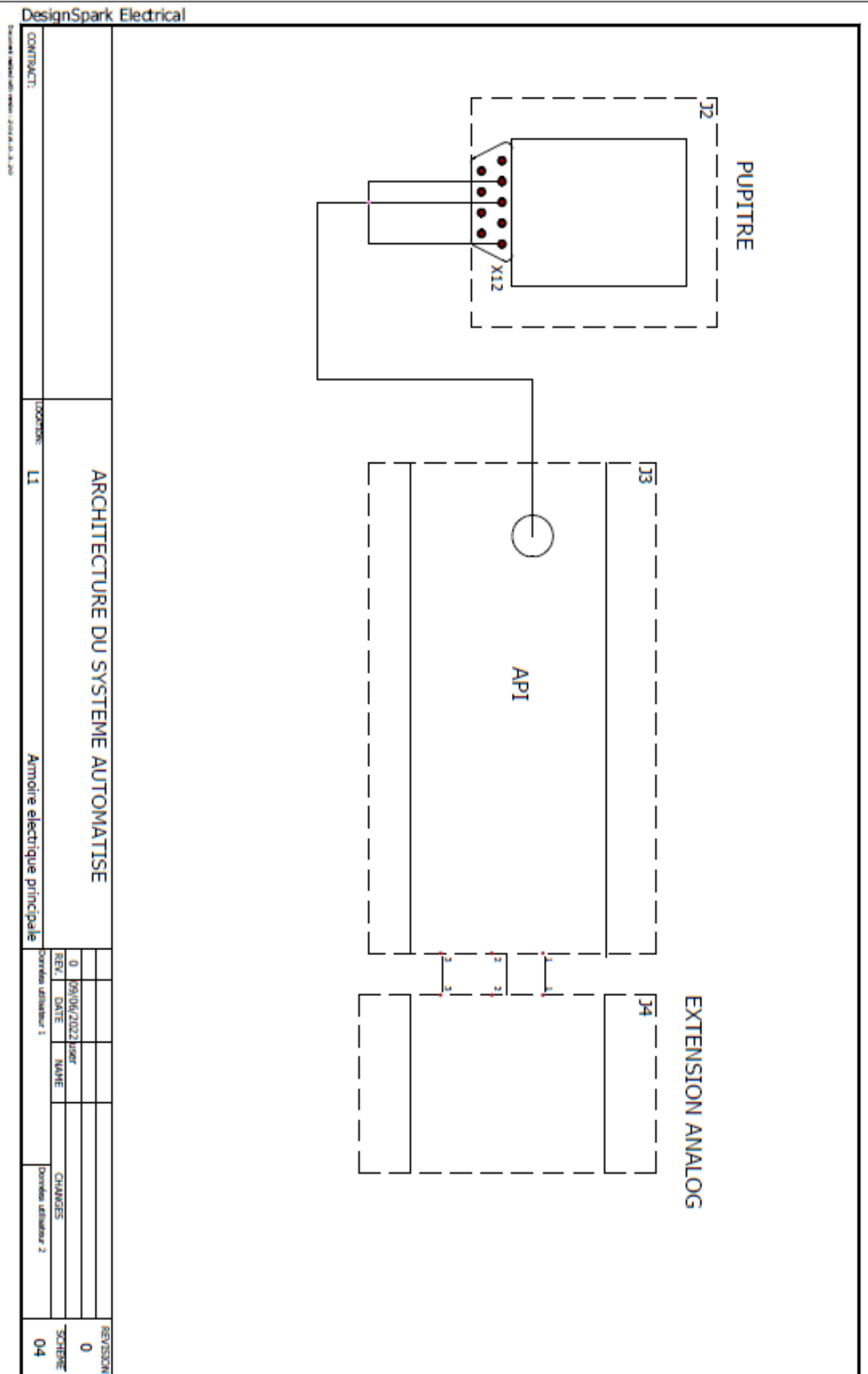
Chapitre V : La Schématisation de l'armoire et la programmation du système



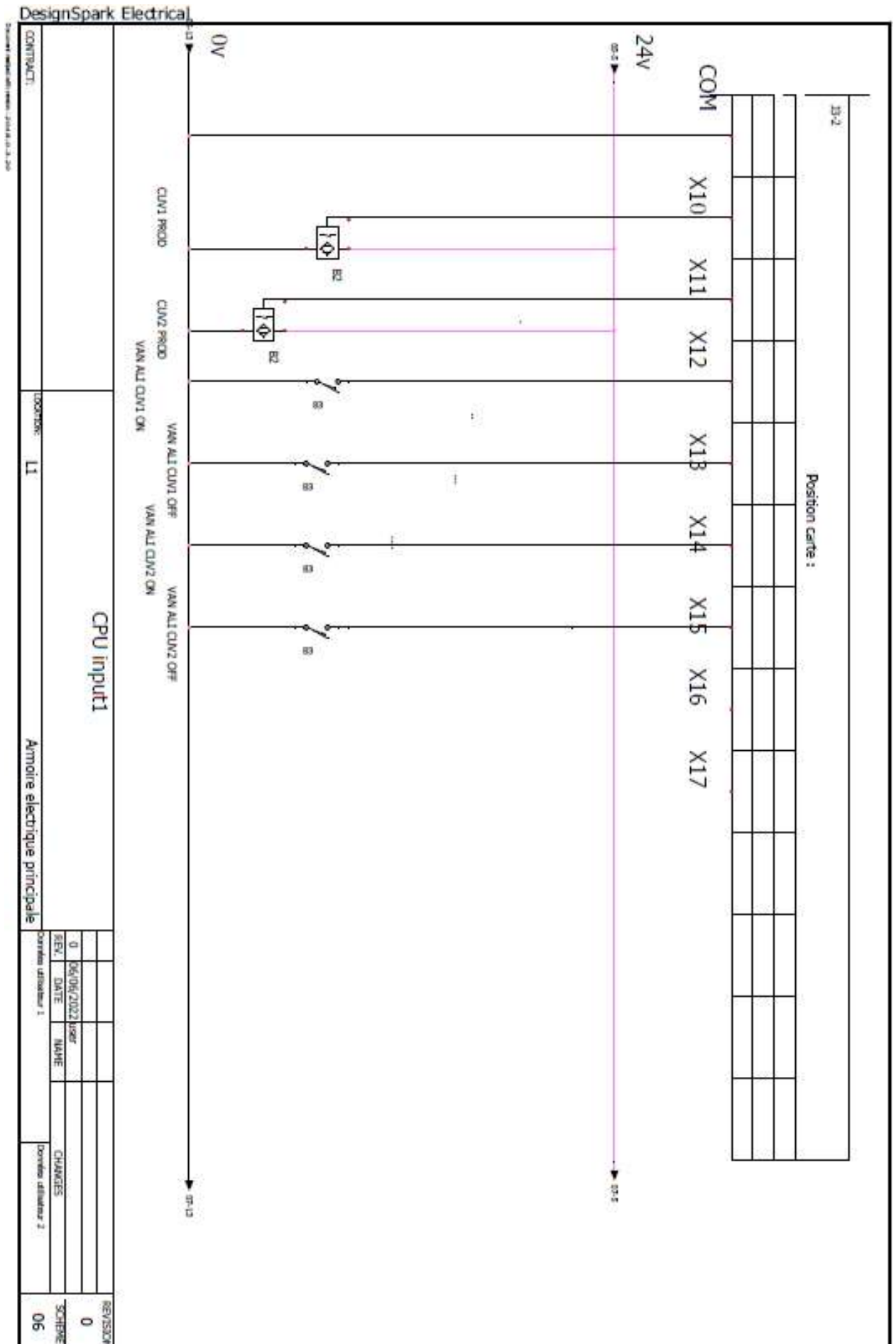
Chapitre V : La Schématisation de l'armoire et la programmation du système



