



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



## ***Projet de fin de cycle***

*En vue de l'Obtention du Diplôme Master en  
Électromécanique  
Option : Électromécanique*

### **THEME**

**Amélioration du Fonctionnement d'un  
Système de Sécurité pour le Convoyeur  
Vertical (unité margarinerie  Cevital)**

*Réalisé Par :*

- *M<sup>r</sup> Atmane Wanis*
- *M<sup>r</sup> Bey Rachid*

*Encadré Par :*

- *M<sup>r</sup> Djermouni kamel*
- *M<sup>r</sup> Benhedad Nafaa ingénieur CEVITAL*
- *M<sup>r</sup> Zidahnal Hakim ingénieur CEVITAL*

**Année Universitaire 2022 -2023**

## *Remerciements*

---

# Remerciements

*Nous exprimons notre gratitude transcendante envers l'Omnipotent, car c'est grâce à Sa bienveillance incommensurable que nous avons été investis d'une volonté inébranlable et d'une santé résiliente, indispensables à la concrétisation de cette entreprise. Sans la coopération inestimable d'un nombre considérable d'individus que nous tenons à exalter, ce mémoire aurait été éternellement condamné à l'abîme de l'inexistence. Nous tenons à formuler nos remerciements les plus profonds et notre reconnaissance incommensurable envers notre éminent mentor, Monsieur **Djermouni.K**, pour avoir aimablement consenti à soutenir ce travail, ainsi que pour son soutien scientifique et moral indéfectible. De plus, nous exprimons notre gratitude envers tous les professeurs qui nous ont apporté leur aide précieuse. Nos remerciements les plus vibrants s'adressent également à nos guides illustres au sein du complexe **Cevital**, Messieurs **Zidahna.Het Benhedad. N**, **Goudjil.B** et **Cherifi. M** pour avoir soumis cette étude et prodigué leurs conseils éclairés, leur disponibilité infailible, ainsi qu'à l'ensemble du personnel de la direction technique de **Cevital**. Ajoutons à cela nos compliments les plus élogieux à l'égard de Monsieur **Nacer Cherif. M**, ainsi que toute l'équipe d'ingénieurs qui nous ont apporté leur assistance. Nous éprouvons le besoin impérieux de témoigner notre reconnaissance envers nos parents respectifs, pour leur soutien infailible et leurs encouragements infatigables. Enfin, nous adressons nos remerciements les plus ardents aux membres du jury d'avoir gracieusement accepté d'évaluer notre travail.*

# *Sommaire*

---

# SOMMAIRE

---

---

## SOMMAIRE

Sommaire	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale .....	1

### **Chapitre I : Présentation du complexe CEVITAL**

I.1. Introduction .....	3
I.2. Historique .....	3
I.2.1. Activités et Missions du complexe CEVITAL.....	4
I.2.2. Objectifs du groupe CEVITAL.....	4
I.2.3. Position géographique.....	5
I.2.4. Organigramme du complexe CEVITAL.....	6
I.3. Présentation de l'unité margarinerie.....	7
I.3.1. Définition.....	7
I.3.2. Les lignes de production.....	7
I.3.3. La capacité de production par ligne et type de produit.....	7
I.4. Présentation de la ligne de production .....	8
I.5. Description des différentes machines utilisées dans la production.....	8
I.5.1. Les cuves de préparation d'émulsion.....	8
I.5.2. Combinateur.....	9
I.5.3. Dateur .....	10
I.5.4. Encartonneuse.....	10
I.5.5. Tapis roulant.....	10
I.5.6. Palettiseur .....	10
I.5.7. Banderoleuse .....	10
I.6. Conclusion.....	11

### **Chapitre II : Description de la machine et problématique**

II.1. Introduction.....	12
II.2. Principe de fonctionnement de la machine KB HAMB A 8006.....	12
II .2.1. Stations de pots .....	13
II.2.2. Station de dosage.....	13
II.2.3. Station d'opercules thermo scellage .....	14
II.2.4. Station des couvercles.....	14
II.2.5. Station de tassage.....	14
II.2.6. Station d'évacuation.....	14

## SOMMAIRE

II.3. Description de la machine KB HAMBBA 8006 .....	15
II.3.1. Dessin technique de la machine .....	15
II.3.2. Caractéristiques de la machine.....	16
II.4. Installation de la machine .....	16
II.5. Types de convoyeurs .....	18
II.5.1. Convoyeurs à bande.....	18
II.5.2. Convoyeurs à rouleaux.....	18
II.5.3. Convoyeurs à chaîne .....	19
II.5.4. Convoyeurs à vis .....	19
II.5.5. Convoyeurs télescopiques .....	20
II.6. Critères de sélection d'un convoyeur .....	20
II.7. Système a convoyeur verticale (notre objet d'étude).....	21
II.7.1. Définition.....	21
II.7.2. Avantages et inconvénients.....	22
II.7.3. Constitution du convoyeur verticale.....	23
II.7.3.1. Le motoréducteur.....	23
II.7.3.1.1. Moteur asynchrone.....	24
II.7.3.1.2. Réducteur .....	25
II.7.3.2. Vérin de guidage .....	26
II.7.3.2.1. Électro-distributeur .....	26
II.7.3.2.2. Unité conditionnement d'air .....	27
II.7.3.2.2.1. Filtre manodétendeur.....	28
II.7.3.2.2.2. Un distributeur 3/2 à commande manuelle .....	28
II.7.3.3. Les capteurs .....	29
II.7.3.3.1. Capteur inductif .....	29
II.7.3.3.2. Capteur capacitifs .....	30
II.7.3.4. Détecteurs photoélectriques.....	31
II.7.3.4.1. Différents systèmes de détection .....	32
II.7.3.4. Les dispositifs de sécurité .....	33
II.7.3.4.1. Disjoncteur.....	33
II.7.3.4.2. Sectionneur.....	33
II.7.3.4.3. Interrupteur sectionneur.....	34
II.7.3.4.4. Contacteur auxiliaire.....	34
II.8. Cahier de charge pour le convoyeur vertical de la HAMBBA.....	35
II.8.1. Cas de chargement .....	35
II.8.2. Cas de déchargement .....	37
II.8.3. Grafcet .....	38
II.9. Problématique .....	39
II.10. Conclusion.....	40

## SOMMAIRE

### **Chapitre III : Machines asynchrone et variateur de vitesse Altivar 320**

III.1. Introduction .....	43
III.2. Rôle d'un moteur asynchrone .....	43
III.3. Constitution .....	43
III.3.1. Stator .....	44
III.3.2. Rotor .....	44
III.3.3. Plaque a bornes .....	44
III.4. Schéma équivalent .....	45
III.5. Variation de vitesse des moteurs asynchrones.....	45
III.5.1 Principe de la variation de vitesse .....	45
III.5.1.1. Variation de la fréquence d'alimentation.....	45
III.5.1.2. Action sur le glissement.....	46
III.5.1.3. Action sur le nombre de pôles .....	46
III.6. Variateurs de vitesse électronique.....	47
III.7. Variateur intégré SEW-EURODRIVE MM07-503-00 .....	47
III.7.1. Description du variateur intégré.....	48
III.8. Altivar320 .....	49
III.8.1. Câblage.....	49
III.8.2. Variation et régulation de vitesse .....	50
III.8.3. Constitution des variateurs de vitesse .....	50
III.8.3.1. Redresseur .....	51
III.8.3.2. Le circuit intermédiaire .....	51
III.8.3.3. L'onduleur .....	53
III.8.3.3.1. Modes de fonctionnement de l'onduleur .....	54
III.8.4. Le circuit de commande.....	55
III.8.4.1. Commande scalaire (U/f).....	55
III.8.4.2. Commande vectorielle de tension (ou de flux).....	56
III.8.4.2.1. Choix d'orientation de flux .....	57
III.8.4.2.2. Types de la commande vectorielle .....	57
III.8.5. Principe de fonctionnement .....	59
III.8.6. Protection intégré.....	59
III.8.7. Fonctions de sécurité intégrées .....	60
III.8.7.1 Fonction de sécurité STO (Suppression sûre du couple).....	60
III.8.7.2 Fonction de sécurité SLS (Limitation sûre de la vitesse).....	60
III.8.7.3 Fonction de sécurité SS1 (Arrêt sur 1) .....	61
III.8.7.4. Fonction de sécurité SMS (Vitesse maximale sûre).....	61
III.8.7.5. Fonction de sécurité GDL (Verrouillage de porte).....	62
III.8.8. Priorité entre les fonctions de sécurité.....	62
III.8.9. Maintenance .....	62
III.8.10. Certifications .....	62
III.9. Conclusion.....	63

## SOMMAIRE

---

---

### **Chapitre VI : Identification des paramètres de la machine et simulation de système de commande**

IV.1. Introduction .....	64
IV.2. Définition des AG .....	64
IV.3. Historique et présentation .....	64
IV.3.1. Fonctionnement des AG.....	65
IV.3.2. Codage des Paramètres.....	66
IV.3.3. Initialisation.....	67
IV.3.4. Fonction d'adaptation.....	67
IV.3.5. Opérateurs d'un AG.....	68
IV.3.5.1. Opérateur de sélection .....	68
IV.3.5.2. Opérateur de croisement.....	70
IV.3.5.3. Opérateur de mutation.....	71
IV.3.6. Choix des paramètres d'un algorithme génétique .....	72
IV.4. Présentation de l'outil d'optimisation MATLAB .....	72
IV.4.1. Caractérisation des options .....	73
IV.5. Application d'optimisation des paramètres de la MAS .....	77
IV.6. Résultat de l'exécution de l'algorithme génétique.....	79
IV.7. Simulation et Résultats .....	81
IV.7.1. Simulation du modèle de la machine asynchrone.....	82
IV.7.2. Résultats de la simulation.....	82
IV.7.3. Interprétation des résultats de simulation .....	84
IV.7.3.1. Le courant statorique $I_s$ .....	84
IV.7.3.2. Couple électromagnétique $C_e$ .....	84
IV.7.3.3. La vitesse $\omega_r$ .....	85
IV.7.3.4. Le flux statorique $\phi_s$ .....	85
IV.7.4. Simulation avec la commande vectorielle .....	85
IV.7.4.1. Simulation avec variation de la vitesse a t=3s.....	86
IV.7.4.2. Simulation avec variation de la charge a t= 3s avec $C_r=5$ N.m.....	87
IV.7.4.3. Interprétation des résultats de simulation.....	88
IV.8. Conclusion.....	88
Conclusion générale	
Références bibliographiques	
Annexes	

## *Liste des Figures*

---

## LISTE DES FIGURES

---

---

### LISTE DES FIGURES

Figure I.1 Position géographique du complexe .....	6
Figure I.2 Organigramme de <b>CEVITAL</b> agro .....	6
Figure I.3 Processus de fabrication de la margarine .....	8
Figure I.4 Cuves de préparation d'émulsion .....	9
Figure I.5 Photo d'un combineur .....	9
Figure I.6 Palettiseur en deux vues .....	10
Figure II.1 Deux vue générale de la machine (face / derrière) .....	13
Figure II.2 Illustration des stations pots et dosage .....	14
Figure II.3 Station principales de la machine KB HAMBBA 8006 .....	15
Figure II.4 Pupitre de commande .....	17
Figure II.5 Illustration du schéma électrique d'alimentation des 2 convoyeurs .....	17
Figure II.6 Convoyeur a bande .....	18
Figure II.7 Convoyeur a rouleaux .....	19
Figure II.8 Convoyeur à chaîne .....	19
Figure II.9 Convoyeur a vis .....	20
Figure II.10 Convoyeur télescopique .....	20
Figure II.11 Dessin technique des 2 convoyeurs verticales pots/couvercles .....	22
Figure II.12 Motoréducteur avec un variateur intégré .....	24
Figure II.13 Illustration des composants de moteur asynchrone triphasé utilisé .....	24
Figure II.14 Dessin structurelle qui représente le fonctionnement du réducteur .....	25
Figure II.15 Vue d'un vérin de guidage du notre convoyeur .....	26
Figure II.16 Électro distributeur avec son symbole .....	27
Figure II.17 Unité conditionnement d'air .....	27
Figure II.18 Symbole Filtre-manodétendeur .....	28
Figure II.19 Symbole d'un distributeur 3/2 .....	28
Figure II.20 Schéma d'un capteur .....	29
Figure II.21 Dessin illustratif avec le symbole d'un capteur inductif .....	29
Figure II.22 Symbole d'un capteur capacitif .....	30
Figure II.23 Un détecteur photoélectrique avec son symbole .....	31
Figure II.24 Systèmes de barrage,réflex, proximité .....	32
Figure II.25 Disjoncteur .....	33
Figure II.26 Sectionneur .....	33
Figure II.27 Interrupteur sectionneur .....	34
Figure II.28 contacteur auxiliaire .....	34
Figure II.29 Grafctet du convoyeur de la machine .....	38
Figure.III.1 Rôle d'un moteur asynchrone .....	43
Figure.III.2 Stator d'une MAS .....	44
Figure III.3 Rotor d'un MAS .....	44
Figure.III.4 Plaque à bornes. ....	44

## LISTE DES FIGURES

Figure.III.5 Schéma équivalent. ....	45
Figure.III.6 Variation de vitesse par action sur le glissement.....	46
Figure.III.7 Variation de vitesse par action sur le nombre de pole. ....	46
Figure.III.8 Description du variateur intégré.....	48
Figure.III.9 Schéma Câblage .....	49
Figure III.10 Schéma de fonctionnement classique d'un variateur de vitesse. ....	50
Figure III.11 Constitution des variateurs de vitesse. ....	51
Figure.III.12 Circuit auxiliaire. ....	52
Figure III.13 Circuit intermédiaire à courant continu variable.....	52
Figure.III.14 Circuit intermédiaire à tension continue constante ou variable. ....	53
Figure.III.15 Circuit intermédiaire à tension variable.....	53
Figure.III.16 Onduleur triphasé.....	53
Figure.III.17 Circuit intermédiaire à tension variable par l'hacheur. ....	54
Figure.III.18 Fonctionnement à U/f constant. ....	56
Figure.III.19 Orientation du flux rotorique sur l'axe d.....	57
Figure III.20 La commande vectorielle directe.....	58
Figure.III.21 Commande vectorielle indirecte de la MAS.....	59
Figure III.22 Activation de la fonction de sécurité STO. ....	60
Figure.III.23 Activation de la fonction de sécurité SLS. ....	60
Figure.III.24 Activation de la fonction de sécurité SS1. ....	61
Figure.III.25 Activation de la fonction de sécurité SMS. ....	61
Figure.III.26 Activation de la fonction de sécurité GDL.....	62
Figure IV.1 Organigramme d'un AG.....	66
Figure IV.2 Exemple de roue avec 3 chromosomes. ....	69
Figure IV.3 Représentation schématique du croisement en 1 point de coupure. ....	70
Figure IV.4 Représentation schématique d'une mutation dans une chaîne binaire.....	71
Figure IV.5 Outil d'optimisation MATLAB.....	72
Figure IV.6 Population. ....	73
Figure IV.7 Fitness scalling. ....	73
Figure IV.8 Selection.....	74
Figure IV.9 Reproduction. ....	74
Figure IV.10 Mutation. ....	74
Figure IV.11 Crossover. ....	74
Figure IV.12 Migration.....	75
Figure IV.13 Hybrid function.....	75
Figure IV.14 Stopping criteria.....	76
Figure IV.15 Plot function. ....	76
Figure IV.16 Output function.....	76
Figure IV.17 Display to command window.....	77
Figure IV.18 User function evaluation.....	77
Figure IV.19 Schéma équivalent en $\Gamma$ .....	79
Figure IV.20 Résultats de l'algorithme génétique. ....	80
Figure IV.21 Visualisation graphique ses résultats de l'algorithme génétique. ....	80

## LISTE DES FIGURES

---

---

Figure IV.22 Schéma de simulation de la MAS .....	82
Figure IV.23 Résultats de simulation du modèle en tension de la MAS (démarrage à vide) .....	83
Figure IV.24 Résultats de simulation du modèle en tension de la MAS en charge .....	84
Figure IV.25 Schéma bloc de simulation avec la commande vectorielle .....	85
Figure IV.26 Résultats de simulation du FOC de la MAS avec variation de vitesse .....	86
Figure IV.27 Résultats de simulation du FOC de la MAS avec variation de la charge.....	87

## *Liste des Tableaux*

---

## **LISTE DES TABLEAUX**

---

---

### **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau II.1 Nomenclature du dessin technique de la KB HAMBА 8006.....	16
Tableau II.2 Nomenclature des composants du moteur.....	25
Tableau II.3 Notation des éléments du convoyeur vertical .....	37

## ***Liste des Abréviations***

---

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

---

---

### LISTE DES ABRÉVIATIONS

- API** : Automates Programmables Industriels.  
**RMN** : Résonance Magnétique Nucléaire.  
**HSE** : Hygiène Sécurité.  
**DRH** : Direction Ressources Humaines.  
**SCE** : Service.  
**DPT** : Département.  
**LED** : Light-Emitting Diode.  
**T/J** : Tonnes/Jours.  
**MAS** : Machine Asynchrone.  
**AG** : Algorithme Génétique.  
**m** : Nombres de Phases.  
**P** : Paire de poles.  
**F** : Fréquence.  
**V** : Tension.  
 **$N_n$**  : Vitesse Nominale.  
 **$N_s$**  : Vitesse Synchronisme.  
**g** : Glissement.  
 **$\Omega$**  : Vitesse angulaire de rotation.  
 **$C_r$**  : Couple Résistant.  
 **$C_e$**  : Couple Électromagnétique.  
 **$C_{fr}$**  : Couple Frottement.  
 **$X_2$**  : Réactance de fuite d'une phase du rotor.  
 **$X_1$**  : Réactance de fuite d'une phase du stator.  
 **$X_m$**  : Réactance de magnétisation du stator.  
 **$\varphi_s$**  : Flux statorique.  
 **$\varphi_r$**  : Flux rotorique.  
 **$\Omega_{ref1}$**  : Valeur de référence de vitesse angulaire 1.  
 **$\Omega_{ref2}$**  : Valeur de référence de vitesse angulaire 2.

# *Introduction générale*

---

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

---

Les machines industrielles, étant le pivot central du domaine de l'électromécanique, qui imprègnent notre existence quotidienne de leur omniprésence, jouent un rôle primordial et incontournable dans tous les secteurs à l'avant-garde technologique. Ces machines industrielles, par le biais de leur processus de fabrication, intègrent une pléthore d'éléments d'équipement sophistiqués. Parmi ces derniers se trouvent des dispositifs mécaniques complexes, des systèmes de manutention novateurs, des presses hydrauliques d'une précision extrême, des générateurs réputés pour leur fiabilité inébranlable, ainsi que des commutateurs d'une performance éminente. Par conséquent, l'univers de l'électromécanique, renommé pour sa diversité remarquable et son étroite interconnexion avec de multiples domaines économiques, repose intrinsèquement sur l'utilisation et la fabrication de ces machines industrielles d'exception.

La compagnie est intrinsèquement intégrée à son environnement et ne jouit donc pas d'une indépendance totale et absolue. Par ailleurs, les activités commerciales de l'entreprise se développent en étroite corrélation avec des enjeux économiques qui imposent des exigences contraignantes. Par conséquent, l'entreprise doit garantir une production continue qui ne soit pas préjudiciable à sa productivité. Ainsi, elle doit faire appel aux experts qui ont conçu les machines en raison de leur complexité et de la pénurie de connaissances disponibles sur place concernant la conception et le fonctionnement de ces systèmes.

Cependant, le célèbre groupe **CEVITAL**, reconnu pour sa singularité en termes de qualité et de production, ainsi que pour son expertise et ses liens étroits avec l'université de Bejaia, continue d'innover en améliorant constamment ses processus industriels. Le travail de Master proposé s'inscrit parfaitement dans cette perspective.

Le processus impliqué est constitué de manière indépendante de six lignes de production, dont une ligne (la ligne 01) est réservée à la maintenance à chaque fois. Le problème à résoudre se divise en deux flancs :

- ❖ **Flanc de qualité** : C'est la qualité du produit qu'est mise en péril, problème de texture et qualité de conditionnement du produit final (c'est-à-dire risque d'endommager la machine à convoyage vu l'utilisation des paramètres de production extrêmes « le surdimensionnement du moteur asynchrone »).
- ❖ **Flanc technique** : Afin d'obtenir un produit adapté avec une qualité exceptionnelle, le processus de fabrication est contraint d'utiliser une autre ligne pour répondre à la demande de la clientèle en termes de quantité. Ainsi, on doit souvent commuter entre deux lignes de production (la ligne 2 et la ligne 3), l'une disposant de deux cristalliseurs (Fleurial 250g et 500g) et l'autre de trois (Feuillette), ce qui a une incidence sur la disponibilité du deuxième produit.

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

---

Afin d'organiser notre travail de manière méthodique, nous avons structuré notre approche de la manière suivante :

Le premier chapitre, nous allons présenter, l'entreprise au sein dans laquelle nous avons réalisé notre stage en citant ses différentes activités et missions, nous avons exposé les différentes machines de production existantes dans l'unité de margarinerie par capacité de production et type de produit.

Le deuxième chapitre sera consacré à la présentation de la machine a convoyage verticale, et de toutes ces parties essentielles, sa conception mécanique, sa commande et protection électrique et son système d'entraînement, suivi de la problématique existante.

Le troisième chapitre de cette étude se concentre sur une exploration approfondie de la machine asynchrone, mettant en lumière ses différentes configurations et constituants. Nous procédons à une description détaillée du variateur intégré au moteur préexistant du système de convoyage, de plus, une attention particulière est accordée à la présentation détaillée du variateur Altivar 320, qui se distingue par son principe de commande sophistiqué et ses multiples fonctions avancées.

Le quatrième chapitre de cette étude est dédié à l'identification des paramètres du moteur asynchrone, en utilisant une approche avancée basée sur l'algorithme génétique. Nous combinons cette méthodologie avec la simulation de la machine asynchrone en utilisant la commande vectorielle, qui est le principe de commande adopté par notre variateur Altivar 320. Nous procédons ensuite à la visualisation des résultats obtenus, afin d'analyser et d'évaluer la performance du moteur ainsi que l'efficacité de notre approche d'identification des paramètres.

Finalement, notre travail aboutit à une conclusion globale qui marque la clôture de notre étude.

***Chapitre I : Présentation du complexe  
CEVITAL***

---

### I.1. Introduction

Le développement des machines électriques et automatiques a joué un rôle majeur dans l'évolution du monde industriel. Ces dispositifs ont permis une augmentation de la productivité, une amélioration de la qualité et une réduction des coûts de production, ce qui a contribué à la croissance de l'industrie.

Les machines électriques, telles que les moteurs électriques, ont remplacé progressivement les machines à vapeur et à combustion interne dans les processus industriels. Les moteurs électriques sont plus efficaces, plus faciles à entretenir et plus respectueux de l'environnement que leurs prédécesseurs.

Les machines automatiques, telles les automates programmables industriels (**API**), ont permis une automatisation plus poussée des processus de production. Les **API** peuvent effectuer des tâches répétitives et intrépides plus rapidement et avec une précision accrue, ce qui réduit les erreurs et amplifie la qualité des produits.

Le développement des machines électriques et automatiques a également conduit à l'émergence de nouveaux secteurs industriels, tels que l'automatisation industrielle et la robotique, qui offrent des solutions technologiques pour améliorer les processus de production et les performances des entreprises.

En somme, le développement des machines électriques et automatiques a considérablement influencé le monde industriel en permettant une production plus expéditif, plus opérant, plus lucratif et plus attentionnée de l'environnement.

À l'issue de notre stage au sein du complexe **CEVITAL**, et plus spécifiquement au sein de l'unité de la margarinerie, nous nous attellerons à l'objectif principal de ce chapitre, qui consistera en une présentation approfondie et exhaustive de ce complexe. Mettant en exergue l'importance cruciale de l'automatisation mécanique et électrique des machines pour assurer leur bon fonctionnement, nous nous efforcerons de développer notre capacité à intervenir de manière agile et réactive en cas de défaillance. Un élément clé de cette présentation future sera la machine à convoyage vertical, qui constituera le socle fondamental de notre mission.

### I.2. Historique

**CEVITAL** est un conglomérat algérien qui opère dans plusieurs secteurs, notamment l'agroalimentaire, l'automobile, l'électroménager, les matériaux de construction, l'électronique et les services financiers. Fondé en **1998** par l'homme d'affaires algérien **Issad REBRAB**, **CEVITAL** est devenu l'une des plus grandes entreprises privées d'Algérie, employant plus de 18 000 personnes et générant un chiffre d'affaires annuel de plusieurs milliards de dollars.

Son complexe de production se situe au port de BEJAIA et s'étend sur une superficie de 45000m<sup>2</sup>. Les marques les plus connues de **CEVITAL** incluent les marques d'huile de cuisine « FLEURIAL », « ELIO », la marque d'électroménager "Brandt".

En effet les besoins du marché national sont de 1200 tonnes/jours d'huile l'équivalent de 12 litres par personne et par ans. Les nouvelles données économiques nationales dans le marché de l'agro-alimentaires, font les meilleurs sont ceux qui maîtrisent d'une façon efficace et optimale les coûts, les charges et ceux qui offrent le meilleur rapport qualité prix.

Et pour s'imposer sur le marché que **CEVITAL** négocie avec les grandes sociétés commerciales telles que CARREFOUR et AUCHAN (en France), ROYAL (suisse), et d'autre sociétés spécialisées dans l'import-export en UKRAINE, RUSSIE, LIBYE, ses produits se vendent dans différents villes africaines (Lagos, Niamey, Bamako, Tunis...).

**CEVITAL** Agro-industrie s'engage à prendre en considération les attentes de ses collaborateurs, de ses prestataires et de ses parties prenantes. Elle veille à ce que ses actions soient aussi efficaces que possible et orientées vers l'atteinte des résultats souhaités, en améliorant continuellement ses systèmes de management et en allouant les ressources nécessaires à cet effet.

Afin d'assurer la continuité de la pertinence et de l'alignement de la politique agro-industrielle de **CEVITAL** avec les objectifs de l'entreprise, il est prévu qu'une révision annuelle soit entreprise de ladite politique.

### I.2.1. Activités et Missions du complexe CEVITAL

Le complexe CEVITAL a été lancé en mai 1998 et ses activités de conditionnement ont débuté en décembre 1998. En février 1999, les travaux de génie civil ont commencé sur la raffinerie, qui est devenue opérationnelle en août 1999. La construction de la margarine a commencé en mars 2000. Après l'achèvement de la sucrerie en octobre 2000, jusqu'en juillet 2001, l'unité de margarine a été mise en service et la sucrerie a été achevée en octobre 2002.

Toutes les activités de CEVITAL sont centrées sur la production d'huiles, de margarine et de sucre comme suit :

- Raffineries de sucre.
- 1 Unité de sucre liquide.
- 1 Raffinerie d'huile, 3500 tonnes/jour.
- 1 Margarinerie.
- 1 Unité de conditionnement d'eau minérale.
- 1 Unité de fabrication et de conditionnement de boissons rafraichissantes.
- 1 Conserverie.

**I.2.2. Objectifs du groupe CEVITAL**

De par son positionnement national et international et la concurrence accrue dans le secteur agricole, seul le positionnement stratégique du Groupe CEVITAL peut garantir la pérennité et le développement de son marché. Une stratégie a donc été élaborée et traduite dans les objectifs suivants :

- S'engager à instaurer des systèmes de gestion de qualité, de sécurité alimentaire, de santé et de travail conformes aux normes et protocoles internationalement reconnus, avec un respect inconditionnel des exigences légales, réglementaires et autres,
- Garantir l'amélioration des compétences humaines à travers la formation, la sensibilisation et l'accompagnement dans divers domaines,
- Encourager la participation, la responsabilisation et l'engagement de l'ensemble des travailleurs en matière de santé et de sécurité, en analysant, en contrôlant et en réduisant les risques santé et sécurité au travail, et en instaurant un processus de consultation et de coopération avec les travailleurs,
- Développer une stratégie fondée sur la maîtrise des risques et des situations à tous les niveaux de l'organisation,
- Mettre en place des systèmes d'information simultanés et performants pour renforcer l'organisation,
- Étendre la distribution de ses produits diversifiés à l'ensemble du territoire national.

**I.2.3. Position géographique**

**CEVITAL** est implanté dans la région de Bejaia, à une distance de 200 mètres du port de plaisance, à 3 km au sud-ouest de la ville et à proximité des RN 26 et RN 9. Cette position géographique privilégiée confère à l'entreprise un avantage concurrentiel en matière de proximité économique. Le complexe s'étend sur une superficie de 45 000 mètres carrés, ce qui en fait le plus grand complexe privé d'Algérie. Il dispose d'une capacité de stockage de 182 000 tonnes/an grâce à ses silos portuaires, et d'un terminal portuaire de déchargement capable d'accueillir jusqu'à 200 000 tonnes/heure pour la réception des matières premières. En outre, CEVITAL dispose d'un réseau de distribution étendu comprenant 52 000 points de vente.

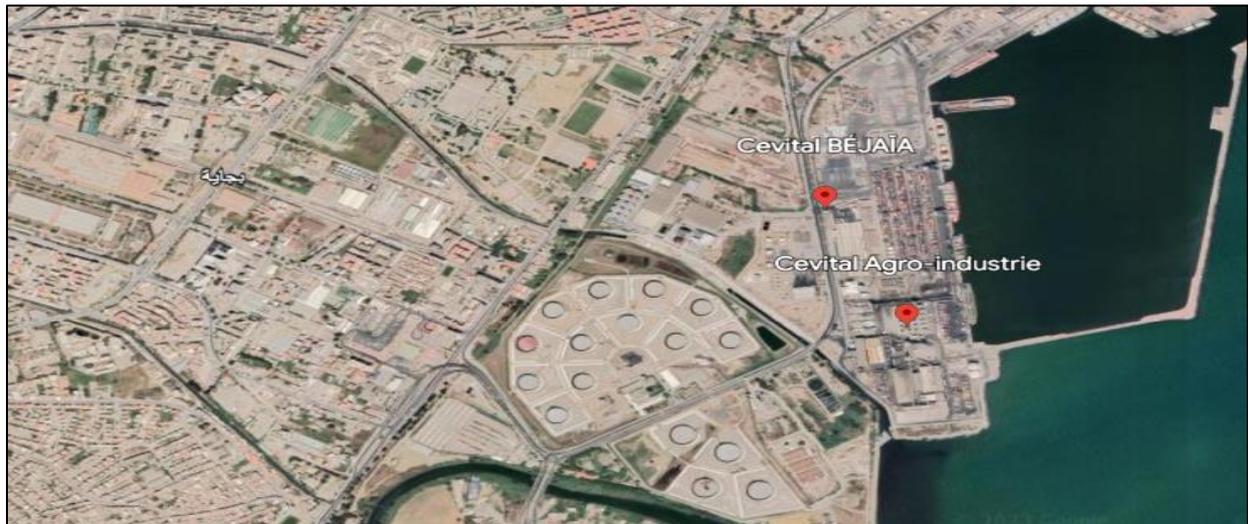


Figure I.1 Position géographique du complexe [1]

**I.2.4. Organigramme du complexe CEVITAL :**

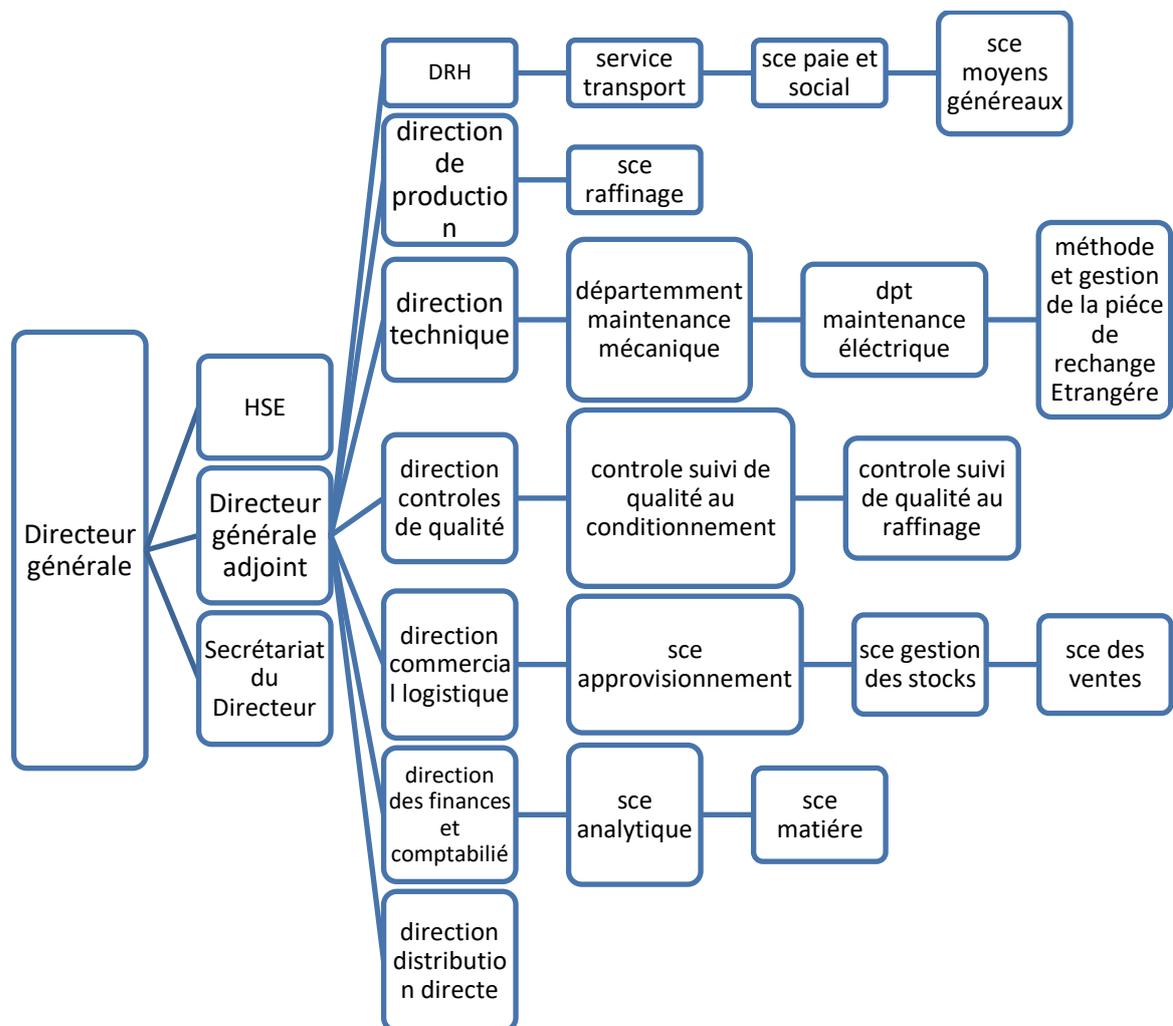


Figure I.2 Organigramme de CEVITAL agro

### I.3. Présentation de l'unité margarinerie

#### I.3.1. Définition

La margarinerie est une unité de production qui vise à optimiser la valeur ajoutée et la rentabilité de l'entreprise tout en répondant de manière efficace et efficiente aux besoins des clients. En d'autres termes, elle s'emploie à innover et à améliorer continuellement les processus de production afin d'augmenter la productivité et d'optimiser la rentabilité.

