

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 Electrique**

Projet de Fin d'étude

**Pour l'obtention du diplôme de Master en
Électromécanique.**

**Options : Maintenance industrielle
&
Électromécanique.**

Thème

**Etude technologique d'une extrudeuse monovis
MTP/EX-TP-75**

Préparé par :

Benahmed Belkacem, Option: MI

Bahri Benyakoub, Option: ELM

Encadré par :

Mr Mohammedi Ahmed

Mr Issad Nassim

Année Universitaire : 2024/2025

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



Déclaration sur l'honneur

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

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

Je soussigné,

Nom : Bahri

Prénom : Ben-Yakoub

Matricule : 202033007337

Spécialité et/ou Option : Électromécanique

Département : Département de Génie Electrique

Faculté : Technologie

Année universitaire : 2024/2025

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

Intitulé : Etude technologique d'une extrudeuse monovise MTP/EX-TP-75

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

Fait à Béjaïa le
08/07/2025

Signature de l'intéressé

Lu et approuvé

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



Déclaration sur l'honneur

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

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

Je soussigné,

Nom : Benahmed

Prénom : Belkacem

Matricule : 202033011722

Spécialité et/ou Option : Maintenance Industrielle

Département : Département de Génie Electrique

Faculté : Technologie

Année universitaire : 2024/2025

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

Intitulé : Etude technologique d'une extrudeuse monovise MTP/EX-TP-75

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

Fait à Béjaïa le
08/07/2025

Signature de l'intéressé

Lu et approuvé

Remerciements

Avant toute chose, nous rendons grâce à Dieu Tout-Puissant pour sa guidance, sa force et sa bénédiction qui nous ont permis de surmonter les obstacles et de mener à bien ce travail. C'est par Sa grâce que ce projet a pu aboutir.

Nous tenons également à exprimer notre profonde gratitude envers toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Nos plus sincères remerciements s'adressent tout particulièrement à notre encadreur académique, **Monsieur MOHAMMEDI Ahmed** pour ses précieux conseils, sa disponibilité constante, son soutien indéfectible et ses orientations avisées tout au long de ce projet. Son expertise a été une source d'inspiration et une aide précieuse.

Nous souhaitons adresser nos vifs remerciements à **Monsieur TAZERART Farid** pour son aide précieuse et son soutien.

A toute l'équipe de **TDA**, et plus spécifiquement à **Monsieur ISSAD Nassim** notre encadrant au sein de complexe TDA. Leur collaboration, leur accueil chaleureux et leur partage d'expérience ont été essentiels et d'une grande richesse pour notre travail.

Enfin, un grand merci à tous nos amis pour leurs encouragements et leur soutien moral qui nous ont été d'une grande aide durant cette période

Didicace

Nous dédions humblement ce travail :

À nos chers parents, pour leurs sacrifices, leur amour inconditionnel, leurs prières et leur soutien indéfectible qui ont éclairé notre chemin et sans lesquels rien n'aurait été possible.

Qu'Allah les préserve.

À nos chers frères et sœurs, sources de notre force et de notre inspiration, pour leur affection, leur soutien et leur encouragement constant.

À nos familles respectives, pour leur patience, leur compréhension et leur présence précieuse tout au long de ce parcours.

À tous nos amis, pour leur amitié sincère, leurs encouragements et les moments partagés qui ont rendu cette aventure plus agréable.

Sommaire

Introduction générale	1
Présentation de l'entreprise.....	2
1. Introduction	2
2. Présentation de l'entreprise	2
3. Situation géographique de complexe	2
4. Organisation de l'entreprise	3
4.1. Effectifs	4
4.2. Nature de l'activité	4
5. Matière première et machines installées	4
Chapitre 1 : Étude et Description de l'Extrudeuse	4
Introduction	6
I. Définition de l'extrusion	6
I.1. Techniques d'extrusion.....	6
I.2.1. L'extrusion de filament.....	6
I.2.2. Co-extrusion	7
I.2.3. Extrusion gonflage	7
I.2.4. Extrusion soufflage	8
I.2.5. Extrusion de profilés et de tubes	9
I.3. Les matières extrudées	9
I.3.1. Définition de la matière plastique	9
I.3.2. Définition de la matière première polypropylène PP utilisé dans l'unité Bejaia Emballage.....	10
I.4. Les différents types d'extrudeuses.....	10
I.4.1. Extrudeuse à deux vis	10
I.4.2. Extrudeuses spéciales	12
I.4.3. Extrudeuses à étages	12
I.4.4. Extrudeuses exceptionnelles.....	12
I.4.5. Extrudeuse à une vis (Extrudeuse mono vis)	13
I.4.5.1. Le principe de fonctionnement d'une extrudeuse monovis	13
I.4.5.2. Compositions et fonction des différents organes d'une extrudeuse mono vis .	14
I.4.5.3. Avantages	15
I.4.5.4. Inconvénients.....	15
I.5 Chaine de production	15
Conclusion.....	16
Chapitre 2 : Concepts de base de la maintenance de l'extrudeuse.....	17
Introduction.....	17

II.1 Définitions de la maintenance.....	17
II.2 Le rôle de la maintenance	17
II.3 Les objectifs de la maintenance	18
II.3.1 Les objectifs du coût	19
II.3.2 Les objectifs opérationnels	19
II.4.1 Maintenance corrective	20
II.4.1 Différents types de maintenance corrective.....	20
II.4.2 Maintenance préventive	21
II.4.2.1 Les objectifs visés par la maintenance préventive	21
II.4.2.2 Les différents types de maintenance préventive	21
II.5 Système de gestion de la maintenance de l'extrudeuse.....	22
II.5.1 Stratégies de maintenance appliquées à l'extrudeuse mono vis	22
II.5.2 Utilisation de l'AMDEC pour planifier la maintenance.....	22
II.6 Gestion du stock.....	24
II.6.1 Objectifs de la gestion de stock en maintenance.....	24
II.6.2 Classification des pièces de rechange	24
II.6.3 Méthode ABC appliquée aux stocks de maintenance	24
II.7 Efficacité de la maintenance.....	25
II.7.1 Indicateurs de performance de la maintenance.....	25
Conclusion	26
Chapitre 3 : Analyse fonctionnelle et automatisation de l'extrudeuse monovis.....	28
Introduction.....	28
III.1. Problématique.....	28
III.2. Objectif	29
III.3. Solution proposée	29
III.4. Elaboration de l'analyse fonctionnelle.....	29
III.4.1. Présentation du système a automatise.....	29
III.5. Instruments de mesure	30
III.5.1. Thermocouple.....	30
III.5.2. Capture de pression	31
III.5.3. Capture de niveau	31
III.6. Actionneurs	32
III.6.1. Moteur de la vis	32
III.6.2. Le moteur de compression	33
III.6.3. Pompe à vide	33
III.6.4. Sécheur	34
III.6.5. Collier (Résistance) de chauffe	34

III.6.6. Variateur de fréquence	34
III.7.1. Cahier des charges.....	35
III.7.1Conditions de démarrage de l'extrudeuse.....	36
III.7.2. Mise en marche	36
III.8. Logiciel de programmation.....	36
III.8.1. Zelio soft	37
III.8.2. Programmation sur logiciel Zelio Soft 2.....	37
III.8.3. Grafctet	43
III.8.4. Description du système automatisé en Ladder	44
Conclusion	46
Conclusion Générale.....	48
Références Bibliographiques	50

LISTE DES FIGURES

Figure I- 1 Situation géographique de l'entreprise	3
Figure I- 2 Organigramme de l'unité Bejaia emballage.....	3
Figure I- 3 Schéma de principe de l'extrusion gonflage	7
Figure I- 4 Procédé d'extrusion soufflage	8
Figure I- 5 Ligne d'extrusion de profilés et de tubes	9
Figure I- 6 Les granules de polypropylène.....	10
Figure I- 7 Vue générale d'une extrudeuse bivis.....	11
Figure I- 8 Extrudeuse à deux étages.....	12
Figure I- 9 Extrudeuse mono vis	14
Figure II- 1 Objectifs de la maintenance	19
Figure II- 2 Types de la maintenance.....	20
Figure II-3. Analyse ABC des pièces de l'extrudeuse	25
Figure III- 1 Schéma synoptique du système à automatiser (extrudeuse mono vise MTP/EX-TP-75)	30
Figure III- 2 Thermocouple d'une extrudeuse monovis MTP/EX-TP-75.....	31
Figure III- 3 Capture de pression	31
Figure III- 4 Capteur capacitif de niveau de type SITRANS LC500 (Siemens) [21].....	32
Figure III- 5 Moteur d'entraînement principal d'une extrudeuse monovis MTP/EX-TP-75....	33
Figure III- 6 Le moteur de compression de l'extrudeuse monovis (MTP/EX-TP-75).....	33
Figure III- 7 Pompe à vide la trémie d'une extrudeuse monovis MTP/EX-TP-75	33
Figure III- 8 Secheure de PP de l'extrudeuse MTP/EX-TP-75	34
Figure III- 9 Résistance de chauffe de extrudeuse MTP/EX-TP-75.....	34
Figure III- 10 Variateur de fréquence	35
Figure III- 11 Grafset du bon fonctionnement du système	43
Figure III- 12 . Programme Ladder du système étudié	44

LISTE DES TABLEAU

Tableau I- 1 Types des machines installées	4
Tableau I- 2 Tableau récapitulatif de la chaine de production de la corde en PP.....	16
Tableau II- 1 Tableau d'application AMDEC sur extrudeuse mono vis.....	23
Tableau II- 2 Extrait du planning de maintenance.....	23
Tableau II- 3 Exemple d'organisation physique et informatique du stock.....	25
Tableau II- 5 Exemple d'analyse des indicateurs de performance	26
Tableau III- 1 Récapitulatif des organes de mesure et de détection du système	32
Tableau III- 2 Différents actionneurs du système à automatiser s du système à automatiser ...	35
Tableau III- 3 Récapitulatif des entrées et sorties utilisées dans le programme	45
Tableau III- 4 Récapitulatif des boutons (Arrêt, départ cycle et Initialisation)	45
Tableau III- 5 Récapitulatif des données des relais auxiliaires et temporisation.....	46

Table d'abréviation

GRAFCET : Graphe Fonctionnel de Commande des Étapes et Transitions

PP : Polypropylène

Br : le nombre Brinkman

MTBF : Temps moyen entre deux pannes

MTTR : Temps moyen de réparation

F : Fréquence

D : Détection

G : Gravite

MV : Moteur de la vis

MP : Moteur de compression

Séch : sécheur d'air

VFD : Variateur de fréquence

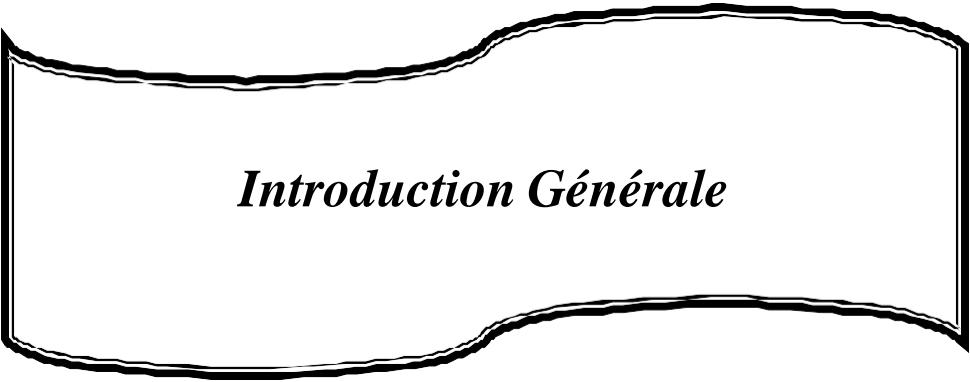
TTi : Thermocouple

PT1 : Capteur de pression

LSH : Capteur de niveau haut

LSL : Capteur de niveau bas

DEF : Défaut



Introduction Générale

Introduction Générale

Introduction générale

Dans un environnement industriel où la compétitivité repose étroitement sur la fiabilité des équipements et l'optimisation continue des processus, l'intégration et l'exploitation des machines de production nécessitent une connaissance approfondie tant de leur fonctionnement que de leur maintenance. Au sein du Complexe Bejaïa Emballage, la mise en service de l'extrudeuse mono vis MTP/EX-TP-75, utilisée pour la fabrication de cordes en polypropylène, a mis en évidence une lacune documentaire majeure : l'absence de cahier des charges fonctionnel fourni par le constructeur. Cette situation se traduit par une dépendance accrue à l'égard du fournisseur étranger, des délais prolongés de dépannage, et une perte d'autonomie de l'équipe technique, impactant directement la disponibilité de la machine et les performances de production.

Le présent mémoire se fixe pour objectif de répondre à cette problématique en adoptant une démarche en trois volets :

Le premier chapitre fera l'objet d'une étude descriptive de l'extrudeuse mono vis : après une présentation générale de l'organisme d'accueil, un état de l'art sur les différents types d'extrudeuses sera donné avec un accent sur l'extrudeuse mono vis MTP/EX-TP-75 disponible sur la chaîne de production spécifique à la fabrication de cordes en polypropylène.

Le second chapitre sera consacré aux concepts de base de la maintenance industrielle appliqués à l'extrudeuse mono vis: ce chapitre introduit les définitions, les rôles et les objectifs de la maintenance, en distinguant les approches corrective, préventive et prédictive. Il présente également les différents acteurs et indicateurs afin d'évaluer l'efficacité de la maintenance de ce type d'extrudeuse.

La conception d'un cahier des charges fonctionnel et automatisation par automate Zelio Logic sera abordé au dernier volet, la problématique de l'absence de cahier des charges est explicitée, puis un cahier des charges fonctionnel local est élaboré. Les paramètres critiques du procédé (température, pression, niveau) sont définis, ainsi que les capteurs et actionneurs associés. Le grafset a été modélisé dans Automgen, puis traduits en équations Ladder sous Zelio Soft 2 pour la programmation de l'automate Zelio Logic. Cette solution vise à rendre l'extrudeuse plus autonome, à réduire les temps d'arrêt et à améliorer la réactivité de l'équipe de maintenance, sans recours systématique à l'assistance du constructeur.

Ce travail permet non seulement de documenter exhaustivement le fonctionnement et la maintenance de l'extrudeuse MTP/EX-TP-75, mais aussi de proposer et de mettre en œuvre un système de commande localisé, intelligent et pérenne. Chaque chapitre apporte une contribution complémentaire : l'analyse technique du procédé, la mise en place d'une stratégie de maintenance adaptée, et la concrétisation d'un contrôle automatisé fiable, assurant la continuité et la sécurité du processus d'extrusion.

Chapitre 1

Étude et Description de l'Extrudeuse

Préambule

1. Introduction

Le XXI siècle est le siècle de la concurrence accrue entre les entreprises pour acquérir des dispositifs de production très sophistiqué ou améliorer les performances des dispositifs déjà existants si une entreprise veut survivre.

BEJAIA EMBALAGE est l'unité qui est spécialisée dans la fabrication des toiles et sacs d'emballage à partir de fils de jute et polypropylène (PP) ; les cordes, les ficelles et les tresses à partir des fibres de sisal et granules en PP.

2. Présentation de l'entreprise

L'unité Bejaia emballage (BEJE) faisait partie de l'entreprise INDETEX dont le siège social était à M'sila. Elle est devenue à partir du mois de Mars 1998 entreprise publique économique autonome prenant ainsi la forme d'une société par action (SPA), les nouvelles appellations «EPE BEJAIA EMBALAGE».

BEJE a été créée dans le cadre d'un contrat entre SONETEX et la société irlandaise JAMES MACKIE.

Les principales dates qui ont marqué sa réalisation sont:

- ✓ Signature du contrat entre la SONITEX et JAMES MACHIE le 08/07/1971.
- ✓ Individualisation du projet le 24/05/1973
- ✓ Test de performance en 1978
- ✓ Début de production janvier 1979.

Cette unité a connu plusieurs difficultés depuis son démarrage, notamment un retard de production entre 1976 et 1979 qui a causé une dégradation importante des équipements. La crise économique de 1986 a causée au complexe des difficultés d'approvisionnement et problèmes d'écoulement de la production.

3. Situation géographique de complexe

Le complexe de Bejaia emballage est une unité de l'ex-SONITEX situé au nord ouest de la ville de Bejaia à environs 3 km de centre ville.

La surface totale du complexe 150.000 m², il est situé entre la route des concessions et la route Ihaddaden. La surface d'espace couvert est 27700 m² et produit finis est 1300m².

Il est limité au nord par l'unité grue Bejaia de l'ENMTP, à l'est il est bordé par l'unité COPEMAD, au sud par la zone de stockage de SNS, et à l'ouest par la banque B.N.A.

Préambule

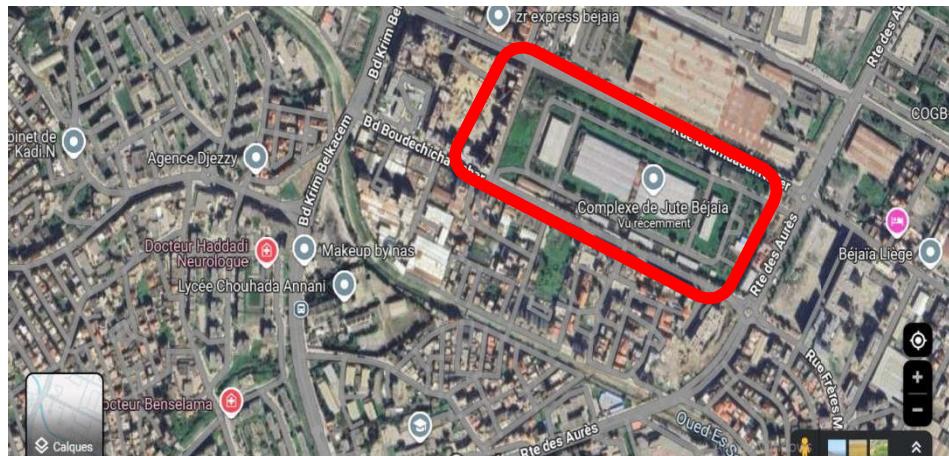


Figure I-1. Situation géographique de l'entreprise

4. Organisation de l'entreprise :

L'entreprise **Bejaia emballage** est structurée en collaborant différents départements et services permettant son bon fonctionnement. L'organigramme général de l'unité est représenté sur la figure suivante.