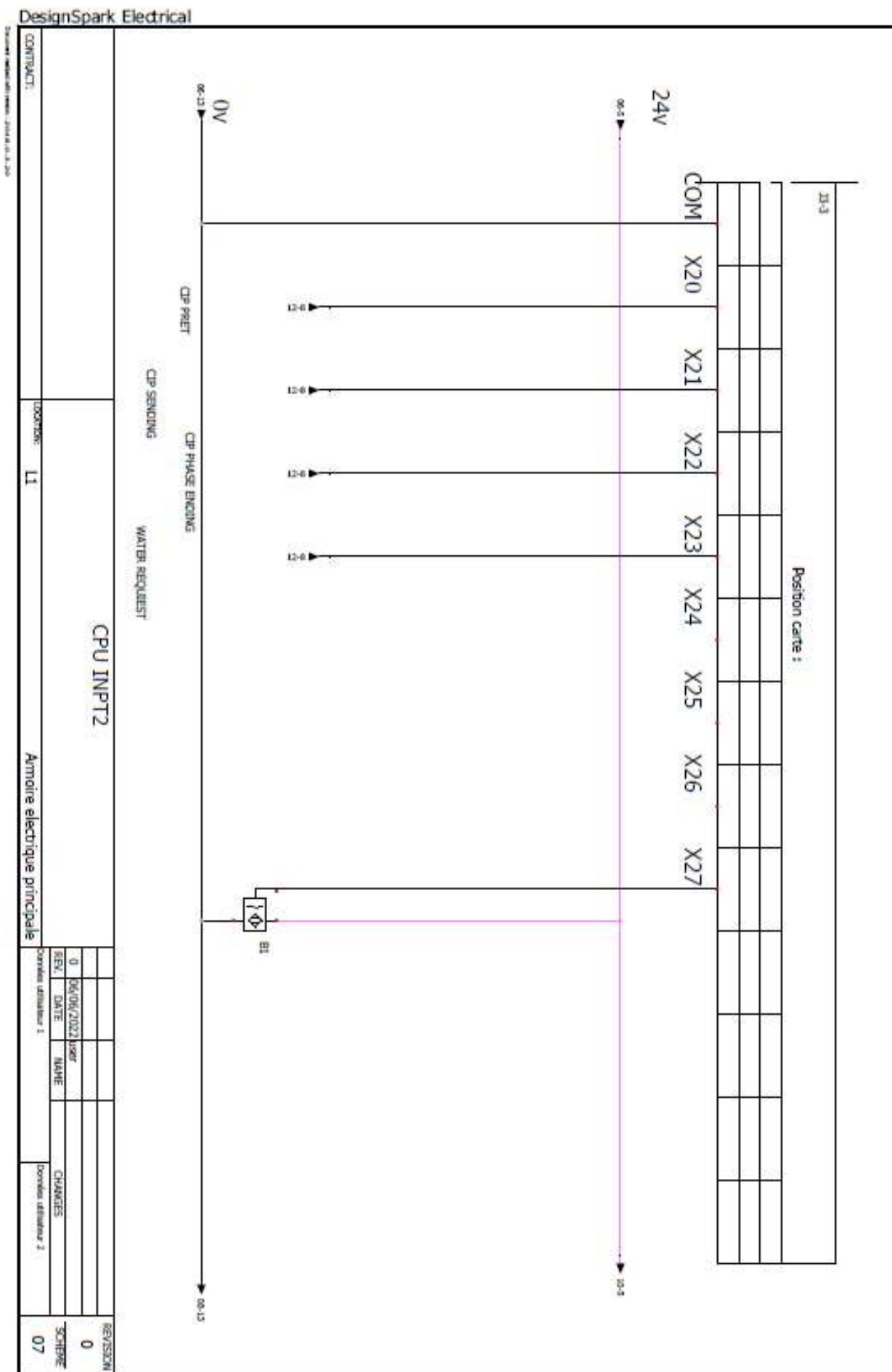
Chapitre V : La Schématisation de l'armoire et la programmation du système



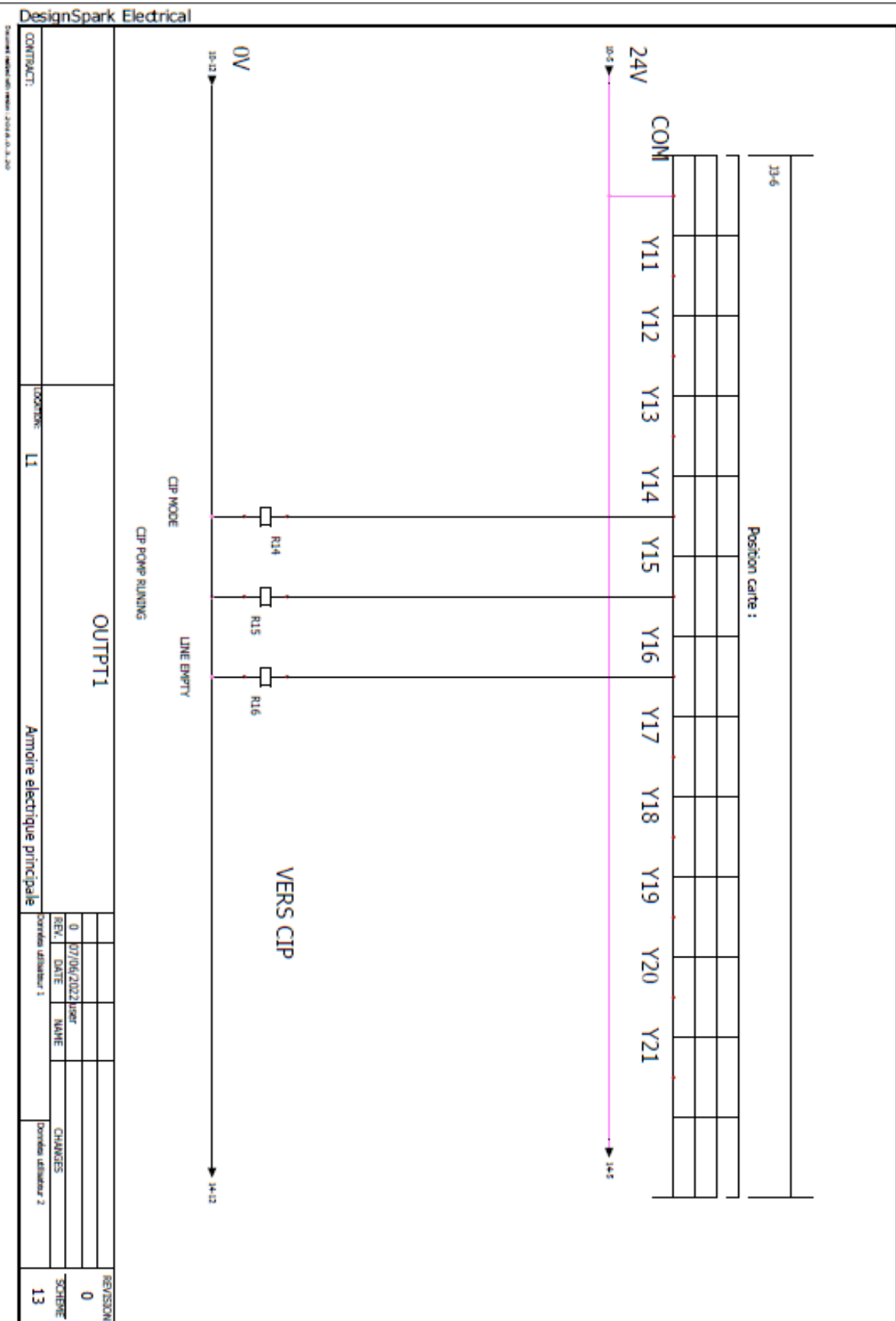
Chapitre V : La Schématisation de l'armoire et la programmation du système