L'unité de production de margarine **CEVITAL** se compose d'un bâtiment de trois niveaux et possède une capacité de production de plus de 600 tonnes/jour. L'équipement de cette unité comprend des machines allemandes et françaises de marque SCHRODER et NOVA. Le deuxième étage abrite des bureaux pour l'équipe de maintenance, les méthodistes, le directeur de l'unité et le responsable de production, une salle de contrôle, un laboratoire physico-chimique équipé d'appareils de haute technologie tels que la RMN, un laboratoire microbiologique et des zones de pesage et de préparation. Le premier étage est dédié à la production avec six lignes indépendantes les unes des autres (émulsion, pasteurisation, cristallisation, conditionnement et encartonnage). Au rez-de-chaussée, la palettisation et le stockage des produits sont effectués dans une chambre froide.

#### I.3.2. Les lignes de production

- ✓ Les lignes (1, 2, 3) sont réservées à la production de différents types de margarine,
- ✓ Lignes (4, 5) pour la production de SMEN et de graisse,
- ✓ La sixième chaîne de fabrication de beurre destinée à approvisionner les besoins de l'armée.

#### I.3.3. La capacité de production par ligne et type de produit

- **Ligne 1** : Le catalogue de produits comprend le MATINA 250g, le FLEURIAL 500g et 250g, ainsi que le SMEN 500g. La capacité effective de production est de 80 tonnes par jour.
- **Ligne 2** : Le produit de feuilletage est disponible en conditionnement de 500g avec une capacité effective de production de 120 tonnes par jour.
- **Ligne 3** : En plus des plaquettes de FLEURIAL de 250g plus le beurre (gourmand et délice), de capacité réelle de production de 90T/J.
- **Ligne 4** : La capacité effective de production de SMEN EL MADINA, offerte en barquettes de 1,8 kg et 900 g, est de 80 tonnes par jour.
- **Ligne 5** : Le conditionnement en cartons de 20 kg de graisses végétales (SHORTENING, graisse de palme), sous la dénomination commerciale "SHORTENING", offre une capacité effective de production de 120 tonnes par jour.
- **Ligne 6** : Nous avons deux options : soit nous produisons du beurre pour l'armée en format de 5 kg, soit nous raccordons la nouvelle ligne de production pour fabriquer du feuilletage en format de 1 kg.

**I.4. Présentation de la ligne de production**

La Figure I.4 illustre le processus de fabrication de la margarine tel que mis en œuvre au sein du complexe CEVITAL.

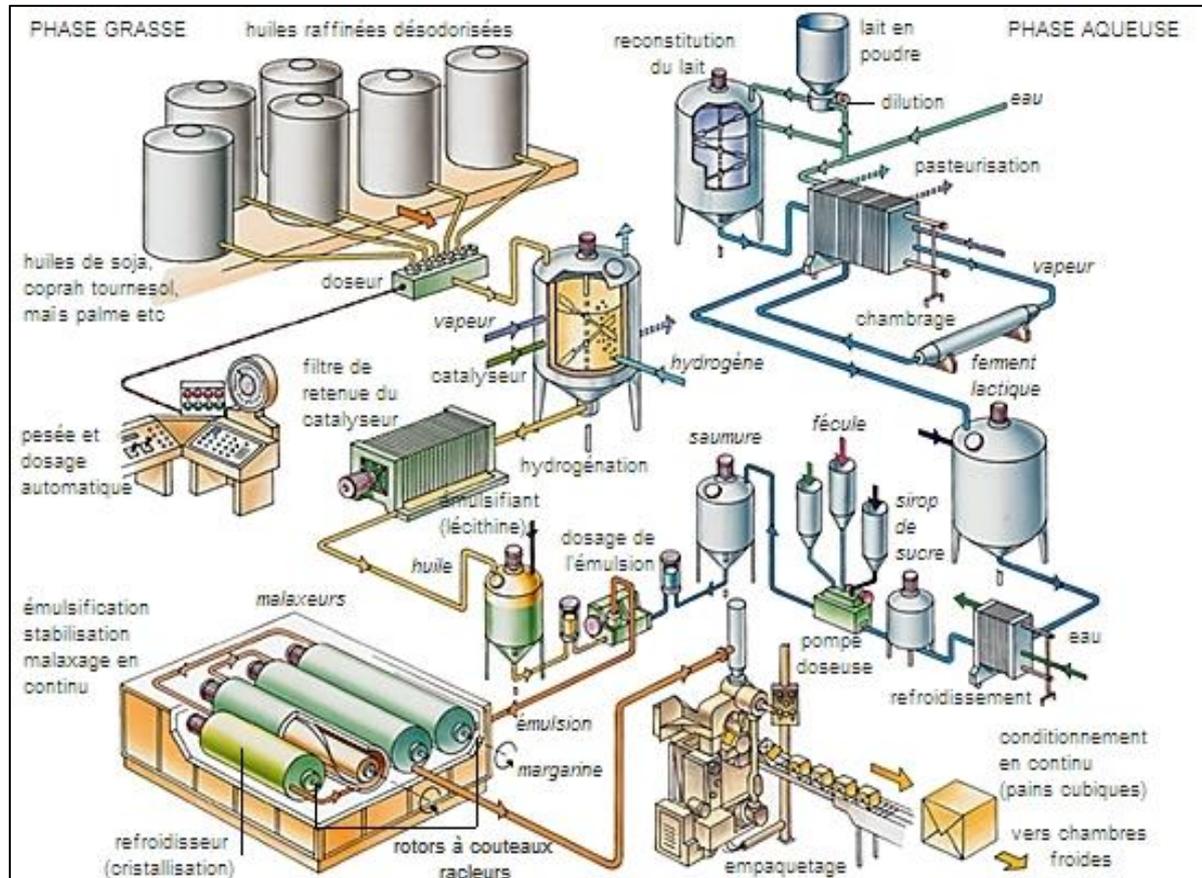


Figure I.3 Processus de fabrication de la margarine [3]

**I.5. Description des différentes machines utilisées dans la production**

Afin d'assurer une optimisation irréprochable du processus de fabrication de la margarine, une pluralité de machines a été soigneusement instaurée. Ces machines se voient attribuer des rôles fondamentaux et synergiques à chaque étape de la production, concourant ainsi à la garantie inébranlable de la qualité et de l'efficience du processus. Parmi cet ensemble de machines, on peut notamment citer :

**I.5.1. Les cuves de préparation d'émulsion**

Ces cuves, ont été méticuleusement mises en place. Qui jouent un rôle primordial en garantissant le mélange homogène des ingrédients, permettant ainsi la création de l'émulsion de base pour la margarine. Elles assurent la fusion harmonieuse des matières grasses, de l'eau, des émulsifiants et autres additifs, avec une précision minutieuse quant aux proportions utilisées, conduisant ainsi à une texture et une consistance optimale.



Figure I.4 Cuves de préparation d'émulsion

### I.5.2. Combinateur

Le combineur, se positionne comme un équipement d'échange thermique d'une complexité avancée. Il trouve application dans des processus tels que la pasteurisation et la cristallisation,

Le rôle prédominant du combineur réside dans sa capacité à cristalliser, pétrir et refroidir le produit, ce qui permet d'obtenir une qualité optimale et une texture recherchée. La cristallisation, étape cruciale, se traduit par le refroidissement et la solidification contrôlés de l'émulsion, afin de conférer au mélange des caractéristiques cristallines spécifiques. Il est important de souligner que les propriétés de cristallisation peuvent varier d'un mélange à un autre, en fonction des composants utilisés.



Figure I.5 Photo d'un combineur

### I.5.3. Dateur

Le dateur joue un rôle crucial en indiquant avec précision la date et l'heure de production du produit. Chaque ligne de production est équipée de deux variantes de dateurs, soit l'utilisation d'une technologie d'impression à jet d'encre, soit l'application directe de marquages par gravure laser sur la surface d'emballage. Ces méthodes permettent une traçabilité optimale et garantissent l'exactitude des informations temporelles associées à chaque unité de produit.

### I.5.4. Encartonneuse

Elle se résume à l'opération délicate de conditionnement des produits dans des emballages en carton, une étape essentielle pour assurer leur protection, leur présentation et leur manipulation optimales. Cette opération requiert une expertise technique pointue, garantissant la mise en place précise des emballages tout en respectant les normes de qualité et les exigences spécifiques du produit.

### I.5.5. Tapis roulant

Assure le déplacement des cartons en continu depuis la sortie de l'encartonneuse jusqu'à l'entrée du palettiseur. Grâce à sa conception sophistiquée et à ses fonctionnalités avancées, il permet une transition fluide et sans interruption des emballages, favorisant ainsi l'optimisation du flux de production et la coordination harmonieuse entre les différentes étapes du processus.

### I.5.6. Palettiseur

Cette machine est spécifiquement conçue pour exécuter l'opération complexe de stratification hiérarchique des charges sur les palettes, assurant ainsi un agencement optimal et une stabilité accrue des emballages en carton. Son fonctionnement avancé met en œuvre des mécanismes de levage et de positionnement d'une précision extrême, permettant la création de structures multicouches présentant une répartition homogène des charges. Cette opération exige une synchronisation parfaite et une coordination minutieuse entre les divers composants de la machine, garantissant la sécurité des produits empilés tout en facilitant leur manipulation ultérieure avec aisance.



Figure I.6 Palettiseur en deux vues

### I.5.7. Banderoleuse

Cette machine opère en effectuant une enveloppe étroite autour de la charge et de la palette, immobilisant habilement les produits palettisés. Cela est accompli grâce à la rotation précise de la barre porte-bobine, tandis qu'une bande de rôlage à multiples couches, composée d'un film étirable non toxique, garantit un emballage à la fois stable et

compact. Cette méthode sophistiquée de confinement assure la protection adéquate des produits tout en préservant leur intégrité.

## **I.6. Conclusion**

Dans ce chapitre préalablement abordé, une attention particulière a été accordée au complexe industriel de **CEVITAL**, révélant ainsi ses impératifs stratégiques. Cette section a conséquemment exposé en détail l'unité de production de margarine, mettant en exergue ses installations de pointe et ses objectifs ambitieux. Par ailleurs, une présentation exhaustive des diverses lignes de production a été menée, où chaque étape a été minutieusement décrite, des opérations préliminaires jusqu'à la confection finale du produit. De plus, une exploration rigoureuse des machines employées pour la fabrication de cette margarine a été entreprise, révélant l'ingénierie sophistiquée et la technologie de pointe mises en œuvre pour garantir un processus de production optimal.

## ***Chapitre II : description de la machine et problématique***

---

## **II.1. Introduction**

Le transport et la manutention de charges lourdes et volumineuses sont des opérations critiques dans les chaînes de production modernes, car elles peuvent entraîner des pertes de temps et d'argent considérables pour les entreprises. Ainsi, la mise en place d'un système de convoyage vertical peut offrir des avantages significatifs en termes d'efficacité, de sécurité et de productivité.

Au sein de l'usine de fabrication de margarine appartenant à l'entité **CEVITAL**, plusieurs équipements de production sont en place, répartis en cinq chaînes de production distinctes. Chacune de ces machines est munie d'un automate programmable afin d'en contrôler les opérations. Il est possible de particulariser les différentes machines de production de margarine selon leurs caractéristiques, comme suit :

- La HAMBА BK 8006M a été montée sur la première ligne de production en conjonction avec son dispositif d'encartonnage (SFS L1).
- L'unité d'emballage JUNGEMBERG, équipée de son propre dispositif d'encartonnage (SFS L2), est installée sur la deuxième ligne de production.
- La remplisseuse BENHIL a été intégrée sur la ligne 3, en association avec son propre dispositif d'encartonnage (SFS L3).
- NOVA, accompagnée de son dispositif d'encartonnage POLYPACK, a été placée sur la quatrième ligne de production.
- SCHOORTNING, dotée de son propre élévateur rotatif, a été affectée à la cinquième ligne de production.
- BOCK&SOON a été positionnée sur la sixième ligne de production avec son dispositif d'encartonnage (SFS L6), ainsi que deux nouvelles machines BOCK&SOON connectées à la ligne 6 pour la production de feuilletages de 1 kg.

Notre focalisation sera principalement dirigée vers la première machine de production, à savoir la **HAMBА BK 8006M**, et reposera sur l'exploitation optimale de son système de convoyage vertical.

## **II.2. Principe de fonctionnement de la machine KB HAMBА 8006**

Fondamentalement, la conception d'une machine appartenant à la série BK implique la mise en place d'une séquence de stations fonctionnelles. Ces stations sont conçues pour opérer selon un mode de transfert, et sont interconnectées par une chaîne de transport ainsi que des éléments de commande. Il est courant de représenter ces stations par des illustrations schématiques, afin de mieux appréhender leur fonctionnement et leur agencement.



Figure II.1 Deux vue générale de la machine (face / derrière)

### II .2.1. Stations de pots

Les ensembles de récipients sont prélevés à l'aide de ventouses de préhension et séparés individuellement par des ciseaux de défilage des récipients, actionnés mécaniquement avec le mouvement de montée des ventouses.

Les pots sont ensuite transférés perpendiculairement dans les plaques à alvéoles de la chaîne de transport des pots, avant cela ils doivent être chargés manuellement par un opérateur.

Cette station est capable de traiter des pots ayant des pas de défilage différents, avec une hauteur minimale de 5 millimètre.

Le magasin de séparation des pots est réglable en continu grâce à une commande manuelle centrale, qui permet de s'adapter aux différentes hauteurs de pots.

La station des pots dispose de deux mouvements mécaniques qui sont actionnés indépendamment l'un de l'autre. Chaque mouvement est entraîné par une came via un levier à rouleau :

- ✓ Les ventouses des pots ont une fonction "monter" et "descendre".
- ✓ Il y a des ciseaux qui permettent de séparer les pots en position "ouverte" ou "fermée".

### II.2.2. Station de dosage

La chaîne de transport achemine les pots depuis la station de pots jusqu'à la station de dosage. Une fois les pots atteignant leur position, les soupapes s'ouvrent et les pistons de dosage (les doseurs) descendent pour injecter la quantité adéquate de produit dans les pots. Il est crucial que la densité du produit reste constante pour garantir un

fonctionnement fiable des doseurs et une précision de dosage correcte. Une fois la dose prescrite atteinte, les soupapes se referment et les pistons remontent. La chaîne de transport assure ensuite le transfert des pots jusqu'à la station des couvercles passant par la station de thermo scellage.

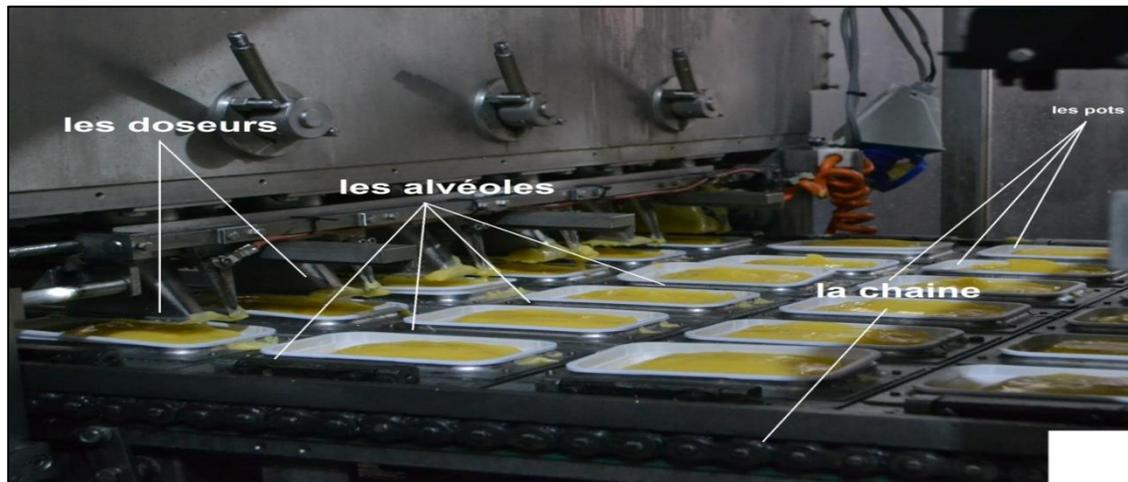


Figure II.2 Illustration des stations pots et dosage

### II.2.3. Station d'opercules thermo scellage

L'opération en question requiert la fixation des opercules ou des feuilles intérieures à l'aide d'une technique de scellage thermique ou ultra-sons. Cette méthode est mise en œuvre pour coller l'opercule sur toute la surface des pots, en utilisant une résistance à la température pouvant atteindre 230°C. Après cette étape, les pots sont transférés à la zone de pressage, où une pression est appliquée pour fixer les feuilles intercalaires en place.

### II.2.4. Station des couvercles

Une fois les pots parvenus à la station de couvercles, un bras portant des ventouses se déplace pour se positionner sous les piles de couvercles. À l'aide des ventouses et d'une pompe à vide, les premiers couvercles sont captés par le bras et déposés, enfoncés sur les pots remplis de margarine.

### II.2.5. Station de tassage

Les contenants acheminés vers cette station sont comprimés par la machine de compactage, facilitant ainsi la fermeture hermétique de leurs couvercles.

### II.2.6. Station d'évacuation

Le but de cette station est de transférer les contenants vers les convoyeurs de sortie, en passant d'abord par le dispositif de codage d'emballage. Le codage est effectué par un moyen de tampon encreur, qui projette un jet d'encre sur les pots remplis, avant leur

arrivée à la station d'emballage. Cette étape permet d'acheminer les produits vers le processus de palettisation.

### II.3. Description de la machine KB HAMBА 8006

#### II.3.1. Dessin technique de la machine

Les parties principales de la machine sont présentés sur la figure suivante :

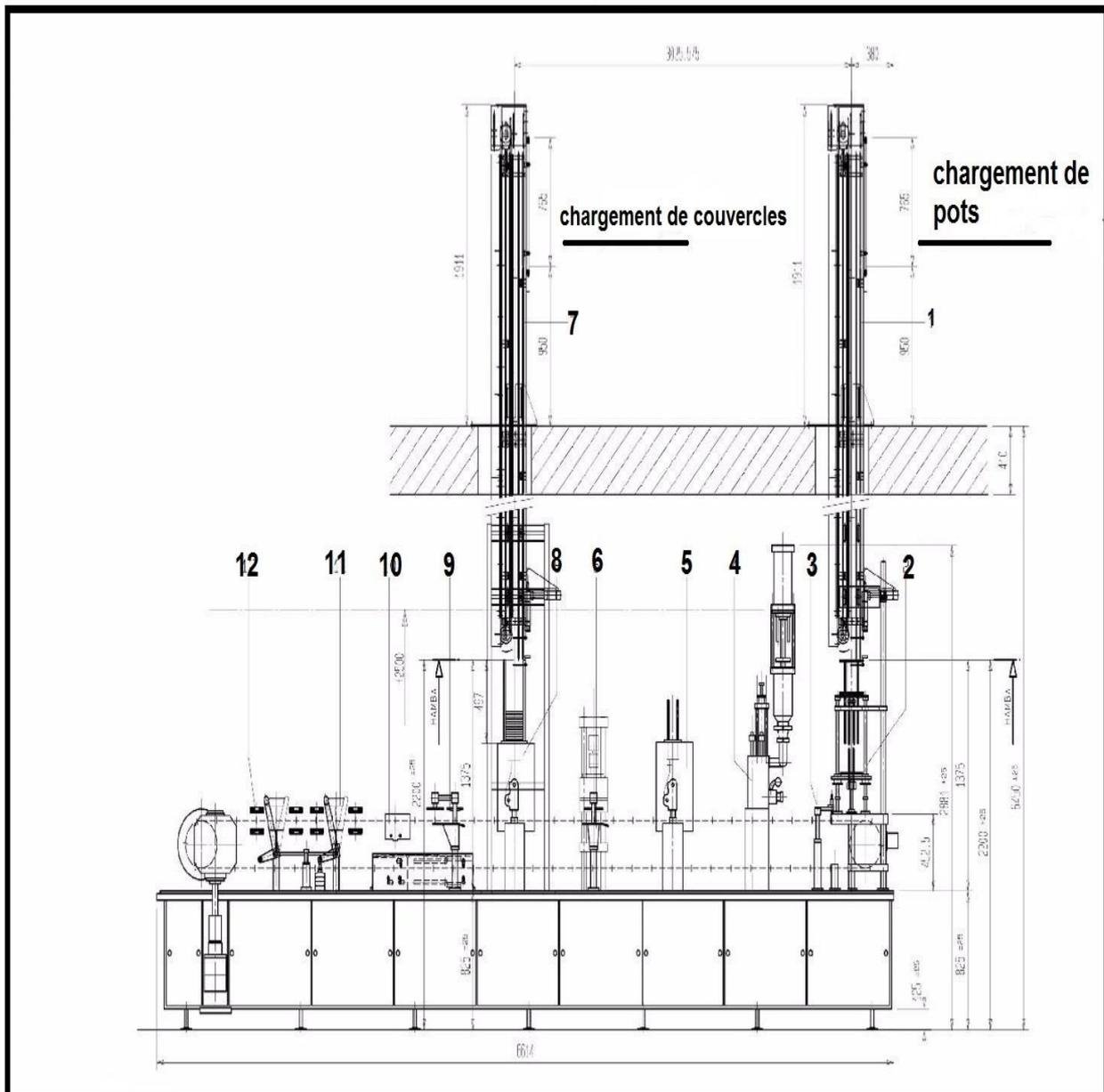


Figure II.3 Station principales de la machine KB HAMBА 8006[2]

Les éléments :	Sa désignation :	Les éléments :	Sa désignation :
N° 01	Alimentation de pots	N° 07	Alimentation couvercles coiffants
N° 02	Station de pots	N° 08	Station pour couvercles coiffants
N° 03	Control des pots	N° 09	Post-pression double des couvercles coiffants
N° 04	Doseur	N° 10	Allongement machine pour un changement manuel des plaques alvéoles
N° 05	Station d'opercule thermo scellage/ feuilles intérieures	N° 11	Élévation et évacuation des pots
N° 06	Post-pression pour feuilles intercalaires	N° 12	Transfert des pots sur convoyeur a quatre voies

Tableau II.1 Nomenclature du dessin technique de la KB HAMBА 8006[2]

### II.3.2. Caractéristiques de la machine

- Model : BK 8006 M
- Marque : HAMBА
- Numéro de série : 5956/I-F-M2
- Puissance totale : 12600 post/h
- Encombrement de la machine : L x I x H. 6614 x 2000 x 2200[2].

### II.4. Installation de la machine

La machinerie est munie d'un dispositif électrique et d'un pupitre de commande appropriés au genre de la machine.

Deux armoires électriques sont placées directement à côté des deux convoyeurs de pots et de couvercles du côté de l'opérateur. La commande de la machine est effectuée via le pupitre de commande logé dans la porte de l'armoire. Lorsqu'il y a une insuffisance d'espace disponible, une petite console est intégrée sur la machine, située du côté inférieur, et inclut tous les éléments de commande et d'affichage qui sont requis pour le fonctionnement de la production, comme la montre la figure ci-dessous :



Figure II.4 Pupitre de commande

Il est impératif de mettre en place des systèmes de commutation de puissance capables de transférer ou d'interrompre l'énergie électrique provenant du réseau vers les récepteurs. Cette fonction de commutation de puissance est assurée par des dispositifs tels que les interrupteurs, les disjoncteurs et surtout les contacteurs. Pour visualiser la configuration électrique globale de l'armoire, il convient de se référer au schéma électrique correspondant à l'alimentation des 2 convoyeurs de pots et de couvercles ci-dessous :

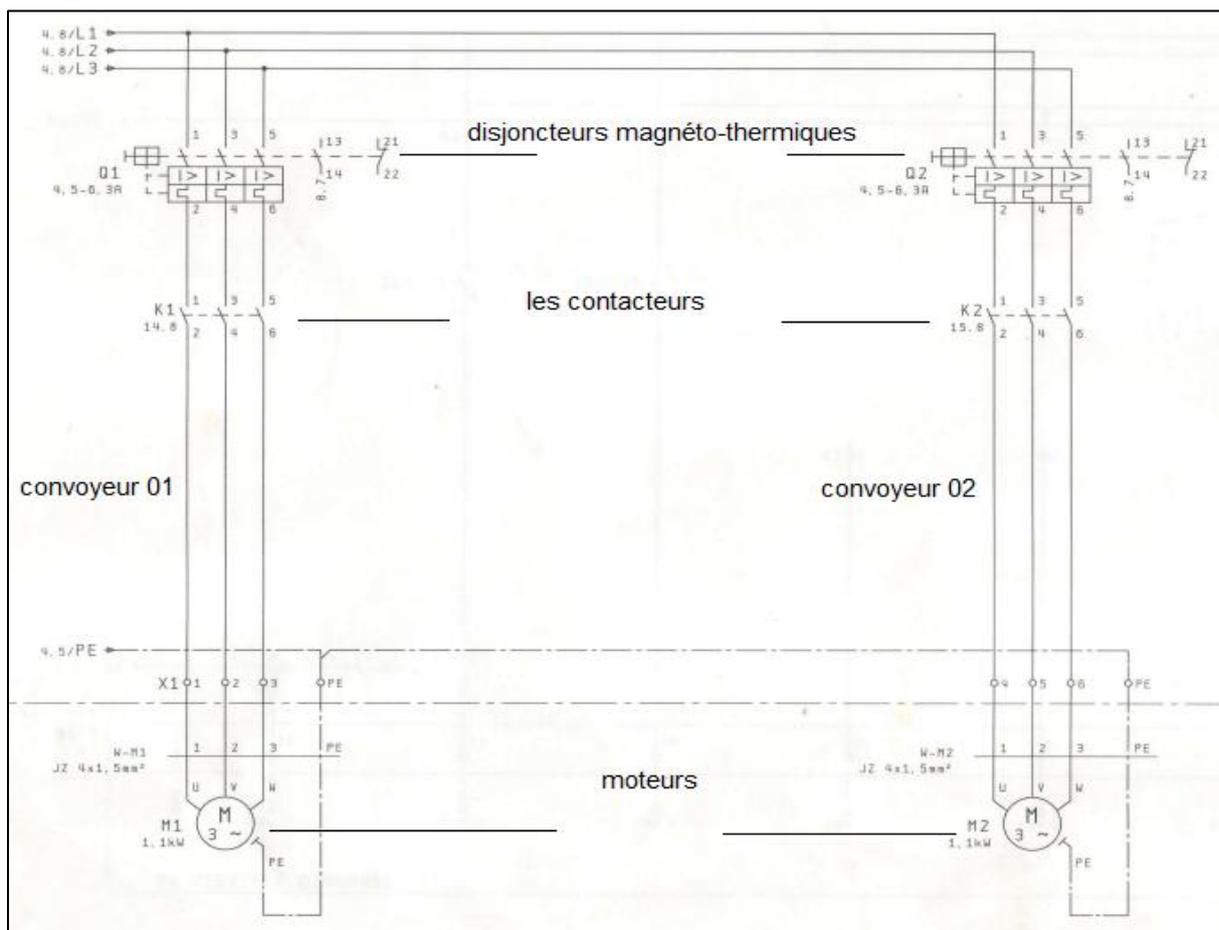


Figure II.5 Illustration du schéma électrique d'alimentation des 2 convoyeurs [2]

Dans la plupart des cas, pour faciliter la tâche des opérateurs qui sont souvent éloignés des organes de commande de puissance, il est nécessaire d'avoir recours à une

commande à distance. Celle-ci est assurée par un système moteur qui est piloté par des auxiliaires de commande, tels que des boutons poussoirs, pour remplacer l'action manuelle des opérateurs. La fonction de commande ou de contrôle nécessite généralement une indication de l'action entreprise, soit par visualisation à l'aide de voyants lumineux, soit par l'activation d'un deuxième appareil. Ces circuits électriques supplémentaires, appelés "circuits d'avertissement", sont également réalisés à l'aide de contacts intégrés aux contacteurs.

D'autre part, La conception de l'équipement requiert l'usage d'une diversité de produits, qui permettent de faciliter les procédures de montage, de câblage et de finition, tout en protégeant les dispositifs contre les agents externes. L'ensemble des équipements électriques, qu'ils soient destinés à la commande ou à la protection, sont logés à l'intérieur de ces 2 armoires dédiées.

## **II.5. Types de convoyeurs**

Un convoyeur se réfère à un équipement mécanique automatisé ou manuel, qui est utilisé pour le transfert et le déplacement de matériaux ou de produits d'un point à un autre, dans une chaîne de production ou de traitement. Ces matériaux présentent une grande diversité, parmi lesquels figurent les modèles les plus fréquemment utilisés :

### **II.5.1. Convoyeurs à bande**

Les convoyeurs à bande sont des équipements de manutention couramment utilisés pour le transport continu de matériaux ou de produits sur une bande flexible en caoutchouc, en PVC ou en polyuréthane. Les rouleaux de support maintiennent la bande en mouvement pour faciliter le déplacement.

Ces convoyeurs sont polyvalents et fiables, améliorant ainsi la productivité et l'efficacité des processus de production ou de manutention.



Figure II.6 Convoyeur a bande [5]

### **II.5.2. Convoyeurs à rouleaux**

Les convoyeurs à rouleaux sont des équipements qui utilisent des rouleaux pour supporter et déplacer les produits le long du trajet du convoyeur. Les rouleaux sont généralement en métal, en plastique ou en caoutchouc et sont placés à intervalles réguliers le long de la structure du convoyeur. Ainsi ces convoyeurs conviennent à une

variété de produits et de matériaux tels que les cartons, les palettes, les conteneurs et les sacs, pour les charges plus lourdes comme les métaux ou les pièces automobiles.

Ils peuvent être alimentés manuellement ou automatiquement, et sont souvent équipés de dispositifs de contrôle pour garantir une utilisation sûre et efficace. Ces dispositifs sont très polyvalents et sont largement utilisés dans divers secteurs industriels, notamment l'industrie d'entreposage, la logistique et l'agroalimentaire.



Figure II.7 Convoyeur a rouleaux [5]

### II.5.3. Convoyeurs à chaîne

Les convoyeurs à chaîne sont des équipements industriels hautement performants, utilisés pour le transport de charges lourdes et volumineuses sur de longues distances. Ils sont réputés pour leur robustesse et leur fiabilité, ce qui en fait un choix populaire dans les environnements de production industrielle. La chaîne elle-même est généralement fabriquée à partir d'acier trempé, résistant à l'usure et conçue pour durer longtemps. Ainsi ils sont souvent utilisés pour transporter des charges importantes telles que des palettes, des conteneurs ou des tuyaux, des matériaux plus volumineux tels que des barres d'acier ou des plaques de métal.

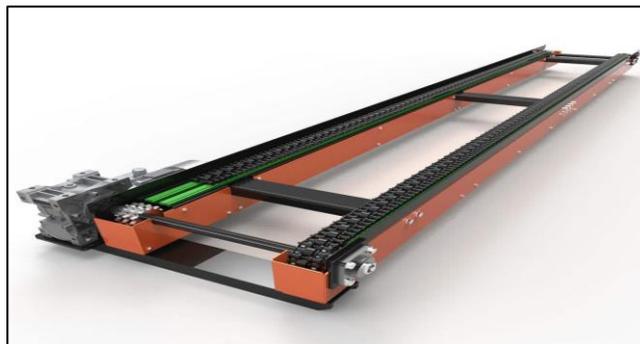


Figure II.8 Convoyeur à chaîne [5]

### II.5.4. Convoyeurs à vis

La vis sans fin est l'élément clé de ce type de convoyeur, composée d'un arbre rotatif hélicoïdal, entraîné par un moteur électrique ou hydraulique. Lorsque la vis sans fin tourne, les produits sont transportés le long du tube ou du canal, créant ainsi un

mouvement continu. Les convoyeurs à vis sont adaptés à une large gamme de produits, tels que les céréales, les engrais, les produits chimiques, les granulés et les minéraux. En outre, ils sont appréciés pour leur faible consommation d'énergie, leur maintenance réduite et leur capacité à transporter des produits sur de longues distances.

