

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

جامعة عين تموشنت - بلحاج بوشعيب
Université de Ain Témouchent - BELHADJ Bouchaib
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Electronique et des Télécommunications



Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

Domaine : Sciences & Technologies

Filière : Electronique

Spécialité : Instrumentation

Thème

**Etude du fonctionnement des machines de
production du tube PEHD de la société ITP d'Oran**

Présenté par : Mlle BENADDA Wafaa Kheira

Mr HADJ KADDOUR Yacine

Soutenu en Juin 2025 devant le Jury :

Dr BOUKHOBZA Abdelkader	M.C.A	U.A.T	Président
Dr BADIR BENKRELIFA Lahouaria	M.C.B	U.A.T	Examinatrice
Dr ZEBENTOUT Abdel-Djawad	M.C.A	U.A.T	Encadrant

Année Universitaire 2024/2025

Dédicaces

À Dieu Tout-Puissant,

Source de toute sagesse, de toute force et de toute patience.

C'est par Sa volonté, Sa guidance et Sa miséricorde que j'ai pu mener à bien ce travail. Qu'Il soit loué pour toutes les bénédictions qu'Il m'a accordées.

À mes chers parents,

Pour leur amour inconditionnel, leur patience, leurs sacrifices silencieux et leur soutien constant, moral et financier.

Vous êtes ma source d'inspiration et ma plus grande fierté.

Je vous dédie ce travail avec tout mon amour, mon respect et ma profonde reconnaissance.

À mes frères et sœur,

Pour leur soutien discret, leurs encouragements et leur présence réconfortante à chaque étape de mon parcours.

À mes amis proches,

Pour leur amitié sincère, leur écoute, leur soutien indéfectible dans les moments de doute, et les souvenirs inoubliables partagés.

Merci pour votre énergie, votre humour et votre motivation qui m'ont accompagné tout au long de cette aventure.

À toutes les personnes,

enseignants, camarades, personnels administratifs, qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ce projet.

Recevez ici l'expression de ma sincère gratitude.

Wafaa

Dédicaces

à Dieu Tout-Puissant,

Qui m'a offert la force, la patience et la persévérance nécessaires pour franchir chaque étape de ce parcours.

Sans Sa lumière et Sa guidance, rien n'aurait été possible.

À mes parents bien-aimés,

Pour leur amour infini, leur soutien sans faille, leurs sacrifices silencieux et leur confiance en moi, même dans les moments les plus difficiles.

Ce travail est le fruit de votre dévouement et de vos prières.

À ma famille,

Frères, sœurs, oncles, tantes... Merci pour votre présence, vos encouragements et votre chaleur humaine tout au long de cette aventure.

À mes amis les plus proches,

Pour les éclats de rire, les nuits de révision, les conseils sincères et le soutien moral dans les moments de doute. Vous avez été des piliers précieux.

À mon tuteur industriel,

Pour sa disponibilité, sa pédagogie et la richesse de son accompagnement sur le terrain.

Enfin, à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire. Que cette dédicace vous exprime toute ma reconnaissance.

Yacine

Remerciements

Avant toute chose, nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance envers **Dieu Tout-Puissant**, qui nous a accordé la santé, la force, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien cette formation et accomplir ce mémoire dans les meilleures conditions.

Nous souhaitons ensuite exprimer notre **reconnaissance infinie à nos chers parents**, pour leur amour inconditionnel, leurs encouragements constants et leur soutien moral, affectif et financier sans faille tout au long de nos études. Leur confiance et leur présence nous ont toujours poussé à donner le meilleur de moi-même. À eux, nous dédions ce travail avec tout notre amour et notre gratitude.

Nous exprimons notre profonde reconnaissance aux membres du jury, Dr A. BOUKHOBZA et Dr B. BADIR maîtres de conférences au département d'Electronique qui nous ont fait l'honneur d'évaluer et d'examiner notre mémoire.

Ce travail n'aurait pas pu voir le jour sans le soutien, l'encadrement et la confiance de nombreuses personnes, à qui nous souhaitons ici témoigner notre reconnaissance.

Nous tenons tout particulièrement à remercier Dr A. ZEBENTOUT, notre encadrant, pour la qualité de son suivi, sa disponibilité constante malgré ses nombreuses responsabilités, ses conseils méthodiques, ses remarques pertinentes et sa rigueur scientifique, qui m'ont permis d'avancer sereinement dans notre travail. Son soutien a été pour nous une source d'encouragement et de motivation.

Nos remerciements s'adressent aussi à l'ensemble des ingénieurs, techniciens, opérateurs et responsables de l'**usine ITP Oran**, pour leur disponibilité, leur accueil chaleureux et leur collaboration tout au long de mon stage. Grâce à leurs explications et à leur encadrement, nous avons pu découvrir le monde industriel de manière concrète et approfondir nos connaissances sur le procédé d'extrusion du PEHD.

Nous remercions très sincèrement nos enseignants et l'ensemble du corps professoral de l'**université de Ain Témouchent**, pour les connaissances qu'ils nous transmises tout au long de notre parcours académique, ainsi que pour leur engagement dans la réussite de leurs étudiants.

A tous nos **amis et camarades de promotion**, pour les moments partagés, les échanges enrichissants et l'ambiance de solidarité qui nous ont portés tout au long de ces années d'études.

Enfin, nous remercions toute personne ayant, d'une manière ou d'une autre, contribué à la réalisation de ce travail, et à qui on n'a pas pu adresser ces mots personnellement. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre sincère reconnaissance.