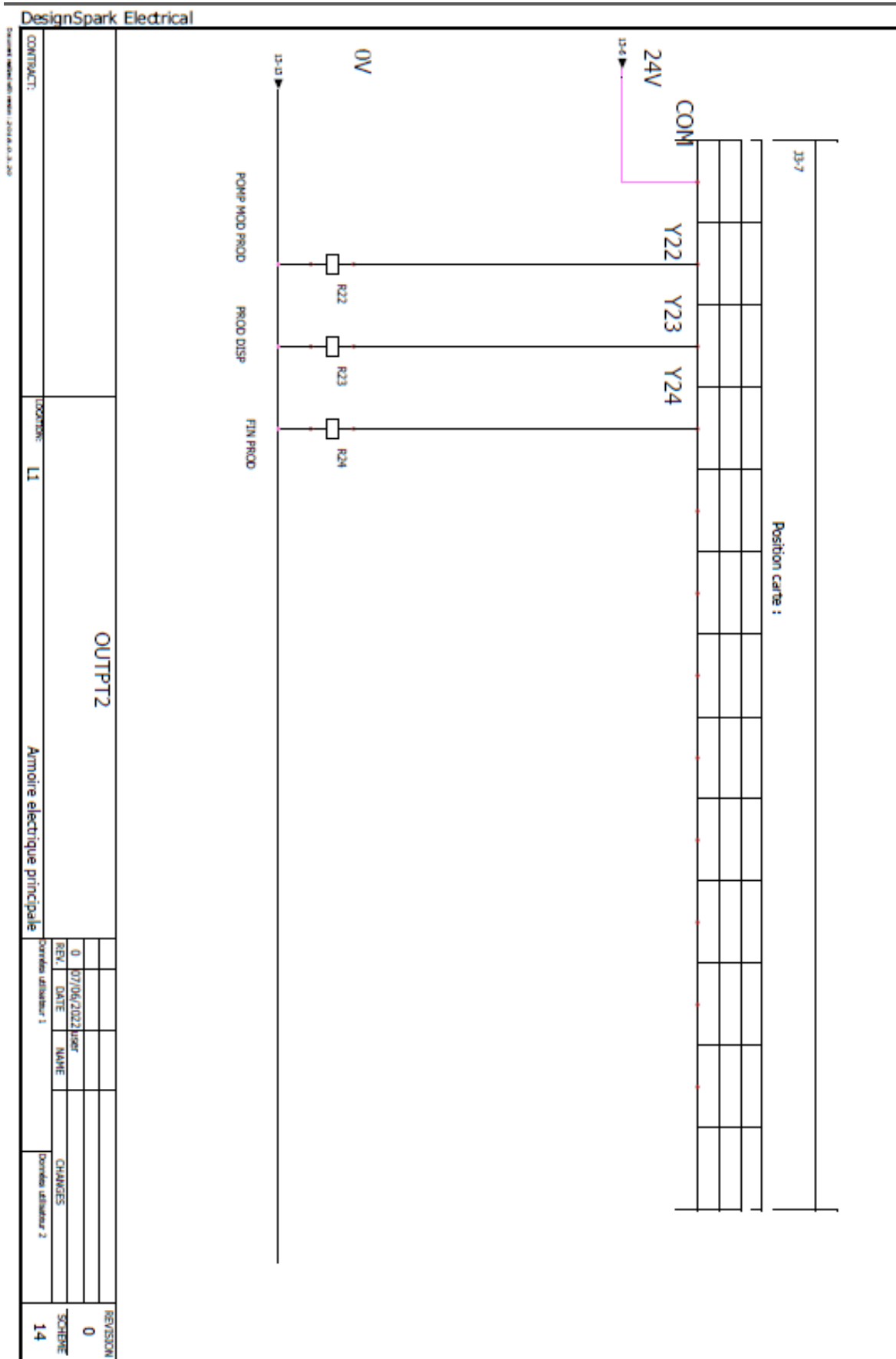
Chapitre V : La Schématisation de l'armoire et la programmation du système



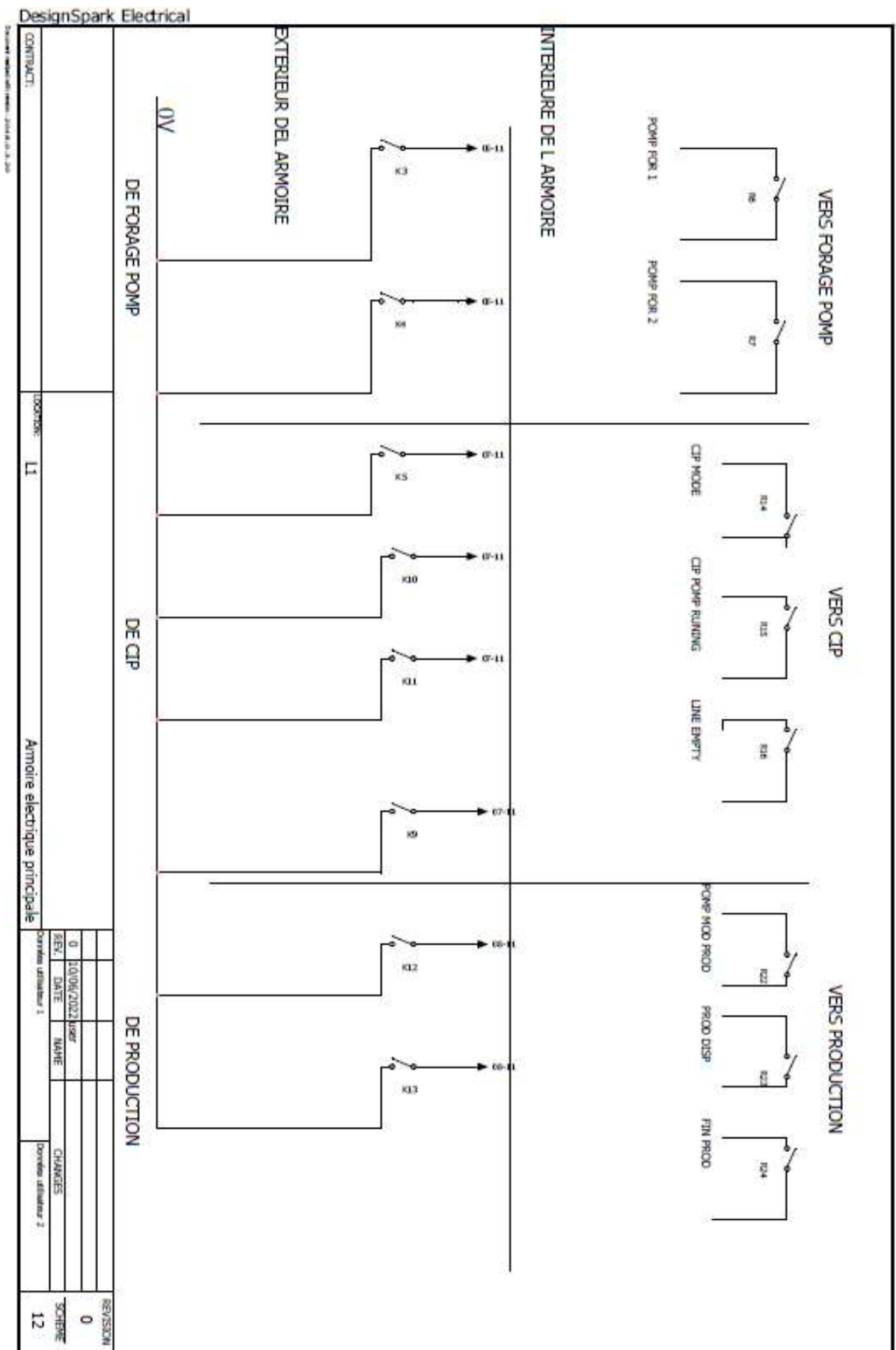
Chapitre V : La Schématisation de l'armoire et la programmation du système



Chapitre V : La Schématisation de l'armoire et la programmation du système



Chapitre V : La Schématisation de l'armoire et la programmation du système



Chapitre V : La Schématisation de l'armoire et la programmation du système

V.8. Programmation sous Ladder de l'automate

Pour commander le mode de fonctionnement de notre pompe, on utilise une interface pupitre qui est reliée à l'automate VIA un port comRS232, on peut choisir les trois modes manuellement.