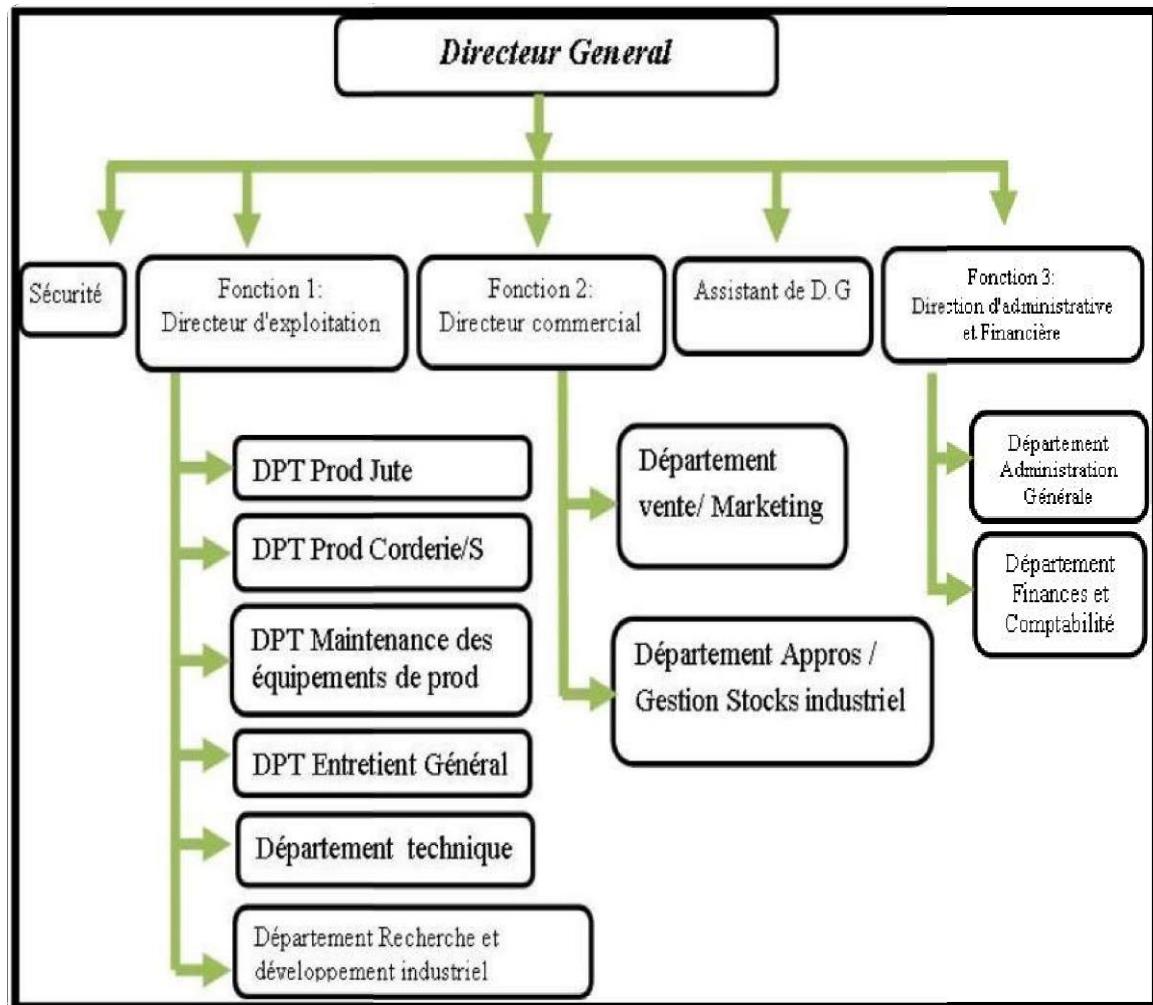


Figure I-2. Organigramme de l'unité Bejaia emballage.

Préambule

4.1. Effectifs:

L'effectif de Bejaia emballage avoisine 382 personnes qui sont répartie en 04 services:

- ⇒ Service administratif.
- ⇒ Service de production.
- ⇒ Service de maintenance.
- ⇒ Service de sécurité et hygiène.

4.2. Nature de l'activité:

L'entreprise est spécialisée dans la fabrication des:

- ⇒ Toiles et sacs d'emballages à partir du fil de jute.
- ⇒ Cordes, ficelles et tresses à partir des fibres de sisal et de granules en polypropylène.
- ⇒ Toiles et sacs d'emballages à partir de granules en polypropylène.

5. Matière première et machines installées:

Atelier	Machine
Tissage	<ul style="list-style-type: none"> - Ourdissoir - Encolleuse - Métiers tissé
Finissage	<ul style="list-style-type: none"> - Machine à coudre - Table de contrôle calendre - Coupeuse - Presse
Corderie	<ul style="list-style-type: none"> - Etaleuse - Etireuse - Banc filé - Retordeuse - Tourneuse - Câbleuse <p style="text-align: center;">- Lige d'extrusion PP</p>
Annexe	<ul style="list-style-type: none"> - Chaudières - Compresseurs - Suppresseur - Centrale de climatisation - Atelier mécanique

Tableau I.1. Types des machines installées

Préambule

Les matières premières utilisées dans l'unité sont :

- ⇒ Jute: Jute est une plante tropicale annuelle importée de Bangladesh sous forme de bobine de file utilisé dans l'unité pour fabriquer des sacs et des toiles.
- ⇒ Sisal: Fibre végétal importée de l'Afrique et de brésil, elle est utilisée pour la fabrication des cordes à différents diamètres.
- ⇒ Polypropylène: Matière plastique à base du pétrole sous forme de granule importée d'Arabie saoudite, après certaines transformations elle sera transformée en bonde de plastique qui sera utilisé pour la fabrication des cordes à différents diamètres.

Chapitre 1 : Étude et Description de l'Extrudeuse

Introduction

L'extrusion est un procédé de fabrication qui consiste à forcer un matériau, souvent sous forme solide, à travers une filière afin de lui donner une section transversale constante. Ce procédé est largement utilisé dans l'industrie de transformation, notamment pour les métaux et les thermoplastiques. L'extrusion à chaud est la plus courante, particulièrement pour des matériaux comme l'aluminium, le cuivre, le plomb, le magnésium et l'étain, tandis que le fer et l'acier peuvent également être extrudés dans certaines applications.

Le principe de l'extrusion est ancien et trouve ses origines dans la vis d'Archimède, qui a été utilisée depuis des siècles dans divers domaines tels que l'alimentation, la métallurgie et la céramique. Ce procédé a été appliqué industriellement au début du XXe siècle dans le secteur du caoutchouc avant de se généraliser à l'extrusion des matières thermoplastiques. Aujourd'hui, il est également utilisé pour des matériaux variés comme le bois reconstitué, les céramiques ou encore les savons.

Dans ce chapitre nous allons aborder les aspects généraux de la technique d'extrusion ainsi qu'une description de l'extrudeuse notamment l'extrudeuse mono vis.

I.1. Définition de l'extrusion:

L'extrusion est un procédé de mise en forme des polymères très important, il permet de fabriquer des produits prêts à être consommés ou utilisés par le client (films, fromage, sachet, tuyaux, câbles, papier). Cette technique permet la transformation de matières premières en profils continus aux formes variées: tubes, profilés pour la construction, plaques et films, gaines pour l'emballage, fibres et mono filaments. L'appareil utilisé pour ce procédé est appelé une **extrudeuse** (ou parfois **boudineuse**). Ce même principe est aussi employé dans l'industrie alimentaire pour la fabrication de pâtes (spaghettis, macaronis) ou de produits carnés en boyaux [1].

Autrement dit ; On appelle boudinage ou extrusion le procédé qui consiste à forcer en continu, à travers une filière, la matière thermoplastique plastifié et homogénéisé au moyen d'une vis tournant dans un fourreau chauffé. [2]

I.2. Techniques d'extrusion

I.2.1. L'extrusion de filament

L'extrusion de filament est un procédé clé pour la fabrication de cordes synthétiques. Ce processus consiste à transformer des polymères comme le polypropylène, le polyester ou le nylon en filaments continus.

Tout commence par la fusion du polymère dans une extrudeuse. Une fois à l'état liquide,

Chapitre 1: Étude et Description de l'Extrudeuse

la matière est poussée à travers une filière percée de multiples trous fins, formant ainsi des filaments longs et continus. Ces filaments sont ensuite refroidis et solidifiés à l'aide d'air ou d'un bain de refroidissement. Après cette étape, les filaments sont étirés pour améliorer leur résistance et leur élasticité, puis ils peuvent être texturés ou traités pour répondre aux exigences spécifiques des cordes (résistance à l'abrasion, aux UV, ou à l'humidité). Une fois prêts, ces filaments sont regroupés, tordus et assemblés pour former des fils plus épais, qui seront ensuite tressés ou toronnés afin de produire des cordes solides et durables.

Ce procédé permet de fabriquer des cordes synthétiques utilisées dans de nombreux domaines, comme la marine, l'alpinisme, l'industrie ou encore l'agriculture, en offrant des performances supérieures aux fibres naturelles.

I.2.2. Co-extrusion

C'est une technique de fabrication d'un extrudat dont la section se compose de zones ou de couches de différentes matières qui, étant extrudées simultanément, donnent une excellente homogénéité mécanique. On peut co-extruder des profilés, des tubes, on peut recouvrir des câbles avec plusieurs couches de matières différentes et de différentes couleurs ; on produit par extrusion-soufflage des objets creux composés de plusieurs couches, ou on extrude des feuilles et des films multicouches par extrusion-gonflage.

Cette technique permet de fabriquer des éléments dont une partie de section se compose par exemple de la même matière mais plastifiée, ce qui est utilisé dans les profilés-joints pour les bâtiments. Elle permet de produire par exemple des tuyaux multicolores ou multicouches pour des raisons techniques souhaitable d'avoir une grande différence du coefficient de dilatation thermique ou le gonflement d'un des composants sous l'effet d'humidité) [3].

I.2.3. Extrusion gonflage

Ce procédé est un dérivé de l'extrusion, il consiste à souffler en continu de l'air à l'intérieur d'un tube appelé paraison pour la faire gonfler. Ce procédé ne nécessite pas de moule, c'est l'air soufflé qui donne la forme et le refroidissement. Cette technique permet de fabriquer des sacs plastiques [4].

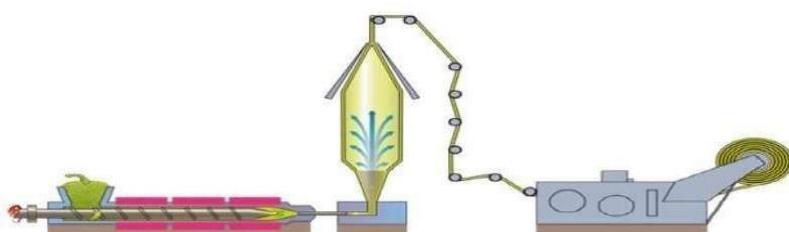


Figure I-3. Schéma de principe de l'extrusion gonflage

Chapitre 1 : Étude et Description de l'Extrudeuse

❖ Principe

En phase initiale, le principe est le même que celui de l'extrusion classique mais il n'y a pas de forme à la sortie de l'extrudeuse. On insuffle de l'air comprimé dans le plastique ramolli. Il se gonfle alors et s'élève verticalement comme une bulle de film très fin. On le laisse ensuite refroidir. Avant de l'aplatir entre des rouleaux, on forme des soufflets et on prédecoupe les sacs. On les enroule sur des bobines ou on forme des rouleaux [4].

I.2.4. Extrusion soufflage

Ce procédé consiste à combiner la technique de l'extrusion avec celle du soufflage. Il permet de fabriquer des objets creux comme les bouteilles de lait ou les flacons de lessive par exemple [5].



Figure I-4. Procédé d'extrusion soufflage

❖ Principe

On réalise d'abord un tube par extrusion si:

Le tube extrudé (appelé paraison) est enfermé dans un moule de soufflage (2 demi coquilles ayant la forme désirée). La paraison présente un orifice à son extrémité, qui est pincée (là où sera l'ouverture finale du récipient). Puis de l'air est injecté dans le moule afin que le tube adopte parfaitement les parois où il est très rapidement refroidi. Il suffit alors de démouler l'objet ainsi fabriqué.

❖ Applications

Flacons, bouteilles, bidons. Pièces pour l'automobile [5].

Chapitre I : Étude et Description de l'Extrudeuse

I.2.5. Extrusion de profilés et de tubes

Le matériel de la chaîne d'extrusion est généralement similaire à celui de la ligne de production de tubes à sections circulaires. Elle offre la possibilité de produire divers types de profiles de diverses formes ou de tubes.

On refroidit la matière qui sort de la tête d'extrusion dans un conformateur afin de lui donner la forme, puis on la transfère dans un bac de refroidissement, puis on la tire dans un banc. Finalement, le produit sera détaché à la longueur désirée ou enroulé.

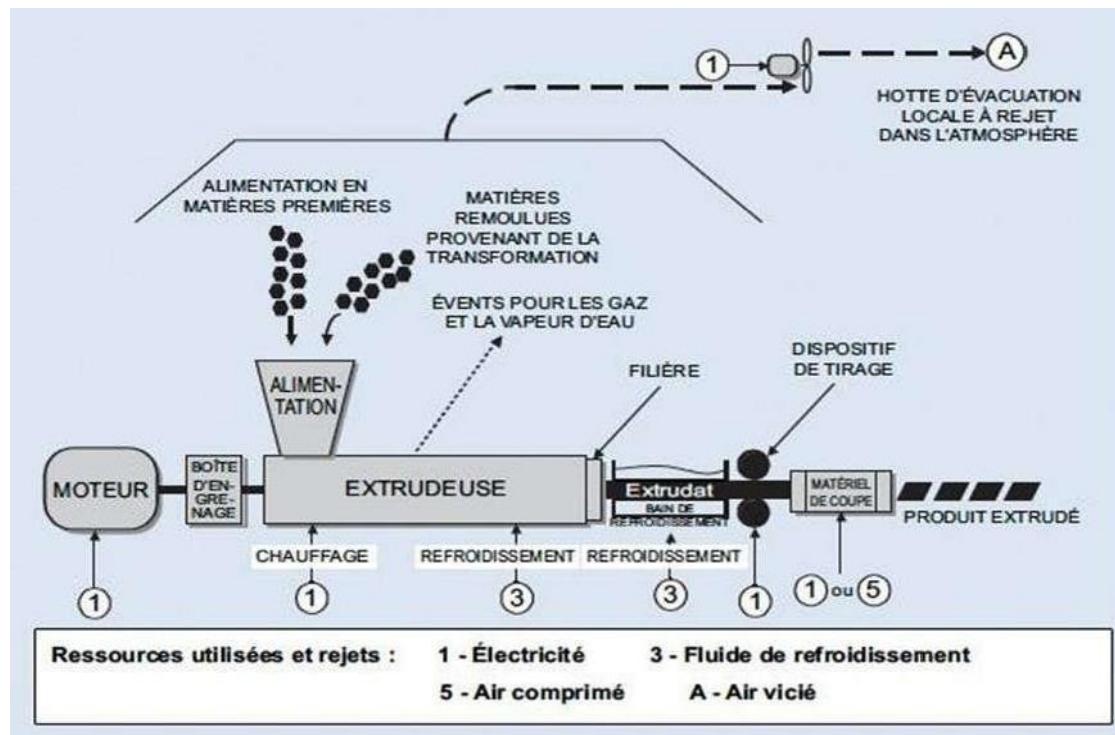


Figure I-5. Ligne d'extrusion de profilés et de tubes

I.3. Les matières extrudées

I.3.1. Définition de la matière plastique

Les matières plastiques sont des matériaux obtenus par polymérisation de composés (éthylène, propylène, styrène...) issus principalement du vapocraquage d'hydrocarbures eux-mêmes provenant de la distillation du pétrole. Il en existe de très nombreux types qui se présentent sous des formes variées. Leur production a connu un développement considérable à partir de la deuxième partie du XXème siècle [6].

- *Il existe trois grandes familles de matières plastiques:*
- ⇒ *Les thermoplastiques :* ils sont formables à chaud sans modification chimique. Le polyéthylène, le polypropylène, le polychlorure de vinyle et le polystyrène sont des thermoplastiques, plus de 90 % de la production de matières plastiques porte sur les thermoplastiques dont 80% sur les trois thermoplastiques : polyéthylène (PE), polypropylène (PP) et polychlorure de vinyle (PVC).

Chapitre 1: Étude et Description de l'Extrudeuse

⇒ **Les thermodurcissables:** ils sont formables à chaud avec modification chimique.

Les phénoplastes, aminoplastes et les résines époxydes sont des thermodurcissables.

⇒ **Les plastiques techniques :** comme leur nom l'indique, ils sont destinés à des applications très précises en raison de leurs propriétés. Le PTFE est un exemple de plastique technique.

I.3.2. Définition de la matière première polypropylène PP utilisé dans l'unité Bejaia Emballage

Le polypropylène est un thermoplastique obtenu par polymérisation du propylène. Il donne aussi des copolymères avec l'éthylène. C'est la deuxième matière plastique utilisée après les polyéthylènes. Il possède une grande résistance mécanique, une bonne inertie chimique et est facilement recyclable. Il donne des fibres employées par exemple pour fabriquer des tapis, des films pour les emballages, des produits moulés par exemple dans les pare-chocs des automobiles [6].



Figure I-6. Les granules de polypropylène

I.4. Les différents types d'extrudeuses

On peut trouver différents types d'extrudeuses sur le marché. Les extrudeuses bivis et les extrudeuses mono-vis sont les deux principales catégories de machines. L'option choisie est déterminée par l'opération à réaliser et les résultats à atteindre. Il convient de souligner qu'il y a aussi des extrudeuses manuelles [3].

I.4.1. Extrudeuse à deux vis

En générale l'extrudeuse bivis comporte deux vis parallèles, qui tournent à l'intérieur d'un fourreau. La progression des extrudeuses bivis contrarotatives où les deux vis tournent à sens contraire vers des extrudeuses corotatives (même sens), a permis l'évolution d'extrusion dans le domaine des matériaux pastiques. [7]

Chapitre I : Étude et Description de l'Extrudeuse

Le profil de vis, le nombre de fourreaux et la filière sont des paramètres importants pour caractériser et dimensionner une extrudeuse bivis. Il s'agit des paramètres machine et produit pour assurer des conditions propres à chaque procédé d'extrusion, et ils peuvent être résumés comme suit :

➤ **Les paramètres machine:**

- ⇒ La vitesse d'alimentation en matière.
- ⇒ La vitesse de rotation des vis.
- ⇒ La température de consigne des fourreaux.