TABLE DES MATIERES

Dédicaces	
Dédicaces	
Remerciements	
TABLE DES MATIERES	i
LISTE DES FIGURES.....	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
Introduction Générale.....	1

Chapitre I

Description de l'Usine ITP d'Oran

I.1. Introduction	4
I.2. Présentation Générale.....	4
I.3. Infrastructure de l'Usine.....	5
I.4. Organisation des Unités de Production	11
I.5. Processus de Production.....	13
I.6. Impact Économique et Social.....	13
I.7. Description Technique Détaillée de l'Usine ITP d'Oran	14
I.8. Conclusion.....	16

Chapitre II

Processus de Fabrication des Tubes PEHD et Equipements Associés

II.1. Introduction	18
II.2. Définition de PEHD (Polyéthylène Haute Densité).....	18
II.3. Les avantages des tubes PEHD	18
II.4. Types de tubes produits à l'usine ITP Oran.....	19
II.5. Description du processus.....	20
II.5.1. Machines utilisées	21
II.5.2. Fonction principale.....	21
II.5.3. Caractéristiques techniques typiques	21
II.5.4. Trémies d'alimentation	23

II.6.	Extrusion	24
II.6.1.	Description du processus.....	24
II.6.2.	Machines utilisées	24
II.6.3.	Paramètres contrôlés	25
II.7.	Calibration.....	26
II.7.1.	Description du processus.....	26
II.7.2.	Machines utilisées	26
II.7.3.	Paramètres contrôlés	26
II.8.	Refroidissement.....	27
II.8.1.	Description du processus.....	27
II.8.2.	Machines utilisées	27
II.8.3.	Paramètres contrôlés	27
II.9.	Étape de marquage	28
II.10.	Tirage et coupe :	29
II.10.1.	Description du processus.....	29
II.10.2.	Machines utilisées	29
II.9.3.	Paramètres contrôlés	30
II.11.	Paramètres de contrôle en ligne	31
II.12.	Conclusion.....	31

Chapitre III

Description Détaillée de la Machine d'Extrusion

III.1.	Introduction	35
III.2.	Présentation du modèle CINCINNATI BETERFELD 75-40.....	36
III.3.	Désignation de la machine	37
III.4.	Description des composants de la machine d'extrusion.....	39
III.5.	Automate programmable (API) et B&R Automation	40
III.6.	Logiciel de supervision WinCC	41
III.7.	Relais statiques (SSR – Solid State Relays).....	42
III.8.	Capteurs utilisés dans l'extrudeuse	43
III.9.	Principe de fonctionnement de l'extrudeuse SOL EX 75-40.....	47
III.10.	Grafcet pour l'automatisation de l'extrudeuse	49

III.11. Conclusion.....	52
Conclusion Générale	55
Bibliographie.....	57
Webographie	57
Résumé	61

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Vue générale de L’ITP d’Oran	4
Figure I.2 : Ligne de production PEHD à L’ITP d’Oran	5
Figure I.3 : Zone de production de l’ITP	6
Figure I.4 : Zone de stockage de l’ITP	7
Figure I.5 : Machine de production de l’ITP	9
Figure I.6 : Système d’alerte dans une usine.....	10
Figure I.7 : Equipement de protection.....	10
Figure II.1 : Granulés pour la production du PEHD	18
Figure II.2 : Tubes à simple paroi (Transport de Gaz).....	19
Figure II.3 : Tubes à simple paroi (L’eau Potable)	20
Figure II.4 : Machine utilisée et étapes de production (Ligne d'extrusion pour Tubes à simple paroi).	20
Figure II.5 : Silo de Stockage.....	22
Figure II.6 : Doseurs gravimétriques.....	23
Figure II.7 : Trémies d’alimentation	24
Figure II.8 : Extrudeuse monovis	25
Figure II.9 : Cloche de calibrage	26
Figure II.10 : Cuves de refroidissement	27
Figure II.11 : Marquage du PEHD.....	28
Figure II.12 : Machine de tirage.....	30
Figure II.13 : Scie automatique de coupe.....	30
Figure III.1 : Extrudeuse CINCINNATI BETERFELD 75-40.....	35
Figure III.2 : Description des modules de l’extrudeuse.	38
Figure III.3 : Photographie de l’extrudeuse de l’ITP d’Oran.....	39

Figure III.4 : Photographie des entrées et sortie de l'extrudeuse de l'ITP d'Oran.	41
Figure III.5 : Vue d'ensemble du terminal.....	42
Figure III.6 : Ecran tactile de supervision.....	42
Figure III.7 : Capteur de température (thermocouple).....	43
Figure III.8 : Capteur de pression (piézoélectricité).....	44
Figure III.9 : Détecteurs de présence.....	45
Figure III.10 : Tachymètre.....	45
Figure III.11 : Zone de chauffe dans l'extrudeuse.....	46
Figure III.12 : Schéma de principe de l'extrudeuse.....	48

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1 : Exemples d'informations généralement marquées.....	29
Tableau II.2 : Equipements utilisés pour la surveillance.	31

Introduction Générale

Introduction Générale

Dans le cadre de notre formation universitaire et plus précisément de la réalisation de notre projet de fin d'études, on a eu l'opportunité d'effectuer un stage technique au sein de l'usine ITP d'Oran (Industrie des Tubes et Profilés), une structure industrielle spécialisée dans la fabrication de tubes en polyéthylène haute densité (PEHD) destinés aux secteurs de l'eau, du gaz et de l'assainissement. Cette expérience en milieu réel de production nous a permis d'associer nos connaissances théoriques à des pratiques concrètes dans un environnement industriel exigeant.

L'objectif principal de ce mémoire est d'étudier le fonctionnement des machines de production de tubes PEHD, et plus particulièrement l'extrudeuse qui constitue le cœur du processus de transformation. En effet, l'extrudeuse joue un rôle fondamental : elle assure la fusion, la compression, l'homogénéisation et la mise en forme du polymère, garantissant ainsi la qualité dimensionnelle et structurelle du tube produit.

Au cours de ce travail, nous nous sommes concentrés sur la présentation de la machine CINCINNATI BETERFELD 75-40, un modèle d'extrudeuse performant, utilisé dans l'unité de production de l'usine ITP d'Oran. Cette extrudeuse est équipée d'un système de régulation thermique réparti en cinq zones de chauffe indépendantes, de capteurs de température et de pression, de relais statiques, ainsi que d'un automate programmable industriel (API) de marque B&R Automation, relié à un système de supervision centralisée WinCC. Ces technologies permettent une automatisation avancée du processus et une supervision efficace des paramètres critiques.

Ce mémoire est structuré autour de plusieurs axes :

- Une présentation générale de l'usine et de ses infrastructures,
- Une explication complète du PEHD en tant que matière première (composition, propriétés, filière d'approvisionnement),
- Puis une analyse technique détaillée de l'extrudeuse, incluant la description de ses composants, son mode de fonctionnement, le rôle des capteurs, la gestion des paramètres via l'automate, et le pilotage du système à travers un programme développé en langage Grafcet.