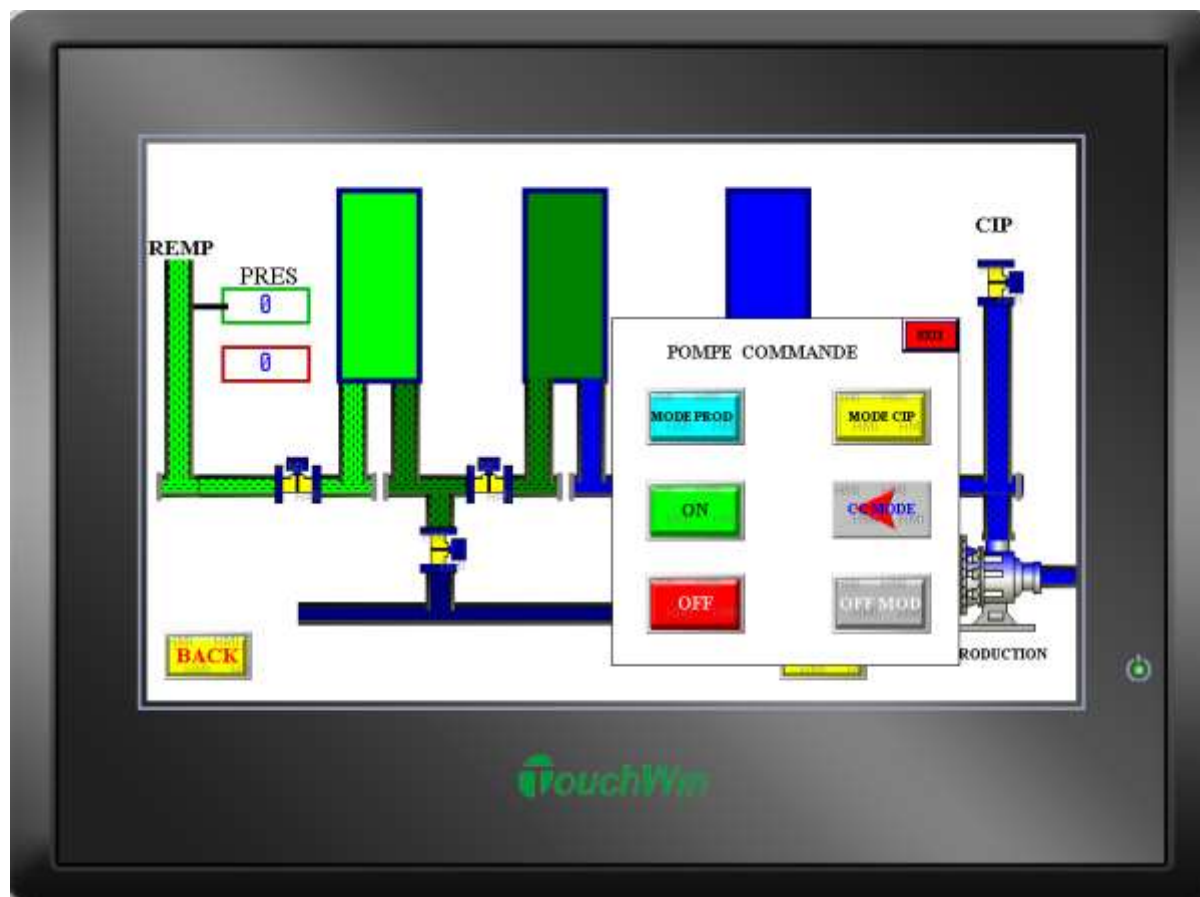


Figure V.3 : Pupitre de commande.

| Panelle | Programme |
|---------------------|-----------|
| Mode prod | M51 |
| Mode CIP | M53 |
| Mode contre-courant | M41 |
| Off mode | M42 |
| On /off | M60 |

Tableau V.2 : Configuration des boutons dans le programme.

Chapitre V : La Schématisation de l'armoire et la programmation du système



Si on choisit l'un des trois modes les deux autres modes seront réinitialisés (reset).

Ce qui veut dire :

* En actionnant le contact M51 les variables de sortie :

-M50 sera mise à un mémorisée (set).

-M52 sera mise à zéro mémorisée (reset).

-M40 sera mise à zéro mémorisée (reset).

* On actionnant le contact M53 les variable de sortie :

-M52 sera mise à un mémorisée (set).

-M50 sera mise à zéro mémorisée (reset).

-M40 sera mise à zéro mémorisée (reset).

* On actionnant le contact M41 les variable de sortie :

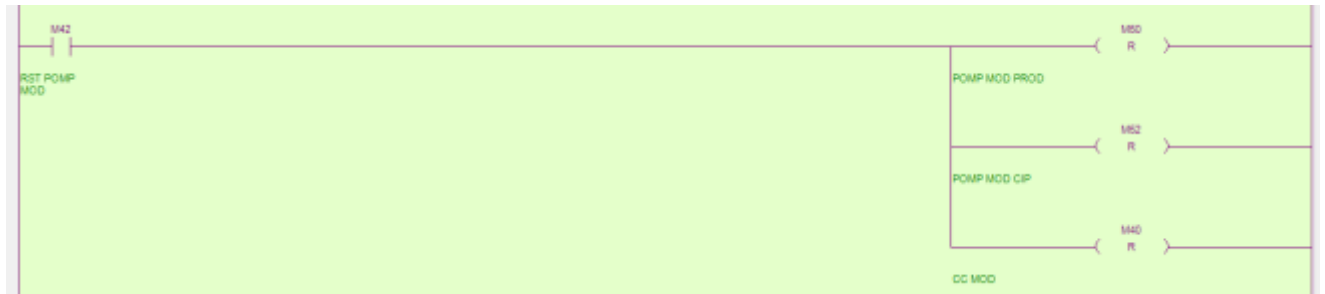
-M40 sera mise à un mémorisée (set).

Chapitre V : La Schématisation de l'armoire et la programmation du système

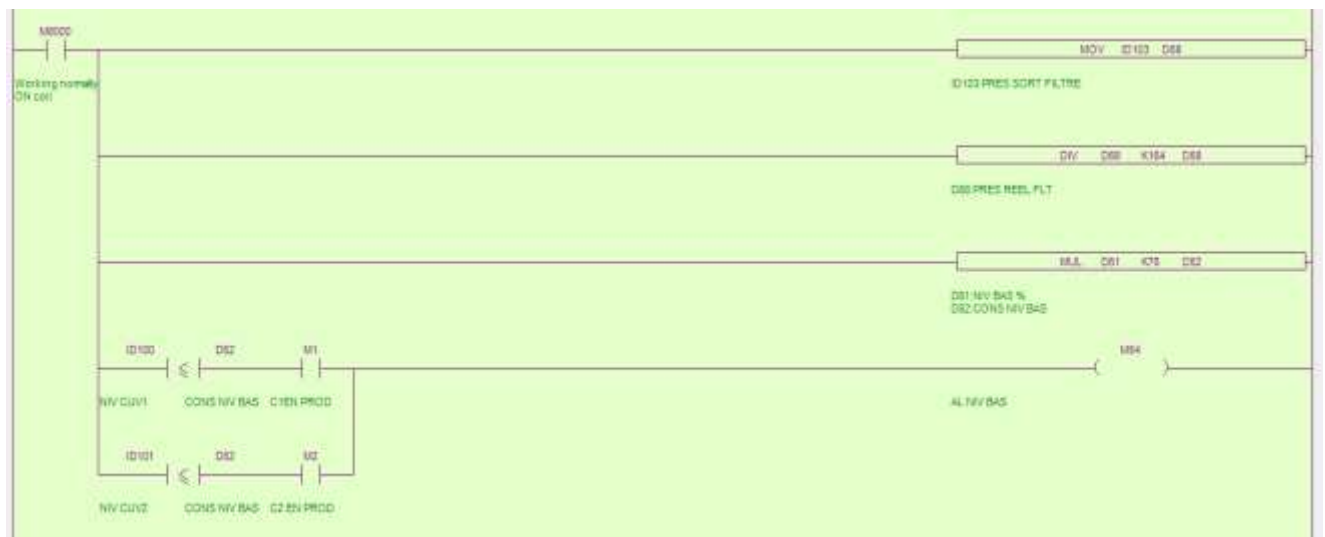
-M50 sera mise à zéro mémorisée (reset).

-M52 sera mise à zéro mémorisée (reset).

Les modes de production ne peuvent pas fonctionner en même temps.



Si on veut reset tous les modes on actionnant le contacte M42 les variable de sortie seront tout reset.