➤ **Les paramètres produit:**

- ⇒ La composition chimique du produit.
- ⇒ Les caractéristiques thermo-physiques et rhéologiques du produit.

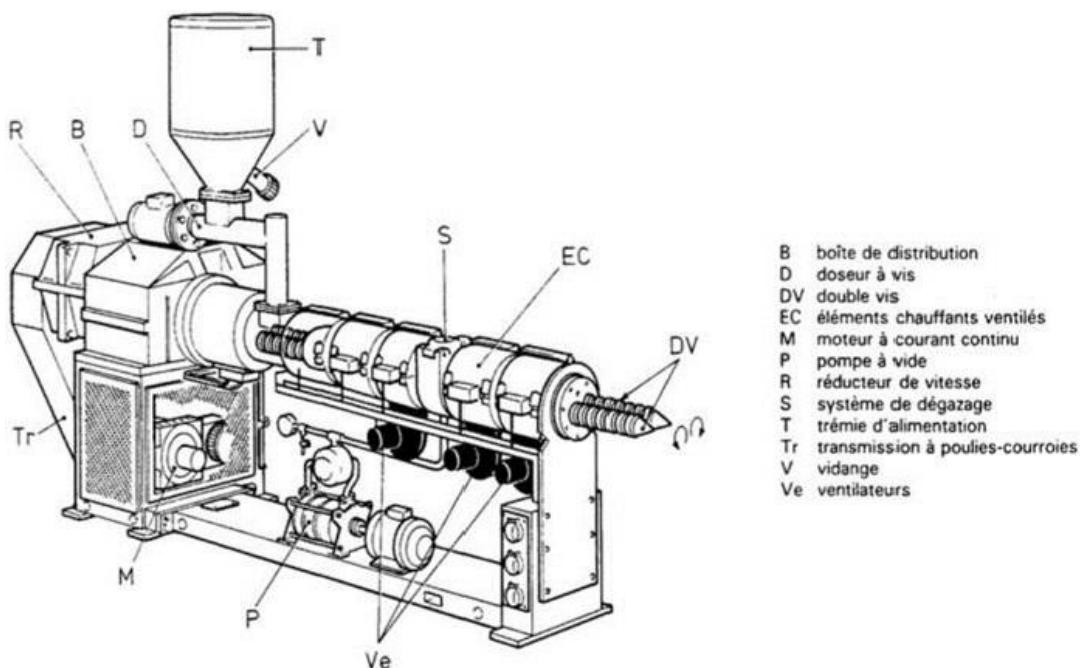


Figure I-7. Vue générale d'une extrudeuse bivis

L'extrudeuse bivis se compose des éléments suivants [8] :

- ⇒ Un groupe d'entraînement et un moteur principal.
- ⇒ Un ou plusieurs dispositifs d'alimentation en matière (trémie, doseur).
- ⇒ Un ensemble vis-fourreau avec des éléments de chauffage-refroidissement.
- ⇒ Une filière pour la mise en forme de la matière première fondu.
- ⇒ Un guidage parallèle/horizontale ou bien les deux pour guider le produit fini à être enrouler - Enfin, pour la commande de l'extrudeuse, une armoire de pilotage réunit les constituants de la machine (démarrage, sécurité, les dispositifs de régulation, et de mesure).

Chapitre I: Étude et Description de l'Extrudeuse

I.4.2. Extrudeuses spéciales

Les constructeurs ont développé des machines pouvant remplir plusieurs fonctions à la fois telles que : mélangeage, malaxage, dégazage, granulation et même certaines réactions chimiques en continu.

Ces procédés peuvent être utilisés pour [3]:

- ✓ La fabrication des plastiques avec plusieurs techniques (stabilisation, coloration, plastification, dégazage, granulation),
- ✓ La fabrication des "alliages" d'un polymère avec un second composant polymère.
- ✓ La fabrication des compounds: plastiques mélangés à des composants minéraux.

Les extrudeuses spéciales utilisées pour ces procédés sont de construction modulaire, avec montage des vis à différentes géométries sur un arbre cannelé associé à des éléments de cylindre.

I.4.3. Extrudeuses à étages

L'extrudeuse à étages présente deux types d'extrudeuses reliés entre elles par une chambre de transfert, et les vis qui permettent l'avance de la matière ont une vitesse qui peut être réglée séparément.

Il existe des extrudeuses monovis dites en "L", qui se composent d'un organe d'extrusion vertical, alimenté par une trémie située au-dessus, et qui débouche dans la zone d'alimentation d'une seconde vis, située en dessous et perpendiculairement.

L'extrudeuse double-vis présente des modèles dont les deux étages sont parallèles et superposés [9].



Figure I-8. Extrudeuse à deux étages

I.4.4. Extrudeuses exceptionnelles

Elles ne sont ici que citées à titre d'information:

⇒ Extrudeuses à effet Weissenberg.

Chapitre 1: Étude et Description de l'Extrudeuse

- ⇒ Extrudeuses type Maxwell.
- ⇒ Extrudeuses à engrenages.

I.4.5. Extrudeuse à une vis (Extrudeuse mono vis)

L'extrudeuse mono vis est une machine de transformation des thermoplastiques, elle est caractérisée par le diamètre et la longueur de la vis. Une extrudeuse mono vis se compose principalement d'une vis d'Archimède tournant dans un fourreau cylindrique lisse sur lequel sont adaptés des dispositifs de chauffage et de régulation.

La matière première, sous forme de poudre ou de granulés, est introduite au début de la vis d'Archimède. Un ventilateur par zone de chauffe ou une circulation de fluide (huile) permettent de refroidir les zones de fourreau, lorsque celles-ci sont en auto-échauffement.

Les principaux types d'extrudeuse mono vis sont:

- ⇒ Extrudeuse à pas constante et à 2 axes de différent diamètre ou bien axe conique.
- ⇒ Extrudeuse à axe uniforme et à pas régressif.
- ⇒ Extrudeuse à axe conique ou à deux axes de différent diamètre (assemblé bout à bout) et à pas régressif.

I.4.5.1. Le principe de fonctionnement d'une extrudeuse mono vis

Le mouvement rotatif de la vis sans fin qui doit être précis et relativement faible (ne dépassant guère les 100 tr/min), est assuré par un ensemble moteur-réducteur de vitesse. Le fourreau ou corps de l'extrudeuse est chauffé par des colliers de résistances insérées dans des logements prévus à cet effet. Les éléments chauffants sont divisés en sections assurant séparément le chauffage de différentes zones du fourreau. Chaque section comporte un système régulateur indépendant. L'énergie nécessaire à la transformation est véhiculée de deux façons :

- Par le travail mécanique engendré par la rotation de la vis qui provoque l'échauffement par friction de la matière et son transport sous pression ;
- Par l'apport thermique directement obtenu par chauffage du fourreau ou même de la vis.

Le nombre de Brinkman définit le rapport de ces énergies:

$$Br = \text{énergie mécanique} / \text{énergie thermique}$$

Nous distinguons ainsi :

- ⇒ L'extrudeuse adiabatique: sans éléments de chauffage, la chaleur étant fournie par friction de la matière entre vis et fourreau.
- ⇒ L'extrudeuse polytropique: qui combine le travail de la vis à l'apport des colliers chauffants montés sur le fourreau.

Le déplacement de la matière résulte de la rotation de la vis sur la matière, qui frotte sur

Chapitre 1: Étude et Description de l'Extrudeuse

les parois internes du fourreau. Les vis des mono vis sont interchangeables en fonction de la nature et des caractéristiques des matières thermoplastiques. Fonctionnellement, la vis se compose de trois zones différentes :

- ⇒ Une zone d'alimentation ou d'entrée ou convoyage
- ⇒ Une zone de compression ou de fusion.
- ⇒ Une zone de régularisation, ou zone de sortie ou de Pompage [6].

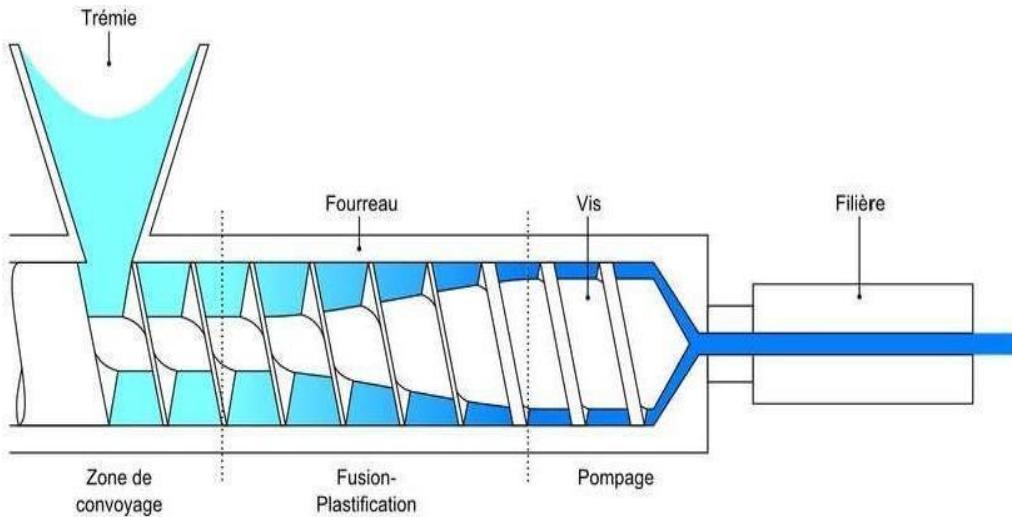


Figure I-9. Extrudeuse mono vis

I.4.5.2. Compositions et fonction des différents organes d'une extrudeuse mono vis

❖ *La trémie:*

La thermie est un réservoir en forme d'entonnoir utilisé pour stocker et alimenter la matière première dans le processus d'extrusion, elle sert à introduire de manière contrôlée les matériaux solides granules poudres autres vers la vis d'extrusion

❖ *Le fourreau ou cylindre de plastification:*

C'est un cylindre creux dans lequel la ou les vis tournent. La partie arrière possède un orifice pour le passage de la matière venant de la trémie.

Cette partie est régulée en température par un circuit d'eau qui évite la conductivité thermique, elle s'appelle la goulotte ou la culasse. La partie avant est usinée pour recevoir la tête d'extrusion et son système d'accouplement.

❖ *Le réducteur:*

Il est constitué d'un ensemble de pignons, de poulies et de courroies disposés dans le bâti. Cet ensemble assure la liaison et la transmission du mouvement de rotation de puis le moteur jusqu'à la vis. Le rapport de transmission est de l'ordre de 15/1 à 30/1.

❖ *Le moteur:*

Il existe différents types de motorisation de l'entraînement de la vis:

- ⇒ Moteur hydraulique

Chapitre 1: Étude et Description de l'Extrudeuse

- ⇒ Moteur électrique à courant alternatif à vitesse non variable
 - ⇒ Moteur électrique à courant continu avec variateur de vitesse
 - ⇒ Moteur électrique à courant alternatif avec variateur de fréquence
- ❖ **Les grilles:**

Elle se compose d'une ou deux plaques percées de trous de diamètre de 0,8 à 5mm (suivant le diamètre de la vis, du débit et du type de matière). La forme, le nombre, le diamètre et la longueur des trous sont très importants. Cela va conditionner certains réglages machine.

- ❖ **Les filtres**

Les filtres sont constitués des fils métalliques très résistants tissés plus ou moins serrés.

IV.5.3. Avantages

- ✓ Moins de cisaillement Haut débit
- ✓ Meilleur pour extruder des matériaux courants par rapport aux extrudeuses à double vis
Beaucoup moins cher que les autres extrudeuses
- ✓ Peut être utilisé dans des opérations pour une large gamme de types de matériaux différents

IV.5.4. Inconvénients

- ✓ Performances d'alimentation limitées
- ✓ Processus inadaptés en raison de difficultés lors du mélange de matériaux tels que la pâte ou la poudre

I.5. Chaîne de production

La production d'une corde en polypropylène suit plusieurs étapes essentielles garantissant sa qualité et sa résistance. Tout commence par l'extrusion, où les granulés de polypropylène sont fondus dans une extrudeuse mono vis avant d'être extrudés sous forme de fils. Ces derniers passent ensuite par un bain de refroidissement pour se solidifier. Une fois refroidis, ils subissent un étirement mécanique à l'aide de rouleaux chauffants, augmentant ainsi leur résistance mécanique. Selon le type de corde souhaité, une fibrillation peut être réalisée pour texturer les fils. Ensuite, plusieurs fils sont regroupés et tordus ensemble dans une guindeuse, formant ainsi des torons. Ces torons sont ensuite assemblés dans une retordeuse ou retordeuse, où ils sont torsadés en sens inverse pour créer la corde finale. Afin de stabiliser sa structure et améliorer sa durabilité, la corde passe par un four de stabilisation thermique. Enfin, elle est enroulée sur des bobines via un bobinoir avant d'être conditionnée pour l'expédition ou la commercialisation.

Chapitre 1:Étude et Description de l'Extrudeuse

Étape	Machine Utilisée	Fonction
Extrusion	Extrudeuse mono vis	Fondre et extruder le PP en fils
Refroidissement	Bain d'eau/Air forcé	Solidifier les fils
Étirement	Rouleaux chauffants	Améliorer la résistance
Fibrillation	Fibrillatrice (optionnelle)	Texturer les fils
Guindage	Guindeuse	Torsion des fils en torons
Retordage	Retordeuse /Retordeuse	Assemblage des torons en corde
Stabilisation thermique	Four	Fixer la structure de la corde
Bobinage	Bobinoir	Enrouler la corde pour le stockage

Tableau I-2. Tableau récapitulatif de la chaîne de production de la corde en PP

Conclusion

Ce chapitre a fait l'objet d'un état de l'art sur l'extrusion et l'extrudeuse ; L'extrudeuse est une machine utilisée pour l'extrusion des plastiques. Ce procédé consiste à transformer une matière plastique sous forme de granulés ou de poudre en un produit final ayant une forme déterminée (tube, profilé, feuille, film, fibre, etc.). Il existe plusieurs types d'extrudeuses, principalement les extrudeuses mono vis et bivis. Le choix entre ces deux types dépend des besoins et de l'application souhaitée. Les extrudeuses mono vis sont plus simples, économiques et adaptées à l'extrusion de polymères thermoplastiques classiques comme le PE, le PP, le PS ou le PVC. À l'inverse, les extrudeuses bivis, plus complexes et performantes, permettent un meilleur contrôle du mélange et sont utilisées pour des matériaux techniques nécessitant des réactions chimiques comme la dé-vulcanisation ou la dispersion d'additifs.

Dans le chapitre 2 nous allons aborder les différents concepts de la maintenance industrielle.

Chapitre 2

Concepts de base de la maintenance de l'extrudeuse

Introduction

Pour demeurer compétitive, une entreprise doit produire toujours mieux (qualité) et au coût le plus bas. Pour minimiser ce coût, on fabrique plus vite et sans interruption des produits sans défaut afin d'atteindre la production maximale par unité de temps. Cet objectif est l'un des buts de la fonction maintenance d'une entreprise. Il s'agit de maintenir un bien dans un état lui permettant de répondre de façon optimale à sa fonction.

Ce chapitre introduit les concepts fondamentaux concernant la maintenance et le rôle de cette dernière dans l'industrie. Ensuite, l'accent est mis sur la maintenance d'une extrudeuse mono vis utilisée dans la fabrication des cordes en propylène.

II.1. Définitions de la maintenance

Selon l'AFNOR (association française de normalisation): La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié, ou dans un état où il est en mesure d'assurer un service déterminé.

La maintenance est une politique qui prend en compte :

- le choix des méthodes d'entretien (les différents modes de maintenance).
- les améliorations.
- la place des équipements dans le procédé de fabrication (hiérarchisation).
- la formation du personnel d'entretien et de production.

II.2. Le rôle de la maintenance

Le rôle de la fonction maintenance dans une entreprise (quel que soit son type et son secteur d'activité) est donc de garantir la plus grande disponibilité des équipements au meilleur rendement tout en respectant le budget alloué. Pour atteindre ces objectifs, la politique de maintenance et du dépannage des équipements dans l'industrie oblige de suivre les points suivants :

- ⇒ **a. Le service maintenance (ou « dépannage ») intervient principalement en cas de problème :**
- Il dépanne en urgence.
 - Il répare en atelier.
 - Il effectue l'entretien quotidien des matériels.
- ⇒ **b. Le service maintenance (ou « dépannage ») est là pour éviter les pannes et les ralentissements de production :** Les interventions en urgence engendrant de coûteux arrêts de production, on met en place des procédures de prévention (d'éviter) systématiques des pannes majeures.

Chapitre 2: Concepts de base de la maintenance de l'extrudeuse

- ⇒ **c. Le service maintenance (ou « dépannage ») doit générer des profits :**
- Le service maintenance évite des pannes.
 - Il fait donc gagner de l'argent.
 - Mais il coûte aussi : salaires, matériels de maintenance, stock de pièces de rechange, arrêt de production pour la maintenance préventive.
- ⇒ **d. Le service maintenance (ou « dépannage ») est en concurrence avec les sous-traitants maintenanciers : [19]**
- Après avoir fait la preuve de sa rentabilité, le service maintenance doit faire preuve de plus de rentabilité que si on avait recours à des sociétés spécialisées dans la maintenance.

Le service maintenance doit mettre en œuvre la politique de maintenance définie par la direction de l'entreprise ; cette politique devant permettre d'atteindre le rendement maximal des systèmes de production. Cependant, tous les équipements n'ont pas le même degré d'importance d'un point de vue maintenance. Le service devra donc, dans le cadre de la politique globale, définir les stratégies les mieux adaptées aux diverses situations.

La fonction maintenance sera alors amenée à établir des prévisions ciblées :

✓ **Prévisions à long terme**

Elles concernent les investissements lourds ou les travaux durables. Ce sont des prévisions qui sont le plus souvent dictées par la politique globale de l'entreprise.

✓ **Prévisions à moyen terme**

La maintenance doit se faire la plus discrète possible dans le planning de charge de la production. Il lui est donc d'anticiper, autant que faire se peut, ses interventions en fonction des programmes de production. La production doit elle aussi prendre en compte les impératifs de suivi des matériels.