À travers cette étude, on a cherché à combiner les observations réalisées sur le terrain avec des connaissances théoriques solides, afin de produire un document rigoureux, clair et utile à toute personne souhaitant comprendre ou améliorer un système d'extrusion automatisé pour la fabrication de tubes PEHD.

Chapitre I

Description de l'Usine

ITP d'Oran

I.1. Introduction

En visitant l'usine ITP d'Oran, on est impressionné par l'organisation structurée de ses différentes zones fonctionnelles. Chaque espace joue un rôle bien défini dans le processus de production des tubes en PEHD, depuis la réception des matières premières jusqu'au conditionnement des produits finis. Dans cette partie, on va présenter les principales infrastructures, les équipements utilisés, ainsi que les dispositifs de sécurité et de gestion environnementale que nous avons découverts sur place.

I.2. Présentation Générale

- **Nom** : ITP (Industrie de Tubes et Profilés) d'Oran.
- **Localisation** : Zone industrielle d'Oran, Algérie. L'usine est située à proximité des axes routiers et ferroviaires, ainsi que du port d'Oran, facilitant l'importation des matières premières et l'exportation des produits finis.

https://maps.app.goo.gl/x7WueRjZm4CLs6ak9?g_st=afm

- **Secteur d'activité** : Fabrication de tubes en acier et en PEHD (Polyéthylène Haute Densité), ainsi que de profilés métalliques.
- **Mission** : Produire des tubes et profilés de haute qualité pour les secteurs de la construction, de l'énergie, de l'eau et de l'industrie.
- **Capacité de production** : L'usine dispose d'une capacité de production importante, avec des lignes de production modernes et automatisées. [1]



Figure I.1 : Vue générale de L'ITP d'Oran

I.3. Infrastructure de l'Usine

L'usine ITP d'Oran est une installation industrielle de grande envergure, organisée en plusieurs zones fonctionnelles. Voici une description détaillée de ses infrastructures :

a. Bâtiments et Zones

- **Bâtiment administratif** : En parcourant l'usine ITP d'Oran, on a constaté que le bâtiment administratif joue un rôle central dans le bon fonctionnement de l'ensemble du site. C'est là que sont prises les décisions importantes liées à la gestion et à la planification. On y a observé les bureaux de la direction ainsi que les différents services administratifs en pleine activité. On y trouve également des salles de réunion qui facilitent la coordination entre les différentes équipes. Ce bâtiment assure un lien permanent entre l'aspect administratif et les opérations de production. Il représente le cœur stratégique de l'usine ITP d'Oran.
- **Ateliers de production** : En visitant les ateliers de production, on a été impressionnés par l'organisation précise et bien structurée de l'espace. Ces ateliers sont spécialement conçus pour la fabrication des tubes en PEHD, avec des machines adaptées à chaque étape : extrusion, calibrage, refroidissement et découpe. On a constaté que chaque ligne de production est agencée de manière à garantir une fabrication fluide, sans interruption. Les équipements modernes utilisés permettent de produire avec une grande rapidité tout en respectant des standards de qualité élevés. Ce bon agencement améliore considérablement l'efficacité globale.



Figure I.2 : Ligne de production PEHD à L'ITP d'Oran



Figure I.3 : Zone de production de l'ITP

- **Zone de stockage**

Stockage des matières premières : En explorant la zone de stockage des matières premières de l'usine ITP d'Oran, on a réalisé son importance cruciale dans la chaîne de production. Elle est spécialement conçue pour entreposer les granulés de PEHD avant leur passage en transformation. On a constaté qu'elle est équipée de silos bien structurés et de systèmes de convoyage efficaces, facilitant l'acheminement vers les lignes de production. Ce dispositif assure une alimentation continue, évitant ainsi les arrêts inattendus. On a également noté que les conditions de stockage sont bien contrôlées, ce qui permet de maintenir la qualité du PEHD intacte. Cette organisation contribue directement à la stabilité de la production globale.

Stockage des produits finis : En découvrant la zone de stockage des produits finis de l'usine ITP d'Oran, on a pu évaluer qu'elle joue un rôle essentiel après la production. Elle est réservée à l'entreposage des tubes PEHD une fois qu'ils sont complètement fabriqués. On a constaté qu'elle dispose d'espaces couverts et extérieurs bien aménagés, ce qui permet d'optimiser l'organisation et la gestion des stocks. Les produits y sont rangés de façon claire pour en faciliter le repérage. Cette méthode rend l'expédition plus rapide et plus efficace. De plus, tout est mis en œuvre pour garantir un stockage sécurisé, ce qui permet d'assurer une livraison fluide et sans incident vers les clients.



Figure I.4 : Zone de stockage de l'ITP

- **Laboratoire de contrôle qualité** En visitant le laboratoire de contrôle qualité de l'usine ITP d'Oran, on a constaté qu'il constitue un élément crucial pour s'assurer que les produits respectent toutes les normes industrielles. Il est doté d'équipements de pointe permettant de mesurer et de tester diverses propriétés des tubes PEHD. On a observé que les tests effectués vérifient des critères essentiels tels que la résistance à la pression, les dimensions et l'homogénéité des matériaux. Ce laboratoire réalise des contrôles minutieux tout au long du processus de production, garantissant ainsi une qualité constante des produits finis.
- **Zone de maintenance :** On a mis en évidence que le laboratoire de contrôle qualité de l'usine ITP d'Oran joue un rôle crucial dans la conformité des produits aux normes industrielles. Il est équipé d'instruments de mesure avancés permettant de tester les propriétés physiques des tubes PEHD. Les tests réalisés incluent la vérification de la résistance à la pression, des dimensions et de l'homogénéité du matériau. On a constaté que ce laboratoire effectue un contrôle précis à chaque phase de la production, assurant ainsi une qualité optimale des produits finis.
- **Zone logistique** On a observé que la zone logistique de l'usine ITP d'Oran est essentielle pour gérer les flux de matières premières et de produits finis à l'intérieur du site. Elle dispose de quais de chargement et de zones de tri qui facilitent l'expédition et la réception des marchandises. On a constaté que cette zone permet une gestion fluide des stocks et une planification efficace des livraisons. Cela contribue à maintenir un fonctionnement optimisé et à garantir une distribution rapide des produits finis.