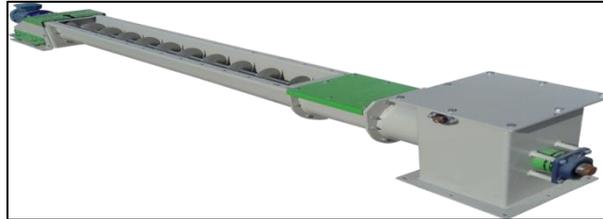


Figure II.9 Convoyeur a vis [5]

### II.5.5. Convoyeurs télescopiques

Les convoyeurs télescopiques sont des équipements flexibles qui permettent de régler la longueur du convoyeur en fonction de la taille des produits à transporter. Ils sont équipés de sections de convoyeur télescopiques qui peuvent être étendues ou rétractées pour répondre aux besoins spécifiques de la chaîne de production. Ces convoyeurs sont couramment utilisés dans des environnements tels que les installations de distribution, les quais de chargement et les entrepôts pour faciliter le transport des produits de différentes tailles. En outre, ils peuvent être équipés de fonctionnalités supplémentaires telles que des roulettes, des dispositifs de levage, des courroies de décharge et des guides de produit pour optimiser le mouvement des produits sur la ligne de convoyage.



Figure II.10 Convoyeur télescopique [5]

### II.6. Critères de sélection d'un convoyeur

- Il convient de déterminer la largeur de la bande transporteuse en considérant à la fois les dimensions des objets à manutentionner et leur position lors du transport,
- La capacité requise pour le bâti et les autres composants du convoyeur, tels que les rouleaux, les courroies, la butée, les axes et les paliers, doit être évaluée en fonction du poids des objets à manutentionner,
- Il est essentiel de prévoir la hauteur de travail ou de manutention avant l'achat du convoyeur afin de garantir une ergonomie adéquate pour les travailleurs. Il

convient de noter que les supports de convoyeurs ne permettent qu'un faible ajustement en hauteur,

- Il est recommandé de mettre en place un système de guidage des contenants pour éviter les chutes en dehors du convoyeur,
- Pour les convoyeurs non motorisés, il est nécessaire de prévoir des butées mécaniques à la fin du convoyeur,
- Les convoyeurs motorisés doivent être équipés d'arrêts d'urgence constitués de commandes multiples, à portée des travailleurs, placés aux postes de chargement et de déchargement et ailleurs le long du parcours du convoyeur,
- Des protecteurs fixes doivent être installés autour des organes mobiles tels que les pignons et les rouleaux sous le convoyeur pour garantir la sécurité des travailleurs.

## **II.7. Système à convoyeur verticale (notre objet d'étude)**

### **II.7.1. Définition**

Le convoyeur vertical, également connu sous le nom d'élévateur à godets, fonctionne grâce à une chaîne (notre cas) ou à une courroie qui fait circuler une série de godets le long d'un trajet vertical. Les godets sont fixés à des intervalles réguliers sur la chaîne ou la courroie, et sont conçus pour contenir une quantité précise de matériaux en vrac tels que des granulés, des poudres ou des liquides (des pots remplis de margarine selon notre cas).

Lorsque la chaîne ou la courroie tourne, les godets se déplacent le long du trajet vertical et transportent les emballages d'un niveau à l'autre. Les godets peuvent être remplis en bas du convoyeur, puis transportés jusqu'à un point de décharge en haut du convoyeur. Là, les matériaux peuvent être déchargés dans un bac, un silo ou tout autre dispositif de stockage ou de traitement (manuellement dans notre cas).

Les élévateurs à godets sont couramment utilisés dans les industries agroalimentaires, les usines de traitement des eaux usées, les centrales électriques et dans d'autres applications industrielles pour le transport de matériaux en vrac entre différents niveaux d'un processus de production ou de traitement.

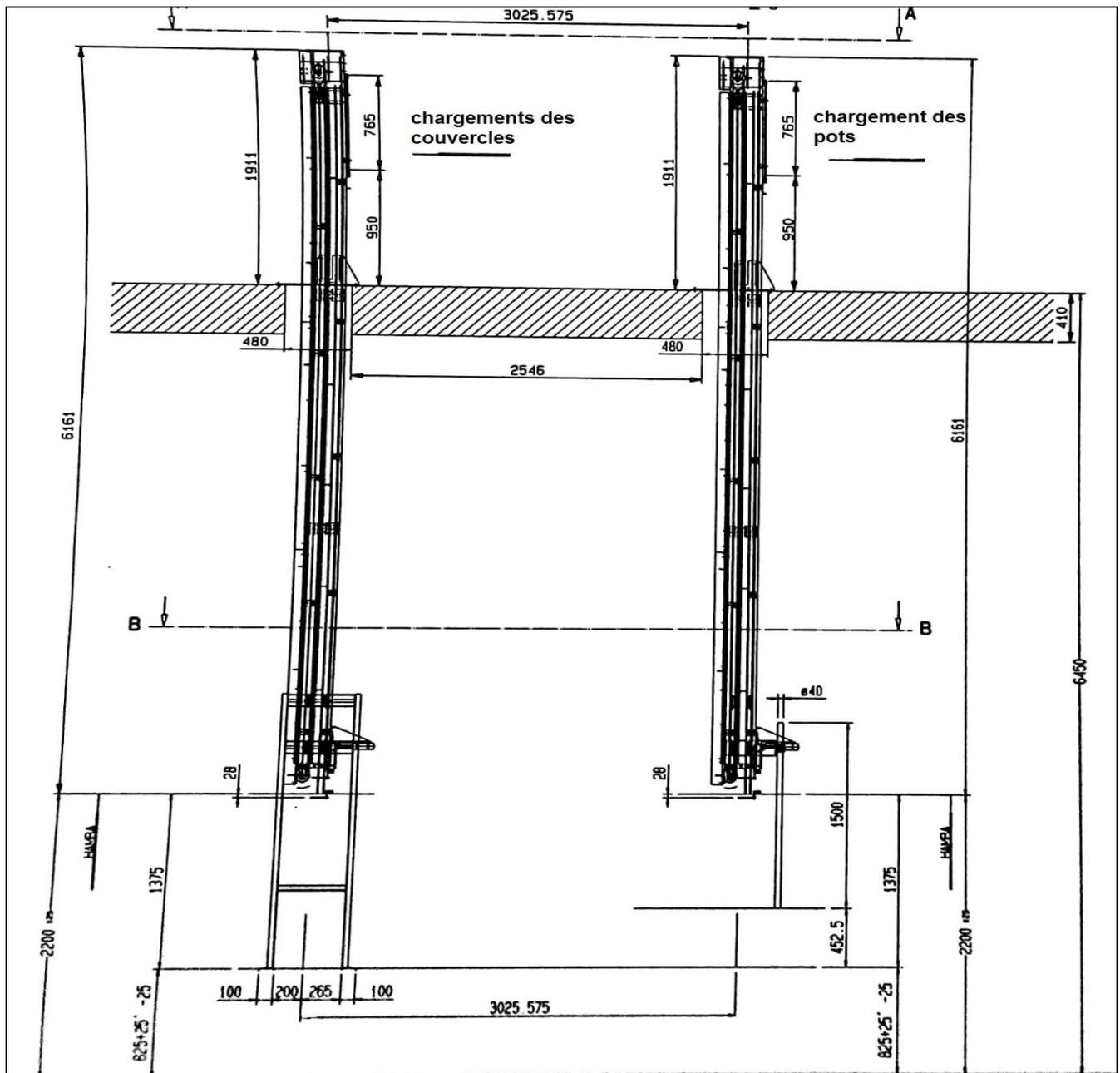


Figure II.11 Dessin technique des 2 convoyers verticales pots/couvercles [2]

## II.7.2. Avantages et inconvénients

Le convoyeur vertical, en qualité d'élément intrinsèque des dispositifs de transport industriels, révèle simultanément des bénéfices et des inconvénients inhérents à son édification et à son opération, tels que les énoncés ci-dessous :

### ✓ Avantages :

- **Efficacité :** Ce type de convoyeur peut transporter une grande quantité de matériaux en vrac de manière rapide et efficace entre différents niveaux d'un processus de production ou de traitement.

- Adaptabilité : Les élévateurs à godets peuvent être adaptés pour s'adapter à différentes configurations de sites et à une variété de matériaux en vrac, tels que des granulés, des poudres ou des liquides, ce qui en fait un choix polyvalent pour de nombreuses industries.
  - Sécurité : Les convoyeurs verticaux sont équipés de mécanismes de sécurité tels que des capteurs de niveau et des systèmes d'arrêt d'urgence pour garantir la sécurité des travailleurs.
  - Économique : Les élévateurs à godets peuvent être plus économiques que d'autres types de convoyeurs verticaux, comme les ascenseurs ou les monte-charges, en raison de leur conception simple et de leur facilité d'installation et de maintenance.
  - Environnement : ces élévateurs sont souvent équipés de systèmes de contrôle de la poussière pour réduire les émissions dans l'air, ce qui les rend plus respectueux de l'environnement que certains autres types de convoyeurs en vrac.
- ✓ **Inconvénients :**
- Coût élevé : Les élévateurs à godets peuvent être coûteux à installer et à entretenir en raison de leur complexité mécanique.
  - Usure des godets : Les godets peuvent s'user et se fissurer avec le temps, ce qui peut entraîner des coûts de maintenance et de remplacement.
  - Limitations de capacité : Les convoyeurs verticaux ont une capacité de charge limitée, ce qui peut limiter leur utilisation pour les matériaux en vrac les plus lourds.
  - Bruit : Le fonctionnement du convoyeur peut être bruyant, ce qui peut être gênant pour les travailleurs et nécessiter des mesures d'atténuation du bruit.
  - Entretien régulier : Les convoyeurs verticaux nécessitent un entretien régulier pour assurer leur bon fonctionnement, ce qui peut nécessiter des coûts supplémentaires en termes de main-d'œuvre et de pièces de rechange.

### **II.7.3. Constitution du convoyeur verticale**

#### **II.7.3.1. Le motoréducteur**

Le motoréducteur est une solution mécanique intégrant un moteur électrique triphasé (le cas de notre convoyeurs) ou monophasé, et un réducteur de vitesse, qui permet de fournir une puissance motrice. Il exploite l'énergie électrique générée par le moteur pour entraîner le réducteur qui, par la suite, diminue la vitesse de rotation et amplifie le couple de sortie.

Les motoréducteurs sont largement utilisés dans différentes applications industrielles telles que les machines-outils, les équipements de manutention, les pompes et les ventilateurs.

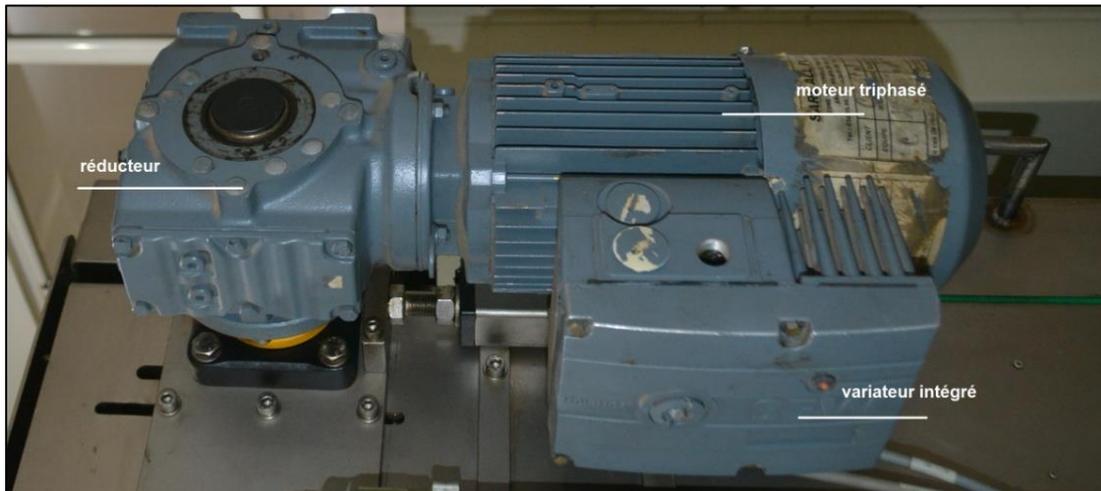


Figure II.12 Motoréducteur avec un variateur intégré

### II.7.3.1.1. Moteur asynchrone

Le moteur asynchrone est un dispositif électromécanique qui trouve une large application dans les industries. Son appellation "asynchrone" découle de la différence de vitesse de rotation entre son arbre de sortie et la fréquence de l'alimentation électrique, étant donné que ces deux grandeurs ne sont pas synchronisées. En effet, la vitesse de rotation de l'arbre de sortie varie en fonction de la charge exercée sur le moteur, ce qui entraîne une différence de vitesse de rotation avec l'alimentation électrique.

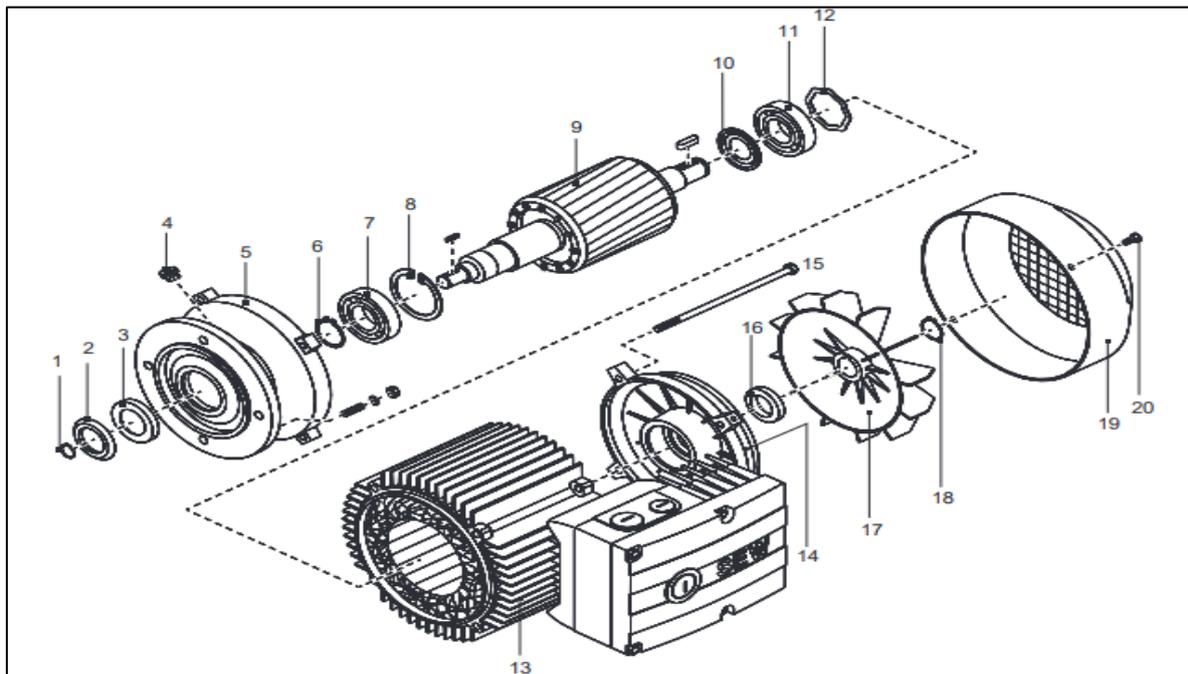


Figure II.13 Illustration des composants de moteur asynchrone triphasé utilisé [7]

1 : Circlips	2 : Déflecteur	3 : Bague d'étanchéité	4 : Bouchon	5 : Flasque-bride A
6 : Circlips	7 : Roulements à billes	8 : Circlips	9 : Rotor	10 : Bague nilos
11 : Roulements à billes	12 : Rondelle d'égalisation	13 : Stator	14 : Flasque B	15 : Vis H
16 : Joint V	17 : Ventilateur	18 : Circlips	19 : Capot ventilateur	20 : Vis de carter

Tableau II.2 Nomenclature des composants du moteur [7]

Son fonctionnement repose sur l'interaction électromagnétique entre un rotor et un stator. Le champ magnétique rotatif créé par le stator induit des courants dans les barres du rotor, provoquant la création d'un champ magnétique propre. L'interaction entre ces deux champs magnétiques engendre le couple qui assure la rotation du rotor. En effet, ils se prévalent d'une fréquente exploitation, par la vertu de leur robustesse, rendement énergétique et aptitude à engendrer une forte torsion à faible vitesse. Ils sont d'ordinaire utilisés en vue de la mise en marche de dispositifs de traitement et de production tels que des compresseurs, des convoyeurs, entre autres.

**II.7.3.1.2. Réducteur**

Les réducteurs sont des dispositifs mécaniques conçus pour réduire la vitesse de rotation d'un arbre d'entraînement et transmettre la puissance à un arbre de sortie à une vitesse inférieure. Ils sont couramment utilisés dans les machines industrielles, les équipements de transport, les systèmes de transmission de puissance et d'autres applications nécessitant un contrôle précis de la vitesse de rotation.

Ils sont composés d'un ensemble d'engrenages qui permettent de réduire la vitesse de rotation et d'augmenter le couple de sortie, ou bien d'un système de poulies et de courroies pour transmettre la puissance. Ils peuvent être conçus pour une variété de ratios de vitesse, en fonction des besoins de l'application. Le ratio de vitesse est défini comme la relation entre la vitesse de l'arbre d'entrée et celle de l'arbre de sortie. Par exemple, si le ratio de vitesse est de "10 pour 1" cela signifie que pour chaque tour effectué par l'arbre d'entrée, l'arbre de sortie effectuera environ 1/10 de tour, ce qui équivaut à une vitesse finale approximative d'un dixième de la vitesse initiale.

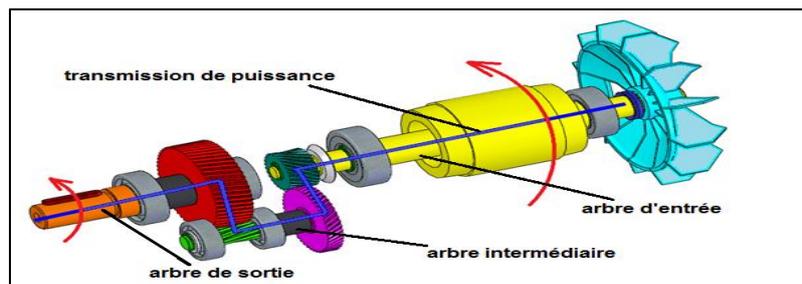


Figure II.14 Dessin structurelle qui représente le fonctionnement du réducteur [7]

Ces dispositifs peuvent être montés directement sur l'arbre de sortie ou séparément avec un couplage entre l'arbre d'entrée et l'arbre de sortie. Ils sont un élément essentiel dans de nombreuses applications où un contrôle précis de la vitesse de rotation est nécessaire, et ils sont disponibles dans une variété de tailles et de conceptions pour répondre aux besoins spécifiques de chaque application.

### **II.7.3.2. Vérin de guidage**

C'est un vérin compact qui utilise deux pistons travaillant en tandem pour créer un effet de guidage, tout en offrant une construction monobloc qui simplifie l'installation et permet de :

- Minimiser l'occupation d'espace,
- Accroître la rigidité du système,
- Offrir une connectique d'air comprimé modulable,
- Proposer plusieurs alternatives de fixation.



Figure II.15 Vue d'un vérin de guidage du notre convoyeur

Le vérin en question est couramment employé dans diverses applications, telles que les machines-outils, les équipements de levage et d'autres dispositifs nécessitant une grande précision de mouvement, tout en étant soumis à des restrictions d'espace significatives.

#### **II.7.3.2.1. Electro-distributeur**

Lorsqu'il est utilisé dans une installation de convoyeur vertical, le vérin de guidage est actionné par de l'air comprimé ou de l'huile hydraulique distribuée par un électrodistributeur. Ainsi que Le vérin de guidage utilise la pression du fluide pour générer un mouvement linéaire dans le système automatisé.

L'électrodistributeur est un dispositif électromécanique sophistiqué qui est conçu pour réguler précisément la quantité de fluide, souvent de l'air comprimé. Il est constitué d'un boîtier contenant des vannes qui peuvent être commandées indépendamment les unes des autres, chacune contrôlant le flux de fluide dans une sortie spécifique. La commande

de ces vannes se fait au moyen de signaux électriques qui activent les bobines situées sur chaque vanne.



Figure II.16 Électro-distributeur avec son symbole [8]

Lorsqu'il est utilisé correctement, le vérin de guidage en combinaison avec l'électrodistributeur peut offrir une précision et une fiabilité élevées pour le déplacement des charges transportées dans ce système à convoyage.

### II.7.3.2.2. Unité conditionnement d'air

Une unité de conditionnement d'air joue un rôle vital dans la régulation de la pression d'air requise pour l'alimentation du vérin de guidage. Cette unité se compose habituellement de divers composants, notamment un filtre à air, un régulateur de pression et un distributeur de mise en circuit.

Ensemble, ces éléments contribuent à maintenir une pression d'air stable et régulée, ainsi qu'à fournir une quantité régulée de lubrifiant pour protéger les composants internes du vérin de guidage contre l'usure et la corrosion.

De plus, ils offrent une protection contre les particules nocives et les fluctuations de pression d'air susceptibles de causer des dommages. Cette configuration est particulièrement utile dans le contexte d'un système de convoyage vertical.



Figure II.17 Unité conditionnement d'air [8]

### II.7.3.2.2.1. Filtre manodétendeur

Le filtre manodétendeur est un composant multifonctionnel hydraulique ou pneumatique qui combine deux opérations vitales en un seul élément.

Le filtre intégré est conçu pour filtrer les impuretés, y compris les particules minuscules, la saleté et l'eau, du fluide avant qu'elles n'atteignent les composants du système. Cette opération protège les pièces de la contamination, ce qui prolonge leur durée de vie et améliore leur performance globale.

Le détendeur, quant à lui, est un dispositif sophistiqué conçu pour réguler et maintenir la pression du fluide à un niveau constant et précis. Il réduit la pression élevée en amont à une pression de sortie inférieure et régulée, séparément des fluctuations de la pression d'entrée.

Cette fonctionnalité est essentielle pour une utilisation fiable et efficace des équipements hydrauliques et pneumatiques dans diverses applications industrielles.

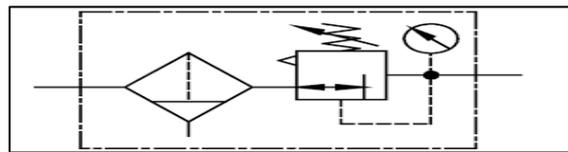


Figure II.18 Symbole Filtre-manodétendeur [8]

### II.7.3.2.2.2. Un distributeur 3/2 à commande manuelle

Ce mécanisme est un dispositif complexe qui dirige le flux d'un fluide vers une ou plusieurs destinations à l'aide d'une commande manuelle. Ils sont couramment utilisés dans les systèmes hydrauliques ou pneumatiques pour activer ou désactiver des actionneurs tels que des vérins, des moteurs, des valves ou des cylindres, et pour réguler la pression du fluide dans le circuit.

Ces dispositifs sont constitués d'un corps principal et d'un ou plusieurs éléments de commande manuelle, tels que des leviers, des boutons poussoirs ou des molettes, qui sont disposés de manière à diriger le flux de fluide vers les sorties appropriées lorsqu'ils sont actionnés.

Ainsi ils peuvent être configurés de différentes manières selon les besoins spécifiques de l'application, tels que le nombre de sorties, la pression et le débit de fluide.

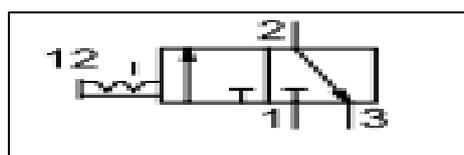


Figure II.19 Symbole d'un distributeur 3/2[8]

### II.7.3.3. Les capteurs

Un capteur est un transducteur qui convertit une grandeur physique en une autre grandeur de nature différente, généralement une grandeur électrique, pour la mesure ou le contrôle. Cette conversion de grandeurs physiques permet de collecter des informations d'entrée de l'environnement, telles que la température, la pression, l'humidité, la lumière, etc. Le signal de sortie envoyé par le capteur est la caractéristique de la grandeur physique mesurée, qui peut être exprimée sous différentes formes telles que des signaux logiques, analogiques ou numériques.

Les capteurs sont des composants fondamentaux dans de nombreux domaines tels que l'industrie, la robotique, les instruments scientifiques et la domotique. Ils sont essentiels pour assurer le contrôle et la régulation des processus, la surveillance de l'environnement, la détection de mouvement et de nombreuses autres applications critiques.

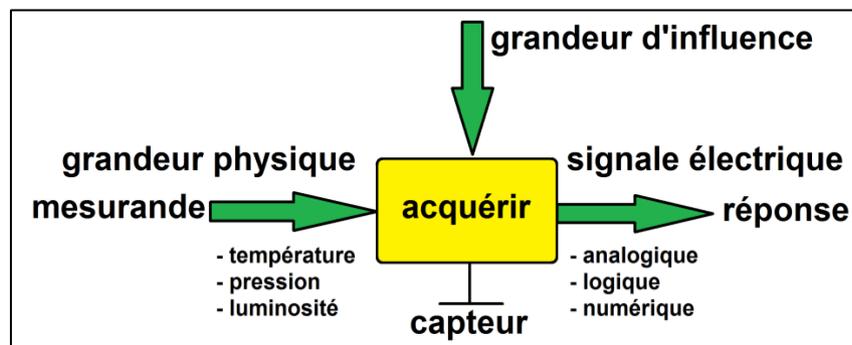


Figure II.20 Schéma d'un capteur

#### II.7.3.3.1. Capteur inductif

##### A. Principe de fonctionnement

Un capteur inductif de proximité est en mesure de détecter, sans contact physique, tous les objets possédant des propriétés conductrices, mais uniquement ceux qui sont fabriqués à partir de matériaux métalliques. L'oscillateur est le composant central de ce type de capteur et les bobinages qui le constituent sont responsables de la détection, comme cela est illustré dans la figure.

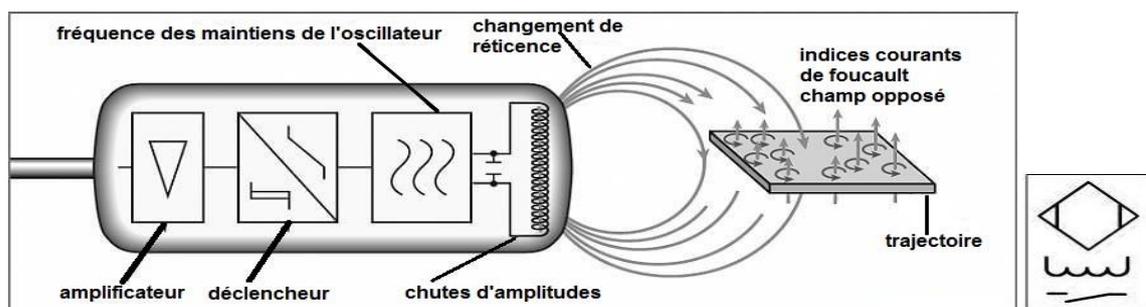


Figure II.21 Dessin illustratif avec le symbole d'un capteur inductif

### B. Critères de choix

- La capacité de détecter la présence d'objets sans aucun contact physique, réduisant ainsi l'usure, ce qui est particulièrement important pour les objets fraîchement peints ou les surfaces fragiles.
- La capacité de fonctionnement à haute cadence, ce qui est essentiel pour une utilisation avec des modules électroniques ou des automatismes.
- Une vitesse d'attaque élevée pour une réponse rapide aux signaux de courte durée.
- Une résistance accrue aux environnements industriels agressifs grâce à un enrobage complet des produits dans une résine de qualité supérieure.
- La conception statique du produit, qui élimine les pièces mobiles et garantit une longue durée de vie indépendamment du nombre de cycles de manœuvre.
- La possibilité de visualiser facilement l'état de la sortie pour une surveillance aisée de la performance du capteur.

### C. Domaines d'utilisation

On peut constater que ces détecteurs sont ubiquitaires dans des industries clés telles que la robotique, la chimie fine et l'agro-alimentaire, ainsi que dans des domaines fonctionnels tels que l'usinage, la manutention, l'assemblage et le convoyage.

#### II.7.3.3.2. Capteurs capacitifs

##### A. Principe de fonctionnement

Un détecteur de proximité capacitif est un dispositif électronique utilisé pour détecter la présence d'un objet et détecte tous les matériaux conducteurs ou isolants avec une constante diélectrique supérieure à un sans contact physique. Le capteur se compose principalement d'un oscillateur dont les condensateurs forment la surface sensible. Le principe de fonctionnement du capteur est basé sur le changement de capacité entre les condensateurs lorsqu'il y a un objet près de la surface sensible du capteur. Ce dernier détecte alors ce changement.

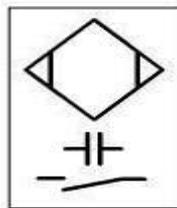


Figure II.22 Symbole d'un capteur capacitif

##### B. Critères de choix

- La portée de détection : correspond à la distance maximale à laquelle le capteur peut détecter un objet. Elle est conditionnée par les propriétés de l'objet à détecter, la taille des électrodes ainsi que la fréquence d'oscillation du capteur,

- La fréquence d'oscillation : La fréquence d'oscillation du capteur doit être ajustée en fonction de la taille des électrodes et de la distance de détection souhaitée, pour garantir une détection précise et fiable,
- La fréquence de commutation : doit être suffisamment élevée pour garantir une détection rapide et précise, mais également adaptée à la vitesse de déplacement de l'objet à détecter,
- L'environnement d'utilisation : Le choix du capteur doit prendre en compte les conditions d'utilisation, notamment la température, l'humidité, les vibrations ainsi que les interférences électromagnétiques,
- La tension d'alimentation : qui doit être compatible avec le système dans lequel le capteur sera utilisé.

#### II.7.3.4. Détecteurs photoélectriques

Un détecteur photoélectrique est un instrument de détection optique qui utilise des rayons lumineux pour percevoir la présence d'un objet. Ce type de dispositif opère en utilisant un émetteur de lumière tel qu'une diode électroluminescente (LED) ou un laser pour émettre un rayonnement lumineux et un récepteur pour détecter la lumière réfléchi par l'objet ciblé. Le fonctionnement de ce détecteur est basé sur le principe de la photodiode, dans lequel un photon de lumière est converti en énergie électrique pour générer un signal qui indique la présence de l'objet détecté.

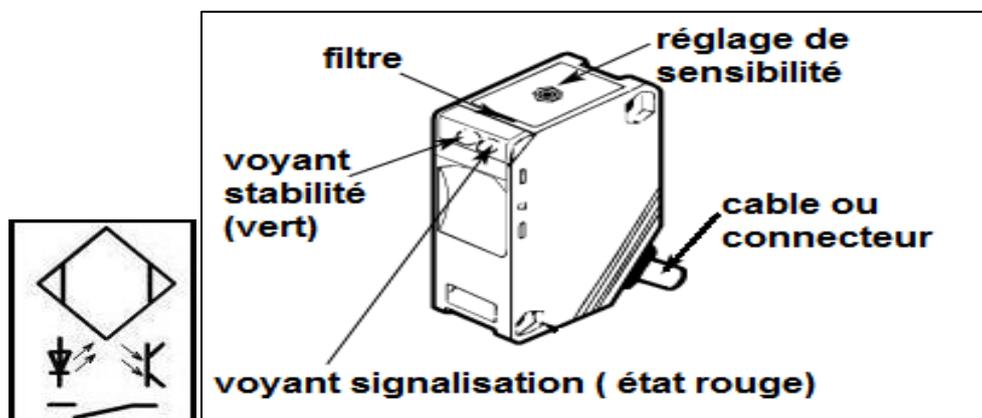


Figure II.23 Un détecteur photoélectrique avec son symbole

De manière générale, la constitution d'un détecteur photoélectrique se compose des éléments suivants :

- Un émetteur de lumière : une source optique telle qu'une diode électroluminescente (LED) ou un laser qui projette un faisceau lumineux en direction d'une zone prédéterminée.
- Un récepteur : une photodiode, un phototransistor ou un photomultiplicateur, capable de capter les rayons lumineux réfléchis par l'objet à détecter.

- Un circuit de traitement de signal : responsable de l'amplification du signal reçu par le récepteur, suivi d'un traitement analytique de celui-ci, permettant de conclure sur la présence ou l'absence de l'objet étudié.

Les détecteurs photoélectriques jouissent d'une grande utilité et leur application est fort étendue. En effet, ils sont omniprésents dans divers secteurs, tels que l'automatisation industrielle, la robotique, la sécurité, les systèmes d'inspection, pour ne citer que ceux-ci. Ils sont appréciés pour leur aptitude à répondre aux exigences complexes des industries modernes, tout en offrant une détection précise, une faible consommation d'énergie et une grande fiabilité opérationnelle.

#### II.7.3.4.1. Différents systèmes de détection

Les systèmes de détection adoptés dans les convoyeurs sont adaptés à chaque installation selon les spécificités et les exigences particulières de l'application en question. Ci-après, sont présentés quelques échantillons de systèmes de détection répandus qui sont couramment employés dans les convoyeurs.

1. **Le système de détection de barrage** est élaboré pour la détection des corps qui traversent le barrage optique constitué par une paire de capteurs optiques disposés face à face (émetteur/récepteur).
2. **Le système de détection de réflexion** utilise un capteur optique pour émettre un faisceau lumineux et détecter la réflexion de la lumière sur un objet, permettant ainsi de déterminer sa présence.
3. **Le système de détection de proximité** se fonde sur l'utilisation de capteurs de proximité qui, en recourant à des méthodes telles que la détection de champ magnétique ou la détection de distance, permettent de détecter la présence d'objets.