✓ **Prévisions à courts termes**

Elles peuvent être de l'ordre de la semaine, de la journée, voire de quelques heures. Même dans ce cas, avec le souci de perturber le moins possible la production, les interventions devront elles aussi avoir subi un minimum de préparation. [11]

II.3. Les objectifs de la maintenance

Les différents objectifs de la maintenance présentés sur la figure II-1 sont clairement définis par une politique bien déterminée à partir de la prise en compte des trois facteurs essentiels : Facteur technique, économique ainsi que le facteur humain et écologique qui sont résumé comme suite [11]

- ❖ Assurer le fonctionnement du système, dans le but d'atteindre les objectifs de la production en garantissant la disponibilité et le bon fonctionnement des machines

Chapitre 2: Concepts de base de la maintenance de l'extrudeuse

- ❖ Garder les équipements en bon état afin d'exécuter leurs fonctions prévues, pour objectif d'augmenter leurs durées d'usage
- ❖ Assurer le bien-être humain, en dépit des aspects techniques et économiques
- ❖ Assurer la sûreté et la sécurité des équipements de production et de tous les capitaux, en assurant un niveau de risque inférieur à une limite appropriée.

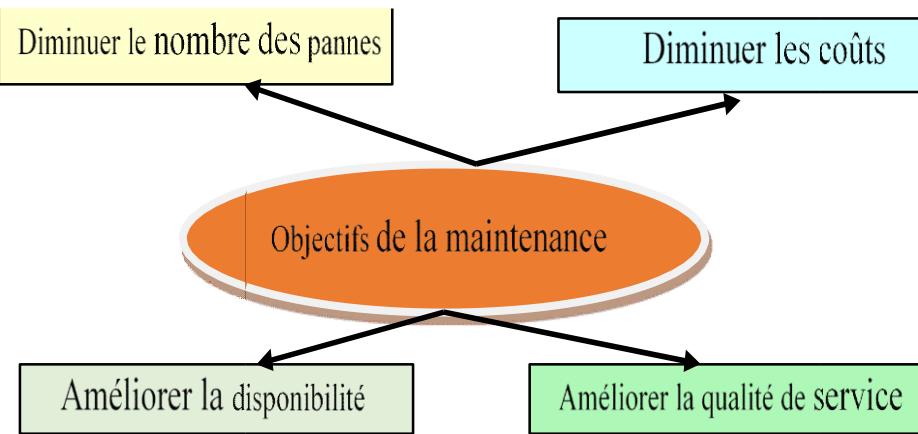


Figure II-1. Objectifs de la maintenance

II.3.1. Les objectifs du coût

L'objectif financier consiste à réaliser ces objectifs techniques au moindre coût, et avec une meilleure rentabilité, sur un horizon de plusieurs années en tenant compte du coût de cycle de vie. Pour minimiser ces coûts et prendre les bonnes décisions économiques, il faut considérer tous les coûts d'un équipement : étude, devis, achat, installation, indisponibilité, sécurité, formation et disposition finale.

II.3.2. Les objectifs opérationnels

Les contraintes de production portent essentiellement sur une disponibilité satisfaisante des équipements et sur la sécurité des personnes, cette dernière étant le lot des industries du transport ou celles exploitant des équipements dangereux. Les objectifs techniques visent un taux maximum de disponibilité, un nombre minimal d'arrêts, un taux de fiabilité élevé, un MTBF haut, un MTTR (Mean Time To Restore) bas.

II.4. Types de la maintenance

La maintenance se divise en plusieurs catégories, chacune ayant des objectifs spécifiques et des méthodes adaptées. Les types, ou stratégies, de maintenance sont classés par la norme AFNOR, 2001 :

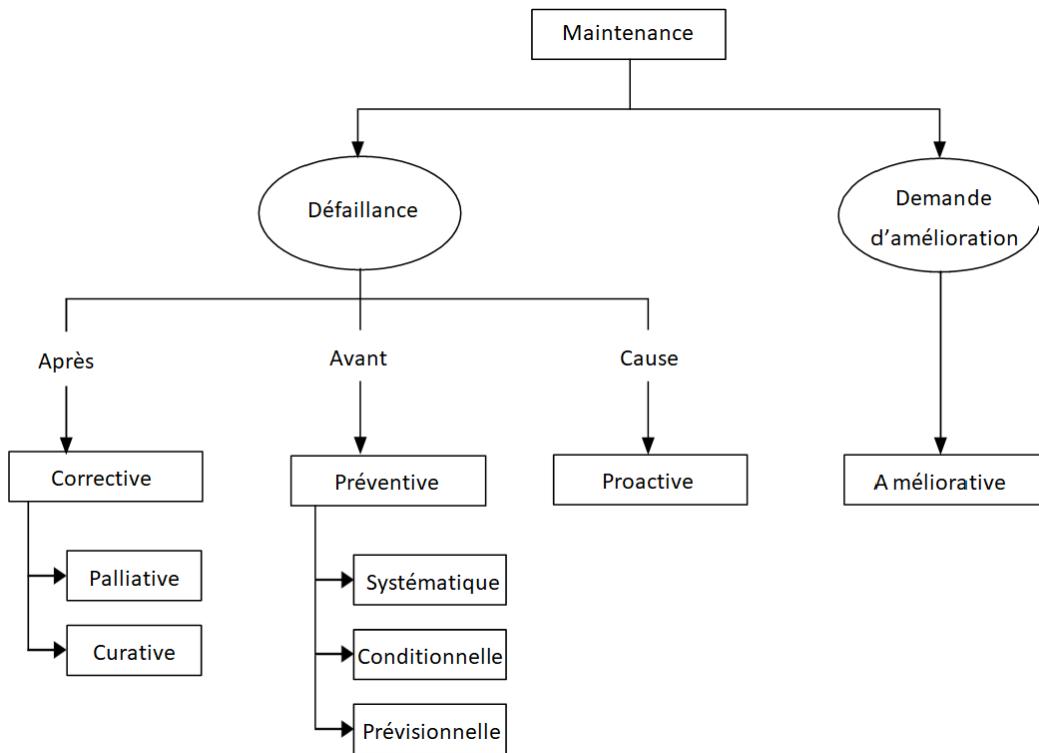


Figure II-2. Types de la maintenance

II.4.1. Maintenance corrective

La maintenance corrective ou accidentelle est définie comme étant : «une maintenance exécutée après détection d'une panne, et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise ». Elle peut être « *différée* » ; si elle n'est pas exécutée immédiatement après la détection d'une panne, mais est retardée en accord avec des règles de maintenance données. Elle peut être « *d'urgence* » ; si elle est exécutée sans délai après détection d'une panne afin d'éviter des conséquences inacceptables. [12]

II.4.1.1. Différents types de maintenance corrective

Il existe deux types de maintenance corrective: curative et palliative

❖ a. Maintenance curative

Ce type de maintenance permet de remettre définitivement en état le système après l'apparition d'une défaillance. Cette remise en état du système est une réparation durable. Les équipements répartis doivent assurer les fonctions pour lesquelles ils ont été conçus. Une réparation est une opération définitive de la maintenance curative qui peut être décidée soit immédiatement à la suite d'une défaillance, soit après un dépannage. [13]

❖ b. Maintenance palliative

La maintenance palliative revêt un caractère temporaire, provisoire. Elle est principalement constituée d'opérations qui devront toutefois être suivies d'opérations curatives (réparations). Le dépannage est une opération de maintenance palliative qui est destinée à remettre le système en état provisoire de fonctionnement de manière à ce qu'il puisse assurer une partie des fonctions requises. [10]

II.4.2. Maintenance préventive

Exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits, suite à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs, et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou de la dégradation du fonctionnement du bien, et augmenter la fiabilité et la disponibilité des machines. [14]

Les objectifs visés par la maintenance préventive

L'objectif principal est d'éviter les pannes et les arrêts imprévus en anticipant les défaillances des équipements. Elle permet de prolonger leur durée de vie, réduire les coûts de réparation et optimiser leur performance tout en garantissant la sécurité et la conformité aux normes. En planifiant des interventions régulières (nettoyage, graissage, remplacement de pièces usées), elle améliore la productivité, minimise les perturbations et facilite la gestion des ressources. Grâce à une approche organisée et prévisionnelle, elle contribue à la rentabilité et à la fiabilité des installations industrielles.

II.4.2.1. Les différents types de maintenance préventive

❖ a. La maintenance systématique

Exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage indépendamment de l'état du bien. Elle repose sur le calcul du MTBF (Mean Time Between Failures, Temps Moyen entre pannes).

❖ b. La maintenance conditionnelle

Basée sur une surveillance du Fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent. L'intérêt d'une telle stratégie est de pouvoir utiliser les machines au maximum possible en diminuant le temps d'arrêt dû aux opérations de maintenance corrective systématique.

❖ c. La maintenance prévisionnelle

La maintenance prévisionnelle, parfois aussi nommée maintenance prédictive, vise à prédire le moment optimal pour effectuer la maintenance d'un équipement ou d'une installation. Pour ce faire, la maintenance prévisionnelle se base

Chapitre 2: Concepts de base de la maintenance de l'extrudeuse

sur des données et des indicateurs de performance recueillis en temps réel ou périodiquement. [15]

II.5. Système de gestion de la maintenance de l'extrudeuse

II.5.1. Stratégies de maintenance appliquées à l'extrudeuse mono vis

Pour garantir la performance continue de l'extrudeuse, plusieurs types de la maintenance sont mises en œuvre de manière complémentaire :

❖ Maintenance préventive

Elle consiste à effectuer des interventions programmées dans le temps, en fonction d'un planning établi ou du nombre d'heures de fonctionnement. Elle vise à réduire les risques de panne :

- ✓ *Nettoyage périodique de la vis et du fourreau,*
- ✓ *Lubrification des organes mécaniques (roulements, réducteurs),*
- ✓ *Vérification des composants électriques et thermiques (résistances, capteurs),*
- ✓ *Contrôle de la pression et de la température du système.*

❖ Maintenance corrective

Elle intervient suite à une panne ou à un dysfonctionnement imprévu. Bien qu'indispensable, elle engendre souvent des arrêts non planifiés et des pertes de production :

- ✓ *Remplacement d'une vis endommagée,*
- ✓ *Changement d'un moteur grillé ou d'un capteur hors service.*

❖ Maintenance prédictive (si équipements disponibles)

Basée sur la surveillance en temps réel de paramètres clés (vibrations, températures, pression), cette stratégie permet d'agir avant qu'une panne ne survienne, à l'aide de capteurs et d'outils de diagnostic connectés.

II.5.2 Utilisation de l'AMDEC pour planifier la maintenance

Pour prioriser les actions à mener, la méthode AMDEC est utilisée. Elle permet d'identifier les composants critiques, les types de pannes probables, leurs effets et leur niveau de risque.

❖ a) Principes de l'AMDEC

Chaque composant est évalué selon trois critères : [16]

Chapitre 2: Concepts de base de la maintenance de l'extrudeuse

- ✓ **Gravité (G)** : Impact de la panne sur la production ou la sécurité,
- ✓ **Fréquence (F)** : Probabilité d'apparition de la défaillance,
- ✓ **Détection (D)** : Facilité avec laquelle la panne peut être détectée à temps.

La criticité est déterminée par le produit de ces trois facteurs :

$$\text{Criticité} = G \times F \times D$$

Cela permet de prioriser les interventions sur les composants à fort risque.

❖ b) Tableau d'application AMDEC sur extrudeuse mono vis

Composant critique	Mode de défaillance	Effet probable	G	F	D	Criticité	Action préventive
Vis sans fin	Usure	Perte de qualité du produit	4	3	2	24	Contrôle visuel régulier + remplacement planifié
Résistance de chauffe	Coupure électrique	Défaut de chauffe	4	2	2	16	Vérification périodique par multimètre
Roulements moteur	Grippage	Arrêt de l'extrudeuse	5	1	1	5	Graissage selon planning hebdomadaire
Capteur de température	Dérive de mesure	Température non contrôlée	3	2	1	6	Calibration mensuelle

Tableau II-1. Tableau d'application AMDEC sur extrudeuse mono vis

⇒ Établissement d'un planning de maintenance

Pour une extrudeuse mono vis, un plan de maintenance préventive est mis en place, hiérarchisé selon les niveaux de criticité. Ce plan s'articule selon des fréquences d'interventions : quotidienne, hebdomadaire, mensuelle et annuelle.

Fréquence	Opération	Responsable
Quotidienne	Vérification visuelle (fuites, bruits anormaux)	Opérateur sur machine
Hebdomadaire	Nettoyage de la vis, contrôle température	Technicien
Mensuelle	Contrôle des capteurs, test résistances	Maintenance
Trimestrielle	Analyse vibratoire, graissage complet	Maintenance
Annuelle	Révision complète de l'extrudeuse	Équipe spécialisée

Tableau II-2. Extrait du planning de maintenance

Chapitre 2: Concepts de base de la maintenance de l'extrudeuse

Grâce à cette approche structurée, combinant plusieurs niveaux de maintenance et une analyse AMDEC ciblée, l'entreprise est en mesure de maximiser la disponibilité de l'extrudeuse tout en optimisant les ressources humaines et matérielles.

II.6. Gestion du stock

La gestion efficace du stock de pièces de rechange est un élément essentiel pour assurer la continuité du fonctionnement de l'extrudeuse mono vis. Elle permet de minimiser les temps d'arrêt dus à l'indisponibilité de composants critiques, tout en maîtrisant les coûts de stockage.

II.6.1 Objectifs de la gestion de stock en maintenance

Les principaux objectifs de la gestion de stock dans un contexte de maintenance sont les suivants :

- ❖ *Assurer la disponibilité* des pièces de rechange nécessaires aux interventions prévues ou imprévues ;
- ❖ *Réduire les délais d'intervention*, en évitant les ruptures de stock
- ❖ *Maîtriser les coûts*, en limitant le sur-stockage de pièces peu utilisées ;
- ❖ *Optimiser l'espace de stockage* et la rotation des stocks selon la fréquence d'utilisation.[17]

II.6.2. Classification des pièces de rechange

Les pièces utilisées pour la maintenance de l'extrudeuse peuvent être classées en trois catégories :

- ❖ *Pièces critiques* : indispensables au bon fonctionnement de la machine. Leur indisponibilité entraîne un arrêt de production. Exemples : vis sans fin, roulements moteur, résistances.
- ❖ *Pièces stratégiques* : nécessaires au bon rendement, mais dont l'absence peut parfois être contournée temporairement.
- ❖ *Pièces de confort* : éléments secondaires, non bloquants pour la production.

II.6.3. Méthode ABC appliquée aux stocks de maintenance

L'analyse ABC permet de classer les articles en fonction de leur importance (valeur ou fréquence d'utilisation), selon le principe de Pareto (80/20). Elle distingue :

- ❖ *Classe A* : 20 % des articles représentent environ 80 % de la valeur totale du stock.
Ce sont des pièces critiques, coûteuses ou à forte valeur stratégique. → Suivi étroit.

Chapitre 2: Concepts de base de la maintenance de l'extrudeuse

- ❖ **Classe B :** 30 % des articles pour 15 % de la valeur. Suivi périodique.
- ❖ **Classe C :** 50 % des articles pour 5 % de la valeur. Suivi simplifié.

<i>Organe</i>	<i>Coût unitaire (€)</i>	<i>Fréquence d'utilisation (mois)</i>	<i>Catégorie ABC</i>	<i>Action recommandée</i>
<i>Vis sans fin</i>	2500	1 fois / an	A	Stock de sécurité permanent
<i>Résistance de chauffe</i>	80	2 fois / mois	A	Réapprovisionnement régulier
<i>Capteur de température</i>	50	1 fois / mois	B	Contrôle trimestriel
<i>Joint en caoutchouc</i>	3	très fréquent	C	Commande en lot, stock minimal rotatif
<i>Boulonnerie</i>	0,5	quotidien	C	Approvisionnement groupé selon consommation

Tableau II-3. Exemple d'organisation physique et informatique du stock

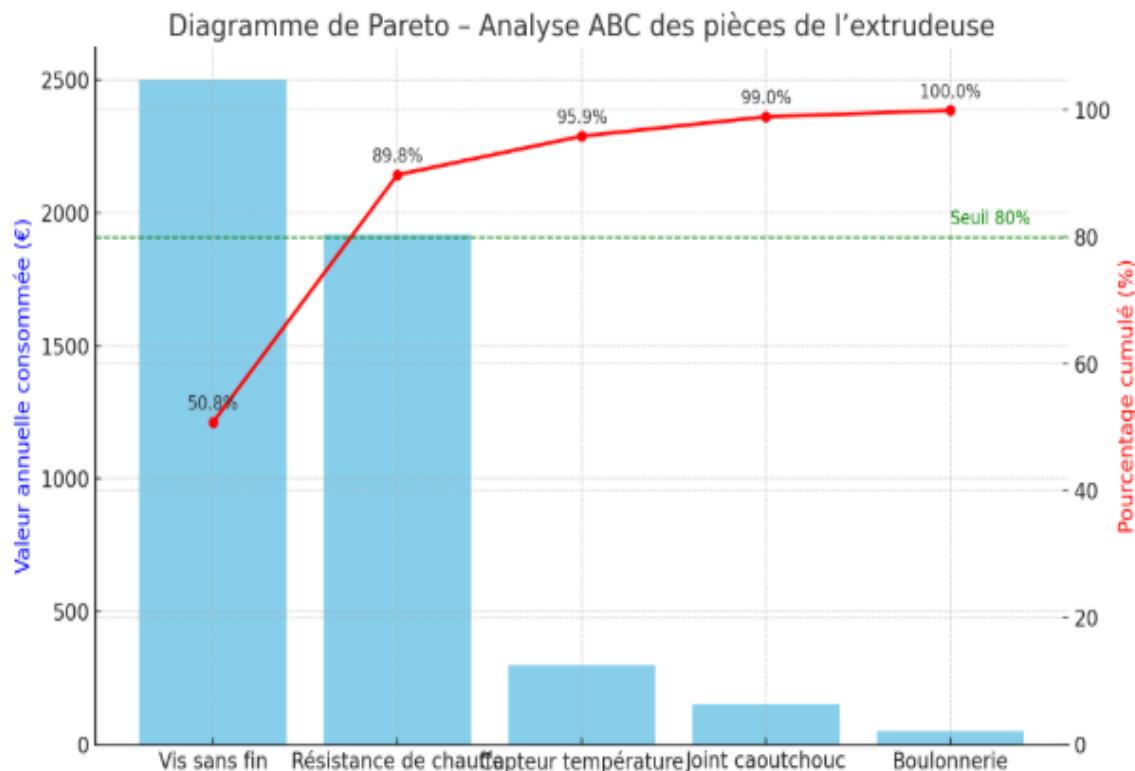


Figure II-3. Analyse ABC des pièces de l'extrudeuse

Pour garantir une bonne traçabilité et un accès rapide aux pièces, il est essentiel d'avoir :

- ❖ **Une zone de stockage physique bien identifiée, avec étiquetage des composants ;**
- ❖ **Une base de données ou un logiciel de GMAO pour :**
 - ✓ Suivre les entrées/sorties,
 - ✓ Gérer les niveaux d'alerte (stocks minimums),
 - ✓ Planifier les réapprovisionnements.