M8000 (working normally on coil) est un contacte qui décrit l'Etat de l'automate lorsqu'il est allumé.

Lorsque il s'allume il passe directement à l'analyse de niveau bas des cuve, si l'une des deux cuve est en niveau bas la larme M54 s'activera.

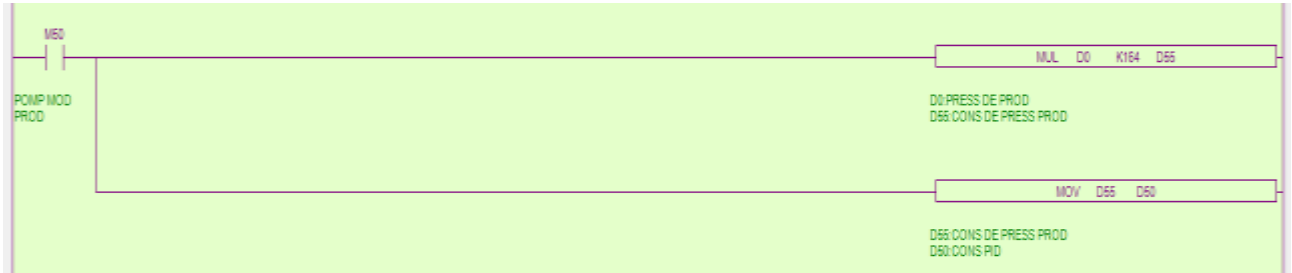
ID103 est la pression de l'eau mesurée après filtrage qui est transférée au registre D68 qui est ensuite divisée par K164 pour le convertir en point. Le résultat s'affichera au registre D58. D51 est le

Chapitre V : La Schématisation de l'armoire et la programmation du système

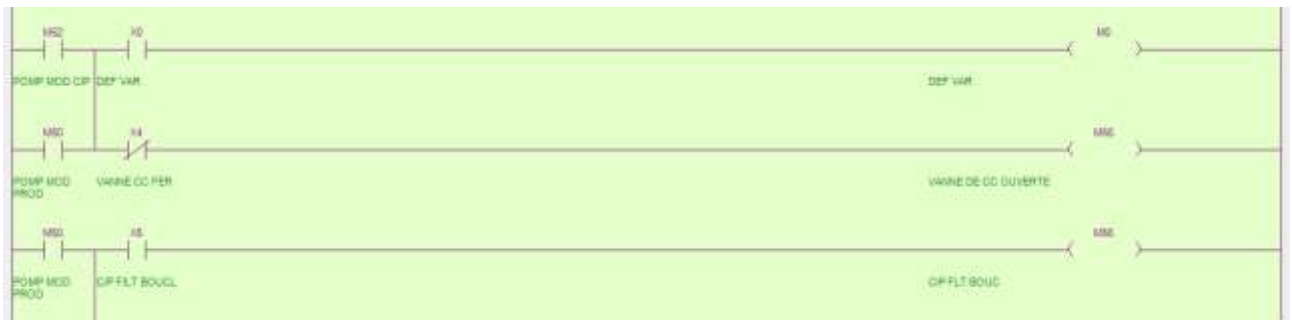
niveau bas des cuves en pourcentage qui est convertie en point par la fonction MUL D51 K76 (d51*k76) le résultat s'affichera au registre D52 qui es la consigne niveau bas).

V.9. Fonctionnement des trois modes

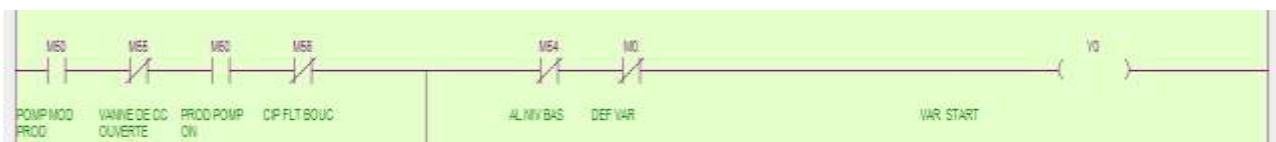
V.9.1. Le mode production (prod)



D0 est la pression de production en bar qui est convertie en point pour la traiter grâce à l'opération mul D0 K164 ($D0 \times K164$), le résultat vas être affiché au registre D55 qui sera transféré au registre D50 consigne de prod qu'on va envoyer aux PID pour la régulation.



S'il y a un défaut les alarmes M0, M55 et M56 activeront et s'afficheront sur le panel les contacts x0, x4 et x5 sont reliés directement à l'automate qui transmet des informations sur l'état du variateur, de la vanne contre-courant et de filtre CIP.



S'il y a aucune alarme aux entrées respectives.

M55 : vanne de contre-courant ouverte.

M60 : pompe production ON.

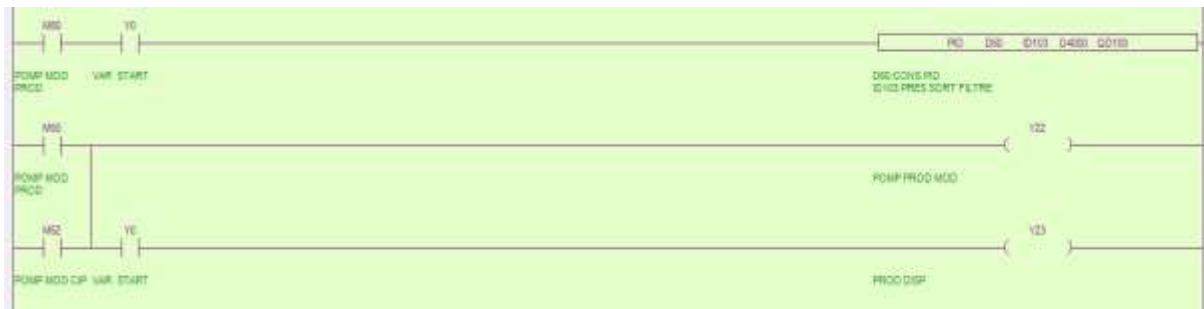
M56 : CIP filtre boucle.

M54 : tous les niveaux sont bas.

Chapitre V : La Schématisation de l'armoire et la programmation du système

M0 : déf var (défaut variateur).

Un signal run va être transmis au variateur pour démarrer.



Au moment où le variateur va démarrer, la boucle de régulation sera activée, le PID va corriger l'erreur entre la valeur de la consigne D50 et la valeur mesurée ID103 qui traduit la lecture du capteur de pression installé après les filtres.

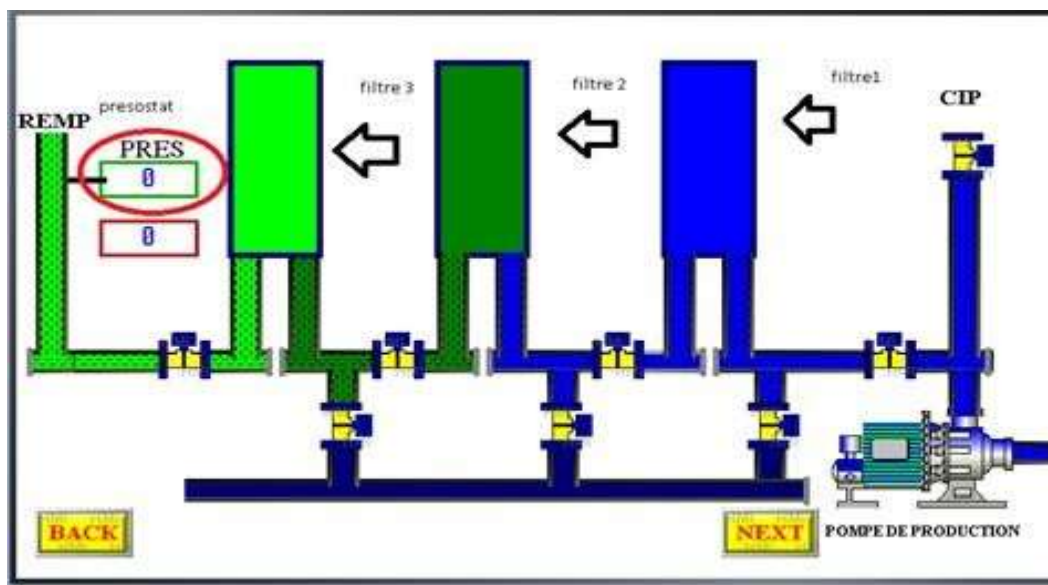


Figure V.4 : La filtration d'eau.