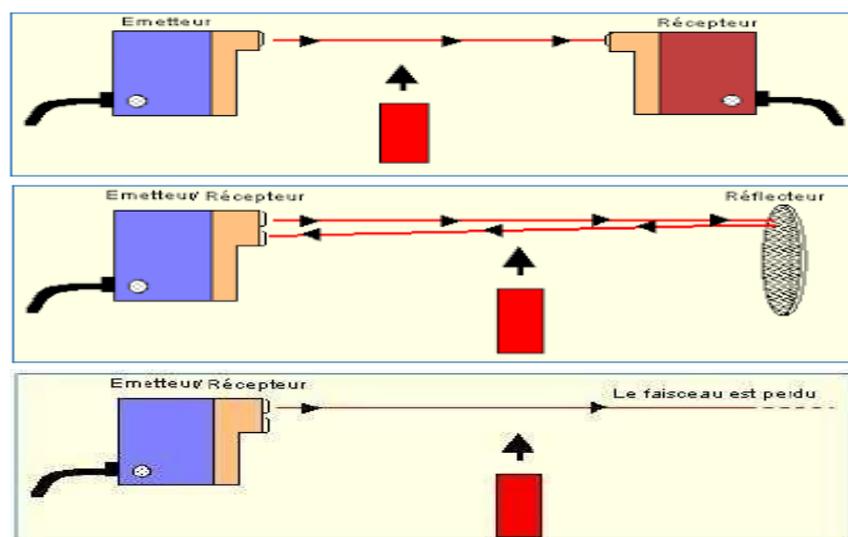


Figure II.24 Systèmes de barrage, réflex, proximité

### II.7.3.4. Dispositifs de sécurité

#### II.7.3.4.1. Disjoncteur

Le disjoncteur est un dispositif électrique qui assure la sécurité de l'installation électrique en détectant les anomalies telles que les courts-circuits et les surintensités. Le fonctionnement du disjoncteur repose sur le principe de la déformation progressive d'un composant thermique lorsque le courant électrique excède la valeur nominale, ce qui permet de couper automatiquement l'alimentation électrique et ainsi d'éviter les risques d'incendie et de dégâts matériels.

Par ailleurs, les disjoncteurs différentiels protègent les individus contre les chocs électriques causés par une mise sous tension accidentelle d'objets métalliques en contact avec des conducteurs sous tension.



Figure II.25 Disjoncteur [9]

#### II.7.3.4.2. Sectionneur

Le sectionneur représente un dispositif électromécanique d'une grande importance qui permet d'opérer la séparation physique d'un circuit électrique et de son alimentation tout en garantissant une distance de sectionnement suffisante pour la sécurité électrique.

Ce mécanisme peut avoir pour but de sécuriser les personnes intervenant sur la partie isolée du réseau électrique ou encore de supprimer une partie défectueuse du circuit pour utiliser les autres parties saines. Il est à noter que dans la plupart des cas, le sectionneur est équipé de fusibles de protection ainsi que d'un ou deux contacts de pré-coupeure.



Figure II.26 Sectionneur [9]

### II.7.3.4.3. Interrupteur sectionneur

L'interrupteur est un dispositif mécanique de connexion doté de la capacité d'établir, de maintenir et de rompre des courants dans des conditions normales de circuit, en incluant les charges de service spécifiquement définies, tout en étant apte à supporter des courants pendant une durée précisément déterminée dans des conditions anormales, telles que celles engendrées par des courts-circuits.

Un mécanisme de commande manuelle est lié à ce dispositif et permet l'ouverture et la fermeture rapide des contacts, indépendamment de la vitesse de l'opérateur. Si l'interrupteur répond aux critères d'isolation spécifiés par les normes en tant que sectionneur, il peut être qualifié d'interrupteur sectionneur.



Figure II.27 Interrupteur sectionneur [9]

Il convient de souligner que la distinction majeure entre le sectionneur et l'interrupteur réside dans leur capacité à opérer la séparation du circuit électrique. En effet, il est important de noter que le sectionneur ne peut être activé en mode opérationnel, c'est-à-dire lorsque le courant circule à travers celui-ci, sous peine de provoquer un arc électrique potentiellement dangereux.

### II.7.3.4.4. Contacteur auxiliaire

Un contacteur auxiliaire est un dispositif électrique employé dans les circuits de commande afin de signaler l'état ou la position d'un appareil ou d'un système. Il est généralement utilisé de concert avec un contacteur principal. Le contacteur auxiliaire est constitué de contacts électriques qui réagissent en réponse à des changements d'état. Ces contacts peuvent être en position ouverte ou fermée, dépendant de l'état de l'appareil. Lorsque le contacteur principal est activé ou désactivé, le contacteur auxiliaire réagit en ouvrant ou en fermant ses contacts. Il est employé pour réguler d'autres dispositifs ou pour transmettre des signaux à d'autres composants du système de commande.



Figure II.28 Contacteur auxiliaire [9]

Les contacteurs auxiliaires sont largement utilisés dans les domaines industriels et de contrôle, garantissant des opérations fiables et sécurisées des équipements électriques.

## **II.8. Cahier de charge pour le convoyeur vertical de la HAMB**

Pour notre étude de la problématique, nous nous concentrons sur le convoyeur vertical **Hamba**. Qui est le maillon central de la chaîne de production de la, car il permet d'acheminer les emballages vers la zone de remplissage.

Le convoyeur vertical de la **Hamba** a deux fonctions principales : le chargement et le déchargement des pots et des couvercles. Grâce à cette double fonctionnalité, la machine peut fonctionner de manière autonome, sans intervention manuelle, une fois que les pots ont été chargés sur le convoyeur.

La précision du convoyeur vertical est essentielle pour garantir le bon déroulement du processus de remplissage de pots de margarine. Chaque pot doit être transporté avec une fluidité calculée pour assurer un remplissage précis et uniforme.

### **II.8.1. Cas de chargement**

Afin de sélectionner le mode de fonctionnement de la charge, l'opérateur doit manier le commutateur de **charge/décharge**. Par la suite, il insère l'emballage (couvercles ou pots) dans le dispositif de convoyage vertical comprenant 6 pistes ou compartiments. Une fois cette étape achevée, un détecteur ph1, dont la fonction est de détecter la présence de l'emballage, est activé. Avant que l'opérateur envoie une impulsion de chargement vers la machine, il doit impérativement fermer les portes de sécurité, sans quoi le fonctionnement du convoyeur sera entravé.

En présence d'une demande d'emballage, signalée par un avertissement provenant de la machine HAMB, le convoyeur vertical entre en fonctionnement dans le sens du chargement, à condition que la chaîne de transport soit à sa position actuelle (indiquée par un capteur de position émettant un signal positif  $c=1$ ) jusqu'à ce qu'un changement d'état supplémentaire du capteur de position intervienne. Cette séquence définit le principal mode de fonctionnement du moteur du convoyeur vertical. Afin d'assurer une insertion optimale des emballages dans le magasin de la machine de remplissage HAMB, deux vérins doivent être installés. Le premier vérin, opérant verticalement, a pour rôle de dépiler les emballages (pots/couvercles), garantissant ainsi une fluidité dans l'introduction des emballages vers le magasin de la HAMB. Le deuxième vérin, agissant horizontalement, joue un rôle de dispositif de retenue visant à éviter toute compression ou déformation des emballages.

Le vérin dépileur sera actionné dès que les capteurs photoélectriques PH2 et PH3 seront libérés ( $PH2 = PH3 = 1$ ), et il retournera à sa position initiale dès que le vérin stoppeur sera enclenché. Quant au vérin stoppeur, il sera activé lorsqu'un signal indiquant

que le magasin de la machine HAMBА est vide sera détecté, et il reviendra à sa position initiale dès que le capteur photoélectrique sera dégagé.

La séquence opérationnelle des deux vérins sera décrite comme suit :

**1. Pour le vérin stoppeur**

- ✓ **vsav** : vérin sortie ;
- ✓ **vsar** : vérin entré ;

**2. Pour le vérin dépileur**

- ✓ **vdh** : vérin en haut ;
- ✓ **vdb** : vérin en bas .

**Remarque :**

- Il est requis que chaque vérin soit équipé de deux capteurs de proximité afin de fournir une indication précise de sa position.

**État initial :**

- Pour le vérin dépileur : Les capteurs de proximité **cdh=1** et **cdb=0**
- Pour le vérin stoppeur : Les capteurs de proximité **csav=0** et **csar=1**

**Activation du vérin dépileur :**

- Pour le vérin dépileur : Les capteurs de proximité **cdh=0** et **cdb=1**
- Pour le vérin stoppeur : Les capteurs de proximité **csav=0** et **csar=1**

**Activation du vérin stoppeur :**

- Pour le vérin dépileur : Les capteurs de proximité **cdh=0** et **cdb=1**
- Pour le vérin stoppeur : Les capteurs de proximité **csav=1** et **csar=0**

**Désactivation du vérin dépileur :**

- Pour le vérin dépileur : Les capteurs de proximité **cdh=1** et **cdb=0**
- Pour le vérin stoppeur : Les capteurs de proximité **csav=1** et **csar=0**

- Après l'actionnement des deux vérins, ils reviendront à leur état initial.

À la clôture du cycle de chargement, un signal, qu'il soit visuel ou sonore, sera émis afin de notifier l'opérateur de réitérer l'opération de chargement.

**Remarque :**

- L'achèvement de l'opération de chargement survient lorsque la machine achève sa production.

**II.8.2. Cas de déchargement**

Pour procéder au déchargement, l'opérateur doit utiliser le commutateur charge/décharge, et avant d'émettre une impulsion de déchargement via le bouton poussoir, il est essentiel que l'opérateur ferme les portes. Suite à l'impulsion, la chaîne de transport est mise en mouvement, à condition qu'elle se trouve dans la position adéquate pour le déchargement, et elle s'arrête dès qu'un changement d'état des capteurs de position de la chaîne se produit. Si le capteur ph1 indique une valeur de 0 (indiquant la présence de l'emballage), l'opérateur ouvre les portes et évacue l'emballage. Dans le cas contraire, l'opérateur envoie une autre impulsion pour répéter le même cycle.

**Remarque :**

- L'opération de déchargement prend fin lorsque le compteur de déchargement atteint 14 (correspondant aux 14 barres présentes dans le convoyeur vertical).
- À la clôture de chaque séquence, il est impératif de générer un signal visuel ou sonore afin de notifier l'opérateur de procéder à l'évacuation de l'emballage.

Élément :	Sa désignation :
<b>s</b>	Commutateur charge/décharge
<b>Bpc</b>	Bouton poussoir charge
<b>Bpd</b>	Bouton poussoir décharge
<b>Mc</b>	Moteur marche dans le sens charge
<b>Md</b>	Moteur marche dans le sens décharge
<b>Am</b>	Arrêt moteur
<b>Ph1/ph2/ph3</b>	Photoélectrique
<b>Rs</b>	Relie de sécurité (sécurité de portes)
<b>Cdh</b>	Capteur dépilleur haut
<b>Cdb</b>	Capteur dépilleur bas
<b>Csav</b>	Capteur stoppeur avant
<b>Csar</b>	Capteur stoppeur arrière

Tableau II.3 Notation des éléments du convoyeur vertical

Le signal visuel se manifeste de la manière suivante :

- Lorsqu'il y a une absence d'emballages, la lampe de chargement clignote (lc).
- En cas d'absence de clignotement, la lampe de chargement reste allumée de manière constante (lf).
- Lorsque la lampe de chargement est éteinte, cela indique son état inactif (le).

II.8.3. Grafcet

Pour une explicitation plus approfondie, veuillez-vous référer aux annexes(A) jointes.

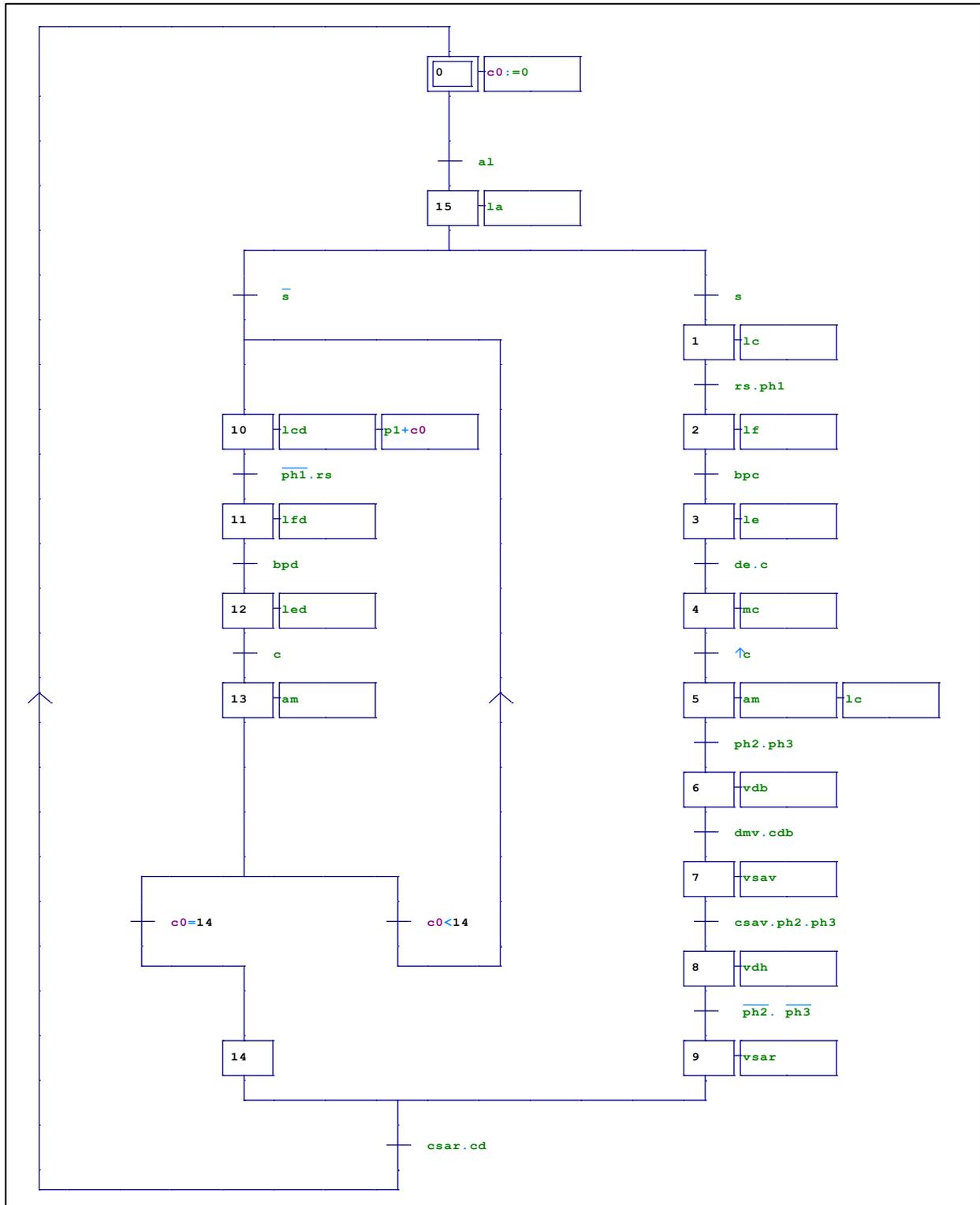


Figure II.29 Grafcet du convoyeur de la machine

**II.9. Problématique**

En raison d'un dysfonctionnement constaté au niveau du système de convoyage vertical intégré à notre équipement, nous nous proposons d'exposer la problématique de manière méthodique et structurée, afin de mieux en cerner les enjeux et d'élaborer une stratégie de résolution adéquate comme suit :

Le moteur qui commande le convoyeur ne s'arrête pas lorsqu'un problème survient, cela peut engendrer des défaillances et des dommages importants à la machine. Par exemple, si les emballages sont écrasés, cela peut entraîner des pertes de produit, une contamination ou une dégradation de la qualité. Si la chaîne est fissurée, cela peut compromettre la sécurité de la machine et des opérateurs. Si les barres de métal sont endommagées, cela peut entraîner des coûts de réparation élevés et une immobilisation de la machine.

Il s'avère essentiel d'apporter des solutions adéquates pour prévenir ces défaillances et assurer un fonctionnement sécurisé et fiable de notre équipement, en particulier du système de convoyage. Ainsi, il est envisageable de mettre en place des systèmes de contrôle et de sécurité appropriés, de sélectionner des composants résistants et adaptés, ou encore d'optimiser les réglages et les paramètres de fonctionnement de notre machine.

Afin de pallier les éventuels dysfonctionnements de notre équipement de convoyage vertical, plusieurs solutions ont été envisagées. Les options suivantes ont été étudiées pour garantir la fiabilité et la sécurité de notre système :

1. Nous envisageons à remplacer le motoréducteur actuel, dépourvu de fonctionnalités de régulation de vitesse, par un moteur à vitesse réglable qui pourrait être contrôlé par un variateur de vitesse plus adapté à notre moteur à courant alternatif. Il convient de souligner que la puissance requise par notre système dépasse les capacités du variateur intégré précédemment utilisé, conçu spécifiquement pour des moteurs à courant continu plutôt que des moteurs à courant alternatif, tels que celui que nous utilisons actuellement.
2. Nous proposons de remplacer le moteur actuel par un autre moteur de puissance équivalente et qui sera associé au variateur de vitesse, Cette approche permettrait de bénéficier des améliorations attendues avec le nouveau moteur, tout en maintenant la compatibilité avec le variateur de vitesse existant.
3. Dans l'éventualité où notre équipement de convoyage vertical pourrait entraîner des défaillances résultant de problèmes de détection de barres de métal ou d'emballages, une solution envisageable consisterait à ajouter des capteurs supplémentaires. A cet effet, il serait possible d'opter pour l'installation de capteurs de proximité ou de capteurs de vision, afin d'améliorer la précision de détection de la position des barres de métal et des emballages.

Parmi ces solutions, on a pris la décision avec les responsables de maintenance d'opter pour une solution complète en remplaçant à la fois le moteur existant et le variateur de vitesse par de nouveaux équipements. Cette décision découle de notre volonté d'apporter des améliorations substantielles à l'ensemble du système. Le nouveau moteur sera de puissance équivalente au variateur de vitesse, assurant ainsi une compatibilité parfaite entre les deux éléments.

Cette approche se traduira par des améliorations notables dans l'ensemble du système. Le nouveau moteur, spécifiquement adapté aux besoins de puissance requis, présentera une capacité accrue pour surmonter le couple résistant inhérent au système de convoyeur. De même, le nouveau variateur de vitesse, conçu de manière spécifique pour fonctionner en harmonie avec le nouveau moteur, permettra un contrôle précis et efficace de la vitesse et du couple du moteur.

En remplaçant à la fois le moteur et le variateur de vitesse, nous assurons une intégration optimale entre les deux composants, ce qui peut conduire à une performance améliorée et à une meilleure efficacité énergétique du système de convoyeur.

Le variateur de vitesse permet de contrôler la vitesse du moteur en ajustant la fréquence d'alimentation électrique. Ainsi, il est possible de faire varier la vitesse de la machine en fonction de la charge et d'adapter la puissance du moteur en conséquence.

En utilisant un variateur de vitesse, il est également possible de programmer des seuils de sécurité pour arrêter automatiquement le moteur en cas de défaillance de la machine. De plus, le variateur de vitesse permet une meilleure gestion de l'énergie et peut contribuer à réduire la consommation électrique de la machine. Nous invitons les intéressés à se référer au chapitre 3 pour plus d'informations détaillées sur les spécifications techniques relatives au variateur de vitesse.

Cependant, Il est impératif que nous prenions en compte les spécificités et les exigences de fonctionnement de la machine de convoyage lors de l'installation du variateur de vitesse. Ainsi, il est recommandé qu'on mène une étude préalable de faisabilité et de sécurité, conformément aux directives détaillées dans le chapitre 4, avant d'entreprendre l'installation du variateur.

## **II.10. Conclusion**

Il est important de souligner que les équipements que nous avons décrits tout au long de ce chapitre sont indispensables pour concevoir un système de convoyage vertical efficace et fonctionnel. Ces équipements, tels que les vérins, les dispositifs de sécurité, les différents types de convoyeurs et les motoréducteurs, jouent un rôle clé dans le processus de manutention.

En outre, l'utilisation d'un variateur de vitesse Altivar 320, dimensionné de manière adéquate, comme sera abordé dans le chapitre trois, permettra d'optimiser le fonctionnement du système de convoyage vertical et d'améliorer l'efficacité et la sécurité du processus de manutention.

En somme, une bonne planification, une compréhension approfondie des conditions d'opération et une sélection judicieuse des équipements et des dispositifs sont indispensables pour concevoir un système de convoyage vertical efficace et fiable qui répondra aux besoins de l'application et améliorera l'efficacité et la productivité du processus de manutention, ce qui va être l'objet des chapitres 3 et 4.

## ***Chapitre 03 : La machine asynchrone et le variateur de vitesse Altivar 320***

---

### III.1. Introduction

Les machines asynchrones et les variateurs de vitesse électroniques sont des composants clés utilisés dans de nombreux secteurs industriels. Les machines asynchrones sont des moteurs électriques qui fonctionnent sur le principe de l'induction électromagnétique, tandis que les variateurs de vitesse électroniques permettent de réguler la vitesse de rotation de ces machines.

Les machines asynchrones offrent fiabilité, durabilité et facilité d'entretien, ce qui en fait un choix populaire dans de nombreuses applications industrielles. Les variateurs de vitesse électroniques, quant à eux, permettent de contrôler précisément la vitesse des machines asynchrones, offrant ainsi une meilleure efficacité énergétique et des performances optimisées.

Ensemble, les machines asynchrones et les variateurs de vitesse électroniques permettent d'obtenir un contrôle précis de la vitesse, du couple et de l'accélération, ce qui se traduit par une meilleure efficacité énergétique et une amélioration globale des performances des systèmes électromécaniques.

Dans ce chapitre nous allons présenter Le moteur asynchrone et le variateur de vitesse utilisés dans l'industrie et leurs principales fonctions ainsi que leurs structure interne.

### III.2. Rôle d'un moteur asynchrone

Le moteur asynchrone transforme l'énergie électrique apportée par le courant alternatif monophasé ou triphasé en énergie mécanique. Il est caractérisé par des grandeurs d'entrée qui sont électriques et des grandeurs de sortie qui sont mécaniques.

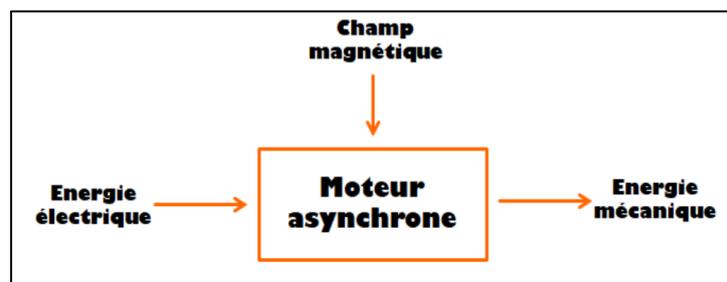


Figure.III.1 Rôle d'un moteur asynchrone [10]

La conversion de l'énergie électrique s'effectue à 80% à l'aide de moteurs asynchrones triphasés grâce à leur simplicité de construction, à leur robustesse et à leur facilité de démarrage [10].

### III.3. Constitution

Le moteur d'induction triphasé (souvent appelé moteur asynchrone triphasé) comprend deux parties principales : un inducteur fixe nommé stator et un induit mobile nommé rotor.

### III.3.1. Stator

Le stator, composant essentiel de nombreux appareils électriques, est la partie fixe d'une machine électromagnétique telle qu'un moteur, un générateur ou un transformateur. Il crée un champ magnétique ou conduit l'électricité pour permettre la conversion d'énergie.

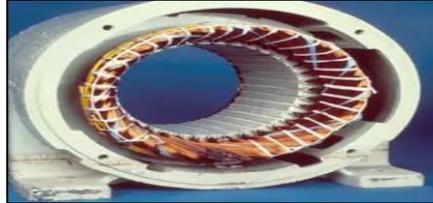


Figure.III.2 Stator d'une MAS [10]

### III.3.2. Rotor

Partie libre en rotation comportant des conducteurs qui seront soumis au champ tournant. Ces conducteurs peuvent être soit des bobines, soit des barres de cuivre ; on parle alors de rotor en court-circuit (ou à cage à d'écuriel). La rotation possible grâce aux paliers supportés par la carcasse.

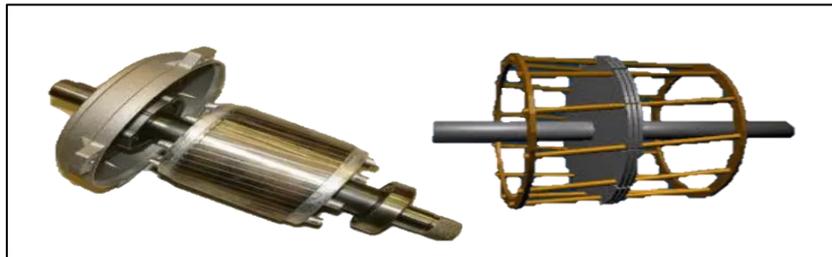


Figure III.3 Rotor d'un MAS [10]

### III.3.3. Plaque a bornes

Fixée sur la carcasse, elle comporte un ensemble de 6 bornes (Pour les machines triphasé) permettant de connecter les bobines statoriques à l'alimentation électrique en effectuant le couplage.



Figure.III.4 Plaque à bornes [10]

### III.4. Schéma équivalent

La figure suivante représente le schéma électrique équivalent ramener au stator d'une MAS :

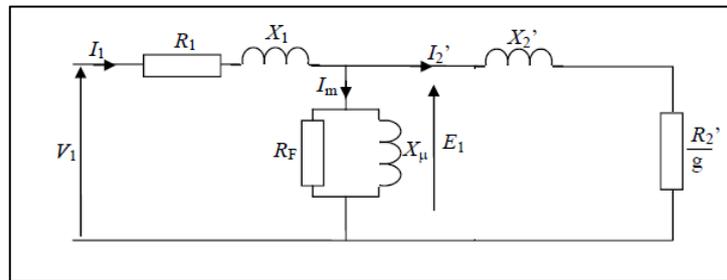


Figure.III.5 Schéma équivalent [10]

Avec :

- $R_1$  : modélisation des pertes joules ;
- $R_f$  : Modélisation des pertes fer ;
- $X_1$  : Réactance magnétisant (modélise flux traversant le stator) ;
- $X_2$  : Réactance magnétisant (modélise flux traversant le rotor) ;
- $\frac{R_2}{s}$  : Modélisation de la puissance transmise au rotor ;
- $X_u$  : Réactance magnétisant (modélise flux traversant le stator et le rotor) ;
- $I_1$  : Courant de ligne ;
- $I_2$  : Courant de Rotor ;
- $V_1$  : tension d'alimentation ;
- $I_m$  : Courant magnétisant.

## III.5. Variation de vitesse des moteurs asynchrones

### III.5.1 Principe de la variation de vitesse

Le moteur asynchrone a une vitesse de rotation déterminée par sa construction et la fréquence du réseau d'alimentation.

En fonctionnement normal, la vitesse de rotation réelle ( $n$ ) du moteur asynchrone est toujours légèrement inférieure de quelques pour-cent (3 à 5 %) à la vitesse de synchronisme ( $n_s$ ), qui correspond à la vitesse du champ tournant [11].

Il existe plusieurs méthodes pour faire varier la vitesse de rotation d'un moteur asynchrone. Voici les principales :

#### III.5.1.1. Variation de la fréquence d'alimentation

La plupart des variateurs de vitesse utilisent des moteurs à cage d'écureuil. Pour obtenir un bon rendement, ces moteurs doivent fonctionner près de leur vitesse synchrone.

Afin de modifier la vitesse, il est nécessaire de varier à la fois la fréquence et la valeur des tensions d'alimentation appliquées au moteur.

Pour modifier la fréquence, il existe deux approches possibles :

- ✓ "Construire" les tensions appliquées au moteur en sélectionnant judicieusement des portions appropriées des tensions du réseau électrique.
- ✓ Passer par une conversion en courant continu, en utilisant un redresseur suivi d'un onduleur.

Ces méthodes permettent d'ajuster la fréquence et les tensions pour contrôler efficacement la vitesse de rotation de la machine.

### III.5.1.2. Action sur le glissement

Deux techniques existent :

- ✓ La première utilise un moteur à rotor bobiné. En insérant des résistances en série avec les enroulements rotoriques, le glissement varie. Ce procédé entraîne des pertes par effet joule importantes au rotor, le rendement est loin d'être optimal.
- ✓ La seconde méthode consiste à récupérer l'énergie perdue dans la première méthode pour la renvoyer sur le réseau. Ce système nécessite l'utilisation d'une cascade hypo synchrone qui permet de relier deux réseaux de fréquence différente (le rotor et le stator).

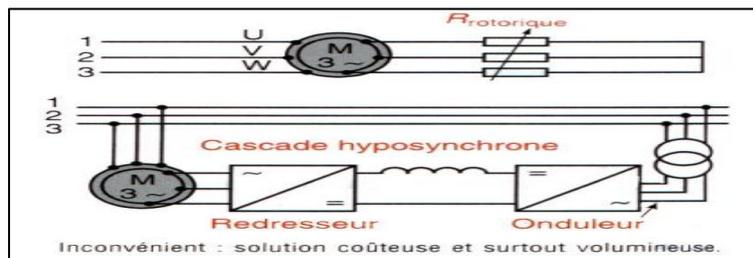


Figure.III.6 Variation de vitesse par action sur le glissement [11]

### III.5.1.3. Action sur le nombre de pôles

Deux types de moteurs permettent une action sur le nombre de pôles :

- ✓ Les moteurs à enroulements séparés : plusieurs bobinages sont insérés au stator et le nombre  $p$  de paires de pôles est différent pour chaque bobinage. À chaque bobinage alimenté, on obtient une vitesse de synchronisme différente, et, au glissement près, une vitesse du rotor différente.
- ✓ Les moteurs à couplage de pôles (Dalhander). Le stator est constitué de 6 bobinages et selon leur mode de connexion, on obtient  $p_1$  ou  $p_2$  paires de pôles par phase.

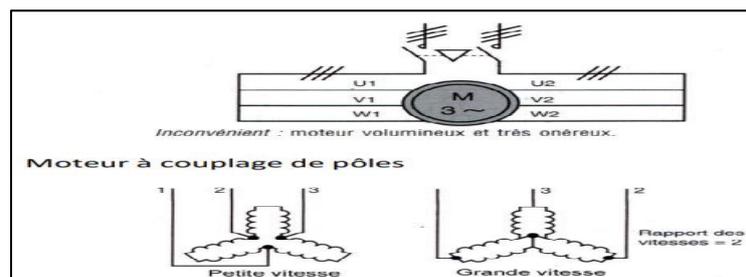


Figure.III.7 Variation de vitesse par action sur le nombre de pole [11]

### III.6. Variateurs de vitesse électronique

Dans cette partie nous allons présenter les différents types de variateurs de vitesse utilisés dans l'industrie et leurs principales fonctions ainsi que leurs structure interne qu'il serait intéressant de comprendre car le variateur de vitesse devient l'un des composants essentiels dans tous les systèmes d'automatisation moderne.

### III.7. Variateur intégré SEW-EURODRIVE MM07-503-00

Le variateur intégré SEW Eurodrive de type MM07B-503-00 est une solution avancée spécialement conçue pour le contrôle des moteurs à courant continu. Il est important de noter que notre moteur est un moteur à courant alternatif, ce qui représente une différence significative de technologie par rapport au variateur MM07B-503-00, qui est spécifiquement conçu pour les moteurs à courant continu.

Ce variateur intégré offre une combinaison harmonieuse entre l'électronique de commande et l'inverseur de fréquence, ce qui permet une intégration aisée dans les applications industrielles. Il est spécifiquement conçu pour une utilisation avec les moteurs SEW Eurodrive et garantit une compatibilité optimale, assurant ainsi une performance fiable et efficace.

Le variateur MM07B-503-00 est doté d'une gamme étendue de fonctionnalités avancées. Il permet un contrôle précis de la vitesse et du couple du moteur, ce qui offre une flexibilité accrue pour s'adapter aux exigences spécifiques de chaque application. De plus, il dispose de diverses options de programmation et de paramétrage, ce qui facilite son adaptation aux besoins individuels de l'utilisateur.

Il convient également de souligner que le variateur MM07B-503-00 est sous-dimensionné par rapport aux besoins de notre moteur à courant alternatif. Étant donné que le variateur a été conçu pour les moteurs à courant continu, il peut ne pas être en mesure de fournir la puissance et les performances nécessaires pour notre moteur à courant alternatif.

Par conséquent, il est préconisé d'explorer différentes alternatives en termes de variateurs de vitesse spécifiquement conçus pour les moteurs à courant alternatif, afin de sélectionner la solution la plus adaptée à notre application. Parmi ces solutions, nous avons choisi l'Altivar 320, un choix éclairé qui répond aux exigences spécifiques de notre configuration. Une évaluation minutieuse des caractéristiques techniques du moteur ainsi que des impératifs en matière de contrôle de la vitesse revêt une importance cruciale pour identifier le variateur adéquat, garantissant ainsi un fonctionnement optimal et fiable de notre moteur à courant alternatif.