Chapitre 2: Concepts de base de la maintenance de l'extrudeuse

La mise en œuvre de l'analyse ABC permet de rationaliser la gestion du stock, en concentrant les efforts sur les pièces les plus critiques. Associée à une planification de maintenance bien structurée, elle garantit la réactivité de l'équipe de maintenance, tout en réduisant les coûts logistiques.

II.7. Efficacité de la maintenance

L'efficacité d'un système de maintenance ne se mesure pas uniquement à travers la planification ou la disponibilité des pièces, mais surtout par sa capacité à maintenir les équipements en état de fonctionnement optimal, tout en réduisant les coûts et en augmentant la productivité. Pour cela, des indicateurs clés de performance (KPI) sont utilisés.

II.7.1. Indicateurs de performance de la maintenance

Voici les principaux KPI (Key Performance Indicators) permettant d'évaluer l'efficacité de la maintenance de l'extrudeuse mono vis :

a) Taux de disponibilité (Availability)

Permet de mesurer combien de temps l'extrudeuse est opérationnelle par rapport à son temps d'exploitation théorique.

$$(\text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})) \times 100$$

❖ b) MTBF (Mean Time Between Failures) – Temps moyen entre deux pannes

Plus le MTBF est élevé, plus l'équipement est fiable.

❖ c) MTTR (Mean Time To Repair) – Temps moyen de réparation

Permet d'évaluer la réactivité de l'équipe de maintenance.

❖ d) Taux de maintenance corrective vs préventive

Un bon système de maintenance tend vers une majorité d'interventions préventives, réduisant ainsi les pannes imprévues. [18]

Analyse des indicateurs de performance – Maintenance de l'extrudeuse

Indicateur	Valeur observée réaliste	Moyen logistique associé	Interprétation et commentaire
Taux de disponibilité	85 %	Organisation des interventions + stock de sécurité renforcé	Relativement faible. Trop d'arrêts non planifiés.
MTBF (temps moyen entre pannes)	40 h	Plan préventif + surveillance des pièces critiques	Faible fiabilité. Nécessite un plan préventif renforcé.
MTTR (temps moyen de réparation)	3 h	Outilage adapté + formation + procédures claires	Réparations longues. Liées à des lenteurs internes.
MTTL (temps d'attente logistique)	1 h	Réorganisation du magasin + méthode ABC	Temps d'attente important. Optimisation du stock nécessaire.
Taux de maintenance préventive	30 %	Planification régulière + formation à la détection des défauts	Maintenance principalement corrective. Préventif à structurer.

Tableau II-4. Exemple d'analyse des indicateurs de performance

Chapitre 2: Concepts de base de la maintenance de l'extrudeuse

La mise en place d'un système structuré de gestion de la maintenance, combiné à une planification intelligente (AMDEC) et une gestion de stock optimisée (ABC), permet d'améliorer significativement la disponibilité et la fiabilité de l'extrudeuse monovis. Ce système, en évolution constante grâce aux indicateurs de performance, représente un atout stratégique pour la production continue et la maîtrise des coûts.

Conclusion

La fiabilité et la performance d'une extrudeuse mono vis dépendent étroitement de la qualité de son système de maintenance. Ce chapitre, a traité les aspects de base de la maintenance de l'extrudeuse mono vis et met en évidence l'importance d'une planification rigoureuse, basée sur une combinaison judicieuse de maintenance préventive, corrective et, lorsque possible, prédictive.

Le désagrément le plus fréquent dans la maintenance de cette extrudeuse au niveau de la corderie de BEJE est le cryptage de l'accès au programme d'automatisation de l'extrudeuse.

Dans le chapitre suivant nous allons essayé de concevoir un programme (grafcet) relatif à cette machine.

Chapitre 3

*Analyse fonctionnelle et automatisation de
l'extrudeuse mono vis*

Introduction

Dans le contexte industriel actuel, la maîtrise des équipements de production constitue un enjeu stratégique majeur pour garantir la compétitivité, la réactivité et l'autonomie des entreprises. L'extrudeuse mono vis MTP/EX-TP-75, récemment intégrée à notre chaîne de production, joue un rôle central dans le processus de transformation du polypropylène. Toutefois, sa mise en service a révélé une lacune importante : l'absence de cahier des charges fonctionnel fourni par le constructeur. Cette déficience documentaire rend difficile la compréhension du fonctionnement détaillé de la machine, limite les capacités d'intervention rapide en cas de dysfonctionnement, et accroît la dépendance envers le fournisseur étranger.

Face à cette situation, il est impératif de doter cette extrudeuse d'un système de commande local, intelligent et documenté, permettant d'en assurer une exploitation autonome et sécurisée. Le présent chapitre s'inscrit dans cette démarche, en décrivant l'élaboration d'un cahier des charges fonctionnel spécifique, la définition des paramètres critiques du procédé (température, pression, niveau), le choix et le rôle des capteurs associés, ainsi que la mise en place d'un pilotage automatisé à l'aide d'un automate Zelio Logic de Schneider Electric, programmé sous Zelio Soft 2.

Dans un souci de structuration logique, un GRAFCETs a été conçu afin de modéliser fonctionnement normal de la machine. Ces outils permettent une meilleure visualisation des séquences opératoires, facilitent le diagnostic et posent les bases d'une programmation fiable. Ce chapitre présente également les caractéristiques des principaux capteurs utilisés (capteur de pression, capteur capacitif de niveau), leur mode de fonctionnement, ainsi que leur positionnement stratégique dans l'installation, notamment dans la trémie ou en aval de la tête d'extrusion.

L'ensemble de ces travaux vise à améliorer la disponibilité de la machine, à renforcer l'autonomie de l'équipe de maintenance et à assurer un suivi continu et maîtrisé du procédé d'extrusion, sans recours systématique au constructeur.

III.1. Problématique

L'extrudeuse mono vis MTP/EX-TP-75, actuellement exploitée dans notre unité de production, a été installée sans cahier des charges fonctionnel ni documentation technique détaillée. Cette absence d'informations complique fortement la compréhension du fonctionnement de la machine par les équipes de maintenance.

Un point particulièrement critique concerne le programme automatisé intégré à l'automate de commande : celui-ci est protégé et inaccessible aux techniciens sur site. Ainsi, en cas de panne ou d'anomalie, il est impossible de consulter ou de modifier le programme sans

Chapitre 3: Analyse fonctionnelle et automatisation de l'extrudeuse mono vis

l'intervention du constructeur, situé à l'étranger.

Cette situation engendre plusieurs conséquences majeures :

- ✓ Allongement significatif des délais de dépannage en raison de la dépendance au fournisseur étranger,
- ✓ Arrêts prolongés de la chaîne de production, entraînant une baisse de productivité,
- ✓ Impossibilité d'anticiper ou de diagnostiquer les défauts de manière autonome,
- ✓ Perte d'autonomie et de réactivité de l'équipe technique locale.

Dans ce contexte, il est essentiel de reconstruire une documentation fonctionnelle fiable et de développer des outils d'aide au diagnostic, afin de restaurer la capacité d'intervention en interne, de limiter les temps d'arrêt, et de renforcer la maîtrise technique du système.

III.2. Objectif

Face à cette situation, notre objectif est de:

- ⇒ **Réduire les temps d'arrêt de production** en facilitant la détection et la compréhension des dysfonctionnements,
- ⇒ **Renforcer l'autonomie technique de l'équipe de maintenance**, en leur permettant de mieux appréhender le comportement de l'extrudeuse,
- ⇒ **Assurer un meilleur suivi du processus de production**, en offrant une vision plus claire et structurée du fonctionnement global de la machine,
- ⇒ **Limiter la dépendance vis-à-vis du constructeur étranger**, notamment en cas de pannes ou d'interventions urgentes.

III.3. Solution proposée

Pour limiter la dépendance au constructeur et renforcer l'autonomie de l'équipe de maintenance, nous avons proposé une solution basée sur les étapes suivantes :

Comprendre le fonctionnement de l'extrudeuse,

- Concevoir un GRAFCET de bon fonctionnement (démarrage, production, arrêt),
- Réaliser l'automatisation à l'aide d'un automate Zelio Logic, programmé via Zelio Soft2.
- Nous avons choisi de travailler sur un cycle de fonctionnement normal afin de simplifier l'approche et permettre une reprise en main locale du système. Ce principe peut être généralisé et adapté à d'autres cycles ou cas de défauts ultérieurement.

III.4. Elaboration de l'analyse fonctionnelle

III.4.1. Présentation du système à automatiser

Notre système est constitué d'une vise sans fin, un fourreau, une trémie, un

Chapitre 3: Analyse fonctionnelle et automatisation de l'extrudeuse mono vis

sécheur, un réservoir, des 4 colliers chauffants (Résistances), une filière.

Le système à automatiser est constitué de

- Un moteur de la vis
- Un moteur de compression
- Un sécheur d'air
- Variateur de fréquence
- Quatre colliers (résistances de chauffe)
- Quatre thermocouples (associé chacun à un transmetteur de température)
- Un transmetteur de pression
- Deux Capteur de niveau

La figure ci-dessous représente la vue globale du système à automatiser

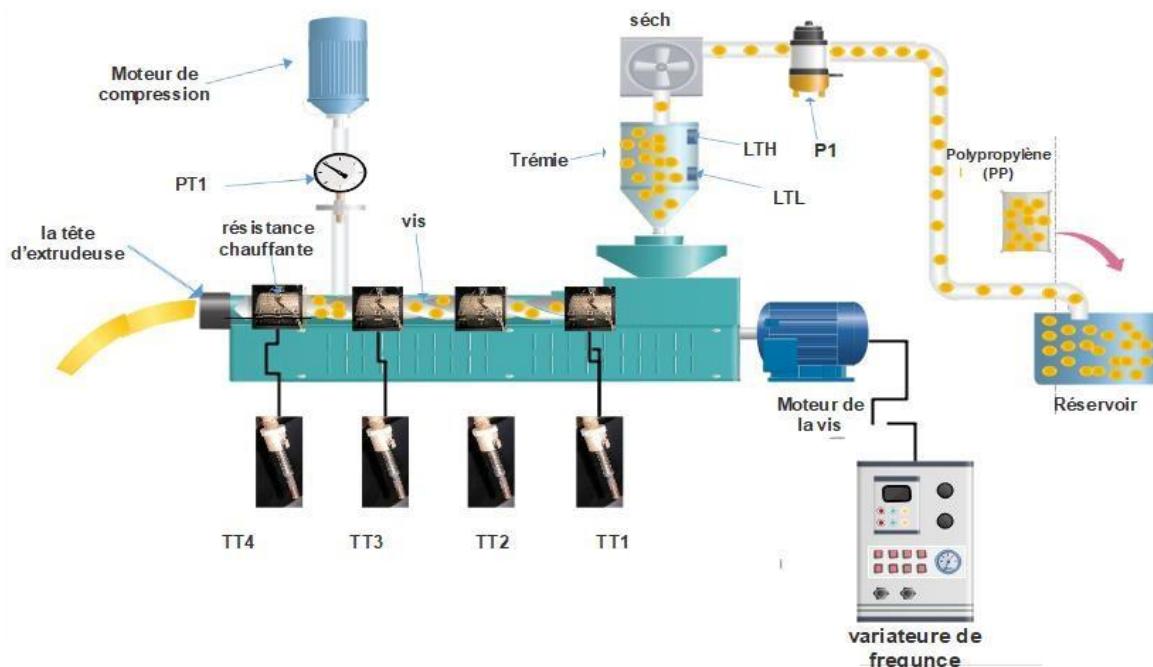


Figure III-1. Schéma synoptique du système à automatiser (extrudeuse mono visse MTP/EX-TP-75)

III.5. Instruments de mesure

III.5.1. Thermocouple

Le thermocouple est un capteur de température constitué de deux conducteurs métalliques différents, soudés à une extrémité, il génère une tension proportionnelle à la chaleur détectée, selon l'effet Seebeck. Dans notre extrudeuse, quatre thermocouples de type K sont fixés sur les zones de chauffe pour surveiller la température du fourreau.[20]

Comme leur signal est très faible, chaque thermocouple est relié à un transmetteur de température (TT1 à TT4) qui convertit cette tension en un signal standard 4–20 mA, compatible avec les entrées analogiques de l'automate. Cela permet une lecture précise et

fiable des températures dans le système de régulation.



Figure III- 1. Thermocouple d'une extrudeuse mono vis MTP/EX-TP-75

III.5.2. Transmetteur de pression

Le transmetteur de pression est un dispositif permettant de surveiller la pression interne exercée dans le fourreau de l'extrudeuse. Il convertit cette grandeur physique en un signal électrique analogique standard (4–20 mA), exploitable par le système de commande.

Dans notre installation, le transmetteur PT1 est positionné avant la filière. Il transmet les informations nécessaires pour autoriser la mise en rotation de la vis d'extrusion, une fois le seuil de pression défini atteint. Ce fonctionnement assure un déroulement automatique, sécurisé et cohérent du cycle d'extrusion.



Figure III- 2. Capteur de pression [20]

III.5.3. Capteur de niveau

Les capteurs de niveau sont utilisés pour détecter la présence de matière à des seuils prédéfinis dans la trémie. Ils fonctionnent en mode tout ou rien (TOR), c'est-à-dire qu'ils délivrent un signal logique lorsque le niveau de matière atteint une position spécifique.

Dans notre installation, nous utilisons deux capteurs de niveau capacitifs :

⇒ **LSL (Low-Level Switch)**, installé en bas de la trémie, signale le manque de

Chapitre 3: Analyse fonctionnelle et automatisation de l'extrudeuse mono vis

matière et déclenche l'alimentation en polypropylène.

⇒ **LSH (High-Level Switch)**, situé en haut de la trémie, signale que le niveau est suffisant et arrête automatiquement l'alimentation.



Figure III- 3. Capteur capacitif de niveau de type SITRANS LC500 (Siemens) [21]

Le tableau suivant résume les caractéristiques des capteurs utilisés dans notre installation :

Désignation	Désignation	Echelle	Seuil haut	Seuil bas	Unité	sortie
Transmetteur de température	TT1	0-300	255	245	°C	4-20mA
	TT2	0-300	255	245		
	TT3	0-300	255	245		
	TT4	0-300	255	245		
Transmetteur de pression	PT1	0-10	8,5	7,5	Bars	4-20mA
Capteur de niveau haut	LSH	0-100	-	20	%	TOR
Capteur de niveau bas	LSL	0-100	100	-	%	TOR

Tableau III-1. Récapitulatif des organes de mesure du système

III.6. Actionneurs

III.6.1. Moteur de la vis

C'est un moteur à courant continu de puissance de 55kW .ce dernier est l'un des composants électriques les plus importants de l'extrudeuse mono vis. Le moteur est responsable de la conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique pour faire tourner la vis de l'extrudeuse, ce type de moteur est capable de fournir un couple élevé et régulier sur une large plage de vitesses, ce qui est essentiel pour le fonctionnement de l'extrudeuse.



Figure III- 4. Moteur d'entraînement d'une extrudeuse mono vis MTP/EX-TP-75.

III.6.2. moteur de compression

Le moteur de compression est situé à l'extrême de la tête d'extrusion, juste avant la sortie du produit extrudé. Son rôle principal consiste à appliquer une pression sur le matériau plastique pour le pousser à travers la filière, qui est la partie de la tête d'extrusion qui donne la forme finale au produit extrudé.



Figure III- 5. Le moteur de compression de l'extrudeuse mono vis (MTP/EX-TP-75).

III.6.3. Pompe à vide

Cette pompe est responsable de l'alimentation en matière première dans le cylindre de l'extrudeuse. Il s'assure que le matériau plastique est alimenté de manière précise et contrôlée dans le processus d'extrusion.



Figure III-7. Pompe à vide d'une extrudeuse mono vis MTP/EX-TP-75.

III.6.4. Sécheur

Le sécheur à trémie est un équipement thermique utilisé dans les procédés de transformation des polymères, notamment le polypropylène (PP), pour éliminer l'humidité résiduelle présente dans les granulés avant leur passage dans l'extrudeuse. Ce dispositif fonctionne souvent en boucle fermée avec contrôle de température automatisé via un automate programmable. Son intégration dans le système d'alimentation de l'extrudeuse permet d'assurer un flux constant de matière sèche, condition nécessaire à un fonctionnement optimal et régulier du processus d'extrusion.



Figure III-8. Sécheur de PP de l'extrudeuse MTP/EX-TP-75

III.6.5. Collier (Résistance) de chauffe

La résistance de chauffe de l'extrudeuse MTP/EX-TP-75 est généralement fabriquée en utilisant un fil résistif de haute qualité. Ce fil résistif est enroulé autour d'un noyau isolant en céramique pour assurer une isolation thermique efficace et une distribution uniforme de la chaleur.