Chapitre V : La Schématisation de l'armoire et la programmation du système

Le pressostat

C'est un appareil qui permet de mesurer la pression d'un fluide dans une canalisation ou dans une enceinte fermée.



Figure V.5 : Pressostat.

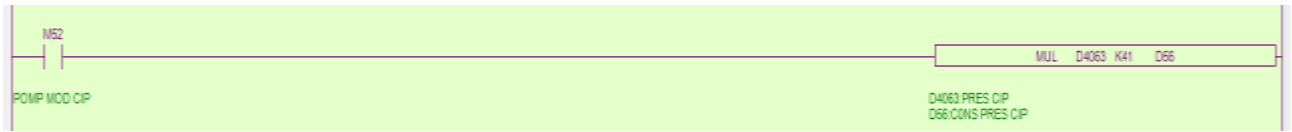
- Y22 ET Y23 sont des signaux d'échange avec la partie production (remplisseuse)

Y22 : la pompe est en mode production (renseignement sur le mode de fonctionnement de la pompe).

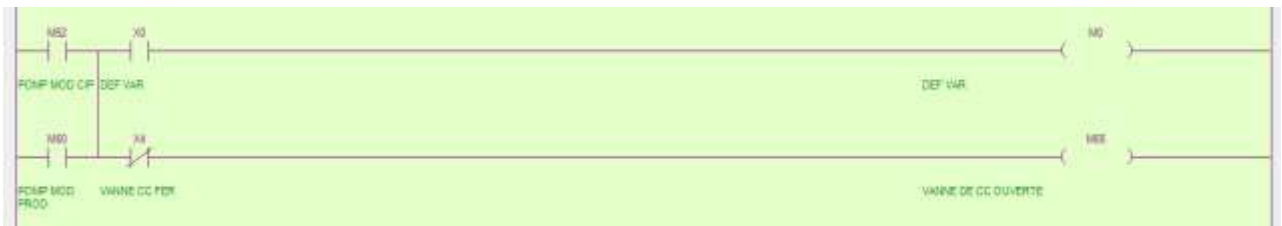
Y23 : le produit est disponible (renseignement de la disponibilité du produit afin de lancer la production).

Chapitre V : La Schématisation de l'armoire et la programmation du système

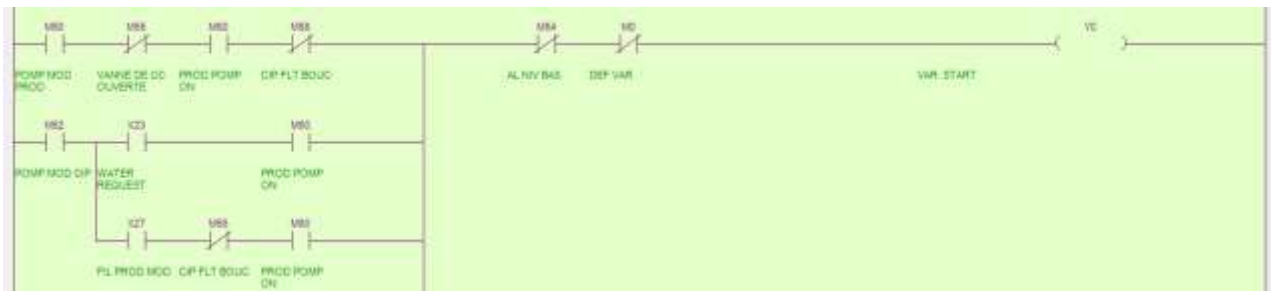
V.9.2. Le mode CIP



Le registre D4063 est la pression CIP en pourcentage lorsque la pompe est en mode CIP la pression va être convertie en point grâce à l'opération MUL D4063 K41 D56 ($D4063 * k41$) qui va transférer le résultat au registre D56



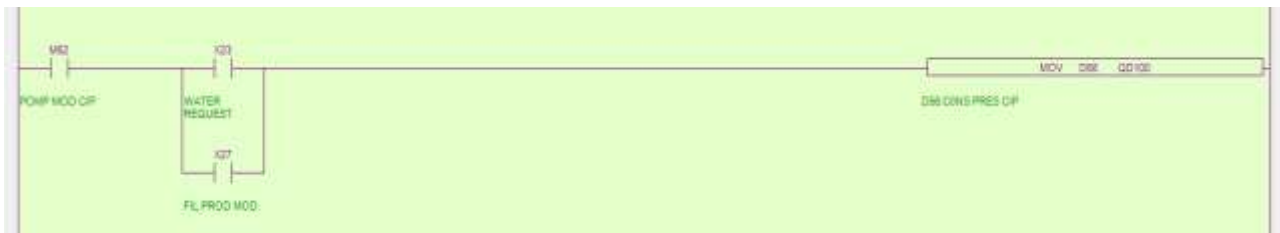
S'il y a un défaut au niveau du variateur (x0) ou la vanne de contre-courant est ouverte (x4), les alarmes M0 (défaut variateur) ou M55 (vanne de contre-courant ouverte) seront activés.



La phase de nettoyage et fin de nettoyage ont besoin d'un flux très important en eau, au cours de ce cycle, la pompe est commandée par un signal water request (x23) après avoir été mise en stand-by par la commande M60 (ON/OFF).

Dans le même mode une opération de rinçage de la remplisseuse est exigée par un flux aussi important que pour le nettoyage de ce fait la pompe est activée par la commande ON/OFF après avoir sélectionné la voie d'acheminement indiquée par la surveillance (x27 and M56).

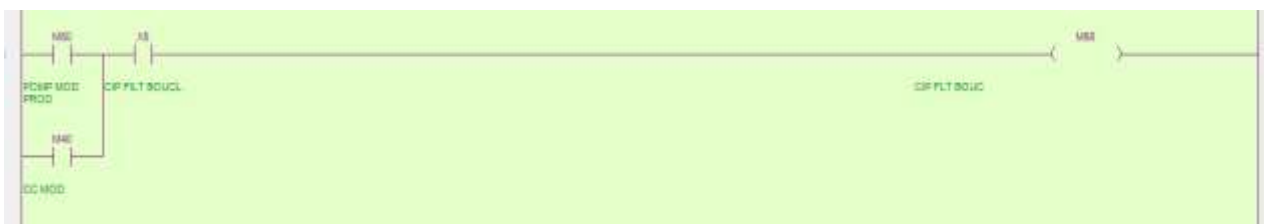
Chapitre V : La Schématisation de l'armoire et la programmation du système



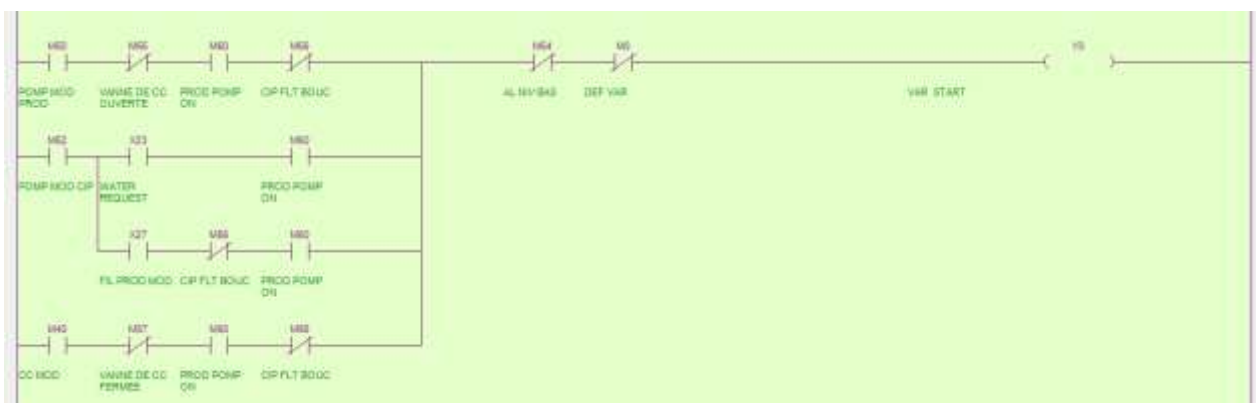
Si les conditions x23 (water request) et x27(mode production filtre) sont présentes, il va transférer la consigne CIP du registre D56 aux registre QD100 grâce à l'opération MOV D56 QD100 (la vitesse de consigne du variateur).