b. Équipements et Machines

L'usine est équipée de machines de pointe pour la production de tubes en PEHD dont voici les principaux équipements :

- **Extrudeuses** : les extrudeuses de l'usine ITP d'Oran sont des machines essentielles dans la production des tubes en PEHD. Elles chauffent les granulés de PEHD à une température élevée pour les rendre malléables, puis les extrudent à travers une filière afin de former le tube. Ce processus permet de produire des tubes de différentes tailles et dimensions. On a constaté que ces machines sont cruciales pour maintenir une production homogène, en garantissant une qualité constante des produits. Elles assurent également un rendement optimal, permettant une fabrication rapide et efficace des tubes.
- **Systèmes de refroidissement** : Les systèmes de refroidissement jouent un rôle essentiel dans le processus de production des tubes en PEHD. Ils utilisent des bassins d'eau ou des systèmes à air forcé pour réduire rapidement la température des tubes extrudés. Ce refroidissement rapide est crucial pour garantir que les tubes conservent leur résistance et leur qualité. On a constaté que ces systèmes assurent une solidification optimale, empêchant toute déformation des tubes. Grâce à ces équipements, la production se déroule de manière précise et efficace, tout en préservant les propriétés du PEHD.
- **Tireuses et découpeuses** : Les tireuses sont utilisées à l'usine ITP d'Oran pour étirer les tubes PEHD extrudés, en maintenant une tension constante afin d'obtenir la longueur désirée. Ensuite, les découpeuses entrent en action pour couper les tubes à des longueurs standardisées une fois le tirage effectué. Ces équipements jouent un rôle crucial dans le maintien de la précision dimensionnelle des tubes. On a remarqué qu'ils assurent une production continue et fluide, tout en garantissant une qualité constante tout au long du processus. Grâce à cette combinaison de tireuses et de découpeuses, l'usine ITP d'Oran optimise sa production de manière efficace et précise.
- **Systèmes de contrôle automatisé** : Les systèmes de contrôle automatisé de l'usine ITP d'Oran jouent un rôle clé dans la gestion des paramètres de production. Ils utilisent des automates programmables (API) pour ajuster en temps réel des éléments cruciaux comme la température et la vitesse d'extrusion. Cela permet de garantir une production stable et précise, tout en assurant la conformité aux normes de qualité. On a constaté que cette

technologie contribue largement à la stabilité et à l'efficacité du processus de production.
[5]



Figure I.5 : Machine de production de l'ITP

c. Systèmes de Sécurité et Environnement

❖ Sécurité :

• Systèmes d'alarme et de détection d'incendie :

On a observé que l'usine ITP d'Oran dispose de systèmes d'alarme et de détection d'incendie très efficaces. Les détecteurs de chaleur et de fumée permettent une alerte rapide en cas de danger, renforçant ainsi la sécurité du site et du personnel.

• Équipements de protection individuelle (EPI) pour les travailleurs :

On a pu voir que l'usine ITP d'Oran fournit des équipements de protection individuelle (EPI) complets aux travailleurs, incluant casques, gants et lunettes. Ces équipements assurent la sécurité de chaque employé tout au long du processus de production.

• Formation régulière des employés aux normes de sécurité :

Des formations régulières sont organisées pour sensibiliser les employés aux risques et aux normes de sécurité. Ces formations garantissent une bonne maîtrise des procédures de sécurité et d'urgence



Figure I.6 : Système d'alerte dans une usine.



Figure I.7 : Equipement de protection

❖ **Environnement :**

• **Systèmes de traitement des eaux usées :**

On a constaté sur le terrain que l'usine ITP d'Oran dispose d'un système efficace pour le traitement des eaux usées. Ce système permet de traiter les eaux avant leur rejet, respectant ainsi les normes environnementales en vigueur.

• **Recyclage des déchets industriels (plastiques) :**

Il est évident que

- **Réduction des émissions** l'usine ITP d'Oran met en place un processus de recyclage des déchets industriels, en particulier les plastiques. Cette démarche contribue à une gestion durable des matériaux.**de CO2 grâce à des technologies propres :**

On a observé directement l'utilisation de technologies propres au sein de l'usine ITP d'Oran pour limiter les émissions de CO2. Ces technologies permettent de réduire l'impact écologique tout en maintenant une production optimale.

I.4. Organisation des Unités de Production

L'usine est organisée en plusieurs unités fonctionnelles, chacune jouant un rôle clé dans le processus de production. Voici une description détaillée de ces unités :

a. Unité de Réception des Matières Premières

- **Fonction** : La fonction principale de cette unité à l'usine ITP d'Oran est de réceptionner, stocker et préparer les matières premières telles que les granulés de PEHD et les additifs. Cela permet de garantir une alimentation continue des lignes de production avec des matériaux de qualité.
- **Équipements** : L'unité utilise des silos pour stocker les granulés de PEHD, assurant un stockage sécurisé et efficace des matières premières. Des convoyeurs automatisés sont employés pour transporter les matériaux depuis les silos jusqu'aux lignes de production. Ce système permet une gestion fluide et continue des matières premières. Grâce à ces équipements, l'approvisionnement des lignes de production se fait sans interruption, optimisant ainsi la productivité.
- **Contrôle qualité** : L'unité de réception des matières premières effectue un contrôle qualité rigoureux des matériaux à leur arrivée. Chaque lot de granulés de PEHD et d'additifs est vérifié pour s'assurer qu'il respecte les normes de qualité. Des tests de conformité sont réalisés avant leur utilisation dans la production. Ce contrôle garantit que seules des matières premières de haute qualité sont utilisées dans la fabrication des tubes.

b. Unité de Production de Tubes PEHD

- **Fonction** : L'unité de réception des matières premières de l'usine ITP d'Oran effectue un contrôle qualité rigoureux des matériaux à leur arrivée. Chaque lot de granulés de PEHD et d'additifs est vérifié pour s'assurer qu'il respecte les normes de qualité. Des tests de conformité sont réalisés avant leur utilisation dans la production. Ce contrôle garantit que seules des matières premières de haute qualité sont utilisées dans la fabrication des tubes.
- **Équipements** : L'unité de production de tubes PEHD de l'usine ITP d'Oran est équipée d'une extrudeuse de pointe pour fondre et extruder les granulés de PEHD. Des moules et des calibreurs sont utilisés pour définir la forme et la taille des tubes. Un bain de refroidissement permet de solidifier les tubes extrudés avant leur tirage. Des tireuses et découpeuses assurent l'obtention des tubes à la longueur souhaitée. [4]