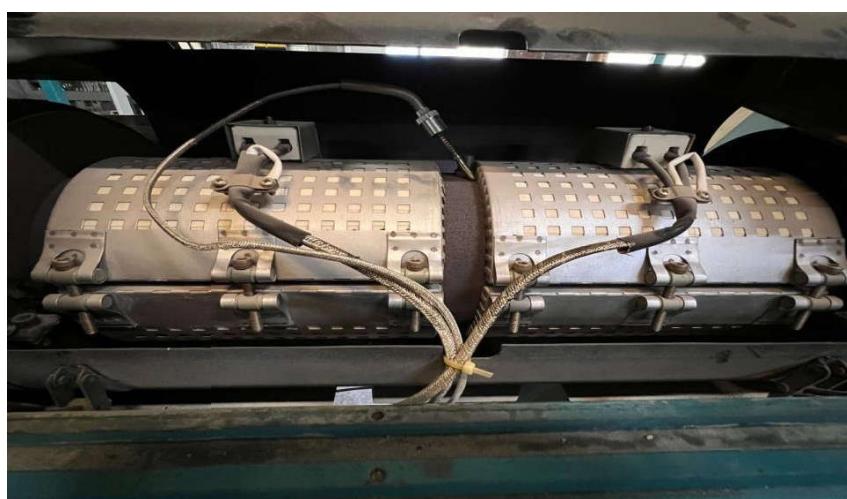


Figure III- 9. Collier (Résistance) de chauffe d'extrudeuse MTP/EX-TP-75

III.6.6. Variateur de fréquence

Un variateur de fréquence variable (VFD) constitue un type de contrôleur, qui entraîne un moteur électrique à travers la variation de la fréquence et de la tension de l'alimentation. Le VFD présente également la capacité de contrôler la rampe de

Chapitre 3: Analyse fonctionnelle et automatisation de l'extrudeuse mono vis

décélération et d'accélération du moteur à l'arrêt ou au démarrage respectivement. Même si le variateur contrôle la fréquence et la tension d'alimentation du moteur, on parle souvent de commande de vitesse, car il en résulte en ajustement de la vitesse du moteur. Pour choisir un VFD il est nécessaire que sa puissance corresponde à celle du moteur. [22] De multiple raisons expliquent notre désir d'ajuster la vitesse du moteur, et notamment :

- Economiser de l'énergie et améliorer le rendement des systèmes.
- Adapter la vitesse du moteur aux exigences de processus.

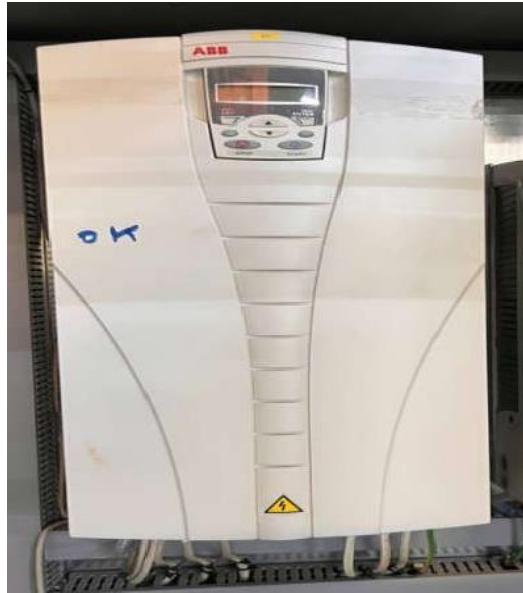


Figure III- 10. Variateur de fréquence

Les différents actionneurs utilisés dans ce système sont représentés dans ce tableau:

Désignation	Repère	Etats
<i>Moteur de la vis</i>	MV	Marche /arrêt
<i>Moteur compression</i>	MC	Marche /arrêt
<i>Pompe à vide</i>	P1	Marche /arrêt
<i>Sécheur</i>	Séch	Marche /arrêt
<i>Résistance de chauffe</i>	R1, R2, R3, R4	Marche /arrêt

Tableau III- 2. Différents actionneurs du système à automatiser

III.7. Cahier des charges

La mise en œuvre de ce projet permettra de structurer l'exploitation de l'extrudeuse MTP/EX-TP-75 autour d'un système de commande local, réactif, et adapté à nos besoins réels. Elle contribuera à l'amélioration continue du processus de production et à la montée en compétence de l'équipe de maintenance.

III.7.1. Conditions de démarrage de l'extrudeuse

Pour assurer un démarrage sûr et efficace de l'extrudeuse mono vis MTP/EX-TP-75, les conditions suivantes doivent être remplies :

- o Le capteur de niveau bas (LSL) est actif (trémie vide ou partiellement vide)
- o Aucun défaut détecté dans le système ($\text{Déf} = 0$)
- o L'arrêt d'urgence n'est pas enclenché (autorisation de fonctionnement valide)
- o Le système est en attente de cycle (prêt à démarrer automatiquement)

III.7.2. Mise en marche

Lorsque l'opérateur appuie sur le bouton poussoir de mise en marche, un cycle automatique est lancé pour assurer le fonctionnement progressif de l'extrudeuse mono vis MTP/EX-TP-75. Dans un premier temps, les quatre zones de chauffe s'activent simultanément à l'aide des résistances (colliers) **R1**, **R2**, **R3** et **R4**. La température de chaque zone est mesurée en continu par les thermocouples **TT1**, **TT2**, **TT3**, **TT4**. Dès que la température atteint la consigne de 250 °C, les résistances ne s'éteignent pas, mais restent actives de manière régulée afin de maintenir cette température tout au long du processus d'extrusion.

Une fois la température stabilisée, le moteur de compression **MC** entre en service. Il génère une pression croissante dans le fourreau, surveillée en temps réel par le capteur de pression **PT1**. Ce n'est qu'à partir du moment où la pression atteint 8 bars que la vis d'extrusion **MV** est autorisée à démarrer. Celle-ci se met alors à tourner à une vitesse de 120 tr/min, réglée via un variateur de fréquence **F**. La rotation dure 150 secondes et permet de purger la matière résiduelle présente dans la chambre de compression.

À la fin de cette phase de purge, la pompe à vide **PT1** est activée pour aspirer le polypropylène (PP) vers la trémie. L'aspiration se poursuit jusqu'à ce que le niveau haut soit détecté par le capteur de niveau **LTH**. En parallèle, le sécheur séch entre en fonctionnement afin d'éliminer l'humidité des granulés, assurant ainsi une matière première sèche et de qualité pour l'extrusion.

Le polypropylène sec est ensuite guidé par gravité vers la vis d'alimentation. Lorsque le niveau descend en dessous du seuil bas, également détecté par le capteur **LTL**, un nouveau cycle d'aspiration et de séchage est automatiquement enclenché, garantissant une alimentation continue du système sans intervention manuelle.

III.8. Logiciel de programmation

Un automate programmable lit des entrées, commande des sorties et résout une logique

Chapitre 3: Analyse fonctionnelle et automatisation de l'extrudeuse mono vis

basée sur un programme. La création d'un programme d'un automate zelio consiste à écrire une série d'instructions rédigées dans un des langages de programmation zelio.

III.8.1. Zelio soft

Le module Zelio Soft ou Logic trouve sa place partout où son intelligence pratique simplifie la vie. Dans les petits automatismes pour l'industrie et le résidentiel, l'électricien appréciera sa simplicité de mise en œuvre et sa facilité de programmation grâce à l'utilisation de symboles électriques, Ladder ou Zelio.

Zelio Logic combine dans un même boîtier des fonctions directement utilisables comme des temporisations, des compteurs, des horloges, des relais auxiliaires, combinables à volonté pour réaliser un petit automatisme simple. Grâce à son encombrement modulaire, il s'intègre parfaitement dans un coffret ou dans un tableau de distribution électrique et se programme directement à partir de son interface opérateur intégrée ou par un logiciel PC d'une extrême simplicité.

Le langage de programmation à contact permet de faire très simplement la relation entre le schéma électrique et l'automatisme à réaliser. Au-delà d'une application nécessitant deux ou trois temporisations, la solution Zelio Logic est performante en coût d'intégration et de mise en œuvre. Elle offre une solution économique, compacte, flexible et simple à installer, adaptée aux besoins. Il peut se trouver dans l'industrie (machines de contrôle de fin de chaîne, petites machines de conditionnement, d'emballage, machines automatiques) ou dans des installations du bâtiment (gestion de l'éclairage, ventilation, démarrage de moteurs en cascade, compresseurs, petits systèmes de manutention).

Cette solution apporte un confort supplémentaire dans le réglage des différents paramètres utilisés : réglages des temporisations par saisie numérique, verrouillages de certains réglages par l'installateur, affichage de messages de défauts sur l'interface du Zelio Logic en fonction de l'état de fonctionnement du système par exemple. [19]

III.8.2. Programmation sur logiciel Zelio Soft 2

Zelio Soft 2 est un logiciel de programmation de type ladder destiné à la programmation des API de marque Schneider que nous allons utiliser dans la réalisation de notre projet.

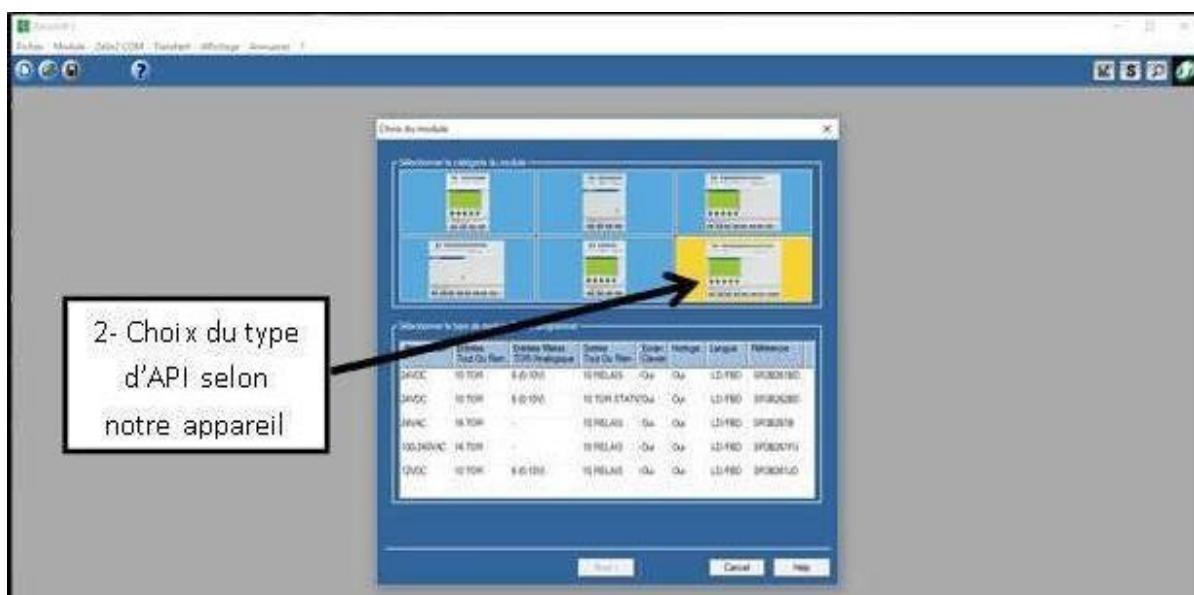
L'écriture d'un programme sur logiciel Zelio Soft 2 consiste à suivre les étapes suivantes :

Etape 1 : Ouvrir le logiciel de programmation Zelio Soft 2 et créer un nouveau fichier de programmation.

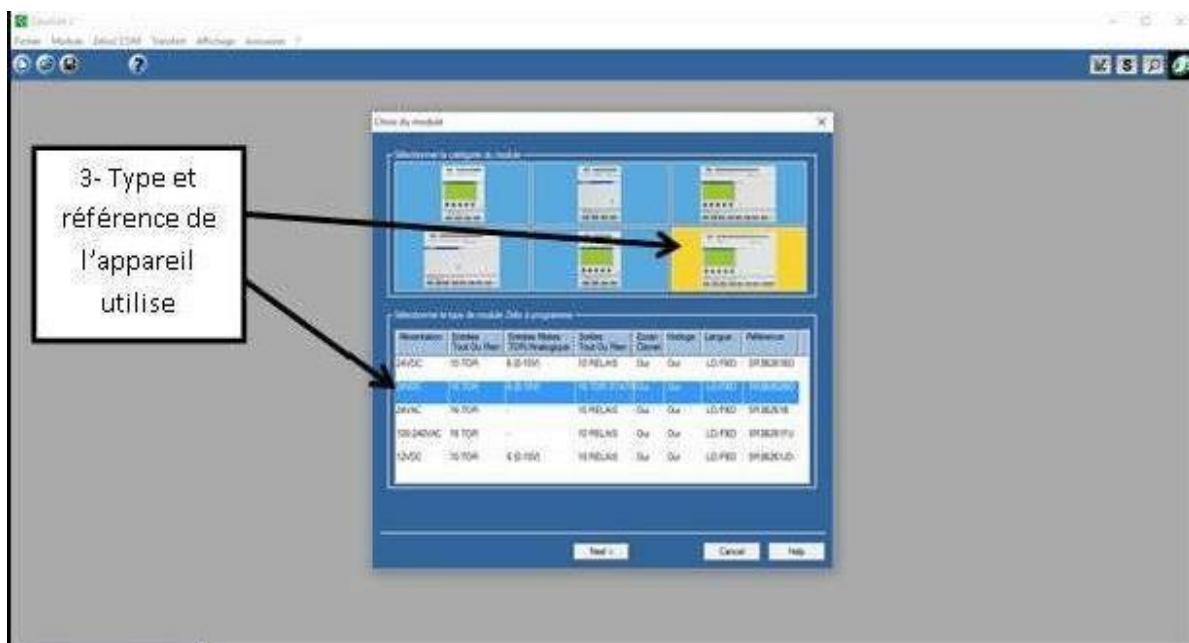
Chapitre 3: Analyse fonctionnelle et automatisation de l'extrudeuse mono vis



Etape 2 : choisir la catégorie d'automate parmi les catégories disponibles.

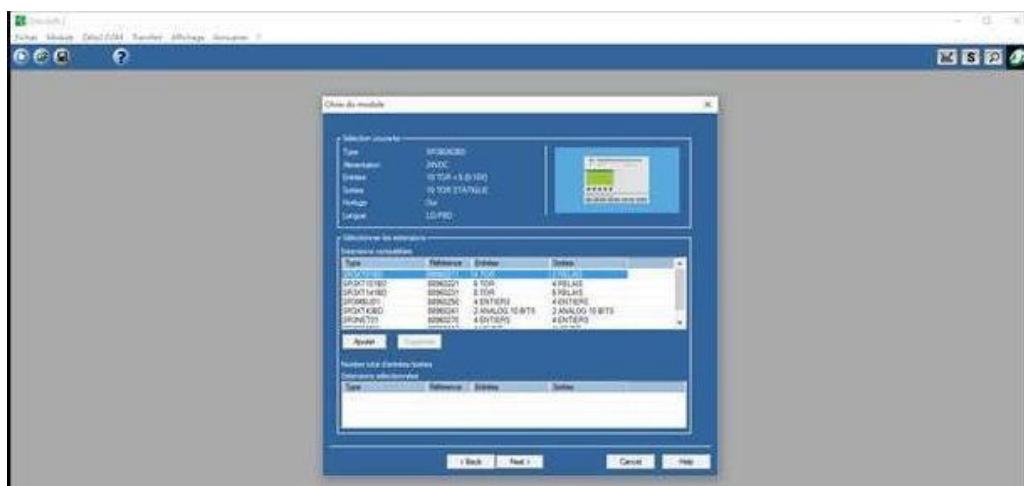


Etape 3 : sélectionner le type d'automate à programmer, puis appuyer sur la touche Next

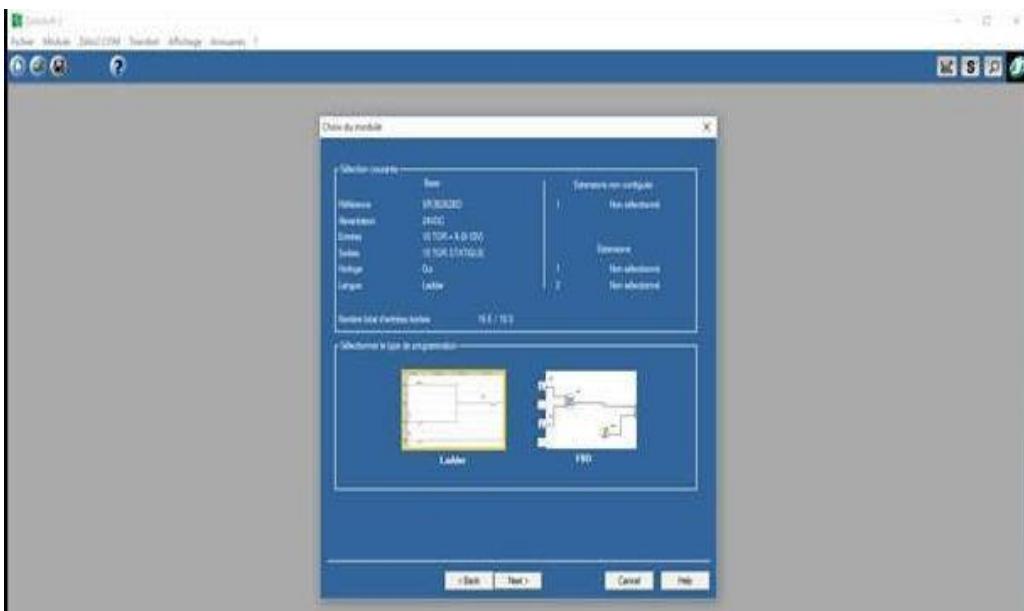


Chapitre 3: Analyse fonctionnelle et automatisation de l'extrudeuse mono vis

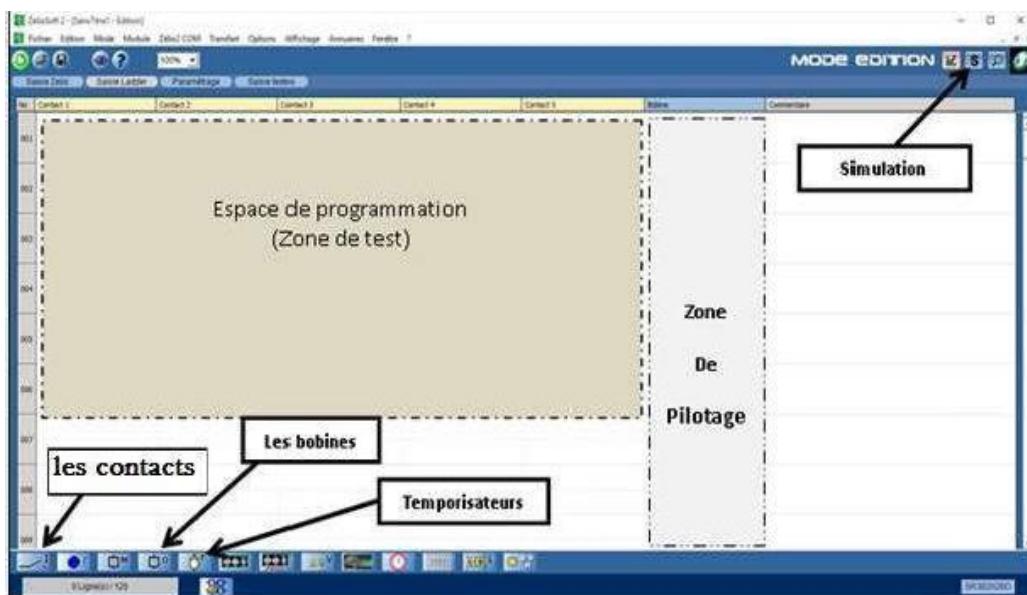
Etape 4 : facultative, pour ajouter un autre module si la capacité (nombre d'entrées sorties) de l'API choisi est insuffisante.