La pompe va fonctionner à vitesse constante et envoie un flux d'eau constant selon les exigences de la machine CIP.

V.9.3. Le mode contre-courant



Si le filtre CIP est bouclé (X5), une alarme s'activera (M56).



S'il n'y a pas d'anomalie présente, le variateur va démarrer dans ces conditions :

- La vanne de contre-courant fermé (M57).
- pompe de production ON (M60).
- CIP filtre boucle alarme off (M56).

Chapitre V : La Schématisation de l'armoire et la programmation du système

- Alarme niveau bas off (M54).
- Alarme défaut variateur off (M0).



D4065 est la pression en mode contre-courant en pourcentage la fonction mul dans le programme va la convertir en point est le résultat sera enregistré dans le registre D70 (pression contre-courant) qui sera transféré au registre QD100.

Si le mode contre-courant est sélectionné est que la vanne sélectionnant la voie du contre-courant est fermée une alarme est active.

V.10. Conclusion

Pour procéder à la programmation ou à la création d'un système tel que soit. Il faut comprendre le mode de fonctionnement de ce dernier, nous avons donc schématisé et réalisé notre programme en fonction des attentes du process.

Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Lors de la réalisation du présent projet qui s'inscrit dans le cadre de notre mémoire de fin d'étude, une occasion nous est offerte pour assister à un stage pratique au sein de la SARL BOISSON ITHRI.

L'entraînement d'un moteur asynchrone appliqué à une pompe est simple à réaliser mais dans notre cas le système est d'autant plus compliqué pour jumeler le fonctionnement électrique de la pompe à une boucle d'asservissement et plusieurs autres régimes de fonctionnement exigés par le process. En optant pour une solution d'automatisation par un API nous a offert une énorme possibilité de gérer le fonctionnement du process dans de meilleures conditions.

Lors de la mise en œuvre de notre projet, la logique programmée nous a permis de mettre en service notre système et de l'optimiser d'une manière très souple et facile. Grâce aux avantages qu'offre cette dernière qui réside essentiellement dans la possibilité de rectifier dans le fonctionnement du système rien qu'en rectifiant une boucle du programme dans l'API sans pour autant changer le câblage.

Ce même système automatisé avec API nous offre aussi la possibilité d'interagir en modifiant un jeu de paramètres via l'interface de supervision IHM sans modifier ni dans la câblerie ni dans le programme.

Les systèmes automatisés avec API offrent des solutions très efficaces malgré la complexité des process.

Le stage effectué au sein de l'entreprise fut une expérience enrichissante pour notre formation et aussi une vision instructive du monde industriel.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] <https://www.legarrec.com/entreprise/differentes-pompes-industrielles/>
- [2] [Connaissances-de-base-en-pompes-centrifuges_french.pdf](#)
- [3] M.BENAZZOUZ (2007) station de pompage
- [4] Entraînement des pompes centrifuges à vitesse variable pour réduire la consommation d'énergie (Christophe BESSON)
- [5] CARLIER, M. (1968). Machines hydrauliques. France : ENGRFE.P 25, 32,48.
- [6] O.Kesba Khodjet (2013) Polycopies 1er année ENSH
- [7] J.Jaques (2001) La pompes centrifuge dans tous les états
- [8] hydro group comment règle le débit dune pompe centrifuge
- [9] <https://fr.scribd.com/document/370523598/TPno1->
- [10] JOSEPHMIGNARD, CHRYTELPIN, « Electronique de puissance-Redresseurs polyphasés a diodes, a thyristors et mixte-cours et exercice corrigés », livre, édition ELLIPSES, 2010.
- [11] J. Silva, « PID controllers for Time-Delay systems », Springer, 2005.
- [12] Mokrani Ahmed, « Régulation industrielle », cours, 2019.

Annexe

1- Entrées API :

| | |
|------|-------------------------|
| | |
| ▶ X0 | DEF VAR |
| X1 | DEF POMP CIP |
| X2 | POMP FOR1 OK |
| X3 | POMP FOR2 OK |
| X4 | VANNE CC FER |
| X5 | CIP FILT BOUCL |
| X6 | CIP CUV1 BOUCL |
| X7 | CIP CUV2 BOUCL |
| X10 | CUV1 PROD |
| X11 | CUV2 PROD |
| X12 | VANNE ALI CUV1 ON |
| X13 | VANNE ALI CUV1 OFF |
| X14 | VANNE ALI CUV2 ON |
| X15 | VANNE ALI CUV2 OFF |
| X16 | |
| X17 | |
| X20 | CIP PRET |
| X21 | CIP SENDING |
| X22 | CIP PHASE END /RECOVERY |
| X23 | WATER REQUEST |
| X24 | |
| X25 | |
| X26 | |
| X27 | FIL PROD MOD |
| X30 | REQUEST PROD |
| X31 | FIN PROD |

2- Sorties API :

| | |
|------|-----------------|
| ▶ Y0 | VAR START |
| Y1 | POMP RET CIP |
| Y2 | POMPFOR1 |
| Y3 | POMP FOR2 |
| Y4 | EV CUV1 |
| Y5 | EV CUV2 |
| Y6 | |
| Y7 | |
| Y10 | |
| Y11 | |
| Y12 | |
| Y13 | |
| Y14 | CIP MOD |
| Y15 | CIP POMP RUNING |
| Y16 | LINE EMPTY |
| Y17 | |
| Y20 | |
| Y21 | |
| Y22 | POMP PROD MOD |
| Y23 | PROD DISP |
| Y24 | FIN PROD |

3-Bite mémoire

| | |
|------|---------------------|
| ▶ M0 | DEF VAR |
| M1 | C1EN PROD |
| M2 | C2 EN PROD |
| M3 | FOR1 ON |
| M4 | FOR2 ON |
| M5 | C1 EN PROD PAN |
| M6 | C2 EN PROD PAN |
| M7 | AL CIP C1 BOUC |
| M8 | AL CIP C2 BOUC |
| M9 | C1 NON BOUC EN PROD |
| M10 | C2 NON BOUC EN PROD |
| M11 | C1 MOD CIP PAN |
| M12 | C2 MOD CIP PAN |
| M13 | C1 MOD CIP |
| M14 | C2 MOD CIP |
| M15 | C1 NON BOUC SUR CIP |
| M16 | C2 CIP NON BOUC |
| M17 | C1 BOUC EN PROD |
| M18 | C2 BOUC EN PROD |
| M19 | EV1 OUVERT |
| M20 | EV2 OUVERTE |
| M21 | EV1 FERMEE |
| M22 | EV2 FERMEE |
| M23 | DEF POMP CIP |
| M24 | POMP CIP ON AUTO |
| M25 | POMP CIP ON MAN |
| M26 | PHASE END |
| M27 | NIVBAS C1&C2 |
| M28 | EV CUV1 ON |
| M29 | EV CUV2 ON |
| M30 | FOR1 INDISPONIBLE |
| M31 | FOR2 INDISPONIBLE |
| M32 | |
| M33 | FOR1 DIPONIBLES |
| M34 | FOR2 DIPONIBLES |
| M35 | RST MOD C1 |

| | |
|-----|------------|
| M36 | RST MOD C2 |
|-----|------------|

4- Bite système

| | |
|---------|--------------------------|
| ▶ M8000 | Working normally ON coil |
|---------|--------------------------|