- **Processus** : Le processus commence par l'introduction des granulés de PEHD dans l'extrudeuse, où ils sont fondus et extrudés pour former un tube. Ensuite, les tubes extrudés passent par un moule et un calibre pour être mis à la forme et à la taille désirées. Après cela, un bain de refroidissement solidifie les tubes, avant qu'ils ne soient tirés à la longueur requise. Enfin, les tubes sont coupés à la dimension standard et prêts pour les étapes suivantes de la production.

d. Unité de Contrôle Qualité [1]

- **Fonction** : L'unité de l'usine ITP d'Oran utilise des silos pour stocker les granulés de PEHD, assurant un stockage sécurisé et efficace des matières premières. Des convoyeurs automatisés sont utilisés pour transporter les matériaux depuis les silos jusqu'aux lignes de production. Ce système permet une gestion fluide et continue des matières premières. Grâce à ces équipements, l'approvisionnement des lignes de production se fait sans interruption, optimisant ainsi la productivité.
- **Tests réalisés** : On a pu voir que plusieurs tests sont effectués pour vérifier la qualité des tubes. La résistance à la pression, ainsi que le diamètre et l'épaisseur des tubes, sont mesurés pour garantir leur conformité. De plus, un contrôle de l'homogénéité de la matière est réalisé pour assurer la solidité des produits finis.
- **Équipements** : L'unité de contrôle qualité de l'usine ITP d'Oran utilise des machines de test de pression, des micromètres pour mesurer les dimensions des tubes, et des balances pour vérifier leur poids. Ces équipements assurent que chaque tube respecte les critères de qualité avant son expédition. Ils garantissent également la précision et la fiabilité des tests effectués.

e. Unité de Finition et Conditionnement

- **Fonction** : L'unité de finition et de conditionnement prépare les produits finis pour l'expédition. Elle s'occupe de l'emballage, du marquage et du stockage des tubes avant leur envoi aux clients
- **Activités** : Cette unité de finition et de conditionnement se charge de l'emballage des tubes, de leur marquage avec les informations nécessaires, et de leur stockage avant l'expédition. Tout est bien organisé pour s'assurer que les produits sont prêts à être envoyés aux clients dans de bonnes conditions

f. Unité de Maintenance

- **Fonction** : L'unité de maintenance de l'usine ITP d'Oran a pour fonction d'assurer le bon fonctionnement des machines et de réduire les temps d'arrêt. Elle intervient régulièrement pour prévenir les pannes et optimiser la production.
- **Activités** : Les principales activités de l'unité de maintenance comprennent la maintenance préventive et corrective des machines, la gestion des pièces de rechange, ainsi que la formation des opérateurs pour assurer un fonctionnement optimal des équipements.

g. Unité Logistique

- **Fonction** : L'unité logistique de l'usine ITP d'Oran gère les flux de matières premières et de produits finis, en assurant la coordination entre les différents services pour un fonctionnement efficace.
- **Activités** : Les activités principales de l'unité logistique de l'usine ITP d'Oran, il y a la planification des livraisons, la gestion des stocks et l'expédition des produits finis aux clients. Ces tâches sont cruciales pour garantir une bonne organisation et le respect des délais.

I.5. Processus de Production

Lors de notre visite à l'usine ITP d'Oran, on a eu l'occasion de suivre de près le processus de production des tubes en PEHD. Tout débute par la réception des matières premières, notamment les granulés de PEHD, soigneusement stockés dans des silos. Ensuite, ces granulés passent à la phase de transformation par extrusion, où ils sont chauffés et moulés sous forme de tubes. On a suivi les étapes de calibrage et de refroidissement, indispensables pour obtenir des tubes aux dimensions précises. Un contrôle qualité est ensuite effectué pour vérifier la conformité des produits. On a également assisté à la phase de finition, où les tubes sont coupés, marqués et emballés. Chaque étape est bien coordonnée pour assurer une production continue. Enfin, les produits finis sont expédiés vers les clients dans les meilleures conditions.

I.6. Impact Économique et Social

En visitant l'usine ITP d'Oran, on a compris son impact important sur le plan économique et social. Elle offre un grand nombre d'emplois, permettant à des centaines de familles de bénéficier d'une stabilité financière. Cette dynamique favorise clairement le développement local. On a aussi perçu son rôle stratégique dans le soutien aux projets d'infrastructure à travers

tout le pays. En produisant localement des tubes PEHD, l'usine réduit la nécessité d'importer ce type de produit. Cela permet non seulement de faire des économies, mais aussi de renforcer la souveraineté industrielle nationale. Cette contribution est un véritable atout pour l'Algérie.

I.7. Description Technique Détaillée de l'Usine ITP d'Oran

1. Présentation Générale (Données Techniques)

- **Superficie** : 45,000 m²
- **Effectif** : 320 employés permanents
- **Capacité annuelle** :
 - Tubes PEHD : 15,000 tonnes
 - Tubes acier : 25,000 tonnes [1]

2. Infrastructure (Détails Techniques)

a. Bâtiment Principal

- Structure : Charpente métallique de 18m de hauteur
- Surface couverte : 12,500 m²
- Revêtement : Panneaux sandwich isolants.

b. Système Énergétique

- Puissance installée : 2.5 MW
- Alimentation : Double source (SONELGAZ + groupe électrogène de secours 800 kVA)
- Consommation moyenne : 18,000 kWh/jour. [7]

3. Processus de Production PEHD (Détails Techniques)

a. Ligne d'Extrusion

- Marque : Battenfeld-Cincinnati (Allemagne)
- Modèle : BC-160
- Capacité : 450 kg/h
- Température de fusion : 180-220°C

b. Système de Refroidissement

- Type : Bassin sous vide de 25m de long
- Température eau : 15°C ±2
- Capacité : 5,000 litres/minute. [6]