### III.7.1. Description du variateur intégré

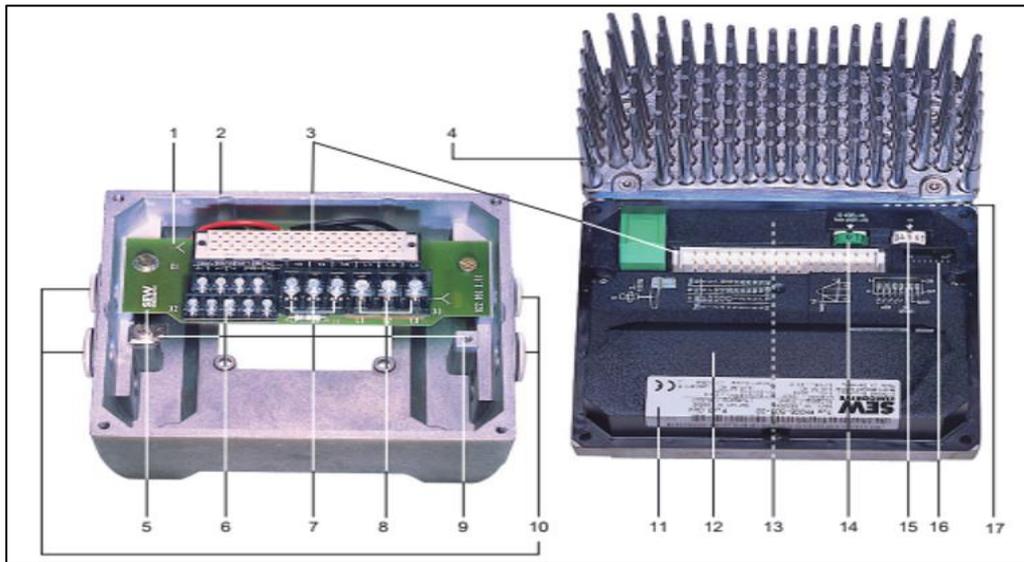


Figure.III.8 Description du variateur intégré

#### Les notations :

1. Indication du mode de branchement
  2. Embase
  3. Connecteur de liaison entre unité de raccordement et convertisseur
  4. Couvercle du boîtier avec convertisseur intégré et radiateur
  5. Unité de raccordement avec bomes
  6. Barrette électronique X2
  7. Raccordement de la bobine de frein (X3)
  9. Vis pour raccordement PE
  10. Presses-étoupes
  11. Plaque signalétique de l'électronique
  12. Capot de protection pour électronique de convertisseur
  13. Potentiomètre de consigne f1 (non visible), accessible par un bouchon sur le dessus du couvercle
  14. Bouton de réglage pour consigne 12 (vert)
  15. Bouton de réglage pour rampe 11 (blanc)
  16. Interrupteur DIP S1 pour réglage de l'adresse de bus, de la protection moteur, du freinage par injection de courant continu, de la fréquence de découpage
  17. Diode de diagnostic (visible depuis le dessus du couvercle du boîtier de raccordement
- Dans le cas d'un moteur sans frein : raccordement de la résistance de freinage interne BW1/BW2 (standard) 8. Raccordement réseau L1, L2, L3 (X3) (convient pour câbles avec section 2 x 4 mm<sup>2</sup>).

### III.8. Altivar320

Cette type de variateur qu'on a utilisée dans notre projet, et que nous l'avons proposé comme une solution à notre problématique.

Le variateur Altivar Machine ATV320 est un variateur de vitesse pour moteurs asynchrones et synchrones triphasés de 0,18 à 15 kW.

Le variateur Altivar Machine ATV320 est robuste, simple à mettre en service et facile à intégrer dans différentes configurations de machine et d'armoires. Il peut également s'intégrer dans les principales architectures d'automatisme [12].

Les variateurs Altivar ATV320 répondent parfaitement aux besoins des applications basées sur des machines industrielles simples.

Le variateur Altivar Machine ATV320 intègre également de nombreuses fonctions Pratiques afin de couvrir les besoins d'applications plus complexes. Il est conçu pour augmenter la disponibilité des machines et améliorer leurs performances tout en réduisant le coût total des machines.

#### III.8.1. Câblage

Dans le cadre d'une installation du variateur de vitesse ATV320, l'établissement d'un câblage adéquat est primordial pour assurer une connexion appropriée entre le variateur, le moteur et les autres éléments électriques constituant le système. C'est pourquoi on distingue deux étiquetages distincts de câblage :

Libellé câblage ATV320B : Libellé câblage ATV320C :

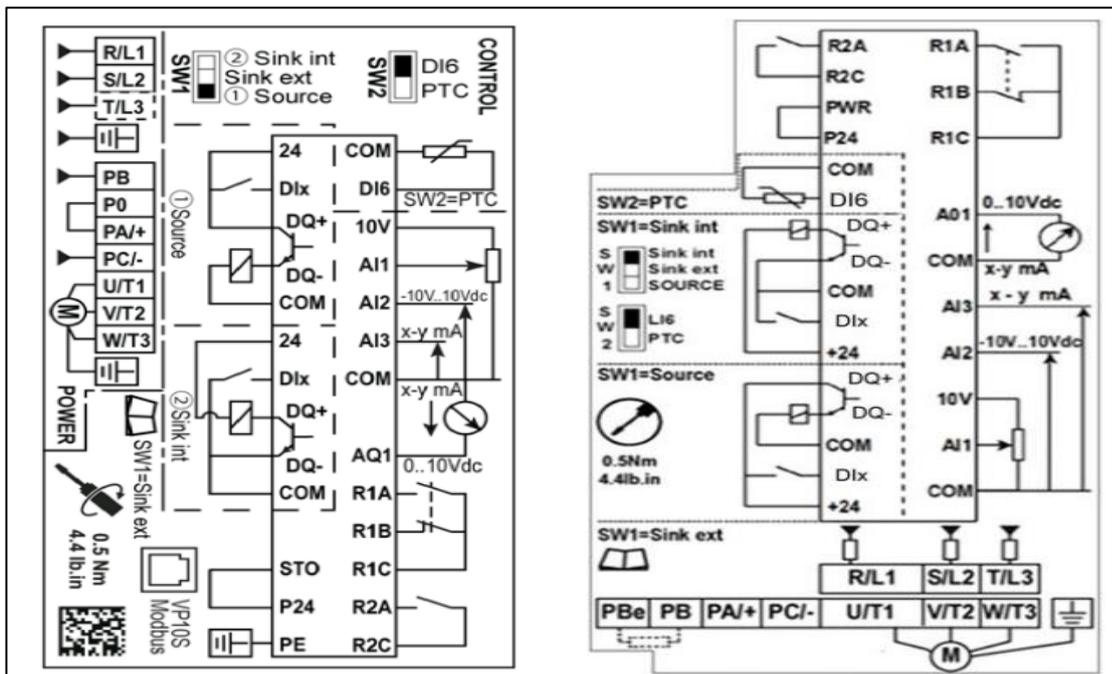


Figure.III.9 Schéma Câblage [12]

## II.8.2. Variation et régulation de vitesse

Un variateur de vitesse nous offre une possibilité de contrôler l'accélération, la décélération, la variation et la régulation de vitesse, l'inversion du sens de marche et le freinage d'arrêt. Parmi les fonctionnements classiques des variateurs de vitesse, on distingue :

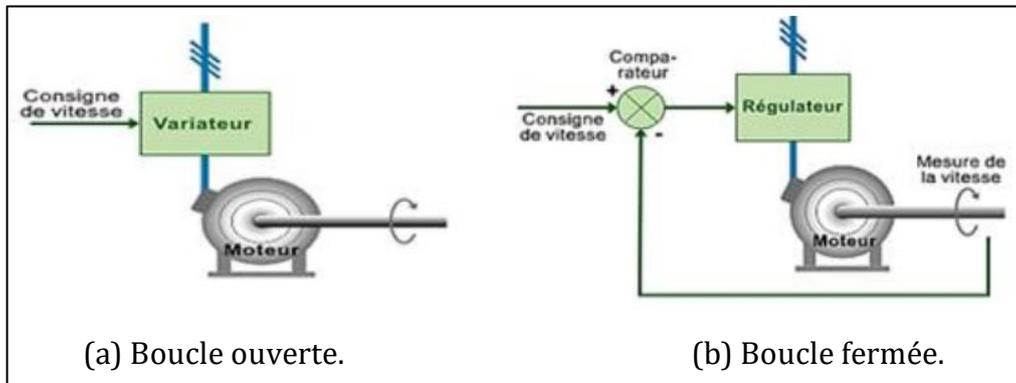


Figure III.10 Schéma de fonctionnement classique d'un variateur de vitesse [12]

### A. Boucle ouverte

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.

### B. Boucle fermée

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. Sur la plupart des variateurs de vitesse, il est possible d'inverser automatiquement le sens de marche par inversion de l'ordre des phases d'alimentation du moteur.

## III.8.3. Constitution des variateurs de vitesse

Depuis la fin des années 60, les variateurs de vitesse ont évolués très rapidement suite au développement des microprocesseurs et semi-conducteurs et à la baisse de leur prix. Les principes de base des variateurs de vitesse n'ont cependant pas changé.

Les variateurs de vitesse électroniques sont composés de deux modules regroupés dans une même enveloppe :

- Un module de contrôle qui gère le fonctionnement de l'appareil, appelé aussi circuit de commande.
- Un module de puissance qui alimente le moteur en énergie électrique, ce module est composé d'un redresseur, d'un circuit intermédiaire et d'un onduleur.

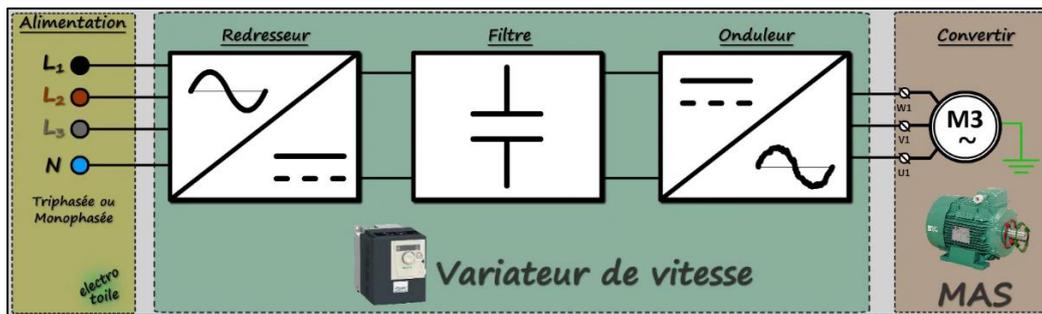


Figure III.11 Constitution des variateurs de vitesse [13]

Le redresseur, connecté à une alimentation alternative triphasée fournie par le réseau, génère une tension continue comportant une ondulation résiduelle. Il existe deux types de redresseurs : commandés ou non commandés, ainsi le circuit intermédiaire, il en existe trois types :

- Le premier convertit la tension fournie par le redresseur en courant continu.
- Le second redresse la tension continue ondulée et la transmet l'onduleur.
- Le troisième convertit la tension continue constante du redresseur en tension continue variable.
  - L'onduleur qui engendre la fréquence de la tension du moteur.
  - L'électronique de commande qui pilote (transmission et réception de signaux) le redresseur, le circuit intermédiaire l'onduleur.

Le variateur de vitesse est principalement caractérisé selon la séquence de commutation qui commande la tension d'alimentation du moteur.

On retrouve des variateurs à source de courant (CSI), des variateurs à modulation d'impulsions en amplitude (PAM) et des variateurs à modulation de largeur d'impulsion (PWM/VVC).

### III.8.3.1. Redresseur

L'alimentation est assurée généralement par un réseau triphasé alternatif à fréquence industrielle (50 Hz). La fonction du redresseur au sein du variateur de vitesse est de transformer la tension triphasée alternative en tension continue. Cette opération se réalise par l'utilisation, soit d'un pont de diodes en redressement "non-commandé", soit d'un pont de thyristors en redressement "commandé".

La tension à ondulation résiduelle sortant du redresseur a une valeur moyenne de l'ordre de 1,35 de la tension composée.

### III.8.3.2. Le circuit intermédiaire

Ce circuit joue plusieurs rôles suivant les options prises sur le type de variateur dont principalement le lissage en courant ou en tension du signal de sortie du redresseur et le contrôle du niveau de tension ou de courant d'attaque de l'onduleur, voir la figure III.12.

Il peut aussi servir à :

- Découpler le redresseur de l'onduleur,
- Stocker l'énergie due aux pointes intermittentes de charge.

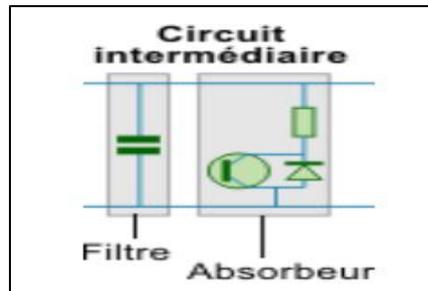


Figure.III.12 Circuit auxiliaire [13]

On différencie le circuit intermédiaire à courant continu variable ou à tension continue :

### a) Circuit intermédiaire à courant continu variable

Ce type de circuit intermédiaire caractérise les variateurs à source de courant. Il est composé d'une bobine (ou self) de lissage "passe bas" (filtrage des basses fréquences) permettant de réduire l'ondulation résiduelle. En d'autres termes la bobine transforme la tension de sortie du redresseur à ondulation résiduelle en un courant continu, voir la figure III.13.

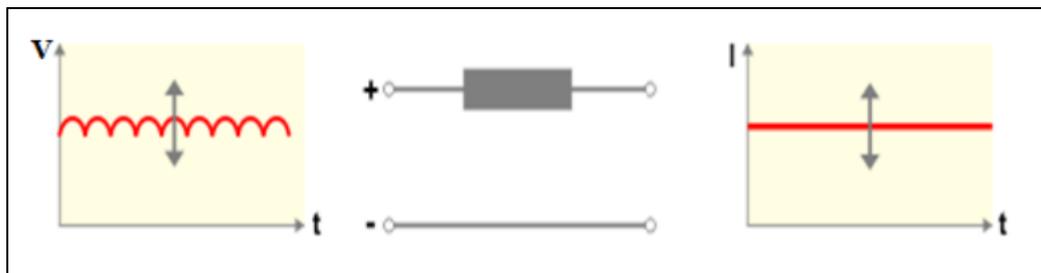


Figure III.13 Circuit intermédiaire à courant continu variable [13]

### b) Circuit intermédiaire à tension continue constante ou variable

Ce type de circuit intermédiaire caractérise les variateurs à source de tension. Il est composé d'une bobine (ou self) de lissage "passe bas" (filtration des basses fréquences) et d'un condensateur "passe haut" (filtration des hautes fréquences) permettant de réduire l'ondulation résiduelle.

- ✓ Pour un redresseur commandé, le circuit intermédiaire transforme la tension de sortie à ondulation résiduelle du redresseur en tension continue d'amplitude variable.
- ✓ Pour un redresseur non-commandé, la tension à l'entrée de l'onduleur est une tension continue dont l'amplitude est constante.

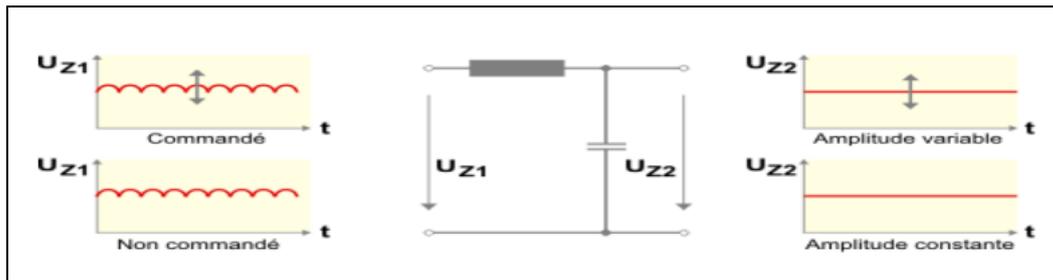


Figure.III.14 Circuit intermédiaire à tension continue constante ou variable [13]

**c) Circuit intermédiaire à tension variable**

À l'entrée du filtre est ajouté un hacheur composé d'un transistor et d'une diode "roue libre". Dans ce cas, le circuit intermédiaire transforme la tension continue de sortie du redresseur à ondulation résiduelle en une tension carrée lissée par le filtre. Il en résulte la création d'une tension variable suivant que le pilote de l'hacheur rend le transistor "passant" ou pas, voir la figure III.15.

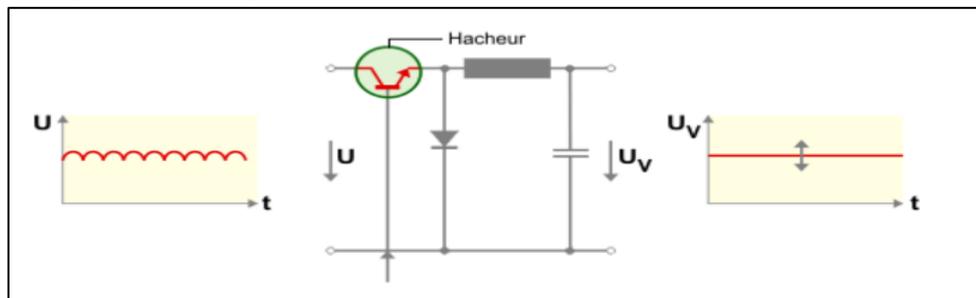


Figure.III.15 Circuit intermédiaire à tension variable [13]

**III.8.3.3. L'onduleur**

L'onduleur constitue la dernière partie du variateur de vitesse dans le circuit puissance. Il est alimenté à partir d'un circuit intermédiaire par une tension continue variable ou constante ou un courant continu variable.

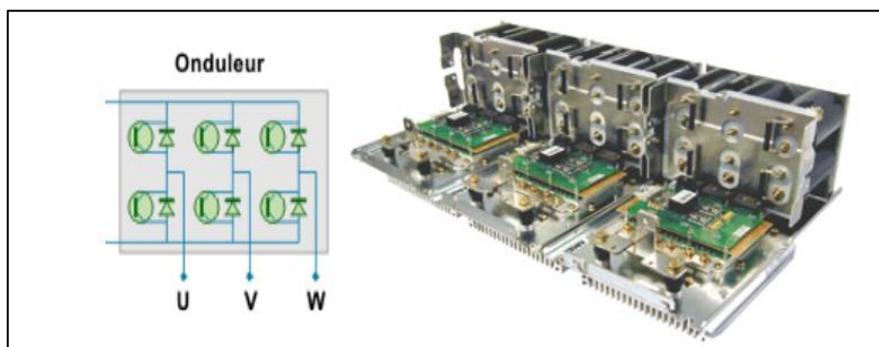


Figure.III.16 Onduleur triphasé [13]

L'onduleur constitue la dernière partie du variateur de vitesse dans le circuit puissance. Il est alimenté à partir d'un circuit intermédiaire par une tension continue variable ou constante ou un courant continu variable.

L'onduleur fournit au moteur une grandeur variable en tension ou en fréquence ou les deux en même temps suivant le cas. En effet, une alimentation de l'onduleur est :

- ✓ En tension ou en courant continue variable, lui permet de réguler la vitesse du moteur en fréquence.
- ✓ En tension continue constante, lui impose de réguler la vitesse du moteur en tension et en fréquence.

Bien que les fonctionnements des onduleurs soient différents, la technologie reste plus ou moins identique. Pour une raison de souplesse de commande en fréquence, les onduleurs sont maintenant équipés de transistors haute fréquence plutôt que de thyristors. Ce type de transistor de puissance peut être allumé et éteint très rapidement et, par conséquent, couvrir une large plage de fréquence (entre 300 Hz et 20 kHz).

### III.8.3.3.1. Modes de fonctionnement de l'onduleur

On distingue plusieurs modes de fonctionnement des onduleurs en fonction principalement du signal de sortie du circuit intermédiaire :

- ✓ Le fonctionnement en modulation d'impulsion en amplitude (PAM : Pulse Amplitude Modulation),
- ✓ Le fonctionnement en modulation de largeur d'impulsion (PWM : Pulse Width Modulation).

#### a) Modulation d'impulsion en amplitude

Ce type de modulation est utilisé lorsque le variateur de vitesse est à tension intermédiaire variable.

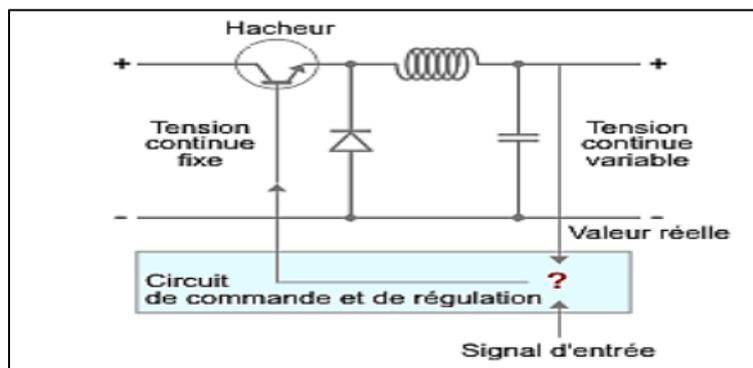


Figure.III.17 Circuit intermédiaire à tension variable par l'hacheur [13]

Quel que soit le système, l'onduleur reçoit à son entrée une tension continue variable en amplitude. Dans ce cas, l'onduleur ne fait varier que la fréquence d'allumage et d'extinction des thyristors ou des transistors en fonction du niveau de la tension d'entrée pour recréer une tension sinusoïdale (dans le cas d'un moteur à courant alternatif).

### **b) Modulation de largeur d'impulsion (PWM)**

Ce type de modulation est souvent utilisé pour générer une tension triphasée à fréquence et tension variables. Il existe 3 manières de gérer la commutation des thyristors ou des transistors de puissance :

- PWM à commande par sinusoïde ;
- PWM synchrone pour limiter les harmoniques ;
- PWM asynchrone pour améliorer la réaction du moteur à toute modification rapide de la commande du variateur de fréquence.

#### **III.8.4. Le circuit de commande**

Le circuit de commande ne fait pas partie du circuit de puissance du variateur de vitesse, il doit garantir quatre fonctions essentielles :

- ✓ La commande des semi-conducteurs du variateur de vitesse ;
- ✓ L'échange d'informations de commande, de régulation et d'analyse avec les périphériques ;
- ✓ Le contrôle des défauts (interprétation et affichage) ;
- ✓ La protection du variateur de vitesse et du moteur.

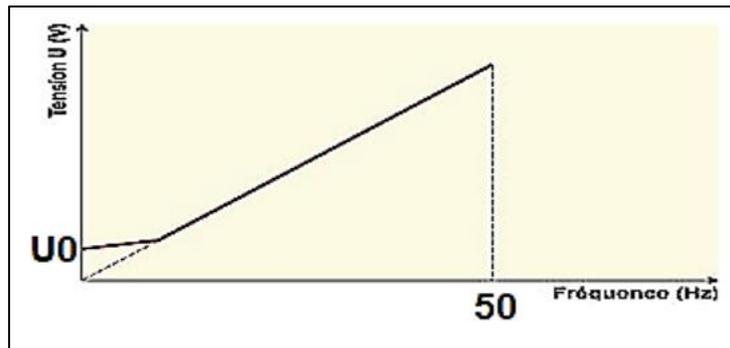
Le circuit de commande est donc en mesure de déterminer le schéma optimum d'impulsions des semi-conducteurs pour chaque état de fonctionnement du moteur par rapport à la charge, au réseau, aux consignes de commande, ... La régulation de vitesse de moteurs triphasés à courant alternatif évolue selon deux principes de commandes différents, la commande scalaire (U/f) et la commande vectorielle de flux (VVC : Voltage Vector Control).

Ces principes déterminent la manière de programmation des algorithmes de commande et de régulation des variateurs de vitesses. Les deux méthodes présentent des avantages en fonction des exigences spécifiques des performances (couple, vitesse, ...) et de la précision de l'entraînement.

##### **III.8.4.1. Commande scalaire (U/f)**

La commande U/f se base sur la mesure de grandeurs scalaires (valeurs d'amplitude en tension et en fréquence). C'est le système de commande de base des variateurs de fréquence standards.

Afin de garder un flux constant dans le moteur et donc aussi une variation de vitesse à couple constant la tension et la fréquence varient proportionnellement jusqu'à la fréquence nominale du moteur (50 Hz). Lorsque la tension nominale est atteinte, la tension ne sachant plus augmenter, il est toujours possible d'augmenter la fréquence ; dans ce cas la variation se fait à puissance constante, le couple diminue avec la vitesse.

Figure.III.18 Fonctionnement à  $U/f$  constant [13]

Cette méthode présente des avantages et des inconvénients énumérés ci-après :

**a) Les avantages :**

- ✓ Facilité d'adaptation du variateur de vitesse au moteur.
- ✓ Supporte aisément les variations de charge dans toute la plage de vitesses.
- ✓ Le couple moteur reste plus ou moins constant en fonction de la vitesse.

**b) Les inconvénients :**

- ✓ Plage de régulation de la vitesse limitée à 1/20.
- ✓ À faible vitesse, pas de compensation par rapport au glissement et à la gestion de la charge.

### III.8.4.2. Commande vectorielle de tension (ou de flux)

Pour ce type de commande, il est nécessaire de fournir des indications précises sur les paramètres du moteur (encodage de la plaque signalétique).

La commande vectorielle en tension agit selon le principe de calcul de la magnétisation optimale du moteur à différentes charges à l'aide de paramètres de compensation permettant de contrôler le glissement et la charge du moteur.

La commande vectorielle à champ orienté travaille avec les valeurs des courants actifs, de magnétisation (flux) et du couple. Par un modèle mathématique approprié, il est possible de déterminer le couple nécessaire au moteur en fonction des vecteurs du flux statorique et du courant rotorique et ce afin d'optimiser et réguler le champ magnétique et la vitesse du moteur en fonction de la charge.

Les avantages et les inconvénients de cette méthode sont :

**a) Les avantages**

- ✓ Bonne réaction aux variations de charge.
- ✓ Régulation précise de la vitesse.
- ✓ Couple intégral à vitesse nulle.

- ✓ Performance semblable aux entraînements à courant continu.
- ✓ Réaction rapide aux variations de vitesse et large plage de vitesses (1/100).
- ✓ Meilleure réaction dynamique aux variations de sens de rotation.
- ✓ Une seule stratégie de commande pour toute la plage de vitesse est nécessaire.

### b) Les inconvénients

- ✓ Nécessite de connaître les caractéristiques précises du moteur.

#### III.8.4.2.1. Choix d'orientation de flux

Le choix des axes d'orientation peut être fait selon l'une des directions des flux de la machine à savoir le flux rotorique, statorique ou d'entrefer.

- ✓ Commande vectorielle à flux rotorique orienté.

$$\Phi_{rd} = \Phi_r \text{ et } \Phi_{rq} = 0 \quad (III.1)$$

- ✓ Commande vectorielle à flux statorique orienté.

$$\Phi_{sd} = \Phi_s \text{ et } \Phi_{sq} = 0 \quad (III.2)$$

- ✓ Commande vectorielle à flux de magnétisation orienté.

$$\Phi_{md} = \Phi_m \text{ et } \Phi_{mq} = 0 \quad (III.3)$$

On se place dans la référence « dq » liée au champ tournant avec orientation du flux rotorique sur l'axe « d » comme est illustré sur la fig. (III.19) :

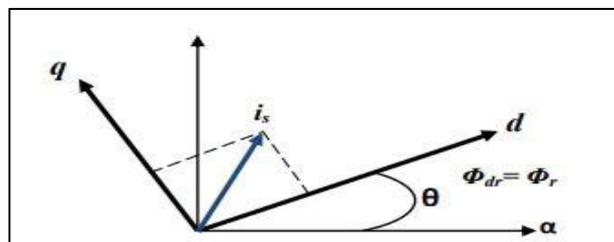


Figure.III.19 Orientation du flux rotorique sur l'axe d[13]

La plus fréquemment utilisée est la commande vectorielle par orientation du flux rotorique, puisque dans le cas de la MAS non saturée on obtient les équations du rotor complètement découplées.

#### III.8.4.2.2. Types de la commande vectorielle

Tous les travaux de recherches effectués sur ce sujet utilisent deux principales méthodes, la première appelée méthode directe qui a été développée par F. Blaschke, la seconde connue par la méthode indirecte développée par K. Hasse.

##### a) La commande vectorielle directe

Pour déterminer la position et la norme du flux contrôlé par réaction des capteurs à effet Hall placés sur les dents du stator, il est nécessaire d'utiliser des moteurs spéciaux.

Cependant, ces capteurs sont mécaniquement fragiles et ne peuvent pas supporter des conditions difficiles telles que les vibrations et les travaux effectués sous vibrations. De plus, leur fréquence varie en fonction de la vitesse, ce qui nécessite l'utilisation de filtres ajustables. L'application de cette méthode présente plusieurs inconvénients de natures différentes :

- ✓ Le non fiabilité de la mesure du flux ;
- ✓ Problème de filtrage du signal mesuré ;
- ✓ Précision médiocre de la mesure qui varie en fonction de la température (échauffement de la machine) et de la saturation ;
- ✓ Le coût de production élevé (capteurs + filtre) [14].

Afin de pouvoir utiliser des machines standards, le capteur de flux doit être remplacé par un estimateur de flux. Nous appliquons la commande vectorielle directe aux moteurs asynchrones alimentés par convertisseur. Voici la figure (III.20).

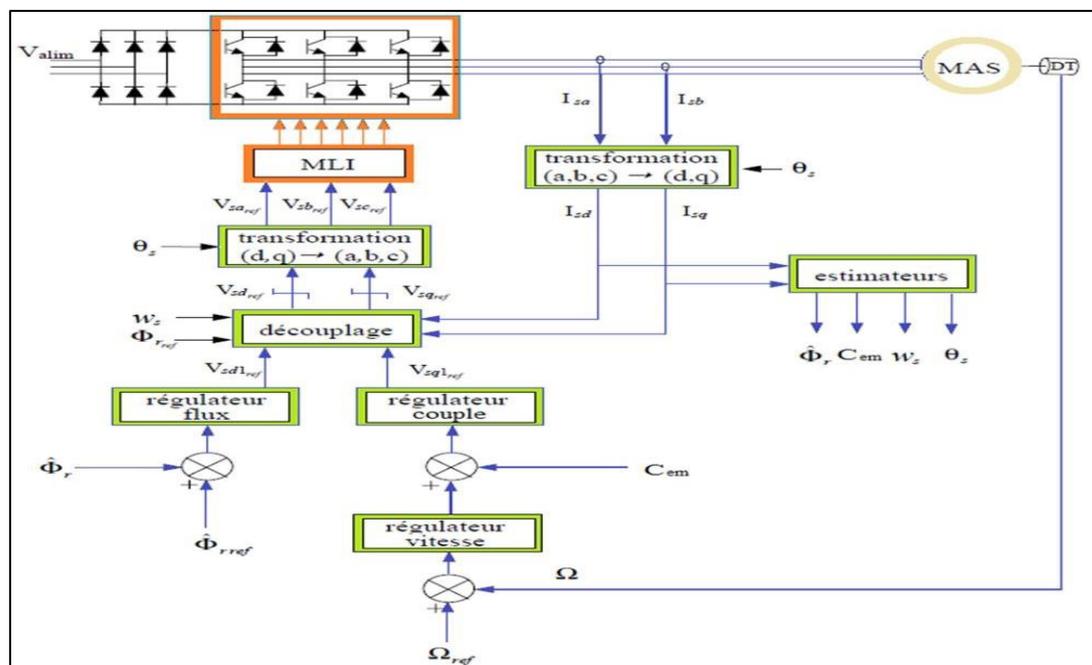


Figure III.20 La commande vectorielle directe [14]

### b) Commande vectorielle indirecte

Cette méthode ne nécessite pas l'utilisation d'un capteur de flux de rotor, mais nécessite l'utilisation d'un capteur ou d'un estimateur de position (vitesse) du rotor. Dans ce cas, le flux est contrôlé en boucle ouverte.

Il existe deux principaux groupes pour développer cet estimateur :

1. Dans le premier groupe, le vecteur flux rotorique est obtenu indirectement à partir du courant et de la tension statoriques mesurés.
2. Dans le deuxième groupe, le vecteur flux rotor est estimé en mesurant le courant stator et la vitesse rotor sur la base de l'équation du circuit rotor d'un moteur

asynchrone dans un système de référence tournant de manière synchrone avec le vecteur flux rotor.

Le principal inconvénient de cette méthode est qu'elle est sensible à l'estimation des modifications des paramètres du moteur dues à la saturation magnétique et aux variations de température, en particulier la constante de temps du rotor  $T_r$ . Cela nécessite un circuit de commande assez complexe. Vous pouvez vous référer à la figure (III.21) pour plus de détails.

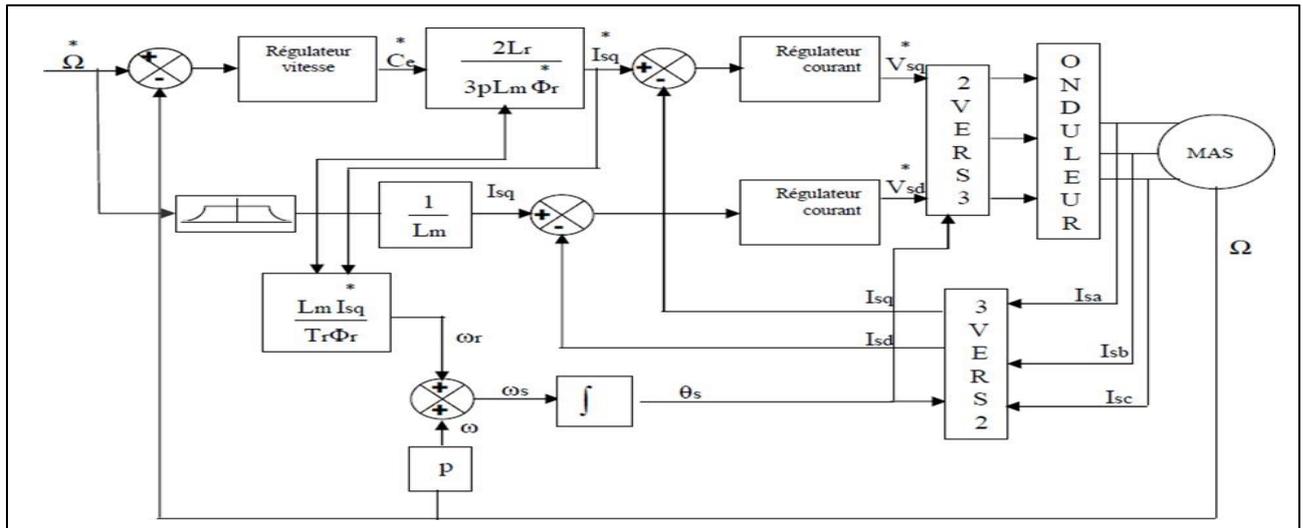


Figure.III.21 Commande vectorielle indirecte de la MAS [14]

### III.8.5. Principe de fonctionnement

Le variateur de vitesse Altivar 320 fonctionne en convertissant l'alimentation électrique en courant continu, en modulant la fréquence et la tension de sortie, et en permettant un contrôle précis de la vitesse de rotation du moteur. Cela permet d'optimiser les performances du moteur, d'économiser de l'énergie et de répondre aux besoins spécifiques des applications industrielles.