Etape 5 : choisir le langage de programmation Ladder ou FBD.



Une page d'édition de programme Ladder est affichée.



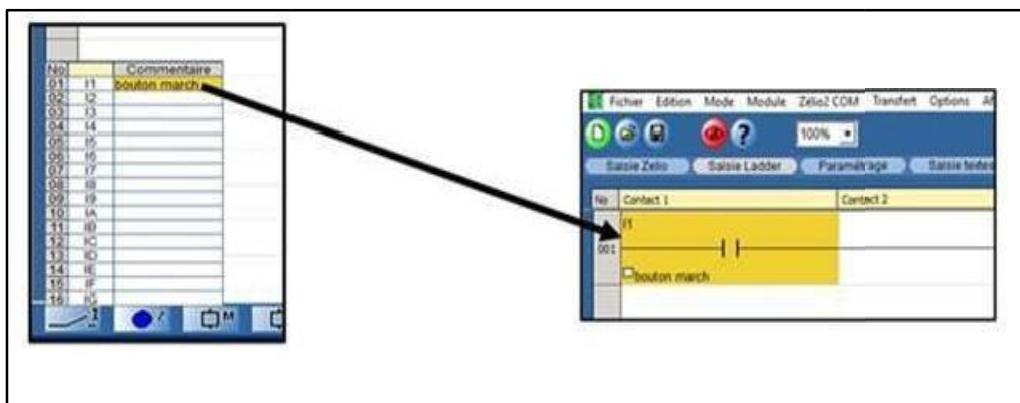
Chapitre 3: Analyse fonctionnelle et automatisation de l'extrudeuse mono vis

Etape 6: écrire le programme en langage Ladder.

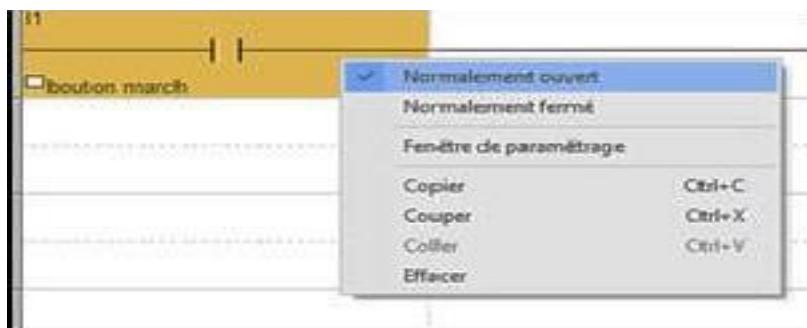
Exemple : marche et arrêt d'un moteur.

Pour ajouter un contact de marche (entrée):

- ⇒ Cliquer sur le bouton I et choisir un contact.
- ⇒ Faire glisser le contact choisi dans la zone de test à l'endroit désiré.



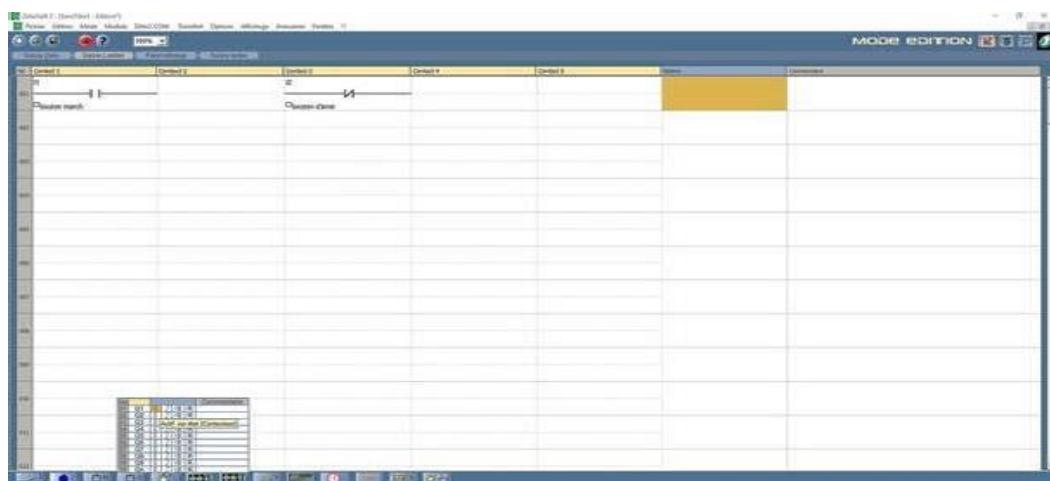
- ⇒ Cliquer, par le bouton droit de la souris, sur le contact choisi, pour déterminer l'état fermé ou ouvert du contact au repos, l'état de contact par défaut est ouvert.



De la même façon, on ajoute un contact fermé pour l'arrêt.

Ajouter une bobine (sortie) :

- ⇒ Cliquer sur le bouton Q,
- ⇒ Glisser la bobine choisie dans zone de pilotage.



Chapitre 3: Analyse fonctionnelle et automatisation de l'extrudeuse mono vis

- ⇒ Ajouter un contact de maintien, ouvert au repos, en parallèle avec le contact de marche.
- ⇒ Réaliser les liaisons électriques en cliquant sur les tronçons pour relier les différents éléments entre eux. On obtient le schéma Ladder de la figure suivante.



Etape 7 : Simulation

⇒ Pour passer en mode simulation, appuyer sur le bouton S.



⇒ Pour passer en mode run, appuyer sur le bouton Run



Cliquer sur le contact de marche pour alimenter la bobine. Le contact de maintien se ferme et la bobine reste alimentée.

Pour arrêter le moteur, cliquer sur le contact d'arrêt.



Etape 8: Transfert du programme dans le module

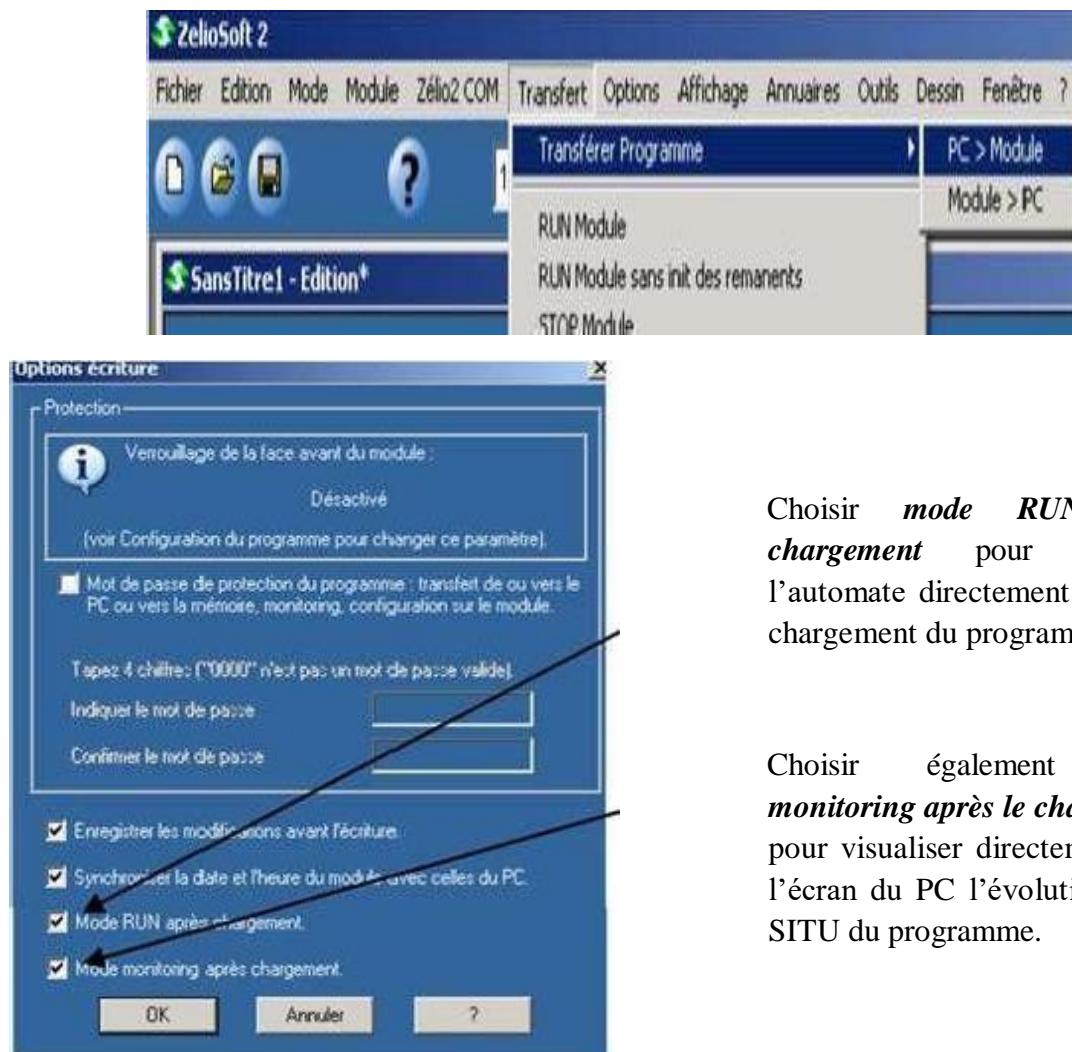
On ne peut transférer le programme que si l'on est dans le mode édition.



⇒ En mode édition, appuyer sur le bouton édition :

La page suivante est affichée. Appuyer sur le bouton transfert. Choisir l'option transférer programme. Puis choisir l'alternative PC/ Module.

⇒ Cliquer sur la touche OK.



Choisir **mode RUN après chargement** pour démarrer l'automate directement après le chargement du programme dans

Choisir également **Mode monitoring après le chargement** pour visualiser directement sur l'écran du PC l'évolution IN SITU du programme.

III.8.3. Grafset

La figure ci-dessous représente le GRAFCET de bon fonctionnement de l'extrudeuse mono vis MTP/EX-75. Ce diagramme a été élaboré sur la base du cahier des charges fonctionnelles que nous avons défini. Il a été modélisé à l'aide du logiciel Automgen, dans le but de représenter de manière claire et structurée le déroulement logique du processus de mise en marche et de fonctionnement normal de la machine.

Chapitre 3: Analyse fonctionnelle et automatisation de l'extrudeuse mono vis

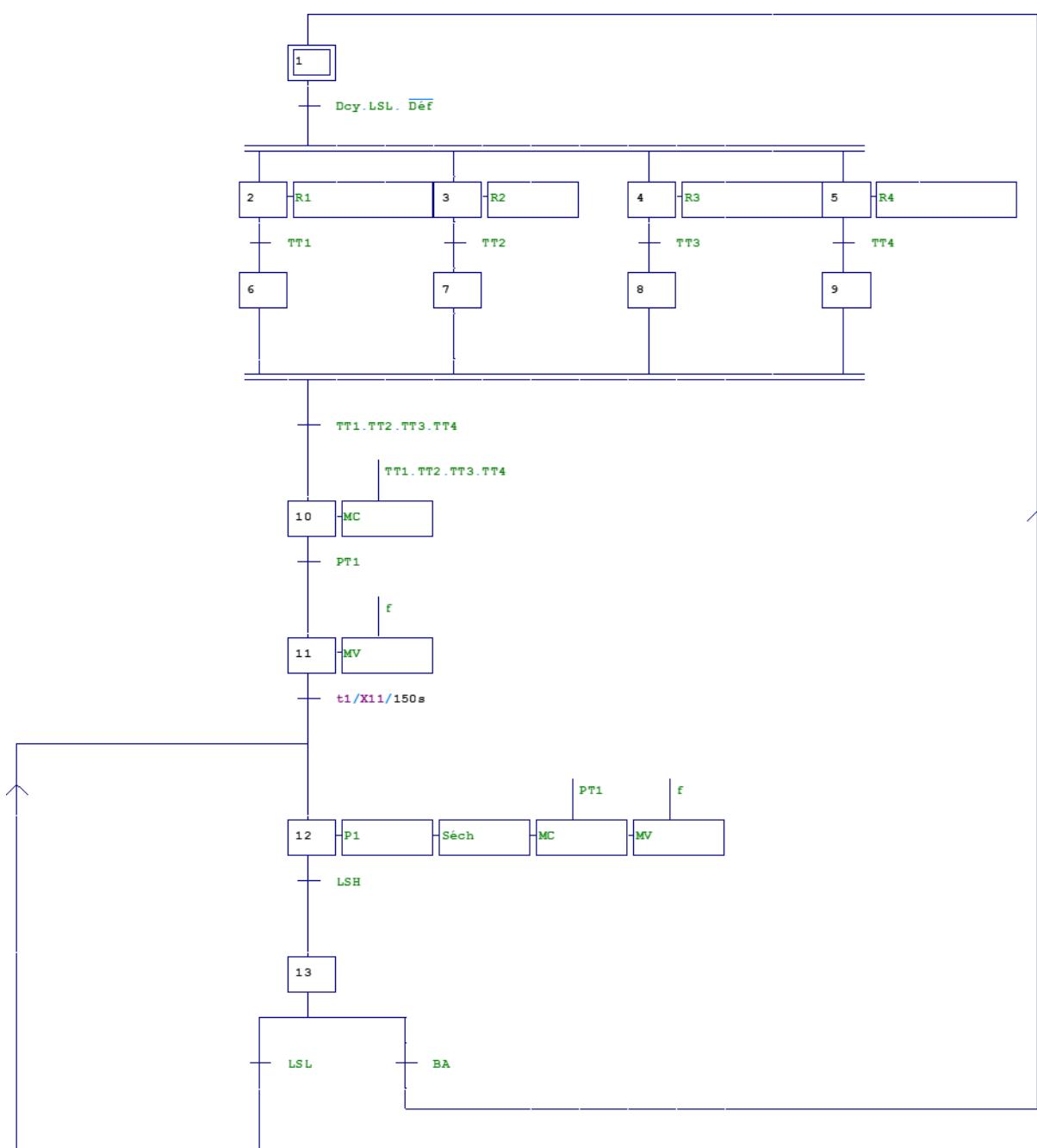


Figure III- 11. Grafcet du bon fonctionnement du système

Chapitre 3: Analyse fonctionnelle et automatisation de l'extrudeuse mono vis

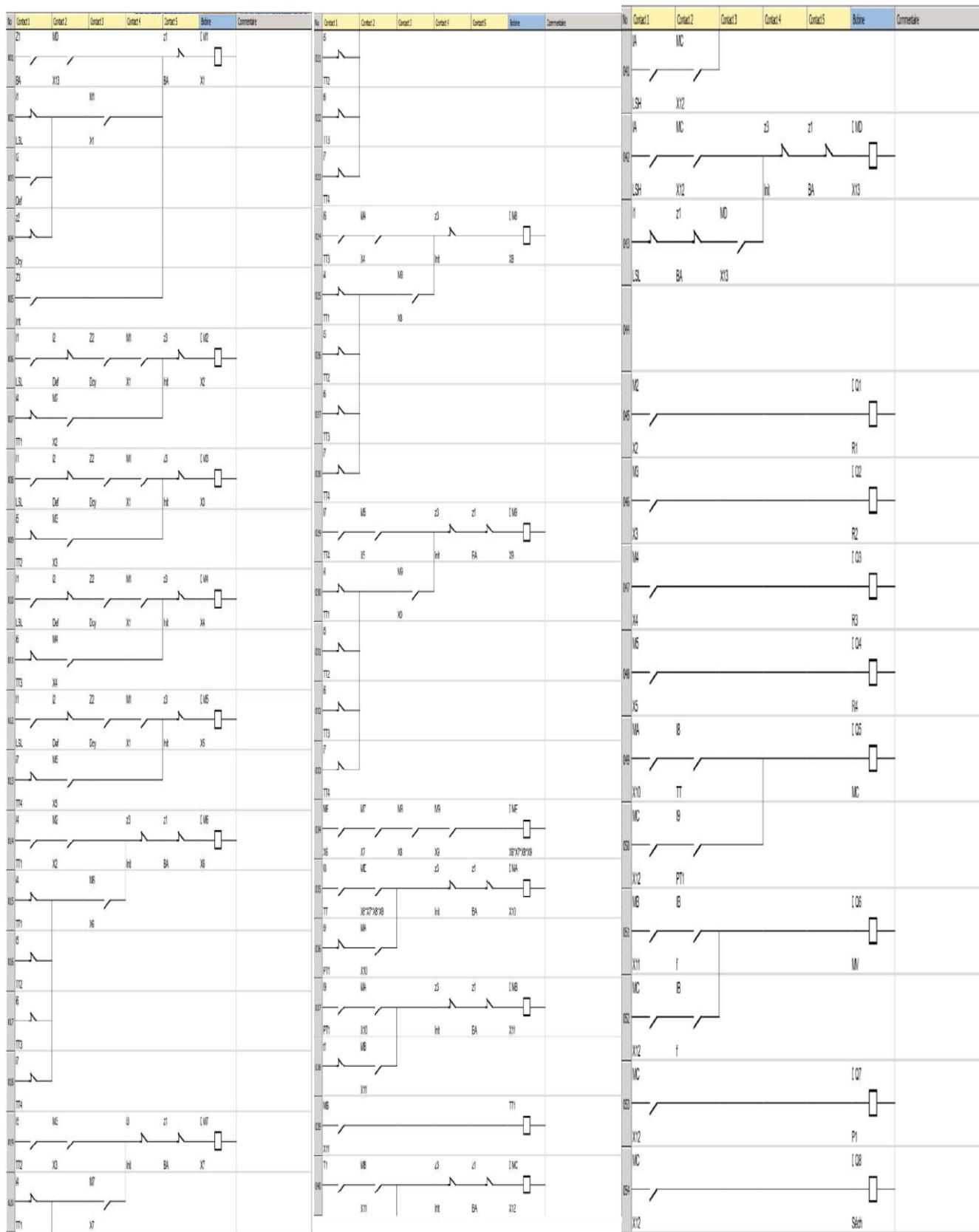


Figure III- 12. Programme Ladder du système étudié

Chapitre 3: Analyse fonctionnelle et automatisation de l'extrudeuse mono vis

Les tableaux suivants représentent les entrées et sorties utilisés dans notre programme