4. Contrôle Qualité (Normes Appliquées)

- Essais mécaniques :
 - Résistance à la traction : ISO 527
 - Essai de pression : ISO 1167
- Fréquence des contrôles : 1 test/lot de production . [9]

5. Données Environnementales

- Traitement des eaux :
 - Capacité station d'épuration : 8 m³/h
 - Norme de rejet : Règlement 06-141.
- Recyclage déchets :
 - Taux de réutilisation chutes PEHD : 92%
 - Déchets dangereux : 0.5% de la production. [9]

6. Maintenance Industrielle

- Plan de maintenance :
 - Préventive : 85% des interventions
 - Corrective : 15%
- Taux de disponibilité machines : 93.5% [1]

7. Logistique et Transport

- Flux matières premières :
 - PEHD : 25 camions/mois (fournisseur Borealis)
 - Acier : 1,200 tonnes/mois

- Stock moyen rotation : 12 jours [1]

8. Innovation Technologique

- Automatisation :
 - 75% des processus automatisés
 - Système SCADA Siemens SIMATIC PCS7
 - 28 automates programmables [5]

9. Certifications

- ISO 9001:2015 (Qualité)
- ISO 14001:2015 (Environnement)
- CE Marking pour tubes PEHD

10. Performances Industrielles

- Rendement production PEHD : 96.2%
- Taux de rebut : 1.8%
- Productivité : 3.2 tonnes/homme/jour [1]

I.8. Conclusion

À travers cette exploration des infrastructures de l'usine ITP d'Oran, on a pu se rendre compte de l'importance de chaque unité dans le bon déroulement de la production. L'intégration de technologies modernes, la rigueur dans l'organisation des espaces, ainsi que l'attention portée à la sécurité et à l'environnement sont autant de facteurs qui assurent l'efficacité et la qualité du processus. Ce chapitre nous a permis de mieux comprendre le fonctionnement global d'un site industriel spécialisé dans la fabrication des tubes PEHD.

Chapitre II

Processus de Fabrication des Tubes PEHD et Equipements Associés

II.1. Introduction

Au cours de notre visité au sein de l'unité de production, on a observé que la fabrication des tubes en polyéthylène haute densité (PEHD) repose sur une chaîne de production continue, où le procédé d'extrusion occupe une place centrale. Ce procédé permet de transformer efficacement les granulés de PEHD en tubes de différents diamètres et épaisseurs, destinés à diverses applications telles que l'acheminement d'eau potable, le transport de gaz ou encore la protection de câbles électriques [4]. On a remarqué que la performance de cette production dépend de manière critique du bon fonctionnement des machines à chaque étape du processus [3].

Dans ce chapitre, nous allons présenter en détail les différentes étapes de fabrication des tubes PEHD, en décrivant les équipements spécifiques utilisés à chaque niveau du processus.

II.2. Définition de PEHD (Polyéthylène Haute Densité)

Le PEHD (Polyéthylène Haute Densité) est un thermoplastique rigide issu de la polymérisation de l'éthylène, caractérisé par une densité élevée qui lui confère une grande résistance mécanique et chimique [1] (une bonne résistance aux produits chimiques et aux chocs). Il est fabriqué à partir du pétrole via plusieurs étapes industrielles : distillation, vapo-craquage, polymérisation et granulation [6][7]. Ce matériau est largement utilisé pour la fabrication de tubes destinés à l'adduction d'eau potable, au transport de gaz, à l'assainissement [9].



Figure II.1 : Granulés pour la production du PEHD

II.3. Les avantages des tubes PEHD

- Résistance à la corrosion ;
- Résistance aux conditions climatiques ;

- Souplesse à l'utilisation ;
- Légèreté et facilité d'utilisation ;
- Facilité du transport et du stockage ;
- Facilité de raccordement grâce aux techniques de soudage [5] ;
- Un bon rapport qualité prix par rapport aux autres matériaux ;
- Durée de vie supérieure à 50 ans [10].

II.4. Types de tubes produits à l'usine ITP Oran

Dans L'usine ITP Oran, on fabrique principalement deux types de tubes en PEHD [8], chacun répondant à des usages spécifiques selon leur structure et leur domaine d'application :

1. Tubes à simple paroi :

Ces tubes sont constitués d'une seule couche de PEHD extrudée, lisse à l'intérieur comme à l'extérieur. Ils sont destinés à :

- **L'alimentation en eau potable** : reconnaissables à leur couleur **noire avec des bandes bleues**.
- **Le transport de gaz** : identifiables par leur couleur **noire avec des bandes vertes**.

Ils sont produits via une **ligne d'extrusion standard à vis simple**, avec des diamètres variés selon les besoins du réseau [2].



Figure II.2 : Tubes à simple paroi (Transport de Gaz)



Figure II.8 : Tubes à simple paroi (L'eau Potable)



Figure II.4 : Machine utilisée et étapes de production (Ligne d'extrusion pour Tubes à simple paroi).

II.5. Description du processus

Cette étape consiste à peser, doser et homogénéiser la matière première avant son introduction dans l'extrudeuse. La matière première est principalement composée de granulés de PEHD, auxquels on ajoute des colorants (maîtres-batches) et dans certains cas, des additifs destinés à améliorer certaines propriétés du tube, comme la résistance aux UV ou encore la fluidité [1][6].

La précision dans le dosage et l'homogénéisation est essentielle pour garantir la qualité du produit final dès le début du processus [7].

II.5.1. Machines utilisées

- **Silo de stockage :**

Un **silo** est un grand réservoir vertical destiné à **stocker en vrac** les **granulés thermoplastiques** (comme le PEHD) dans des conditions optimales avant leur traitement. Dans l'industrie plastique, les silos servent à **conserver de grandes quantités de matière première** et à **l'alimenter automatiquement** vers les équipements de production via un système de transport pneumatique.