5- Registre mémoire des entrées analogiques

| | |
|-------|------------------|
| ID100 | NIV CUV1 |
| ID101 | NIV CUV2 |
| ID102 | |
| ID103 | PRES SORT FILTRE |

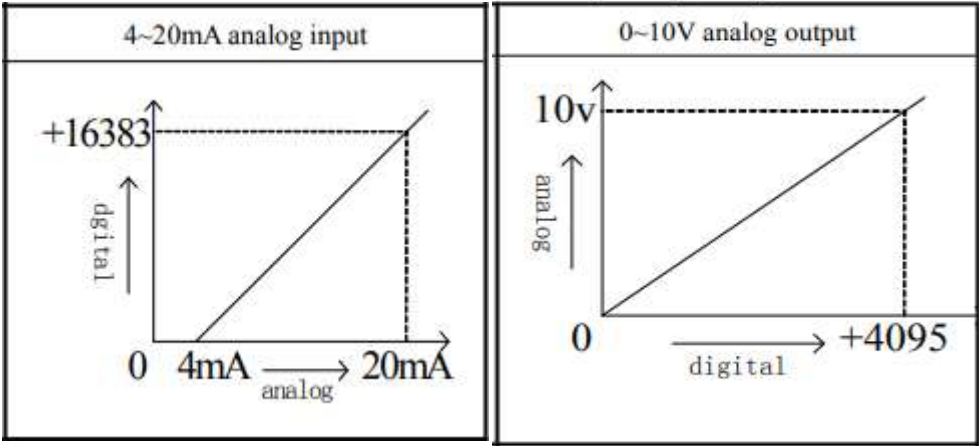
6- API xc3-60R-c

| Model | | | | | | | Input points (DC24V) | Output points (R, T) |
|-----------------|------------|------------|-----------------|-------------------|------------|-------------|----------------------|----------------------|
| AC Power Supply | | | DC Power Supply | | | | | |
| Relay output | | | Relay output | Transistor output | R/T Type | | | |
| N | XC3-14R-E | XC3-14T-E | XC3-14RT-E | XC3-14R-C | XC3-14T-C | XC3-14RT-C | 8 | 6 |
| | XC3-24R-E | XC3-24T-E | XC3-24RT-E | XC3-24R-C | XC3-24T-C | XC3-24RT-C | 14 | 10 |
| | XC3-32R-E | XC3-32T-E | XC3-32RT-E | XC3-32R-C | XC3-32T-C | XC3-32RT-C | 18 | 14 |
| | XC3-48R-E | XC3-48T-E | XC3-48RT-E | XC3-48R-C | XC3-48T-C | XC3-48RT-C | 28 | 20 |
| | XC3-42R-E | XC3-42T-E | XC3-42RT-E | XC3-42R-C | XC3-42T-C | XC3-42RT-C | 24 | 18 |
| | XC3-60R-E | XC3-60T-E | XC3-60RT-E | XC3-60R-C | XC3-60T-C | XC3-60RT-C | 36 | 24 |
| P | XC3-14PR-E | XC3-14PT-E | XC3-14PRT-E | XC3-14PR-C | XC3-14PT-C | XC3-14PRT-C | 8 | 6 |
| | XC3-24PR-E | XC3-24PT-E | XC3-24PRT-E | XC3-24PR-C | XC3-24PT-C | XC3-24PRT-C | 14 | 10 |
| | XC3-32PR-E | XC3-32PT-E | XC3-32PRT-E | XC3-32PR-C | XC3-32PT-C | XC3-32PRT-C | 18 | 14 |
| | XC3-48PR-E | XC3-48PT-E | XC3-48PRT-E | XC3-48PR-C | XC3-48PT-C | XC3-48PRT-C | 28 | 20 |
| | XC3-42PR-E | XC3-42PT-E | XC3-42PRT-E | XC3-42PR-C | XC3-42PT-C | XC3-42PRT-C | 24 | 18 |
| | XC3-60PR-E | XC3-60PT-E | XC3-60PRT-E | XC3-60PR-C | XC3-60PT-C | XC3-60PRT-C | 36 | 24 |

7- Les connexions électriques de l'extension 4ad2da

| Channe | Terminal | Signal | |
|--------|----------|-------------------------------------|----------|
| CH0 | AI0 | Current input | 4mA-20mA |
| | VI0 | Voltage input | |
| | C0 | CH0 common terminal of analog input | - |
| CH1 | AI1 | Current input | 4mA-20mA |
| | VI1 | Voltage input | |
| | C1 | CH1 common terminal of analog input | - |
| CH2 | AI2 | Current input | 4mA-20mA |
| | VI2 | Voltage input | |
| | C2 | CH2 common terminal of analog input | - |
| CH3 | AI3 | Current input | |
| | VI3 | Voltage input | |
| | C3 | CH3 common terminal of analog input | |
| CH0 | VO0 | voltage output | 0v-10v |
| | C0 | CH0 common terminal of analog input | - |
| CH1 | VO1 | Voltage output | |
| | C1 | CH1 common terminal of analog input | |
| - | 24V | +24V power supply | |
| | 0V | Common terminal of power supply | |

8-Conversion input K164 /output K41



9- Les registres des entrées et sorties analogiques

| Channel | AD signal | PID output value | PID start/stop control bit | The set value | PID parameter: Kp, Ki, Kd, control range Diff, dead area Death |
|---------|-----------|------------------|----------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 0CH | ID100 | ID104 | Y100 | QD102 | Kp----QD106 Ki----QD107 Kd----QD108 Diff---QD109 Death--QD110 |
| 1CH | ID101 | ID105 | Y101 | QD103 | |
| 2CH | ID102 | ID106 | Y102 | QD104 | |
| 3CH | ID103 | ID107 | Y103 | QD105 | |
| Channel | DA signal | - | - | - | |
| 0CH | QD100 | - | - | - | |
| 1CH | QD101 | - | - | - | |

10- Configuration paramètre PID

The screenshot shows the 'PID Instruction Parameter Config' dialog box. The following parameters are highlighted with red boxes and annotated:

- Target Value (SV):** D50 (labeled 'valeur de consigne')
- Measure Value (PV):** ID103 (labeled 'valeur mesure')
- Output:** QD100 (labeled 'sortie pid')
- Sampling Time:** 20 ms (labeled 'temp dechantillonnage')
- Proportion Gain (KP):** 10 % (labeled 'gain KP')
- Integration Time (TI):** 30 *100ms (labeled 'gain ki')
- Differential Time (TD):** 30 *10ms (labeled 'gain kd')

Other visible parameters include: Parameter: D4000, Mode Config (Advanced Mode selected), Input Filter Constant (a): 0 %, Differential Increase (KD): 50 %, Output Upper Limit Value: 4095, Output Lower Limit Value: 0, and Direction Config (Negative Movement selected).

11- Fiche technique du variateur de fréquence

Principales

| | |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gamme de produit | Altivar 61 |
| Type de produit ou équipement | Variateur de vitesse |
| Application spécifique du produit | Appareil de ventilation et de pompage |
| Nom de composant | ATV61 |
| Puissance moteur kW | 22 kW, 3 phases à 380...480 V |
| Puissance moteur hp | 30 hp, 3 phases à 380...480 V |
| Tension d'alimentation | 380...480 V - 16...10 % |
| Nombre de phase d'alimentation | 3 phases |
| Courant de ligne | 42 A pour 480 V 3 phases 22 kW / 30 hp 50 A pour 380 V 3 phases 22 kW / 30 hp |
| Filtre CEM | Filtre CEM niveau 3 |
| Variante de construction | Avec dissipateur thermique |
| Puissance apparente | 32,9 kVA à 380 V 3 phases 22 kW / 30 hp |
| Isc maximal de la ligne présumée | 22 kA pour 3 phases |
| Courant transitoire maximum | 57,6 A pour 60 s, 3 phases |
| Fréquence de découpage nominale | 12 kHz |
| Fréquence de commutation | 1...16 kHz réglable 12...16 kHz avec facteur de réduction |
| Contrôle moteur asynchrone | Rapport tension/fréquence, 5 points Rapport tension/fréquence, 2 points Commande vecteur de flux sans capteur, standard Rapport tension/fréquence - Économie d'énergie, U/f quadratique |
| Profil contrôle moteur synchrone | Commande vecteur sans capteur, standard |
| Protocole de communication | Modbus CANopen |
| Type de polarisation | Aucune impédance pour Modbus |