### III.8.6. Protection intégrée

Les fonctions de sécurité intégrées à l'ATV320 sont destinées à maintenir l'installation en condition de sécurité et à empêcher l'apparition de conditions dangereuses. Dans certains cas, des systèmes de sécurité supplémentaires externes au variateur (par exemple, un frein mécanique) peuvent être nécessaires afin de maintenir des conditions de sécurité optimales lorsque l'alimentation électrique est coupée. Les fonctions de sécurité sont configurées avec le logiciel SoMove.

#### a) Avantage

Les fonctions de sécurité intégrées offrent les avantages suivants :

- ✓ Fonctions de sécurité supplémentaires conformes aux normes.

- ✓ Pas besoin d'équipements de sécurité externes.
- ✓ Câblage et encombrement réduits.
- ✓ Coûts réduits.

### III.8.7. Fonctions de sécurité intégrées

Les variateurs Altivar Machine ATV320 intègrent cinq fonctions de sécurité :

- ✓ STO : Safe Torque Off (Suppression sûre du couple) ;
- ✓ SLS : Safely Limited Speed (Limitation sûre de la vitesse) ;
- ✓ SS1 : Safe Stop 1 (Arrêt contrôlé sûr) ;
- ✓ SMS: Safe Maximum Speed (Vitesse maximale sûre);
- ✓ GDL: Guard Door Locking (Inter verrouillage de porte);
- ✓ Ces fonctions sont certifiées selon la norme IEC61508 Ed.2 "Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related".

Ces fonctions intégrées permettent:

- ✓ De simplifier la mise en œuvre des machines nécessitant un dispositif de sécurité complexe ;
- ✓ D'améliorer les performances en cas de maintenance en réduisant le temps d'arrêt de la machine ou de l'installation.

#### III.8.7.1 Fonction de sécurité STO (Suppression sûre du couple)

Cette fonction place la machine dans des conditions de sécurité en supprimant tout couple moteur et/ou en empêchant celle-ci de démarrer accidentellement.

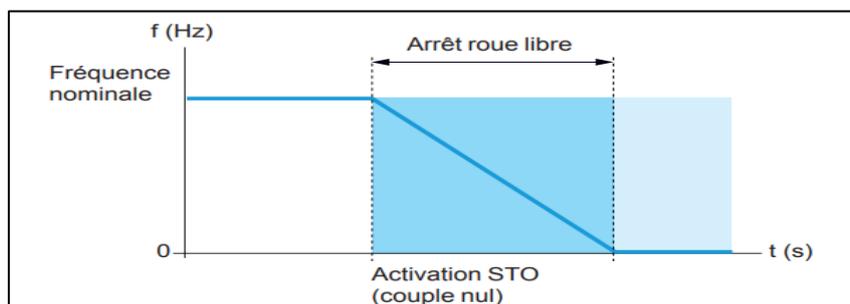


Figure III.22 Activation de la fonction de sécurité STO[14]

#### III.8.7.2 Fonction de sécurité SLS (Limitation sûre de la vitesse)

La fonction de sécurité intégrée SLS peut être déclenchée en activant les entrées de fonction de sécurité. Cette fonction permet d'éviter que le moteur ne dépasse la limite de vitesse spécifiée. Si la vitesse du moteur dépasse la vitesse limite spécifiée, la fonction de sécurité STO est déclenchée.

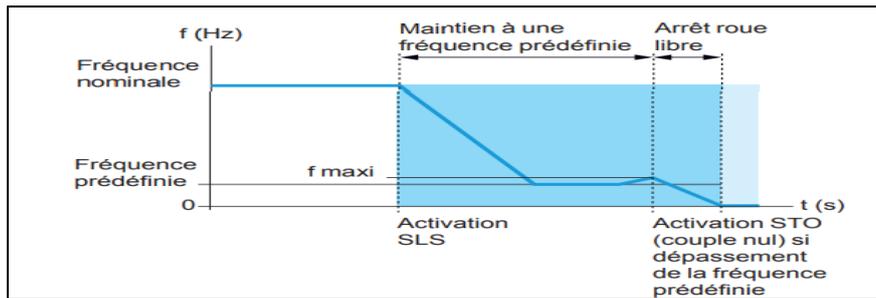


Figure.III.23 Activation de la fonction de sécurité SLS[14]

### III.8.7.3 Fonction de sécurité SS1 (Arrêt sur 1)

La fonction de sécurité intégrée SS1 provoque un arrêt contrôlé sûr de catégorie 1. Cette fonction surveille la décélération selon une rampe de décélération prédéfinie et stoppe le couple de manière sécurisée une fois que le seuil d'arrêt est atteint.

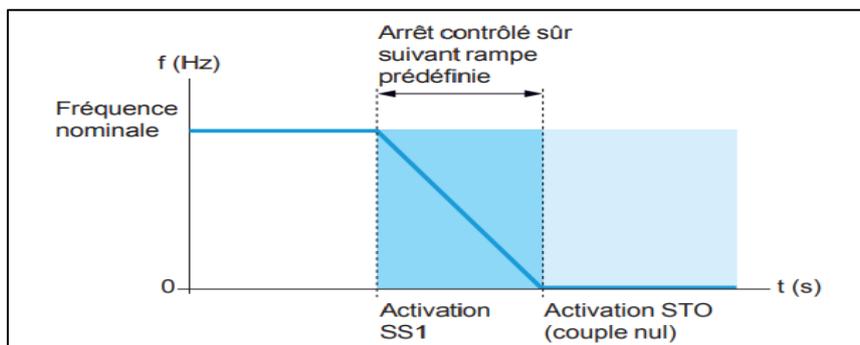


Figure.III.24 Activation de la fonction de sécurité SS1 [14]

### III.8.7.4. Fonction de sécurité SMS (Vitesse maximale sûre)

Cette fonction permet d'éviter que le moteur ne dépasse la limite de vitesse spécifiée.

- ✓ Il est possible de définir deux limites de vitesse différentes et de les sélectionner par entrées logiques.
- ✓ Si la vitesse du moteur dépasse la vitesse limite prédéfinie, la fonction de sécurité STO est déclenchée. Une fois que la fonction SMS est configurée, elle est active en permanence.

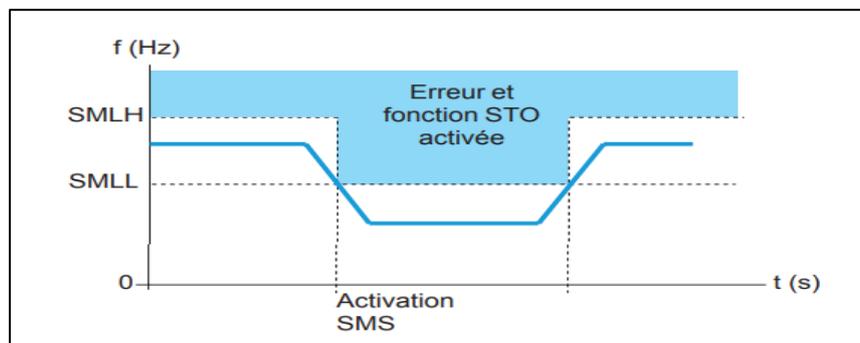


Figure.III.25 Activation de la fonction de sécurité SMS[14]

### III.8.7.5. Fonction de sécurité GDL (Verrouillage de porte)

Cette fonction vous permet de déverrouiller la porte après une temporisation spécifiée lorsque le moteur est mis hors tension. La temporisation spécifiée est définie selon le type d'arrêt. La porte avant de la machine peut s'ouvrir uniquement après l'arrêt du moteur, ce qui permet d'assurer la sécurité de l'opérateur.

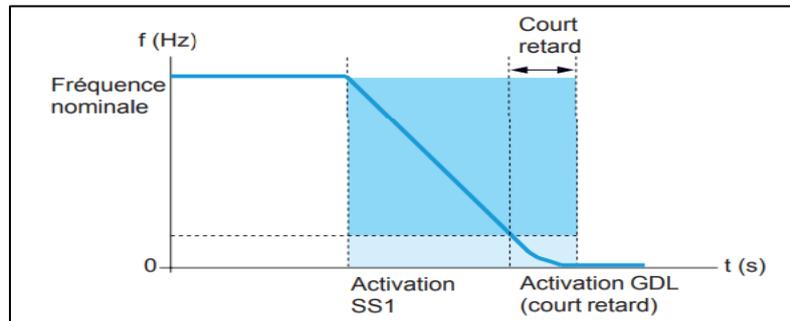


Figure.III.26 Activation de la fonction de sécurité GDL[14]

### III.8.8. Priorité entre les fonctions de sécurité

- La fonction de sécurité STO a la plus haute priorité. Si la fonction de sécurité STO est déclenchée, un arrêt sûr du couple est exécuté quelles que soient les autres fonctions actives.
- La fonction de sécurité SS1 a la priorité intermédiaire sur les autres fonctions de sécurité.
- Les fonctions de sécurité SLS et GDL ont la plus basse priorité.

### III.8.9. Maintenance

Par souci de maintenance préventive, les fonctions de sécurité doivent être activées au moins une fois par an. L'alimentation du variateur doit être coupée et rétablie afin de procéder à cette maintenance préventive. Les signaux des sorties logiques du variateur ne peuvent pas être considérés comme des signaux relatifs à la sécurité. Equipez d'antiparasite tous les circuits inductifs proches du variateur ou couplés au même circuit (relais, contacteurs, électrovannes, etc.).

### III.8.10. Certifications

Le variateur doit impérativement obtenir certaines certifications pour assurer sa conformité et sa sécurité dans des environnements électriques et électroniques rigoureux. Voici les principales certifications requises :

- Déclaration de conformité CE : La déclaration de conformité CE est une certification incontournable en Europe pour de nombreux produits électriques et électroniques. Elle confirme que le variateur satisfait aux normes strictes de sécurité, de compatibilité électromagnétique (CEM) et d'efficacité énergétique imposées par l'Union européenne.

2. Certification ATEX : Si le variateur est destiné à être utilisé dans des environnements potentiellement explosifs, il doit obtenir la certification ATEX. Cette certification atteste que le variateur est conçu et fabriqué avec des mesures préventives rigoureuses afin d'éviter tout risque d'inflammation ou d'explosion dans des atmosphères contenant des gaz, des vapeurs, des poussières ou des substances combustibles.
3. Certification de sécurité fonctionnelle : Cette certification est spécifiquement liée à la sécurité des systèmes de commande et de contrôle utilisés dans des applications critiques. Elle confirme que le variateur respecte les exigences de sécurité établies par des normes telles que l'IEC 61508 ou l'ISO 13849. Cette certification garantit que le variateur est capable de maintenir des niveaux de sécurité élevés et de prévenir les situations dangereuses.

### **III.9. Conclusion**

L'utilisation de machines asynchrones en combinaison avec des variateurs de vitesse électronique offre des avantages significatifs en termes de contrôle de la vitesse, d'efficacité énergétique et de flexibilité dans les applications industrielles. Ces technologies jouent un rôle crucial dans de nombreux domaines tels que l'automatisation, l'industrie manufacturière, les systèmes de pompage, les ventilateurs et bien d'autres. Leur utilisation continue à améliorer les performances des systèmes électromécaniques et à répondre aux exigences changeantes des industries modernes.

***Chapitre 04 : Identification des  
paramètres de la machines et  
simulation de système de commande***

---

## IV.1. Introduction

Dans cette section, nous procéderons à l'identification des paramètres inhérents à la nouvelle machine asynchrone proposée, tels que les paramètres  $R_r$ ,  $R_s$ ,  $L_r$ ,  $L_s$ ,  $M$ ,  $J$  et  $K_{fr}$ . Dans un avenir proche, nous adopterons une approche d'optimisation basée sur une métaphore biologique, s'inspirant du processus sélectif de la nature et des principes de la génétique évolutive. Cette métaphore prendra la forme d'un algorithme de recherche novateur, connu sous le nom de "L'algorithme Génétique".

D'autres approches d'identification émergent également, notamment celles fondées sur les progrès de l'apprentissage automatique et de l'intelligence artificielle. Par exemple, les réseaux de neurones peuvent être soumis à un entraînement utilisant des données d'entrée-sortie, afin d'effectuer une estimation des paramètres inhérents à la machine. De plus, des techniques de traitement du signal sophistiquées, telles que l'analyse en composantes indépendantes, sont employées pour extraire les informations pertinentes des signaux mesurés.

Dans un futur proche, l'intégration synergique de ces méthodologies diversifiées aboutira à une identification accrue en termes de précision et d'efficacité des paramètres inhérents à la machine asynchrone. Ces avancées novatrices engendreront une amélioration substantielle des performances et de l'efficacité des systèmes électriques, ouvrant ainsi une voie prometteuse pour l'émergence de nouvelles applications dans des domaines de pointe tels que le contrôle et le traitement du signal.

## IV.2. Définition des AG

Les algorithmes génétiques se situent au sein de la famille des algorithmes méta heuristiques. Leur dessein réside dans l'obtention d'une solution heuristique à un problème d'optimisation lorsque l'absence d'une méthode exacte (ou l'inconnu de la solution) empêche de le résoudre dans un intervalle de temps raisonnable. Ces algorithmes exploitent le concept de sélection naturelle qu'ils appliquent à une population de solutions potentielles pour le problème donné. La solution se rapproche progressivement, s'acheminant par bonds successifs, s'apparentant ainsi à une procédure de séparation et d'évaluation, à la différence près que les formules recherchées prennent le pas sur les valeurs directes.

## IV.3. Historique et présentation

Est-il envisageable, à l'heure actuelle, d'adopter une approche similaire pour optimiser les systèmes technologiques, de manière analogue à celle que nos ancêtres ont employée depuis des millénaires en utilisant la sélection et la reproduction pour améliorer les performances des récoltes végétales et animales, incluant les bovins, les équidés, les poiriers, et autres ?

L'usage des algorithmes génétiques dans la résolution de problèmes découle des recherches menées par John Holland, ses collègues et ses élèves à l'Université du

Michigan dès les années 1960. Ces travaux ont apporté une innovation majeure avec l'introduction de l'opérateur de croisement en complément des mutations. Cet opérateur joue un rôle crucial dans la convergence vers l'optimum d'une fonction en combinant les gènes présents chez les individus de la population. La première concrétisation de ces recherches a été la publication en 1975 de l'ouvrage "Adaptation in Natural and Artificial Systems".

Les travaux entrepris avaient pour objectifs fondamentaux suivants :

- De mettre en lumière et d'expliciter de manière rigoureuse les mécanismes d'adaptation inhérents aux systèmes naturels.
- De concevoir des systèmes artificiels, y compris des logiciels, qui possèdent les caractéristiques essentielles des systèmes naturels. Cette approche a abouti à des découvertes d'une importance capitale tant dans les sciences des systèmes naturels que dans celles des systèmes artificiels.

La robustesse des systèmes artificiels revêt une importance capitale à plusieurs égards. En rendant les systèmes artificiels plus robustes, les coûts liés aux modifications peuvent être réduits, voire éliminés.

De plus, l'atteinte de niveaux d'adaptation supérieurs permet aux systèmes existants de mieux remplir leur fonction et de le faire sur une plus longue durée.

### IV.3.1. Fonctionnement des AG

Le fonctionnement d'un algorithme génétique (AG) s'appuie principalement sur les étapes successives suivantes :

1. Établissement de la population initiale : création d'une population de taille N constituée de chromosomes ;
2. Évaluation individuelle : codage et évaluation de chaque chromosome ;
3. Sélection des individus "optimaux" : création d'une nouvelle population de chromosomes en utilisant une méthode de sélection appropriée ;
4. Reproduction (Croisement et Mutation) : processus de reproduction incluant des opérations de croisement et de mutation ;
5. Formation d'une nouvelle génération : création d'une nouvelle génération de chromosomes à partir des individus sélectionnés et des opérations de reproduction ;
6. Retour à l'étape 2 tant que la condition d'arrêt du problème n'est pas satisfaite : itération du processus en évaluant à nouveau les individus et en réalisant les opérations de sélection, de reproduction et de formation de nouvelles générations jusqu'à ce que le critère d'arrêt du problème soit atteint.

L'explication détaillée de ce fonctionnement peut être mieux appréhendée à travers l'illustration de l'organigramme global suivant :

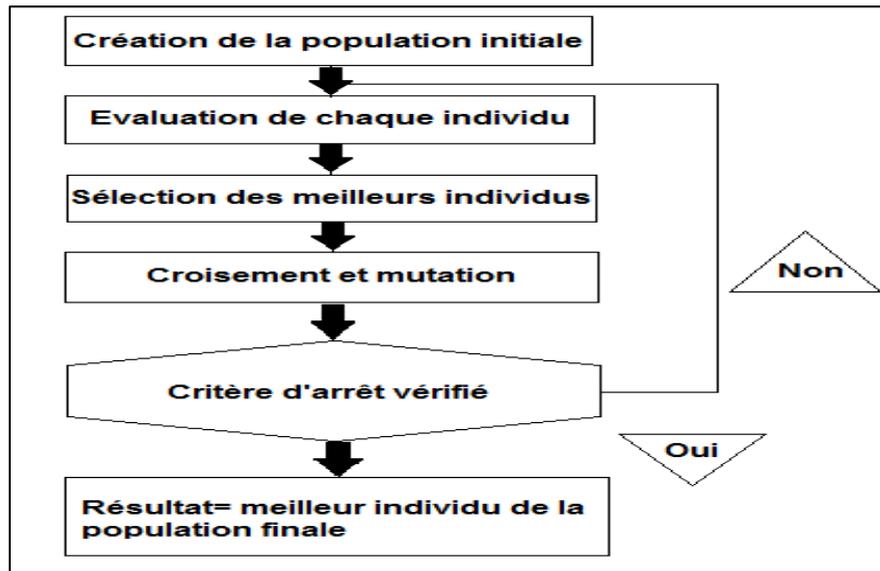


Figure IV.1 Organigramme d'un AG

### IV.3.2. Codage des Paramètres

Selon les préceptes de Goldberg, l'opérateur devrait opter pour l'alphabet le plus restreint permettant d'exprimer de manière fluide les paramètres inhérents au problème (principe des alphabets minimaux). C'est ainsi que l'alphabet binaire {0,1} se révèle singulièrement approprié pour représenter de manière précise ces dits paramètres [21].

#### A. Codage binaire

Pour tout paramètre  $x_i$  compris dans l'intervalle délimité par  $(x_{i_{min}}, x_{i_{max}})$ , une séquence  $b_0b_1b_2b_3...b_{\ell-1}$  est attribuée, définie par l'utilisation de  $\ell$  bits. À cette séquence est associée une valeur entière naturelle correspondante.

$$N(x_i) = \sum_{i=0}^{\ell-1} 2^{\ell-1-i} \cdot b_i \quad \text{IV.1}$$

La valeur réelle du paramètre  $x_i$  dans l'espace de recherche lié à  $(x_i)$  est déterminée par une interprétation linéaire :

$$x_i = x_{i_{min}} + \frac{x_{i_{max}} - x_{i_{min}}}{2^{\ell} - 1} \cdot N(x_i) \quad \text{IV.2}$$

L'implémentation de cette méthode de codage est relativement simple, cependant elle souffre de l'inconvénient de restreindre la précision (résolution) des paramètres à une valeur  $s_i$  déterminée par l'écart entre deux configurations réelles adjacentes, où un calcul peut être effectué pour une variation du bit de moindre importance.

$$s_i = \frac{x_{i_{max}} - x_{i_{min}}}{2^{\ell} - 1} \quad \text{IV.3}$$

**Exemple :** Codage multi paramétré :

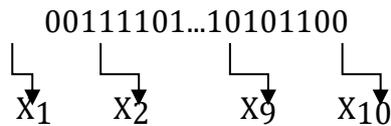
**Paramètre unique**  $X_1 (l_1=4)$

0 000  $\rightarrow X_{min}$

1 111  $\rightarrow X_{max}$

Les autres répartissent linéairement entre ces deux valeurs

### Codage multi paramétré(10paramètres)



Un codage multi paramétré construit à partir de codage concaténé, projeté, à borne fixe

## B. Codage Gray

Avec l'utilisation du codage binaire, il est possible que deux configurations proches dans l'espace de représentation se voient attribuer des chromosomes considérablement différents. Par exemple, les séquences "01111" et "10000" peuvent correspondre à deux configurations réelles voisines, bien que leur différence porte sur cinq bits. Cette particularité peut être préjudiciable lors de recherches locales. Afin de contourner ce problème, il est recommandé d'adopter le code Gray. En effet, grâce à ce code, les entiers adjacents ne diffèrent que d'un seul bit, simplifiant ainsi grandement la transition entre deux configurations réelles voisines, puisqu'il suffit de modifier un unique bit dans le chromosome.

## C. Codage réel

L'origine du codage réel remonte aux méthodes de programmation évolutionnaire et aux stratégies d'évolution. Cette approche implique la représentation de chaque individu de la population par des valeurs réelles, éliminant ainsi les limitations du codage binaire, car l'espace de recherche correspond directement à l'espace de représentation. De plus, il n'est pas nécessaire de procéder à une étape de décodage avant d'évaluer la fonction objective.

### IV.3.3. Initialisation

Lors de l'initialisation des chromosomes des individus de la première génération, il est courant de procéder de manière aléatoire en respectant la propriété d'équiprobabilité, conformément aux principes de la distribution uniforme.

### IV.3.4. Fonction d'adaptation

Un algorithme génétique requiert typiquement l'établissement d'une fonction décrivant la pertinence des solutions potentielles en fonction des grandeurs à optimiser. Nous désignerons cette fonction sous le terme de "fonction d'adaptation  $f$ " (appelée "fitness function" dans la terminologie anglo-saxonne).

En considérant une fonction réelle  $f$  donnée, l'expression du nombre d'optimisations sur l'espace de recherche,  $E$ , est formulée comme suit :

$$\text{Max}_{x \in E} f(x) \quad \text{IV.4}$$

Par ailleurs, il est essentiel que la fonction présente une positivité stricte à travers tout le domaine  $E$ . Dans le cas contraire, il est impératif d'incorporer une valeur  $F_{min}$  à la fonction  $f$  afin de conférer cette propriété de positivité :

$$\text{Max}_{x \in E} [f(x) + F_{min}] \quad \text{IV.5}$$

Dans de nombreuses circonstances, la problématique est formulée comme la minimisation d'une fonction de coût,  $g$ . La conversion du problème de minimisation en un problème de maximisation peut être accomplie par le biais des transformations suivantes :

$$H(x) = \begin{cases} G_{max} + g(x), & \text{si } G_{max}(x) \geq g(x) \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \text{ ou } H(x) = \frac{1}{1+g(x)} \quad \text{IV.6}$$

### IV.3.5. Opérateurs d'un AG

Le mécanisme d'un algorithme génétique est régulé par trois opérateurs primordiaux : la sélection, la reproduction par croisement et la modification par mutation.

#### IV.3.5.1. Opérateur de sélection

Une fois que la fonction objective de chaque chromosome a été évaluée, on entame la phase de sélection des exemplaires les plus performants. Cette étape de sélection requiert préalablement l'établissement de la fonction d'adaptation (fitness)  $f_{ad}$ , qui vise à exprimer la qualité inhérente à chaque chromosome de la population.

L'opérateur en question revêt une importance capitale, car il confère aux individus d'une population la capacité de persister, de se reproduire ou de disparaître. En général, la probabilité de persistance d'un individu est étroitement liée à son niveau d'efficacité relatif au sein de la population. On distingue principalement quatre types de méthodes de sélection distinctes, on peut citer :

La "loterie biaisée" (**roulette wheel**) de Goldberg, la sélection par **tournois**, l'approche "élitiste" et la sélection **universelle stochastique** [22] .

#### A. Sélection proportionnelle à l'adaptation (roue de loterie biaisée)

La méthode de sélection la plus renommée est celle de la sélection proportionnelle à l'adaptation, initialement introduite par Holland. Elle repose sur l'attribution à chaque chromosome  $i$  d'une probabilité de sélection définie selon une formule spécifique :

$$P_s(i) = \frac{f_{ad}(i)}{\sum_{j=1}^N f_{ad}(j)} \quad \text{IV.7}$$

Où :

- $f_{ad}(i)$  La fonction d'adaptation d'un chromosome  $i$  est représentée par le terme désigné ;
- $N$  correspond à la dimension de la population.

Par la suite, les géniteurs (parents) sont sélectionnés au moyen de la roue de loterie, où chaque chromosome ou individu occupe une section de la roue proportionnelle à sa fonction d'adaptation respective.

Exemple d'une roulette de loterie biaisée relative à la population :

Supposons que nous ayons une population de 100 individus, chacun ayant une certaine valeur de fitness (adaptation) associée. La somme totale des valeurs de fitness de tous les individus est de 500.

Maintenant, pour créer une roulette de loterie biaisée, nous allons attribuer à chaque individu une part proportionnelle à sa valeur de fitness. Par exemple :

- ✓ Individu 1 : Valeur de fitness : 40 Part dans la roulette :  $(40/500) = 0.08$
- ✓ Individu 2 : Valeur de fitness : 80 Part dans la roulette :  $(80/500) = 0.16$
- ✓ Individu 3 : Valeur de fitness : 120 Part dans la roulette :  $(120/500) = 0.24$

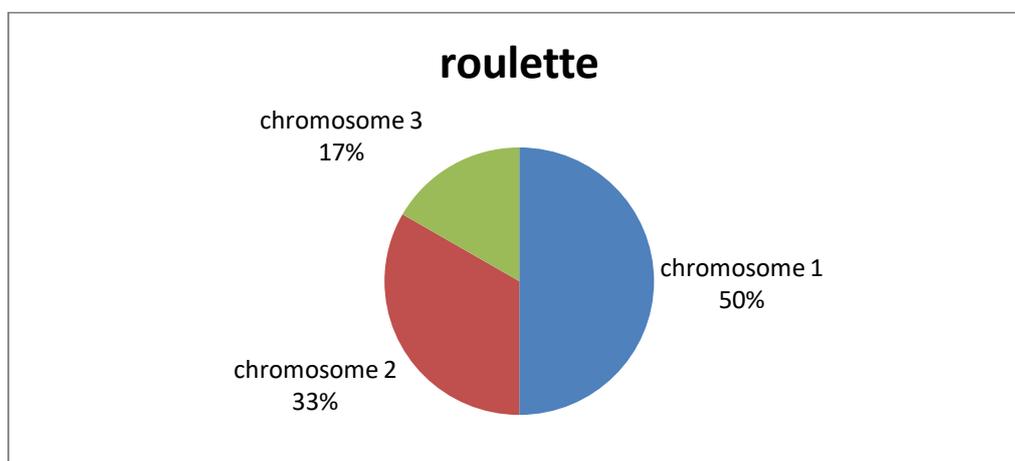


Figure IV.2 Exemple de roue avec 3 chromosomes

### B. Sélection par tournoi

La sélection par tournoi s'appuie sur un processus itératif où  $m$  individus sont choisis aléatoirement avec répétition à chaque itération, le nombre d'itérations étant égal au nombre d'individus à sélectionner. L'un des avantages inhérents à cette approche réside dans la capacité à lier la fonction d'adaptation à la fonction de fitness.

### C. Sélection à reste stochastique

Dans cette méthode de sélection, le nombre de réplifications  $n(a_i)$  d'un individu  $a_i$  est déterminé directement par le quotient  $(f_i/f_{moy})$ , où  $f_{moy}$  représente la moyenne de la fonction d'adaptation. Initialement, chaque individu est reproduit un nombre de fois correspondant à la partie entière de ce quotient. Ensuite, la population est complétée par un tirage au sort où chaque individu est associé à une probabilité :

$$P_s(a_i) = (f_i/f_{moy}) - \text{partie entière} (f_i/f_{moy}) \quad \text{IV.8}$$

#### IV.3.5.2. Opérateur de croisement

Les chaînes les mieux adaptées sont sélectionnées pour subir l'opération de croisement, qui implique l'échange de matériel génétique entre deux parents pour créer deux nouvelles chaînes. Ce processus aléatoire de probabilité  $P_c$  est appliqué à un couple de parents choisis au hasard dans la population. Le croisement se produit à une position spécifique sur les chromosomes ou  $K \in [1, L]$ , déterminée par la longueur de la chaîne  $L$ . Les nouvelles chaînes sont créées en échangeant le matériel génétique à partir de cette position  $K$ . Il est également possible d'effectuer un croisement à plusieurs positions, ce qui est plus adapté pour des chaînes longues.

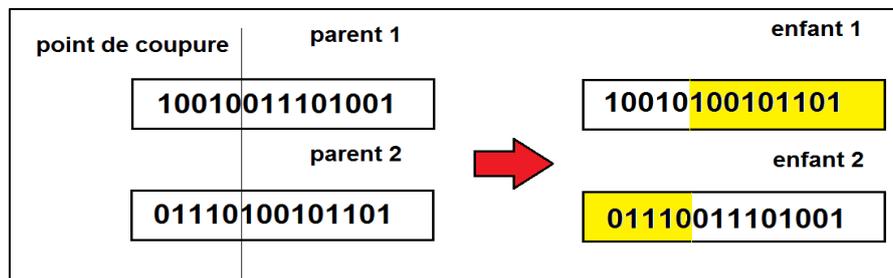


Figure IV.3 Représentation schématique du croisement en 1 point de coupure

#### IV.3.5.3. Opérateur de mutation

L'opérateur en question est la mutation, qui implique un changement aléatoire et rare de la valeur allélique d'un gène, avec une probabilité généralement très faible, située entre 0,01 et 0,001. Une autre approche consiste à prendre  $P_m = 1/L$  ou  $P_m = 1/(p.L)$ , où  $P$  représente la taille de la population et  $L$  correspond à la longueur de la chaîne de bits qui encode notre chromosome.

La mutation se produit de manière aléatoire et sporadique au sein d'un individu, entraînant une altération d'un gène avec une probabilité faible. Cette altération peut se traduire par une modification aléatoire de la valeur d'un gène, selon une probabilité préétablie.

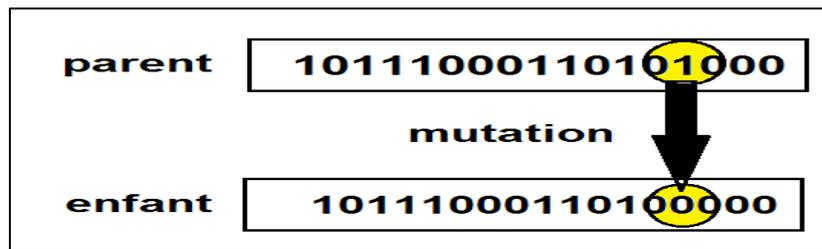


Figure IV.4 Représentation schématique d'une mutation dans une chaîne binaire

### IV.3.6. Choix des paramètres d'un algorithme génétique :

Le lancement d'un (AG) requiert la définition de paramètres fondamentaux tels que la taille de la population, les probabilités de mutation et de croisement, ainsi que le nombre de générations. Cependant, fixer ces paramètres à l'avance ou trouver les valeurs optimales avant l'exécution de l'algorithme représente un défi complexe. Cela nécessite un ajustement spécifique à chaque problème traité, ce qui constitue une part importante du travail de l'expérimentateur. Dans la littérature, on observe des variations dans la façon dont ces paramètres sont définis, chaque application ayant ses propres spécificités.

### IV.4. Présentation de l'outil d'optimisation MATLAB

Pour accéder à l'outil d'optimisation, il est nécessaire de cliquer sur la commande **optimtool ('ga')** dans la fenêtre de commande de l'environnement, ce qui déclenchera l'apparition de l'interface graphique représentant les boîtes à outils de **MATLAB**, comme illustré sur la figure IV.6 ci-dessous.