No	Symbole	Fonction	Verrou	Paramètres	Localisation (L/C)	Commentaire
I1		Entrées TOR	---	Pas de paramètres	(2/1)(6/1)(8/1) (10/1)(12/1)(43/1)	LSL
I2		Entrées TOR	---	Pas de paramètres	(3/1)(6/2)(8/2) (10/2)(12/2)	Def
I3		Entrées TOR	---	Pas de paramètres	(19/4)	Init
I4		Entrées TOR	---	Pas de paramètres	(7/1)(14/1)(15/1) (20/1)(25/1)(30/1)	TT1
I5		Entrées TOR	---	Pas de paramètres	(9/1)(16/1)(19/1) (21/1)(26/1)(31/1)	TT2
I6		Entrées TOR	---	Pas de paramètres	(11/1)(17/1)(22/1) (24/1)(27/1)(32/1)	TT3
I7		Entrées TOR	---	Pas de paramètres	(13/1)(18/1)(23/1) (28/1)(29/1)(33/1)	TT4
I8		Entrées TOR	---	Pas de paramètres	(35/1)(49/2)	TT
I9		Entrées TOR	---	Pas de paramètres	(36/1)(37/1)(50/2)	PT1
IA		Entrées TOR	---	Pas de paramètres	(41/1)(42/1)	LSH
IB		Entrées TOR	---	Pas de paramètres	(51/2)(52/2)	f

No	Symbol	Fonction	Rémanence	Localisation (L/C)	Commentaire
Q1		Sorties TOR	Non	(45/6)	R1
Q2		Sorties TOR	Non	(46/6)	R2
Q3		Sorties TOR	Non	(47/6)	R3
Q4		Sorties TOR	Non	(48/6)	R4
Q5		Sorties TOR	Non	(49/6)	MC
Q6		Sorties TOR	Non	(51/6)	MV
Q7		Sorties TOR	Non	(53/6)	P1
Q8		Sorties TOR	Non	(54/6)	Séch

Tableau III- 3. Récapitulatif des entrées et sorties utilisées dans le programme

No	Symbol	Fonction	Localisation (L/C)	Commentaire
Z1		Touches Zx	(1/1)(1/5)(14/5) (19/5)(29/5)(35/5) (37/5)(40/5)(42/5) (43/2)	BA
Z2		Touches Zx	(4/1)(6/3)(8/3) (10/3)(12/3)	Dcy
Z3		Touches Zx	(5/1)(6/5)(8/5) (10/5)(12/5)(14/4) (24/4)(29/4)(35/4) (37/4)(40/4)(42/4)	Init

Tableau III- 4. Récapitulatif des boutons (Arrêt, départ cycle et Initialisation)

Chapitre 3: Analyse fonctionnelle et automatisation de l'extrudeuse mono vis

Le tableau suivant représente les données des relais auxiliaires et temporisation

No	Symbole	Fonction	V _{rrou}	Rémanence	Paramètres	Localisation (L/C)	Commentaire
M1		Relais auxiliaires	---	Non	Pas de paramètres	(1/6) (2/3) (6/4) (8/4) (10/4) (12/4)	X1
M2		Relais auxiliaires	---	Non	Pas de paramètres	(6/6) (7/2) (14/2) (45/1)	X2
M3		Relais auxiliaires	---	Non	Pas de paramètres	(8/6) (9/2) (19/2) (46/1)	X3
M4		Relais auxiliaires	---	Non	Pas de paramètres	(10/6) (11/2) (24/2) (47/1)	X4
M5		Relais auxiliaires	---	Non	Pas de paramètres	(12/6) (13/2) (29/2) (48/1)	X5
M6		Relais auxiliaires	---	Non	Pas de paramètres	(14/6) (15/3) (34/1)	X6
M7		Relais auxiliaires	---	Non	Pas de paramètres	(19/6) (20/3) (34/2)	X7
M8		Relais auxiliaires	---	Non	Pas de paramètres	(24/6) (25/3) (34/3)	X8
M9		Relais auxiliaires	---	Non	Pas de paramètres	(29/6) (30/3) (34/4)	X9
MA		Relais auxiliaires	---	Non	Pas de paramètres	(35/6) (36/2) (37/2) (49/1)	X10
MB		Relais auxiliaires	---	Non	Pas de paramètres	(37/6) (38/2) (39/1) (40/2) (51/1)	X11
MC		Relais auxiliaires	---	Non	Pas de paramètres	(40/6) (41/2) (42/2) (50/1) (52/1) (53/1) (54/1)	X12
MD		Relais auxiliaires	---	Non	Pas de paramètres	(1/2) (42/6) (43/3)	X13
ME		Relais auxiliaires	---	Non	Pas de paramètres	(34/6) (35/2)	X6*X7*X8*X9
T1		Temporiseurs	Non	Non	Voir détails plus loin	(38/1) (39/6) (40/1)	

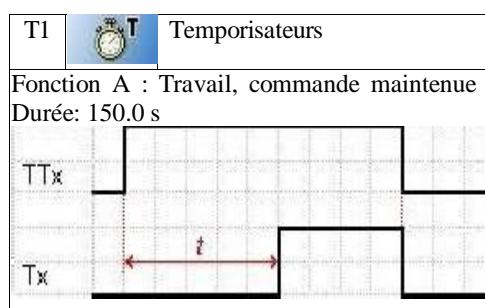


Tableau III- 5. Récapitulatif des données des relais auxiliaires et temporisation

Conclusion

Dans ce troisième chapitre, nous avons apporté une réponse concrète à la problématique initiale posée par l'absence de cahier des charges fonctionnel pour l'extrudeuse monovis MTP/EX-TP-75. En nous appuyant sur une analyse détaillée du processus de fonctionnement de la machine, nous avons pu formaliser les étapes clés de son cycle de production, de la phase de préchauffe jusqu'à la stabilisation du cycle d'extrusion.

Chapitre 3: Analyse fonctionnelle et automatisation de l'extrudeuse mono vis

La conception d'un cahier des charges fonctionnel interne a permis de structurer les conditions de démarrage, les séquences de fonctionnement, ainsi que les interactions entre les différents sous-systèmes (chauffe, vis, compression, alimentation en matière). À partir de cette base, nous avons élaboré un GRAFCET de bon fonctionnement rigoureux, intégrant des séquences séquentielles et parallèles, des étapes de divergence et de convergence, et tenant compte des divers capteurs et actionneurs présents dans le système. Ce GRAFCET a ensuite été simulé avec succès dans l'environnement Zelio Soft 2, en utilisant un automate Zelio Logic, validant ainsi la faisabilité de la commande automatique proposée. Cette simulation a non seulement permis de vérifier le bon enchaînement logique des étapes, mais aussi d'anticiper les éventuels blocages ou défauts de synchronisation.

Ainsi, ce travail renforce l'autonomie de l'équipe de maintenance, améliore la compréhension du processus global et jette les bases d'une transition vers une automatisation locale, indépendante du constructeur étranger.

Comme perspective à ce travail, nous souhaitons tester notre programme sur le système réel disponible au niveau de TDA et élaborer une gestion des défauts et des arrêts non planifiés à travers un GRAFCET complémentaire dédié à la sécurité et à la maintenance prédictive.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion générale

Le présent mémoire a permis d'aborder, dans une perspective académique et pratique, les problématiques liées à l'exploitation et à la maintenance d'une extrudeuse mono vis au sein d'un complexe industriel, ainsi que la mise en place d'une automatisation locale. L'analyse s'est déployée en trois temps :

Description de l'extrudeuse et du procédé d'extrusion : le premier chapitre a fourni un état de l'art complet sur l'extrusion (définitions, techniques, matières extrudées) et sur les types d'extrudeuses, avant de se focaliser sur l'extrudeuse MTP/EX-TP-75. L'étude des organes (vis, fourreau, thermocouples, résistances, etc.) et de la chaîne de production de la corde en PP a établi les bases techniques indispensables à toute intervention ultérieure.

Cadre conceptuel de la maintenance : le deuxième chapitre a posé les fondements théoriques et méthodologiques de la maintenance industrielle appliquée à l'extrudeuse mono vis. La distinction entre maintenance corrective, préventive et prédictive. L'introduction d'indicateurs clés de performance a mis en lumière les leviers d'amélioration pour atteindre un niveau de fiabilité optimal.

Cahier des charges fonctionnel et automatisation Zelio Logic : enfin, le troisième chapitre a traité la problématique centrale : l'absence de cahier des charges fonctionnel du constructeur. Un cahier des charges local a été rédigé, définissant les conditions de démarrage, les paramètres critiques (températures, pressions, niveaux), et les exigences de sécurité. Les capteurs (thermocouples, capteurs de pression et de niveau) et actionneurs (moteurs, résistances, pompe à vide, sécheur) ont été sélectionnés et positionnés. Deux GRAFCETs (cycle normal et gestion des défauts) ont été modélisés dans Automgen, puis traduits en équations Ladder dans Zelio Soft 2 pour programmer l'automate Zelio Logic. Cette implémentation a créé un système de commande local, réactif et documenté, permettant de réduire significativement les délais d'intervention, de limiter les arrêts non planifiés et d'accroître l'autonomie de l'équipe de maintenance.

Au terme de ce travail, plusieurs apports majeurs se dégagent :

Documentation fonctionnelle complète : la rédaction d'un cahier des charges interne et la modélisation GRAFCET garantissent une compréhension partagée du système d'extrusion et des procédures associées.

Amélioration de la disponibilité : la mise en place d'un plan de maintenance basé sur l'AMDEC et la gestion ABC, associée au contrôle automatisé, a pour objectif d'atteindre un taux de disponibilité supérieur à 95 % et de réduire la part de maintenance corrective.

Renforcement de l'autonomie : l'équipe de maintenance dispose désormais des outils et des références pour diagnostiquer, intervenir et faire évoluer le système sans recourir systématiquement au constructeur étranger.

Conclusion Générale

Potentiel d'évolution : la structure mise en place (cahier des charges, GRAFCETs, programme Zelio) constitue une base évolutive vers l'intégration d'une interface HMI plus poussée ou d'une supervision à distance pour de la maintenance prédictive à long terme. En conclusion, cette démarche a permis de transformer une faiblesse initiale (absence de documentation) en une opportunité d'amélioration continue. La solution proposée combine une approche technique rigoureuse, une stratégie de maintenance proactive et une automatisation locale robuste. Elle offre ainsi au Complexe Bejaïa Emballage une meilleure maîtrise de son procédé d'extrusion, une réduction des coûts liés aux arrêts de production, et une plus grande autonomie opérationnelle. Des perspectives d'avenir incluent l'ajout d'algorithmes de maintenance prédictive basés sur l'analyse des données en temps réel, l'intégration d'un système HMI pour l'opérateur, et l'évolution vers un réseau OPC UA pour une supervision globale de l'atelier.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Ouzzane, R., Maouche, H., & Hamri, O. (2016). Étude et conception d'une extrudeuse monovis pour thermoplastiques [Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira – Béjaïa]. DSpace Université de Béjaïa.
- [2] Boubekeur, B. (2014). Étude des procédés d'extrusion des thermoplastiques [Mémoire de Master, École Nationale Polytechnique d'Alger].
- [3] Bouasla, A. (2017). Pastification sans gluten par cuisson-extrusion : optimisation des paramètres de procédé et caractérisation des produits [Thèse de Doctorat, Université Frères Mentouri – Constantine 1]
- [4] Bennabi, A., & Gharslia, H. (2022). Étude de la maintenance d'une extrudeuse de polyéthylène [Mémoire de Master, Université de Ghardaïa].
- [5] Voisin, I. (1993). Influence de divers ingrédients alimentaires sur le procédé de cuisson-extrusion et sur la qualité des extrudats obtenus [Thèse de doctorat, Université de Technologie de Compiègne].
- [6] Bouzaza, D. (1996). Observation expérimentale et modélisation de l'expansion en sortie de filière en extrusion-cuisson [Thèse de doctorat, Université de Technologie de Compiègne].
- [7] Ouzzane, R., Maouche, H., & Hamri, O. (2016). Étude et conception d'une extrudeuse monovis pour thermoplastiques [Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira – Béjaïa].
- [8] Boubekeur, B. (2014). Étude des procédés d'extrusion des thermoplastiques [Mémoire de Master, École Nationale Polytechnique d'Alger].
- [9] Bennabi, A., & Gharslia, H. (2022). Étude de la maintenance d'une extrudeuse de polyéthylène [Mémoire de Master, Université de Ghardaïa].
- [10] Berrichi. A, Thèse de doctorat « La gestion à deux niveaux avec optimisation de la production et de la maintenance sous diverses contraintes : cas mono et multicritère », l'université Mohamed Bouguara de Boumerdès (UMBB), Algérie, 2009
- [11] Mahfoud Brahim,Mémoire de fin d'étude « Analyse De La Fonction Maintenance A L'uniteTss – Sider Annaba » ,Universite Badji Mokhtar Annaba, 2017
- [12] Jérémy Llaurens , thèse de doctorat « Mise en place d'un plan de maintenance préventive sur un site de production pharmaceutique » , Université Joseph Fourier , 2011
- [13] MeraghniSafa, thèse de doctorat « La maintenance prédictive dans les usines intelligentes » Université Mohamed Khider Biskra ,2021
- [14] Mohamed SOUSSAN & Tarik DIB, mémoire de MASTER : « Etude critique et propositions d'amélioration de la gestion de la maintenance », Année 2012

Références bibliographiques

- [15] A. Kabouche, " Contribution à l'optimisation de la maintenance dans un contexte distribué" Thèse de doctorat de l'université de Grenoble, France, 2011.
- [16] D.Halimi, " Contribution à l'amélioration de la maintenance préventive des machines dynamiques dans l'industrie des hydrocarbures " Thèse de Doctorat universite m'hamed bougara-boumerdes , algerie, 2014.
- [17] M. Benali Madjid et M. Hassad Djamal ,Mémoire de fin d'étude « Conception d'un logiciel de GMAO »Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou ,2022
- [18] M. Demers, " developpement d'une methodologie d'optimisation de la maintenance par la fiabilite pour les systemes complexes: application a un groupe electrogene diesel de secours ", Thèse de Magister universite m'hamed bougara boumerdes , algerie, 2011.
- [19] Djettou, Z. (2018). Automatisation d'une installation d'alimentation en continu à l'aide d'un automate Zelio Logic et du logiciel Zelio Soft 2 [Mémoire de Licence, Université Mouloud Mammeri – Tizi Ouzou]. Département de Génie Électrique.
- [20] https://shop.wika.com/en-en/a_10.WIKA (Consulté mai 2025).
- [21] IEMENS AG. *SITRANS LC500 – Operating Instructions / Manuel d'instructions*, Rév. FI 01, 2010. Siemens Industry Sector. Disponible sur support technique Siemens (consulté juin 2025).
- [22] KHAZRI, Ghazi. *Étude et réalisation d'un variateur de vitesse d'un moteur asynchrone triphasé*. Projet de Fin d'Études, Institut Supérieur des Études Technologiques de Nab

Résumé du PFE

Résumé en français

Ce projet de fin d'études s'inscrit dans le cadre de l'amélioration de la performance d'une extrudeuse monovis MTP/EX-TP-75 utilisée dans la fabrication de cordes en polypropylène au sein du complexe Bejaïa Emballage. L'un des problèmes majeurs identifiés est l'absence de cahier des charges fonctionnel fourni par le constructeur, ce qui complique la maintenance, allonge les délais de réparation et crée une dépendance envers le fournisseur étranger.

Le travail est structuré en trois parties :

- Une étude descriptive du procédé d'extrusion et des composants de l'extrudeuse.
- Une analyse des concepts de maintenance industrielle appliqués à l'extrudeuse, incluant la maintenance préventive, corrective, l'AMDEC et la gestion de stock.
- Une modélisation fonctionnelle de la machine via GRAFCET, suivie de sa programmation en langage Ladder avec un automate Zelio Logic via Zelio Soft 2.

L'objectif principal est de renforcer l'autonomie de l'équipe de maintenance, de réduire les arrêts non planifiés et de mettre en place une commande locale fiable et documentée. Ce travail ouvre également des perspectives pour l'intégration future d'IHM et la supervision à distance.

Abstract in English

This final year project focuses on improving the performance and autonomy of the MTP/EX-TP-75 single-screw extruder used for polypropylene rope manufacturing at the Bejaïa Emballage plant. A key issue identified is the lack of a functional specification document, which hampers maintenance efforts and increases reliance on the foreign supplier.

The work is divided into three parts:

- A technical study of the extrusion process and extruder components.
- An analysis of industrial maintenance strategies applied to the extruder, including preventive and corrective maintenance, FMEA (AMDEC), and spare parts stock management.
- A functional modeling using GRAFCET, followed by Ladder programming with a Zelio Logic PLC via Zelio Soft 2.

The main objective is to reduce downtime, increase maintenance autonomy, and

implement a reliable, documented local control system. This work also opens future prospects for the integration of HMIs and remote monitoring solutions.

العربية باللغة الملخص

إنتاج في المستخدمة 75 MTP/EX-TP الوارد اللولب ذات البثق آلة أداء تحسين إلى النهائي المشروع هذا يهدف دفتر غياب هي رصدها تم التي المشاكل أبرز من التغليف بجاية مركب داخل بروبيلين البولي مادة من المجال الأجنبي المزود على الاعتماد من ويزيد الصيانة عمليات يُعدّ مما المصنوع، طرف من الوظيفي الشروط.

رئيسية محاور ثلاثة من العمل يتكون:

البثق آلة ومكونات البثق لعملية تقنية دراسة -.

وطريقة والتصحيحية، الوقائية الصيانة ذلك في بما الآلة، على المطبقة الصناعية الصيانة مفاهيم تحليلاً -.

الغيار قطع مخزون وإدارة، AMDEC.

لبرمجة قابل آلي بواسطة (Ladder) السلمية اللغة ببرمجة تلتها ، GRAFCET باستخدام للآلة وظيفية نمنجة -.

Zelio Logic وبرنامج Zelio Soft 2.

محلي تحكم نظام وتنفيذ الصيانة، فريق استقلالية تعزيز المخططة، غير التوقفات تقليل هو المشروع هذا من الهدف بعد عن والمراقبة HMI واجهات دمج مثل مستقبلية، آفاق المشروع يقترح كما وموثق