II.5.2. Fonction principale

- Réception des granulés à partir de camions citernes ou de big-bags
- Stockage à température et humidité contrôlées
- Distribution contrôlée vers les mélangeurs, doseurs ou trémies

II.5.3. Caractéristiques techniques typiques

- Capacité : de **5 à 100 m³**
- Matériaux : acier galvanisé, aluminium, ou inox
- Système de pesée intégré (optionnel)
- Équipements auxiliaires :
 - **Capteurs de niveau** (ultrasoniques, à flotteur)
 - **Vanne papillon** ou guillotine pour la sortie
 - **Filtres à air** pour éviter la contamination
 - **Agitateur ou cône vibrant** (pour éviter les ponts de matière)



Figure II.5 : Silo de Stockage

- **Doseurs gravimétriques :**

Un doseur gravimétrique est un équipement industriel utilisé pour mesurer avec précision la masse de granulés de polyéthylène haute densité (PEHD), avant leur introduction dans une trémie ou une extrudeuse [6][7].

- Ces équipements permettent un dosage extrêmement précis, en se basant sur le poids, pour garantir une composition constante.
 - Modèle : Brabender FlexWall Plus [6].
 - Précision : $\pm 0.75\%$
 - Électronique :
 - Carte mère : STM32F407
 - Interface : RS485 Modbus RTU
 - Fréquence d'échantillonnage : 100Hz



Figure II.6 : Doseurs gravimétriques

II.5.4. Trémies d'alimentation

Une **trémie** est un petit réservoir conique installé **juste au-dessus de l'extrudeuse**. Elle sert à **accumuler temporairement** la matière avant qu'elle ne soit introduite dans la vis d'extrusion.

Elle peut être **alimentée automatiquement** par un convoyeur ou manuellement, et est souvent équipée d'un **chauffage** (pour sécher la matière).

Fonction principale :

- Assurer une alimentation **continue et régulière** de l'extrudeuse
- Prévenir la **contamination ou agglomération** de la matière
- Dans certains cas, **sécher ou préchauffer** la matière

Caractéristiques techniques :

- Capacité : 10 à 50 kg
- Matériau : acier inoxydable

- Forme : conique pour éviter les résidus
- Options :
 - **Trémie séchante** intégrée (air chaud soufflé)
 - **Sonde de niveau**
 - **Agitateur rotatif** (anti-blocage)
 - **Résistance chauffante** avec thermostat

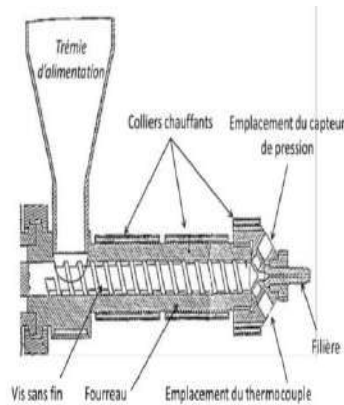


Figure II.7 : Trémies d'alimentation

II.6. Extrusion

II.6.1. Description du processus

- Machine utilisée pour **chauffer, fondre et pousser** le PEHD à travers une filière afin de **former un tube continu**.
 - C'est le cœur du procédé d'extrusion dans la fabrication des tubes PEHD [4] .
- L'extrusion est l'étape clé où le PEHD est fondu, plastifié, puis poussé à travers une filière pour lui donner sa forme tubulaire.

II.6.2. Machines utilisées

- **Extrudeuse monovis (ou bivis) :**

Elle est composée :

- D'une vis sans fin tournant dans un fourreau chauffé,
- De plusieurs zones de chauffe indépendantes : alimentation, compression, dosage,

- D'un système de refroidissement par air ou eau pour stabiliser la température externe [5].



Figure II.8 : Extrudeuse monovis

C'est la pièce maîtresse pour donner au tube son diamètre et sa forme. Il est nécessaire de changer la filière selon le diamètre souhaité.

II.6.3. Paramètres contrôlés

Zone	Température (°C)
Alimentation	160–170
Compression	180–210
Dosage	210–230
Filière	220–230

- Pression d'extrusion : 100–300 bars
- Débit de production : 100 à 500 kg/h
- Vitesse de rotation de la vis : 20 à 80 tr/min [6].

II.7. Calibration

Définition : L'étape de **calibrage** consiste à **donner au tube PEHD extrudé sa forme, son diamètre exact et sa circularité** grâce à un **outil de calibrage**, immédiatement après sa sortie de la filière d'extrusion.

- C'est l'étape où le **tube encore chaud et plastique** est **stabilisé dimensionnellement** avant de passer au refroidissement.

II.7.1. Description du processus

Dès la sortie de la filière, le tube encore chaud passe dans une cloche de calibrage sous vide, pour fixer précisément son diamètre [7] .

II.7.2. Machines utilisées

- **Cloche de calibrage (banc de calibration sous vide) :**

Ici le tube est mis en contact avec un calibreur métallique refroidi à l'eau. Un système de vide maintient le tube plaqué contre la paroi du calibreur.

- Marques rencontrées : *SICA*, *Unicor*, ou systèmes intégrés.



Figure II.9 : Cloche de calibrage

II.7.3. Paramètres contrôlés

- Dépression du vide : -0,8 à -0,95 bar
- Température de l'eau de refroidissement interne : 15 à 25 °C
- Longueur de la cloche : 0,5 à 2 m selon le diamètre

II.8. Refroidissement

Définition : Le **refroidissement** est l'étape du procédé d'extrusion où le **tube de PEHD, encore chaud après le calibrage, est progressivement refroidi à l'eau** pour qu'il **durcisse**, conserve sa **forme définitive** et réponde aux **dimensions requises**.

II.8.1. Description du processus

Après calibration, le tube doit être refroidi progressivement pour éviter toute déformation. Cela se fait dans plusieurs cuves remplies d'eau [10].

II.8.2. Machines utilisées

- **Cuves de refroidissement (bains d'eau en série) :**

Ces bains d'eau sont alignés en série :

- Longueur totale entre 6 et 12 mètres,
- Dotées de buses d'aspersion ou de rideaux d'eau,
- Réglage de la température de l'eau via un système de régulation thermique.



Figure II.9 : Cuves de refroidissement

II.8.3. Paramètres contrôlés

- Température de l'eau : 15–25 °C
- Débit d'eau de refroidissement
- Temps de passage du tube (dépend de la vitesse de tirage)
- Capteur température eau : Pt100 4 fils

- Débitmètre électromagnétique (Krohne Optiflux 2300)
- Système de régulation : [11]
 - Algorithme : PID cascade
 - Temps de réponse : < 45s

II.9. Étape de marquage

Le marquage est l'étape où des informations techniques obligatoires sont imprimées directement sur le tube PEHD, juste après qu'il ait été refroidi et solidifié [12].