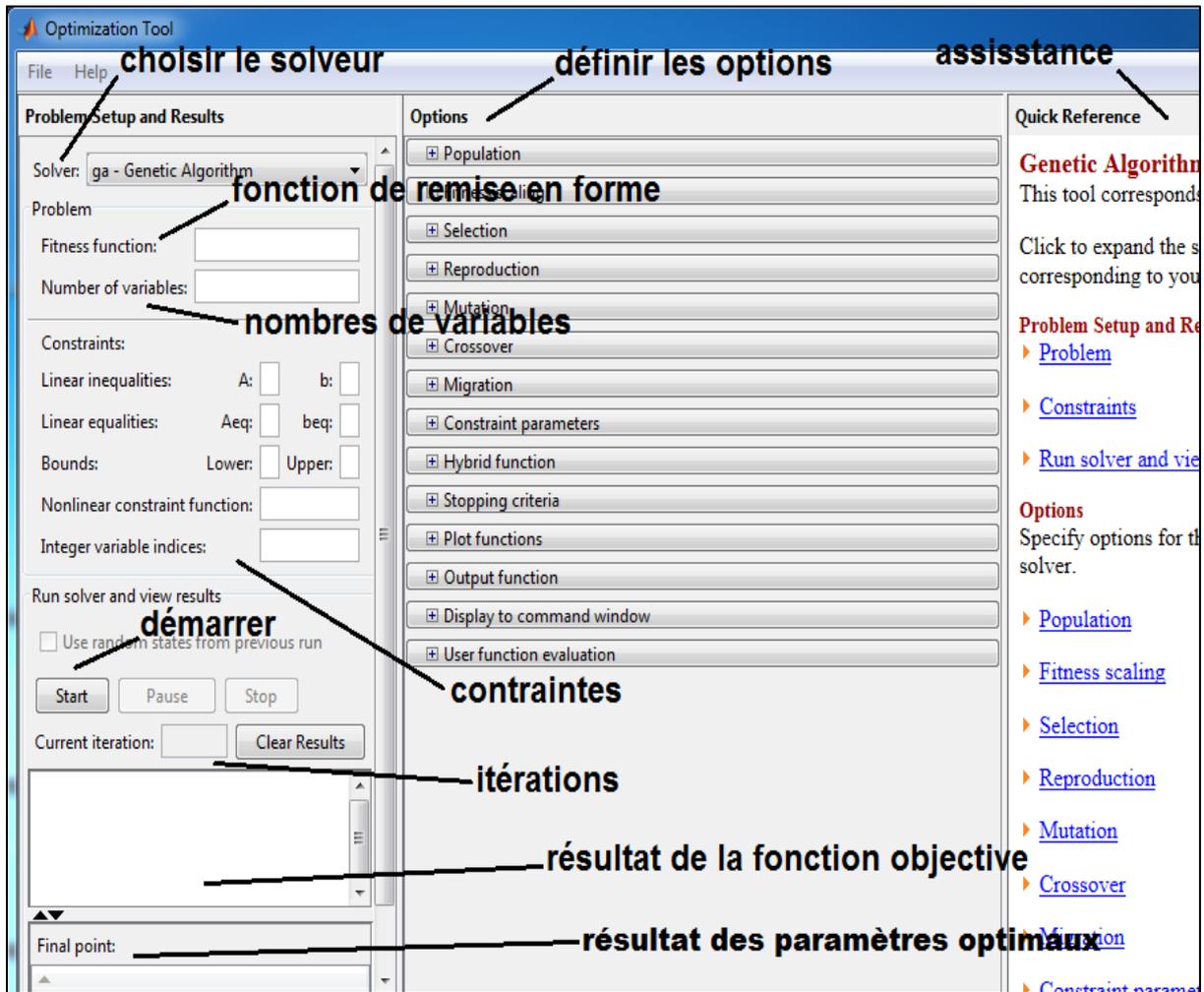


Figure IV.5 Outil d'optimisation MATLAB

Avant de pouvoir utiliser l'outil d'optimisation, il nous incombe d'initialiser préalablement les données requises, lesquelles sont les suivantes :

- **La fonction de fitness :** La fonction objectif que nous cherchons à optimiser est représentée sous la forme **@fitnessfunction**, avec **fitnessfunction.m** étant un fichier M qui effectue le calcul de la fonction de fitness. Les directives sur la création des fichiers pour les fonctions que nous souhaitons optimiser fournissent des explications détaillées sur la rédaction de ce fichier M. L'utilisation du symbole **@** permet de créer une référence à la fonction **fitnessfunction**.
- **Nombre de variables :** Il s'agit de la dimension du vecteur d'entrée de la fonction **fitnessfunction.m**, qui détermine le nombre de variables sur lesquelles la fonction d'optimisation est appliquée.

Dans le panneau des contraintes (constraints), il est possible d'introduire des contraintes ou une fonction de contraintes non linéaires pour le problème. Si le problème ne comporte pas de contraintes, ces champs peuvent être laissés vides.

Pour lancer l'algorithme génétique, il suffit de cliquer sur le bouton "**start**". L'outil présentera les résultats de l'optimisation dans le solveur **Run**.

Les options de l'algorithme génétique peuvent être modifiées dans le panneau Options. Pour afficher les options relatives à l'une des catégories répertoriées dans le panneau, il suffit de cliquer sur le signe "+" correspondant.

### IV.4.1. Caractérisation des options

#### A. Population

Les valeurs par défaut sont exposées dans le panneau inférieur, permettant une consultation aisée :

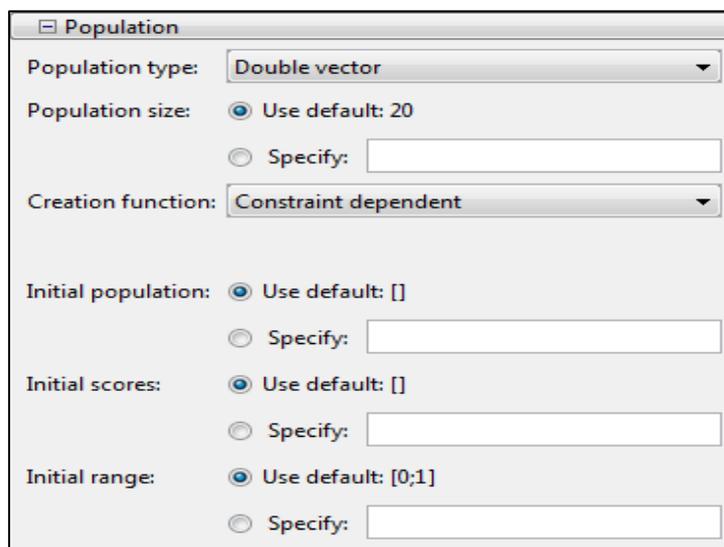


Figure IV.6 Population

#### B. Mise à l'échelle de la fonction fitness (Fitness scaling)

La fonction de mise à l'échelle opère une conversion des premières partitions de fitness générées par la fonction de remise en forme, afin de les ajuster à une plage de valeurs adaptée à la fonction de sélection.

Les valeurs par défaut sont exposées dans le panneau ci-dessous, offrant une visualisation immédiate des paramètres.

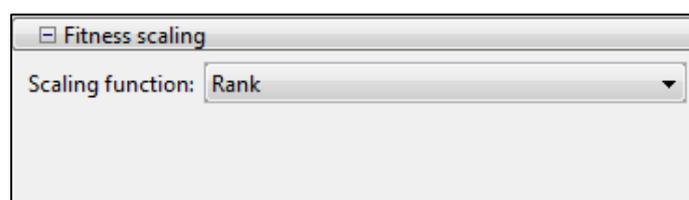


Figure IV.7 Fitness scaling

### C. Sélection (Selection)

Les paramètres par défaut sont visibles dans le panneau inférieur, offrant une présentation immédiate des valeurs par défaut.

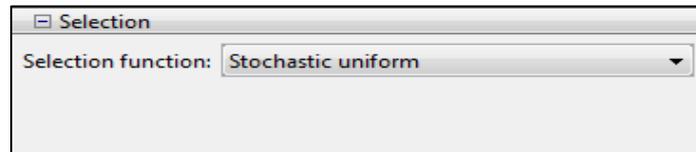


Figure IV.8 Selection

### D. Reproduction

Les valeurs par défaut sont clairement présentées dans le panneau situé en bas, permettant une consultation instantanée des paramètres par défaut.

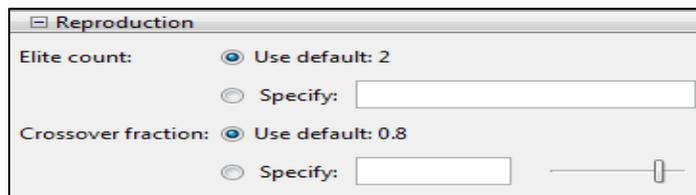


Figure IV.9 Reproduction

### E. Mutation

Le panneau ci-dessous présente de manière explicite les valeurs par défaut, offrant une visualisation immédiate des paramètres préétablis.

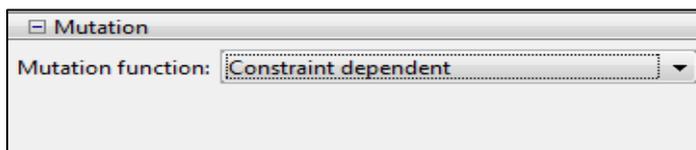


Figure IV.10 Mutation

### F. Croisement (Crossover)

Les paramètres préétablis sont affichés dans le panneau inférieur, offrant une présentation immédiate des paramètres par défaut.

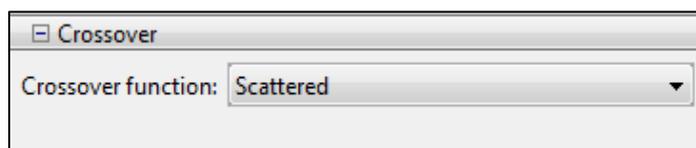


Figure IV.11 Crossover

## G. Migration

La migration implique le déplacement des individus entre les différentes sous-populations, un mécanisme mis en place par l'algorithme lorsque la taille de la population est définie sous la forme d'un vecteur de longueur supérieure à 1. Les individus les plus performants d'une sous-population remplacent les individus les moins performants d'une autre sous-population.

Les valeurs par défaut sont clairement exposées dans le panneau inférieur, offrant une consultation immédiate des paramètres préétablis.

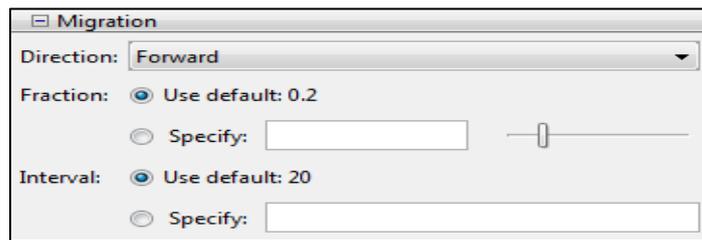


Figure IV.12 Migration

## H. Fonction hybride (Hybrid function)

En utilisant la fonction hybride, nous avons la possibilité de définir une autre fonction de minimisation qui sera exécutée une fois l'algorithme génétique terminé.

Les paramètres par défaut sont visibles dans le panneau inférieur, fournissant une visualisation immédiate des valeurs préétablies.



Figure IV.13 Hybrid function

## I. Conditions d'arrêt de l'algorithme (Stopping Conditions for the Algorithm)

L'algorithme atteint son arrêt dès lors que l'une de ces conditions n'est plus satisfaite. Cependant, il convient de souligner que le choix des critères d'arrêt peut être complexe et dépend des spécifications et des objectifs propres à chaque utilisation. Les valeurs de ces critères peuvent être spécifiées dans le panneau dédié aux critères d'arrêt de l'outil d'optimisation.

Les paramètres par défaut sont exposés dans le panneau inférieur, permettant une consultation immédiate des valeurs préétablies.

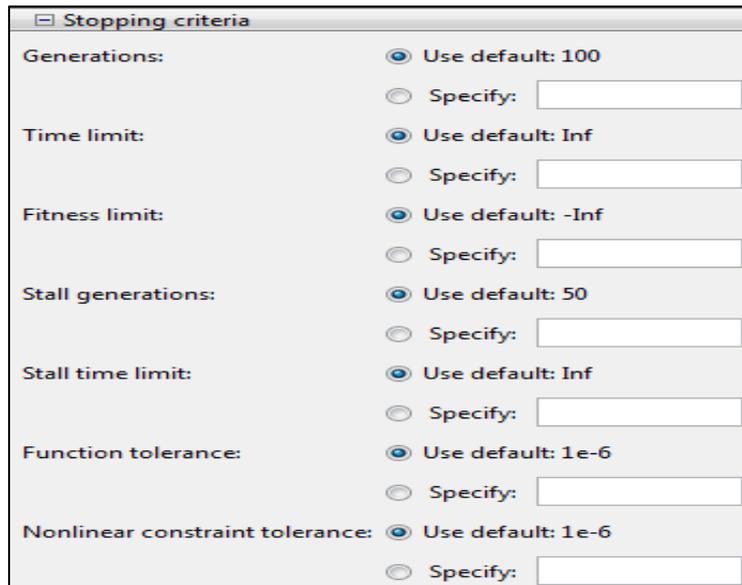


Figure IV.14 Stopping criteria

### J. Fonction de traçage (Plot function)

La fonction de traçage nous permet de visualiser graphiquement les différents résultats de l'algorithme génétique, en les traçant sur des axes distincts dans la fenêtre d'affichage. Son objectif est de faciliter l'analyse et la compréhension des performances de l'algorithme.

Nous utilisons la case "best fitness" (meilleure forme physique), son but est de fournir l'accès rapide à l'évaluation de la meilleure forme physique atteinte par l'algorithme génétique lors de son exécution.

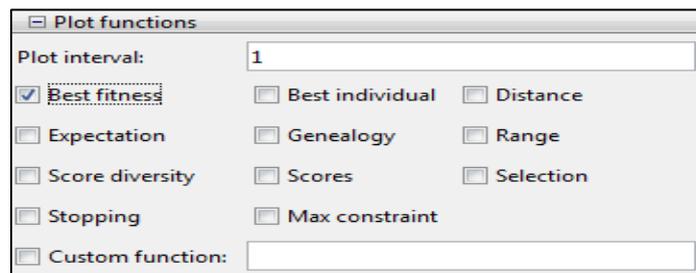


Figure IV.15 Plot function

### K. Fonction de sortie (Output function)

Les paramètres par défaut sont clairement affichés dans le panneau inférieur :

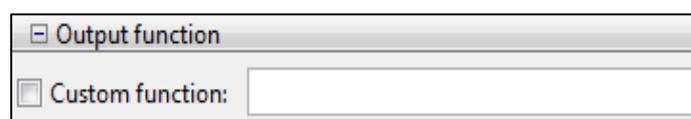


Figure IV.16 Output function

### L. Affichage la fenêtre de commande (Display to command window)

Le niveau d'affichage détermine l'étendue des informations qui sont présentées dans la fenêtre de commande de MATLAB lors de l'exécution de l'algorithme.

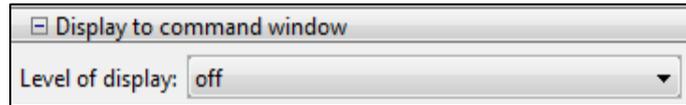


Figure IV.17 Display to command window

### M. Utiliser l'évaluation d'une fonction (User function evaluation)

Les paramètres par défaut sont visibles dans le panneau situé en bas, offrant une visualisation immédiate des valeurs préétablies.

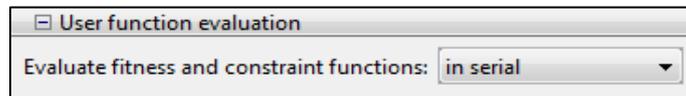


Figure IV.18 User function evaluation

## IV.5. Application d'optimisation des paramètres de la MAS

Au sein de cette section, nous employons un algorithme génétique sophistiqué et ingénieux pour identifier et ajuster les paramètres de la machine asynchrone. Notre objectif est de rechercher les valeurs optimales de ces paramètres de manière à obtenir une réponse substantiellement acceptable. En utilisant une approche itérative et basée sur la sélection naturelle, l'algorithme génétique explore un vaste espace de solutions potentielles, évaluant chaque combinaison de paramètres pour déterminer leur efficacité.

Grâce à ce processus itératif, nous espérons découvrir les configurations optimales qui maximisent les performances de la machine asynchrone, permettant ainsi d'atteindre des niveaux de réactivité, d'efficacité et de fiabilité supérieurs.

La fonction objective que nous cherchons à optimiser est formulée sous la forme de **@fitnessFunction2**, où **fitnessFunction2.m** est un fichier M qui calcule la fonction de performance. Cette fonction utilise chaque individu de la population et est liée au septuple de paramètres  $R_r$ ,  $R_s$ ,  $L_r$ ,  $L_s$ ,  $M$ ,  $J$  et  $K_{fr}$ . Elle déclenche la simulation du système basé sur la MAS, puis évalue les performances de l'individu de manière exhaustive.

Le vecteur d'entrée «  $x$  » représente les paramètres à optimiser suivants :

- $R_r = x(1)$  : Résistance rotorique ;
- $R_s = x(2)$  : Résistance statorique ;
- $L_r = x(3)$  : Inductance rotorique ;
- $L_s = x(4)$  : Inductance statorique ;

- $M = x(5)$  : Mutuelle ;
- $J = x(6)$  : Moment d'inertie ;
- $K_{fr} = x(7)$  : Coefficient de frottement.

Les limites de ces paramètres (Ces bornes servent à contraindre les valeurs des paramètres dans un intervalle admissible.) sont introduites sous forme de deux vecteurs :

- **Bornes inférieures (Lower)** : [3, 4, 0.4, 0.4, 0.5, 0.006, 0.001].
- **Bornes supérieures (Upper)** : [5, 6, 0.6, 0.6, 0.6, 0.008, 0.007].

Par la suite, nous avons employé un critère d'erreur qui consiste en une vérification visant à garantir la conformité des valeurs des paramètres dans le vecteur «  $\mathbf{x}$  » aux bornes spécifiées. Si l'une de ces valeurs dépasse les bornes, la fonction renverra une valeur infinie (Inf), signalant ainsi un résultat invalide.

Ensuite, les valeurs des paramètres sont extraites du vecteur «  $\mathbf{x}$  » et assignées aux variables correspondantes. Une limite de récursion est également augmentée, permettant ainsi une profondeur de calcul plus élevée si nécessaire.

À l'intérieur de **fitnessFunction2**, une fonction objective appelée **TorqueResistance**( $R_r, R_s, L_r, L_s, M, J, K_{fr}$ ) est définie. Cette fonction utilise les paramètres en entrée pour effectuer des calculs complexes afin de déterminer le couple résistant total (Tr). Ces calculs impliquent des constantes avancées, telles que :

( $m=3$ ), ( $P=2$ ), ( $F=50$  Hz), ( $V=380$  V), ( $N_n=1425$  tr/min), ( $N_s=1500$  tr/min), ( $g$ ), ( $\Omega$ ).

La fonction **TorqueResistance** effectue des calculs avancés en utilisant les équations du Schéma équivalent en  $\Gamma$  pour obtenir le coefficient de correction ( $c$ ), le couple de frottement ( $C_{fr}$ ), le couple électromagnétique ( $C_e$ ), et finalement le couple résistant ( $C_r$ ). Ces calculs sophistiqués permettent de déterminer les différentes composantes du système électromagnétique, en utilisant un modèle représenté par le Schéma équivalent en  $\Gamma$ .

$$c = 1 + \frac{L_s}{M} \quad \text{IV.9}$$

$$C_{fr} = K_{fr} \cdot \frac{N_n \cdot 2 \cdot \pi}{60} \quad \text{IV.10}$$

$$C_e = \frac{P_{ém}}{\Omega} = m \cdot \frac{V^2 \cdot \frac{R_r}{g}}{\Omega \cdot \left[ \left( R_s + c \cdot \frac{R_r}{g} \right)^2 + \left( X_1 + c \cdot X_2' \right)^2 \right]}$$

Avec :

$$X_2' = X_2 = 2 \times \pi \times f \times L_r$$

$$X_1 = 2 \times \pi \times F \times L_s$$

$$X_m = 2 \times \pi \times F \times M$$

$$C_r = C_e - C_{fr}$$

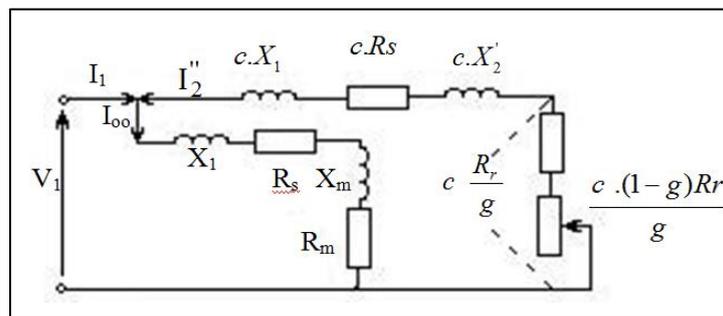


Figure IV.19 Schéma équivalent en  $\Gamma$

Enfin, la fonction **fitnessFunction2** retourne la moyenne du couple résistant total ( $C_r$ ) en tant que valeur de fitness ( $f$ ). Cette valeur de fitness est utilisée par l'algorithme génétique pour évaluer et sélectionner les solutions optimales.

## IV.6. Résultat de l'exécution de l'algorithme génétique

Pour la mise en œuvre de l'algorithme génétique, nous avons utilisé les valeurs prédéfinies de l'outil d'optimisation MATLAB, qui servent de paramètres par défaut pour l'exécution du processus. Sur 100 générations, nous avons obtenu la réponse subséquente :

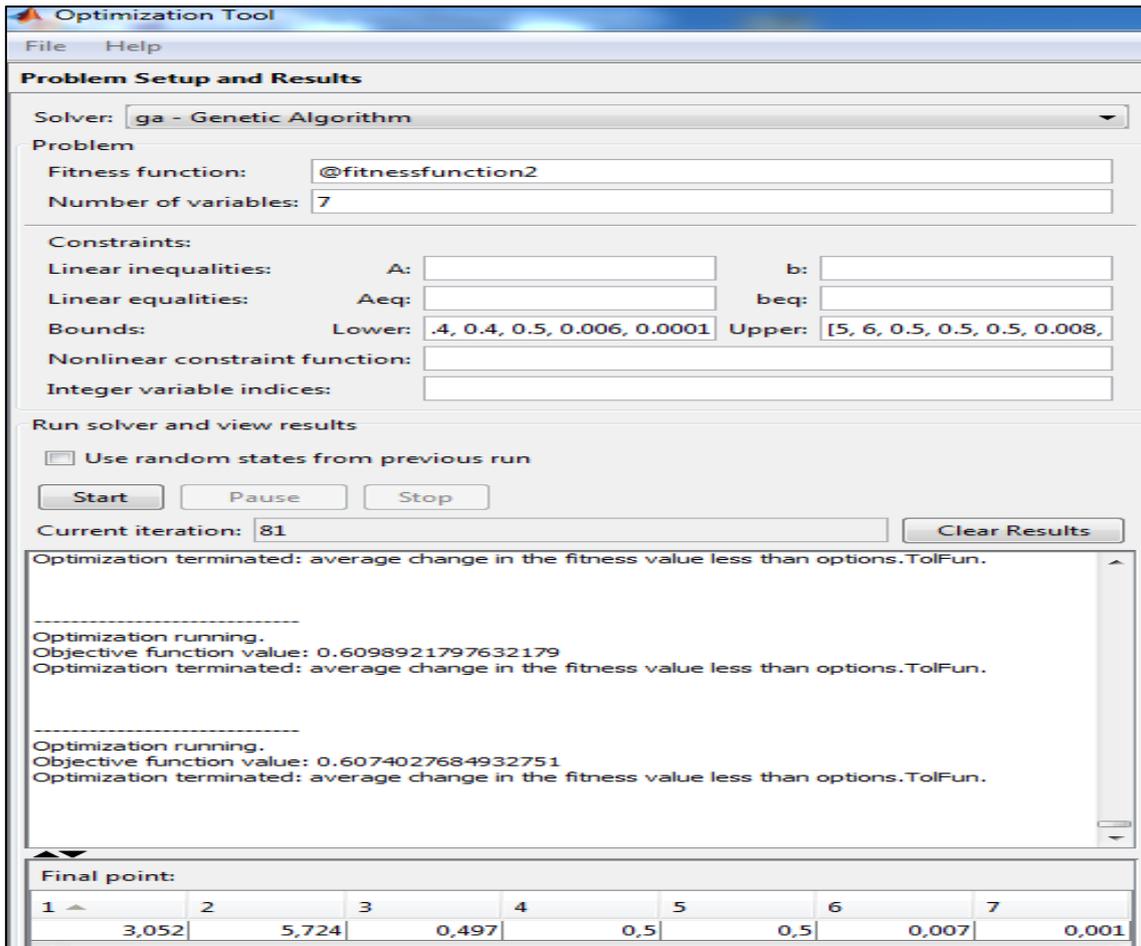


Figure IV.20 Résultats de l'algorithme génétique

Après l'exécution de l'outil MATLAB, les résultats ont montré une amélioration des performances du système électromagnétique. les paramètres optimaux trouvés par l'AG qui sont :

$$[R_r, R_s, L_r, L_s, M, J, K_{fr}] = [3.052, 5.724, 0.497, 0.5, 0.5, 0.007, 0.001].$$

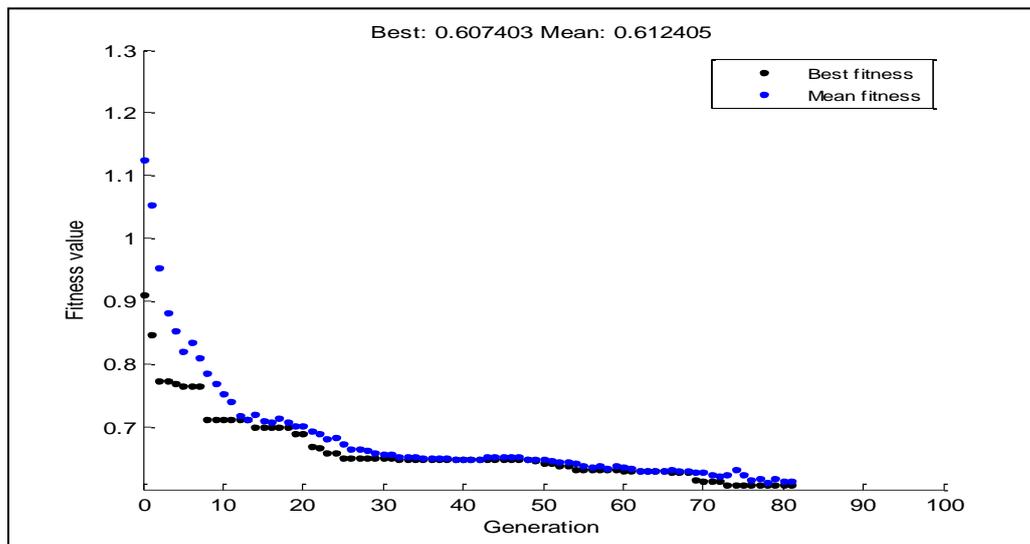


Figure IV.21 Visualisation graphique ses résultats de l'algorithme génétique

Les solutions obtenues étaient valides et en accord avec les bornes spécifiées. L'AG a donc réussi à trouver des paramètres optimaux, promettant des améliorations pratiques dans les performances du système électromagnétique.

Dans un premier temps, nous allons nous engager dans une démarche de simulation de la machine asynchrone. Cette machine est un moteur récemment proposé, et nous avons suggéré d'utiliser une approche de commande vectorielle pour son fonctionnement. La commande vectorielle est basée sur le principe de commande du nouveau variateur 320.

Une fois que nous aurons terminé la simulation, nous procéderons à l'interprétation des résultats obtenus. Nous analyserons les données recueillies lors de la simulation afin de mieux comprendre le comportement de la machine asynchrone et d'évaluer ses performances.

En particulier, nous serons attentifs à la performance du moteur lorsque nous l'associons au variateur mentionné précédemment. Nous observerons comment le moteur réagit aux commandes du variateur et si cela conduit à une amélioration de ses performances globales.

En résumé, notre démarche consiste à simuler la machine asynchrone en utilisant la commande vectorielle et à évaluer les résultats obtenus. Nous nous intéressons particulièrement à la performance du moteur lorsqu'il est couplé au variateur mentionné qui est l'Altivar 320.

### IV.7. Simulation et Résultats

La simulation numérique des modèles mathématiques des machines électriques se positionne comme une méthode conséquente, permettant d'obtenir une appréhension exhaustive et précise de leurs performances. Néanmoins, elle se présente généralement comme une approche complémentaire dans la plupart des disciplines. Elle n'a jamais remis en cause la validité ni l'efficacité de l'expérience, mais plutôt visé à élucider les phénomènes inhérents pour mieux appréhender et anticiper le panorama futur.

#### IV.7.1. Simulation du modèle de la machine asynchrone

Initialement, le moteur asynchrone se voit alimenté directement depuis le réseau industriel au moyen d'un système à tensions triphasées équilibrées. Cependant, dans certaines applications où la variation de la vitesse est requise, le moteur est approvisionné par le biais d'un convertisseur de puissance électronique, s'appuyant soit sur un système à tensions triphasées, soit sur un système à courants triphasés injectés dans les enroulements du stator. Ce convertisseur est intercalé entre le moteur et le réseau électrique industriel. La Figure 1 illustre le schéma bloc du modèle précédemment

élaboré, qui sera soumis à une simulation à l'aide du logiciel SIMULINK intégré à MATLAB. Les paramètres spécifiques à la machine asynchrone utilisée dans cette étude sont présentés dans l'Annexe(B).

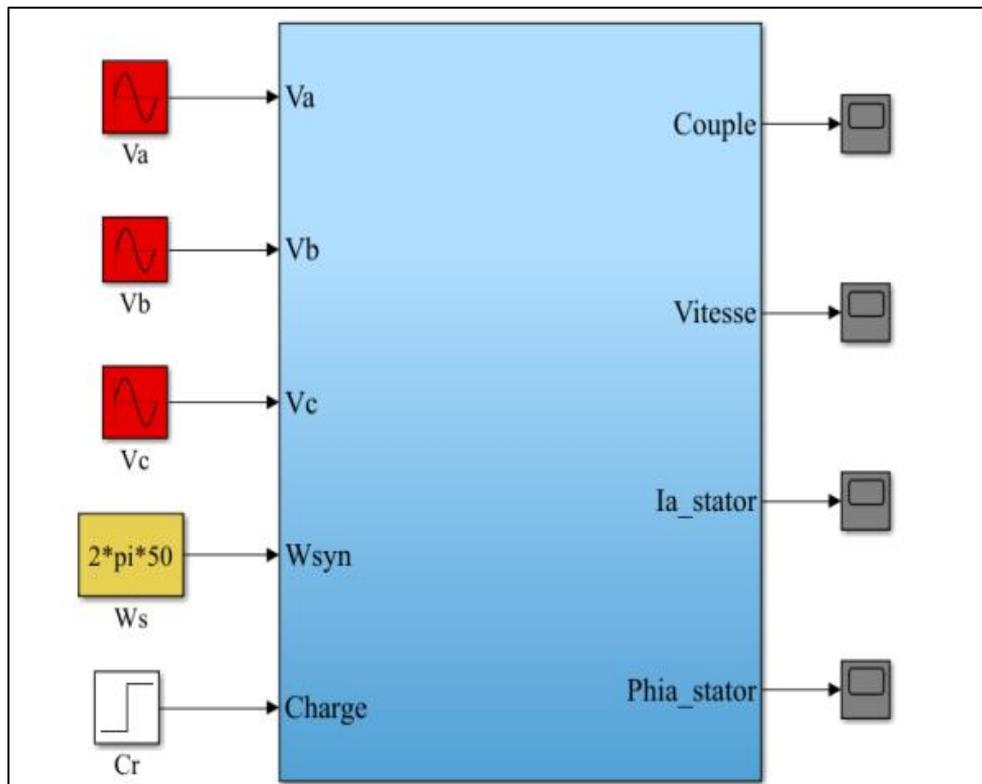


Figure IV.22 Schéma de simulation de la MAS

## IV.7.2. Résultats de la simulation

### 1. Démarrage à vide

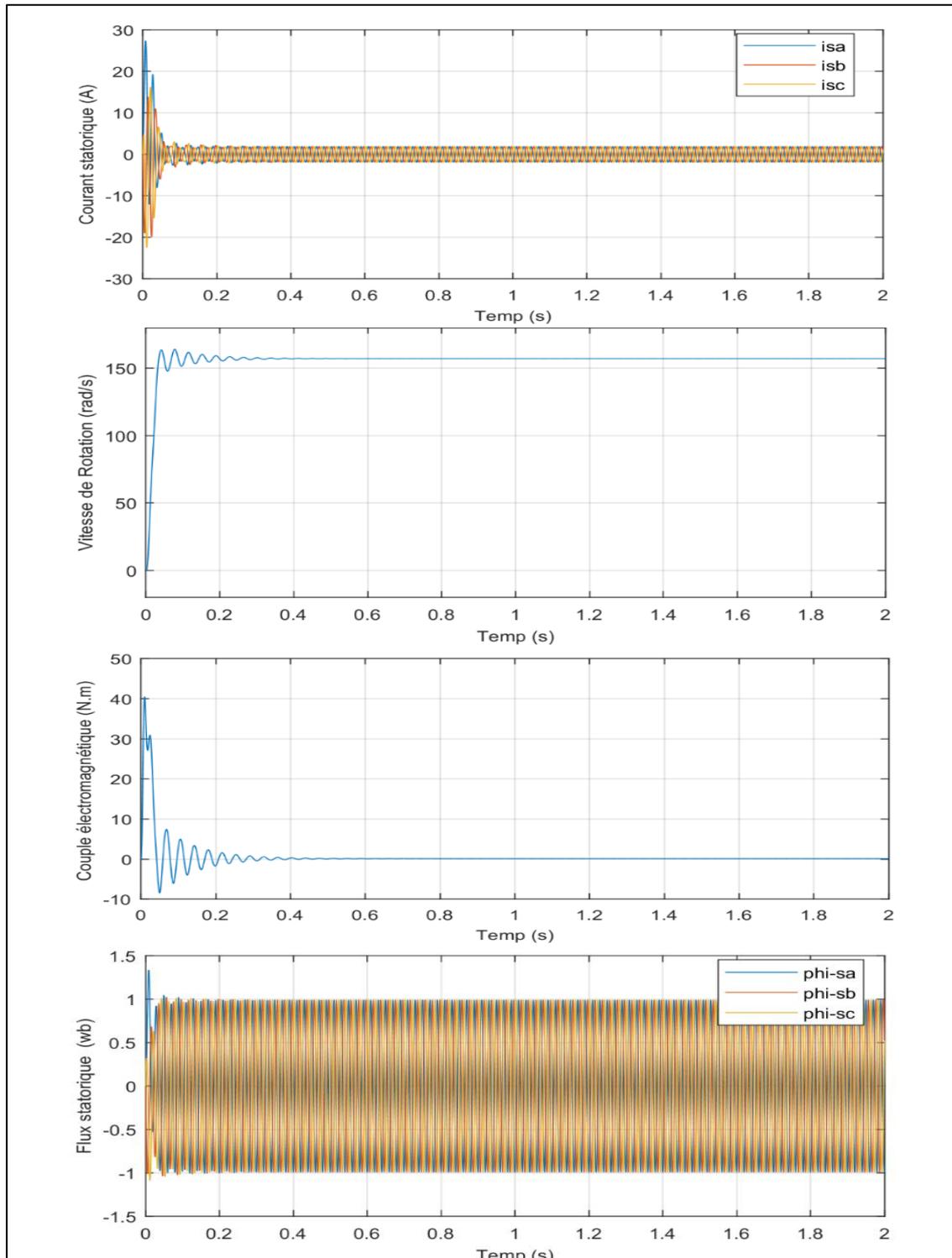


Figure IV.23 Résultats de simulation du modèle en tension de la MAS (démarrage à vide)

## 2. En charge ( $C_r = 5 \text{ N.m}$ à $t = 1.5\text{s}$ )

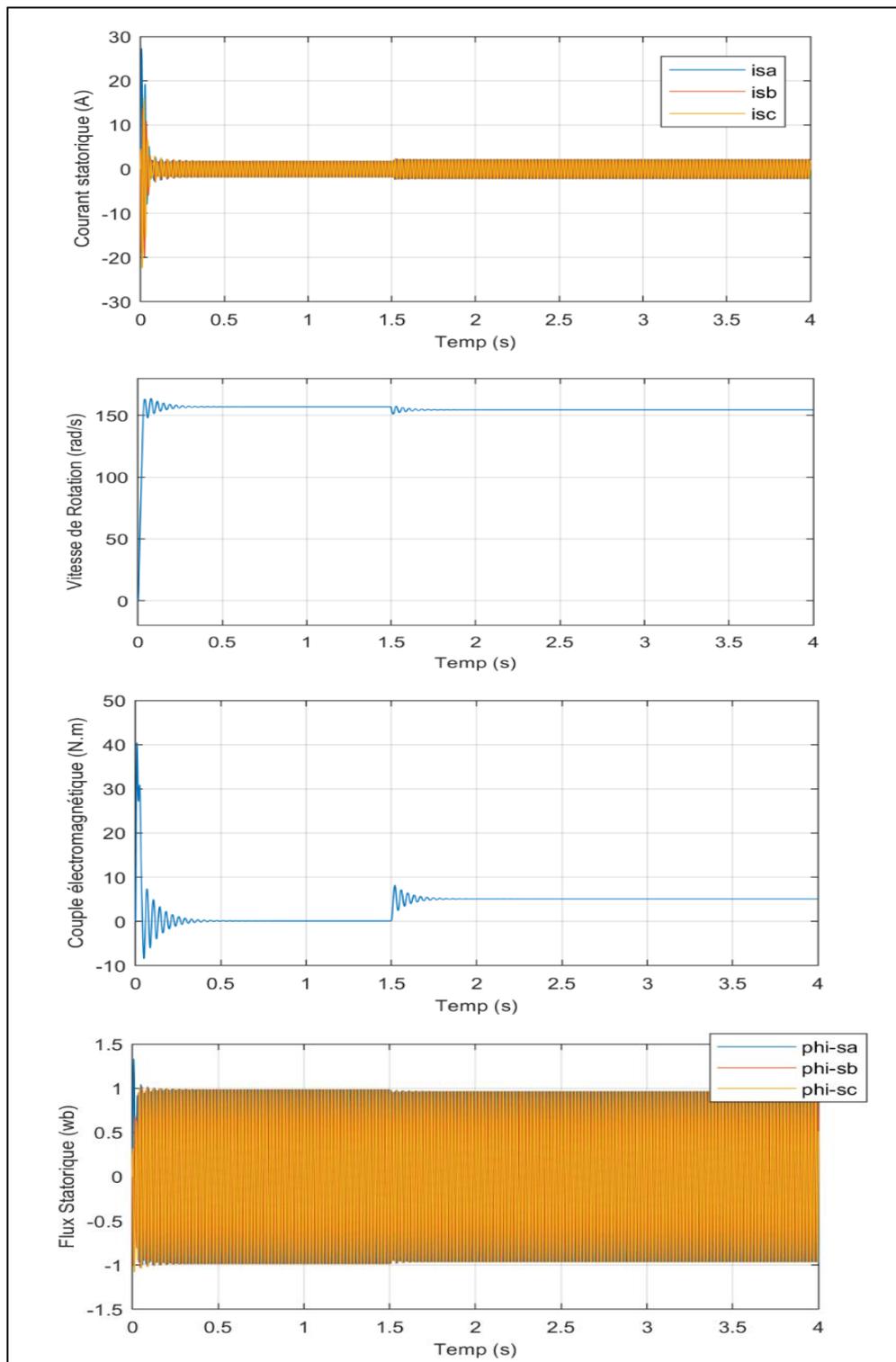


Figure IV.24 Résultats de simulation du modèle en tension de la MAS en charge

### IV.7.3. Interprétation des résultats de simulation

Dans un premier temps, nous entreprendrons la simulation numérique du fonctionnement de la machine asynchrone, qui est alimentée directement par le réseau

industriel (220/380V, 50Hz) et sans l'application d'un couple résistant ( $C_r = 0$ ), comme illustré sur la Figure IV.23.

Par la suite, nous introduirons l'application d'un couple résistant ( $C_r = 5 \text{ N.m}$ ) à un instant précis ( $t = 1.5 \text{ s}$ ), tel que représenté sur la figure IV.24.

#### **IV.7.3.1. Le courant statorique $I_s$**

Le courant statorique se trouve soumis à des oscillations répétitives autour de la valeur nulle ( $I_s = 0 \text{ A}$ ), présentant une amplitude significative ( $I_{s\max} > 15 \text{ A}$ ). Néanmoins, au bout de quelques cycles, ces oscillations s'estompent rapidement. En régime permanent, une répétition fréquente de ces oscillations pourrait causer des dommages à la machine en raison d'une élévation de la température due à la surchauffe.

#### **IV.7.3.2. Couple électromagnétique $C_e$**

Durant la phase transitoire, le couple se révèle fortement pulsatoire, apparaissant dès les premiers moments avec des fluctuations significatives, suivies de quelques oscillations avant de se stabiliser à zéro. Par la suite, une perturbation du couple ( $C_r = 5 \text{ N.m}$ ) est appliquée à l'arbre du moteur à l'instant ( $t = 1.5 \text{ s}$ ). Les résultats de la simulation, présentés sur la figure 24, démontrent que le couple électromagnétique retourne rapidement à sa valeur de référence ( $C_e = 5 \text{ N.m}$ ) afin de compenser cette sollicitation, manifestant ainsi une réponse immédiate.

#### **IV.7.3.3. La vitesse $\omega_r$**

Les oscillations de couple se manifestent clairement dans l'évolution de la vitesse, qui, en régime permanent, se stabilise à une valeur fixe ( $\omega_r = 160 \text{ rad/s}$ ) après l'instant ( $t = 0.6 \text{ s}$ ) sans aucune variation. Lorsqu'une perturbation de couple est appliquée, on observe une diminution de la vitesse du rotor, se traduisant par un glissement très prononcé.

#### **IV.7.3.4. Le flux statorique $\phi_s$**

Selon les observations de la figure IV.24, il est remarquable que les fluctuations du courant ont également une incidence sur le flux. De plus, le flux traverse une période transitoire avant d'atteindre sa valeur finale, suivant une forme d'onde sinusoïdale.

### **IV.7.4. Simulation avec la commande vectorielle**

En s'appuyant sur l'analyse théorique approfondie de la structure de la commande vectorielle à flux orienté, nous sommes en mesure de concevoir les divers éléments requis pour effectuer une simulation du processus. La Figure IV.25 fournit le schéma global de l'ensemble.

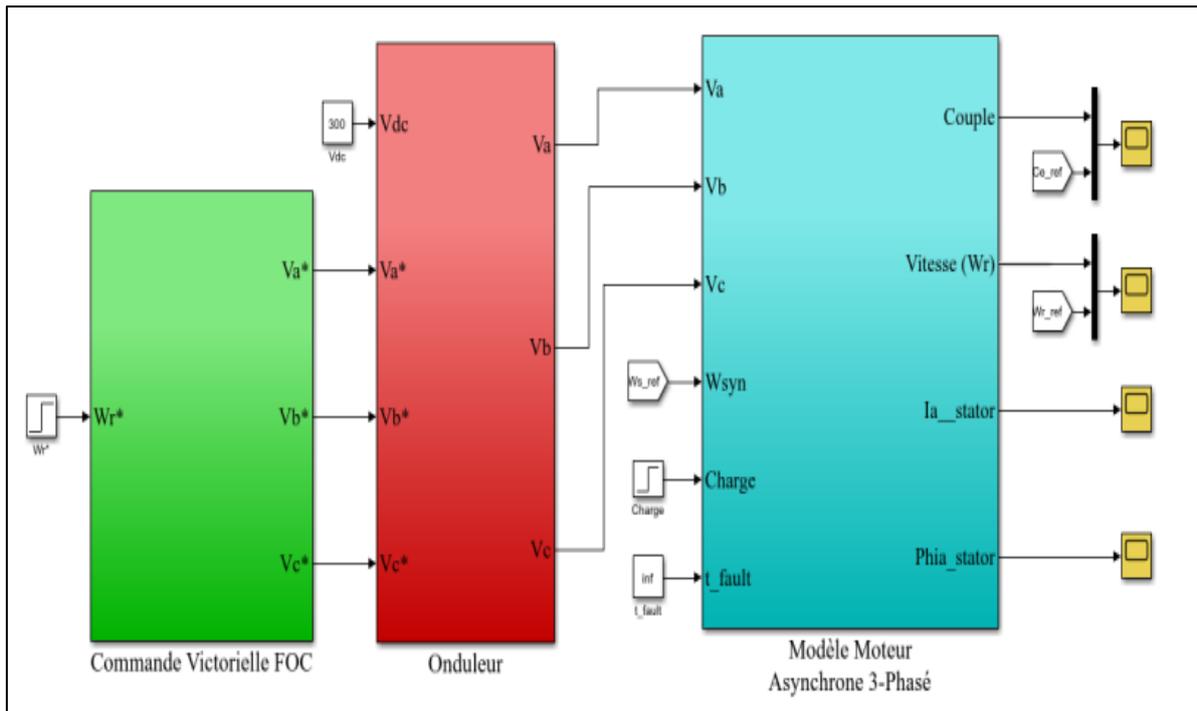


Figure IV.25 Schéma bloc de simulation avec la commande vectorielle

IV.7.4.1. Simulation avec variation de la vitesse a t=3s

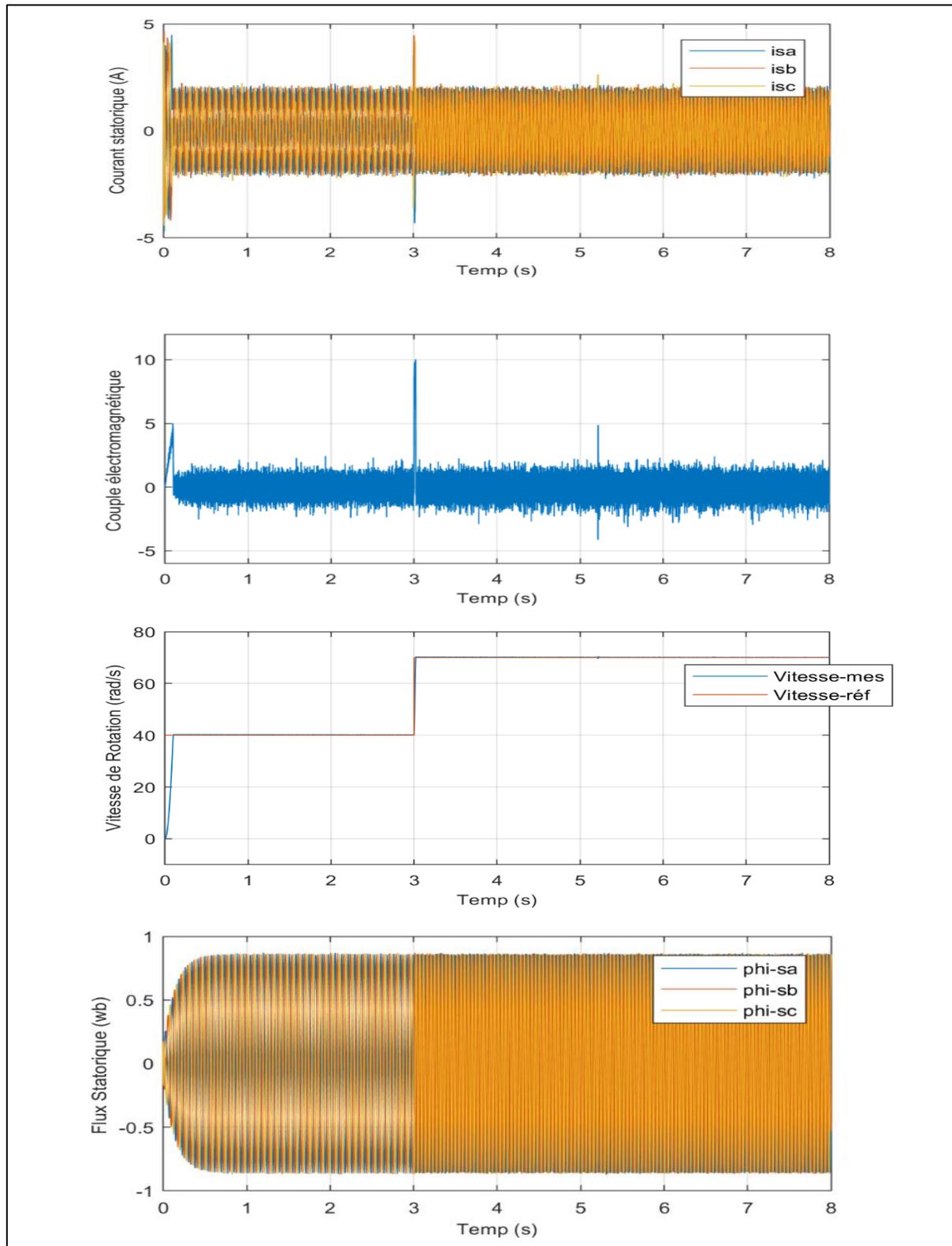


Figure IV.26 Résultats de simulation du FOC de la MAS avec variation de vitesse

IV.7.4.2. Simulation avec variation de la charge a  $t= 3s$  avec  $C_r=5 N.m$

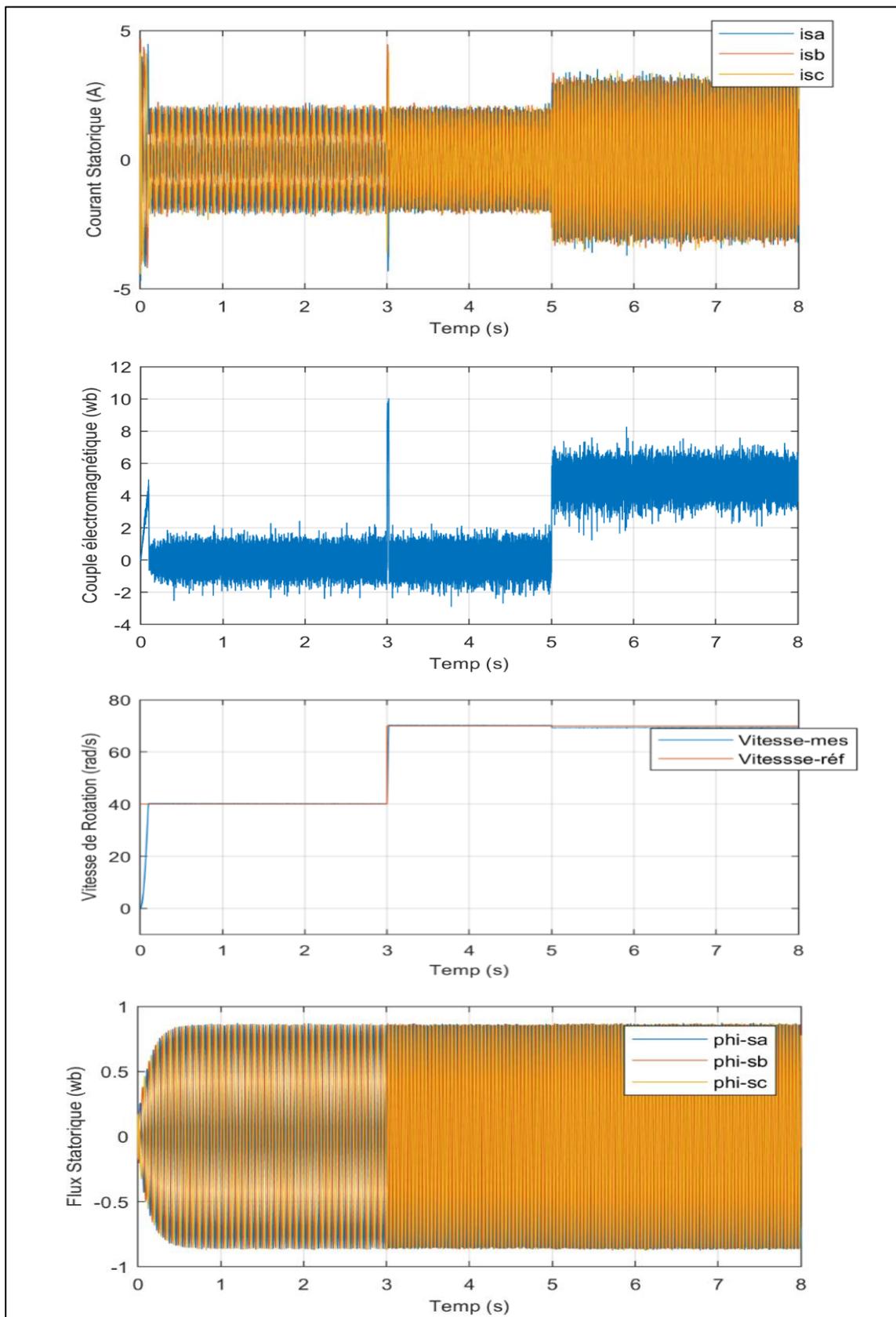


Figure IV.27 Résultats de simulation du FOC de la MAS avec variation de la charge

### IV.7.4.3. Interprétation des résultats de simulation

#### 1. Simulation avec variation de la vitesse

Les résultats de simulation obtenus pour la variation de la vitesse ( $\Omega_{ref1}=40$  rad/s) et ( $\Omega_{ref2}=70$  rad/s) présentés dans la figure 26 démontrent que cette variation engendre une modification de la fréquence statorique, ayant un impact sur les courants, les flux et le couple électromagnétique. On constate que le système réagit de manière positive à ce test. La vitesse suit sa nouvelle référence, indiquant ainsi que la régulation est robuste. Le couple connaît un pic de transition lors de la transition d'un mode à l'autre, puis retrouve sa valeur sans aucune erreur.

#### 2. Simulation avec variation de la charge

Les résultats issus de cette simulation démontrent que la variation de charge, telle qu'illustrée dans la figure IV.27, impacte les grandeurs telles que la vitesse, le couple, les flux et les courants, témoignant ainsi d'un contrôle parfait du système. Le couple électromagnétique présente une allure similaire à celle du courant, avec un coefficient proportionnel, ce qui atteste de la réalisation optimale du découplage ( $\varphi_{rq} = 0$ ). De plus, nous constatons que le couple électromagnétique suit la consigne, tandis que le courant de phase statorique accompagne parfaitement la variation de charge.

### IV.8. Conclusion

En guise de conclusion, le présent chapitre s'est focalisé sur l'identification des paramètres de la machine asynchrone à l'aide d'un algorithme génétique, suivi d'une simulation détaillée du fonctionnement de ladite machine en employant la commande vectorielle du variateur Altivar 320. Les résultats obtenus témoignent de la performance satisfaisante du système de convoyage.

L'exploitation de l'algorithme génétique a offert une estimation précise des paramètres de la machine asynchrone, contribuant ainsi à une modélisation réaliste et précise du système. L'intégration de la commande vectorielle du variateur Altivar 320 dans la simulation a permis de reproduire efficacement les caractéristiques essentielles du fonctionnement de la machine asynchrone.

Les résultats de la simulation démontrent que le système de convoyage fonctionnera de manière optimale, avec une régulation robuste de la vitesse et du couple. Les grandeurs fondamentales, telles que les flux, les courants et le couple électromagnétique, sont également maîtrisées avec rigueur, favorisant ainsi un fonctionnement fiable et performant du système de convoyage.

En somme, cette étude met en évidence l'efficacité indéniable de l'algorithme génétique pour l'identification des paramètres de la machine asynchrone, ainsi que la valeur ajoutée de la commande vectorielle du variateur Altivar 320 dans la simulation et

l'optimisation du système de convoyage Les résultats prometteurs engendrent des horizons novateurs et stimulants pour l'amélioration continue et l'optimisation des systèmes électriques complexes, assurant ainsi une performance irréprochable du convoyeur.

## *Conclusion général*

---

## CONCLUSION GÉNÉRALE

---

Au cours de notre stage effectué à l'entreprise Cevital, nous avons été confrontés à une problématique concernant le convoyeur utilisé dans leur processus de production. Ce convoyeur présentait des problèmes de vitesse et de régulation, ce qui impactait directement l'efficacité et la productivité de l'entreprise.

Pour résoudre ce problème, nous avons proposé et mis en place une solution consistant à remplacer le variateur et le moteur existants par de nouveaux équipements. Nous avons ainsi pu améliorer la régulation de la vitesse du convoyeur, permettant ainsi une meilleure gestion du flux de production.

L'une des clés du succès de notre approche a été l'utilisation d'un algorithme génétique pour l'identification des paramètres de la machine. Cette méthode a permis d'optimiser les réglages du variateur et du moteur, afin d'obtenir les performances souhaitées.

De plus, nous avons réalisé avec succès la simulation de la machine asynchrone proposée, utilisant le nouveau variateur avec la commande vectorielle. Cette simulation nous a permis de valider l'efficacité de notre solution avant sa mise en œuvre sur le terrain.

En conclusion, nous recommandons vivement aux ingénieurs de Cevital de prendre en considération notre solution pour résoudre les problèmes de régulation du convoyeur. Notre approche, basée sur l'insertion d'un nouveau variateur et d'un nouveau moteur, associée à l'utilisation de l'algorithme génétique pour l'identification des paramètres optimaux, a été couronnée de succès. Nous sommes convaincus que l'adoption de cette solution permettra à Cevital d'améliorer considérablement les performances de son convoyeur, d'optimiser les opérations de production et de renforcer sa compétitivité sur le marché.

## *Références bibliographiques*

---

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- [1] Archive de CEVITAL.
- [2] Documentation technique de CEVITAL.
- [3] [https://revtech-process-systems.fr/agroalimentaire-3.html?gclid=EAIaIQobChMI\\_cfw0pKM\\_wIVie7tCh3New2gEAAYASAAEgJ4\\_PD\\_BwE](https://revtech-process-systems.fr/agroalimentaire-3.html?gclid=EAIaIQobChMI_cfw0pKM_wIVie7tCh3New2gEAAYASAAEgJ4_PD_BwE), Visité le 31/02/2023.
- [4] Combinateur SPX-Projet 4735-DK , documentation technique .
- [5] <https://eurotransis.com/fr/types-de-convoyeurs-pour-lindustrie/>, visité le 04/05/2023 .
- [6] Notice d'exploitation 1050 5822 / FR, MOVIMOT® MM03B – MM30B (SEW-EURODRIVE).
- [7] Manuel réducteurs et motoréducteurs SEW , documentation technique .
- [8] Dossier « conditionnement d'air » , site internet : [www.festo.com](http://www.festo.com), visité le 12/05/2023 .
- [9] RELAIS DE CONTACT AUXILIAIRE JZC4 , manuel technique .
- [10] Mémoire de fin d'études thème « étude d'un moteur asynchrone pilote par un variateur de vitesse ». Promotion 2015/2018
- [11] <https://www.amazon.fr/%C3%89lectronique-de-puissance-Livres-Guy-> , visité le 05/05/2023 .
- [12] Variateurs de vitesse Altivar Machine ATV320 . Catalogue Mars2017.
- [13] Chou . barkhoutir, « modélisation de la machine asynchrone » Mémoire d'ingénieur l'université de m'sila ,2006.
- [14] P . Krishnamurthy , F .Khorami , «Adaptative Partial -state Feedbaek contral for inducation Motors , American control conference , denver, colorada» , juine 4-6-2003.
- [15] Gauthier . F , «Calcul des paramètres de la machine asynchrone » . Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal . PolyPublie, 2017 .
- [16] Vincent . Magnin , « Méthodes de l'AG » cours , vendredi 7 juillet 2006.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUE

---

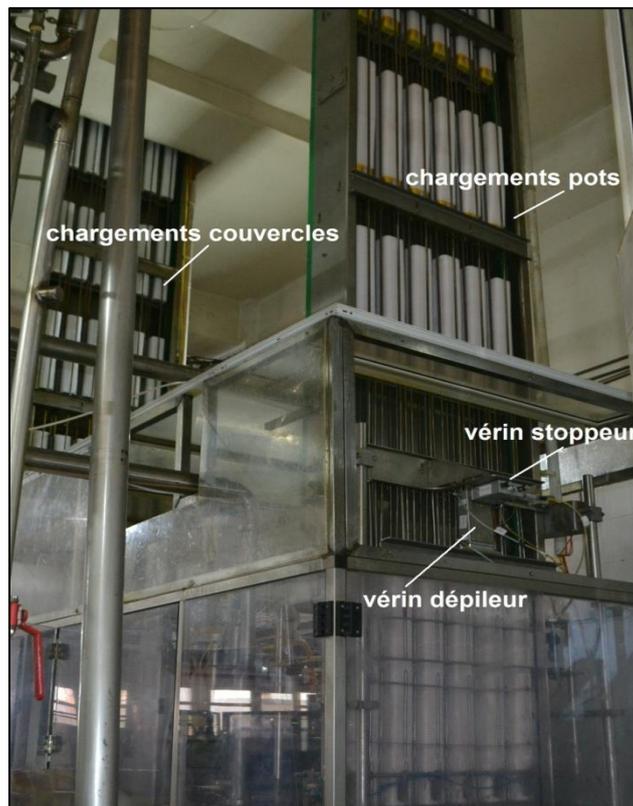
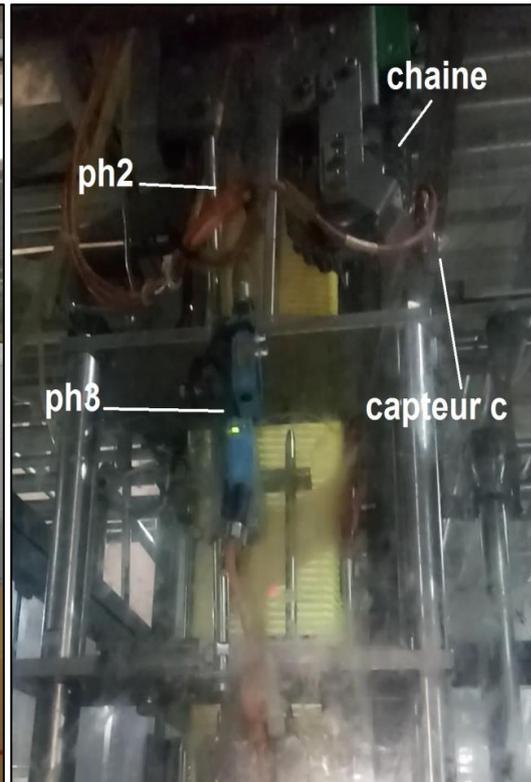
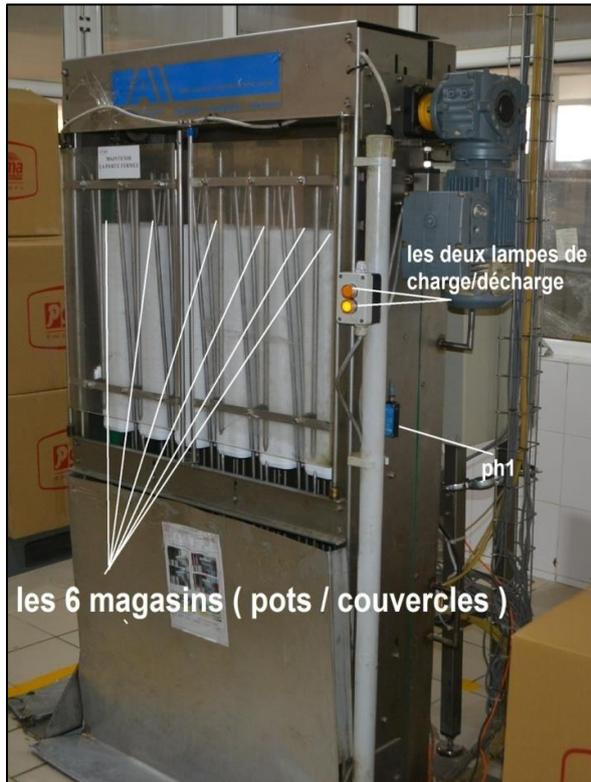
- [17] Goldberg . D.E , « Algorithmes génétiques » . Editions Addison-Wesley France, SA, pages 1\_2, 8\_9, 71\_73, 93\_94 et 137, Juin 1994.
- [18] B . Mendil , "Algorithmes Génétiques et Aplications" , cours de Robotique partie II chapitre 03, 2012.
- [19] Holland. J, « adaptation in natural and artificial system » , Press , Ann Arbor,1975.
- [20] Sareni . Bruno , « Méthode d'optimisation multimodales associées à la modélisation numérique en électromagnétisme » . Thèse Doctorat , école doctorale d'électronique, électrotechnique et d'automatique de Lyon , 02/01/199 .
- [21] Goldberg . D.E , « Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Lineairing » . Press, Addison Wesley, 1989.
- [22] Abdelmalek . Gacem , « Utilisation des méthodes d'optimisations méta heuristiques pour la résolution du problème de répartition optimale de la puissance dans les réseaux électriques » , centre Universitaire d'El-oued - Magister 2010.
- [23] Merabti . Youcef, « Optimisation des réseaux de neurones MLP par l'algorithme hybride AG-RT pour le contrôle d'un système non linéaire » , mémoire fin d'étude, université Larbi Ben M'hidi D'oum El Bouaghi .

## *Annexes*

---

## ANNEXES

### Annexe A : une explication plus approfondie sur le convoyeur



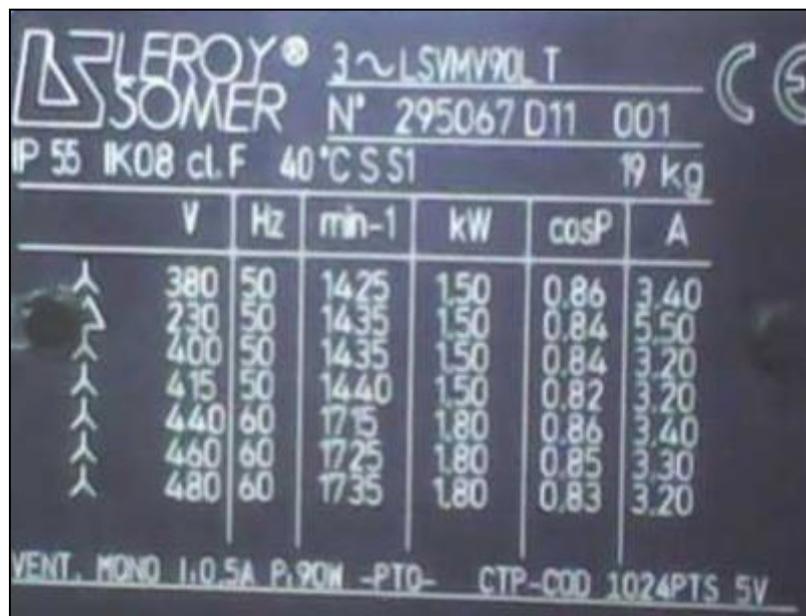
## ANNEXES

### Annexe B : Paramètres de la machine asynchrone utilisée

La machine utilisée est une machine asynchrone triphasée. Ses caractéristiques principales sont les suivantes :

- Puissance utile nominale : 1.5 Kw ;
- Fréquence nominale : 50 Hz ;
- Tension nominale : 220/380 V ;
- Courant nominale : 3.4 A ;
- Vitesse nominale : 1425 Tr/min ;
- Facteur de puissance nominale : 0.86.

La plaque signalitique est représenté comme suit :



The image shows a nameplate for a Leroy-Somer motor. The text on the plate includes the brand name 'LEROY SOMER', the model '3~LSVMV90LT', and a serial number 'N° 295067 D11 001'. It also lists 'IP 55 IK08 cl.F 40°C S S1' and a weight of '19 kg'. A table of operating parameters is provided, with columns for Voltage (V), Frequency (Hz), Speed (min-1), Power (kW), Power Factor (cosP), and Current (A). The table lists seven different operating points. At the bottom, there is a note: 'VENT. MONO 1.0.5A P.90W -PT0- CTP-COD 1024PTS 5V'.

	V	Hz	min-1	kW	cosP	A
人	380	50	1425	1.50	0.86	3.40
人	230	50	1435	1.50	0.84	5.50
人	400	50	1435	1.50	0.84	3.20
人	415	50	1440	1.50	0.82	3.20
人	440	60	1715	1.80	0.86	3.40
人	460	60	1725	1.80	0.85	3.30
人	480	60	1735	1.80	0.83	3.20

VENT. MONO 1.0.5A P.90W -PT0- CTP-COD 1024PTS 5V