Figure II.10 : Marquage du PEHD.

L'objectif du marquage est :

- Identifier clairement le **type de tube** (eau potable, gaz, eau usée...).
- Assurer la **traçabilité du produit** (usine, date, lot, norme).
- Respecter les **normes réglementaires** (ISO, EN, DIN, etc.).
- Faciliter le **contrôle qualité et la pose sur chantier**.

La méthode utilisée est le Marquage à jet d'encre, elle consiste à projeter de l'encre directement sur la surface du tube pour inscrire des informations telles que le diamètre, l'épaisseur, le numéro de lot, la date de fabrication, le nom de l'usine, le type de PEHD, la norme applicable et l'usage prévu (eau potable, gaz, etc. ; voir exemple tableau II.1). Ce marquage est

généralement réalisé en continu, à intervalles réguliers, et synchronisé avec la vitesse de production.

Tableau II.1 : Exemples d'informations généralement marquées

Type d'information	Exemple
Date et heure de fabrication	"03/06/2025 – 10:45"
Nom ou code de l'usine	"ITP Oran"
Diamètre extérieur x épaisseur	"Ø 110 mm x 6.6 mm"
Norme applicable	"EN 12201" (pour l'eau potable), "ISO 4437" (gaz)
Usage prévu	"Eau potable", "Gaz", "Eaux usées"
Numéro de lot	"Lot 15478 – Série B"
Type de PEHD	"PE100" ou "PE80", SDR...

II.10. Tirage et coupe :

II.10.1. Description du processus

Le **tirage** permet d'entraîner le tube PEHD à une vitesse constante à l'aide de chenilles motorisées, assurant la régularité de ses dimensions. Ensuite, la **coupe** est réalisée automatiquement par une scie synchronisée, qui découpe le tube en longueurs standardisées sans interrompre la production.

Après refroidissement, le tube est tiré en continu, à vitesse constante, puis coupé automatiquement à la longueur désirée.

II.10.2. Machines utilisées

- **Machine de tirage (haul-off)**
 - Composée de 2 à 6 chenilles motorisées,
 - Maintien constant de la vitesse de ligne.



Figure II.11 : Machine de tirage.

- **Scie automatique de coupe :**
 - Coupe transversale plane ou rotative,
 - Coupe volante (mobile) pour les grandes lignes de production.



Figure II.13 : Scie automatique de coupe.

Exemple de coupe : tubes de 6 m, 12 m ou couronnes de 100 m pour $\varnothing \leq 63$ mm.

II.9.3. Paramètres contrôlés

- Vitesse de tirage : 0,5 à 5 m/min
- Longueur de coupe : 6, 12 ou personnalisée
- Synchronisation avec l'extrusion (vitesse linéaire constante)

II.11. Paramètres de contrôle en ligne

Des systèmes automatiques sont intégrés sur la ligne pour surveiller en temps réel la qualité du tube, les équipements utilisés sont répertoriés sur le tableau II.2. :

Tableau II.2 : Equipements utilisés pour la surveillance.

Paramètre mesuré	Équipement utilisé	Fonction
Diamètre extérieur	Jauge laser	Vérifie la conformité dimensionnelle
Épaisseur de paroi	Capteur ultrason	Contrôle homogénéité sur la circonférence
Ovalisation	Caméras optiques	Détection des défauts de forme
Température	Thermocouples + capteurs IR	Surveille la température du tube en sortie
Qualité de surface	Caméra HD ou visuelle	Détection de rayures, bulles ou taches

II.12. Conclusion

L'étude approfondie du **polyéthylène haute densité (PEHD)** et de son utilisation dans la fabrication de tubes industriels met en lumière l'importance stratégique de ce matériau dans les réseaux d'infrastructure modernes. Le PEHD, issu de la polymérisation de l'éthylène, se distingue par une **densité élevée**, une **excellente résistance chimique et mécanique**, ainsi qu'une **durée de vie exceptionnelle** pouvant dépasser 50 ans. Ce matériau thermoplastique s'adapte à des conditions d'utilisation exigeantes, telles que le transport de l'eau potable, du gaz naturel ou des eaux usées, tout en assurant **fiabilité, sécurité et durabilité**.

Au sein de l'usine **ITP Oran**, la production des tubes PEHD est assurée par un procédé industriel **hautement structuré, automatisé et optimisé**, qui illustre parfaitement l'efficacité de la transformation thermoplastique en milieu industriel. Dès la réception des **granulés de PEHD**, le processus démarre avec un **stockage contrôlé** dans des silos, suivi par un **dosage gravimétrique précis**, permettant d'ajouter, en quantités rigoureusement mesurées, des **colorants** (maîtres-batches) ou des **additifs fonctionnels** (anti-UV, fluidifiants). Ces premières

étapes sont cruciales, car elles déterminent la **qualité de la matière fondue**, sa stabilité et l'homogénéité du produit fini.

L'**extrusion**, cœur du procédé, permet de transformer cette matière première en tube continu grâce à l'action d'une **vis chauffée en zones**, contrôlée par des régulateurs thermiques et pilotée par un **automate programmable industriel**. On constate que le choix de l'extrudeuse, le contrôle de la température par zone, la pression de la matière fondue, ainsi que la vitesse de rotation de la vis sont des paramètres déterminants pour la **qualité géométrique et mécanique** du tube extrudé.

La **calibration sous vide** constitue une étape clé dans le maintien de la **précision dimensionnelle** des tubes. Cette opération, réalisée dans une cloche de calibrage, stabilise la forme du tube encore chaud à la sortie de la filière. Elle est suivie d'un **refroidissement progressif** à l'aide de bains d'eau en série, régulés en température et en débit pour éviter toute déformation thermique.

Une fois le tube solidifié, un **marquage à jet d'encre** est effectué pour inscrire toutes les informations réglementaires et techniques (normes, diamètre, date, usage, numéro de lot, etc.). Ce marquage garantit la **traçabilité** et la **conformité du produit** aux exigences nationales et internationales, comme les normes **EN 12201** ou **ISO 4437**. Enfin, la **machine de tirage** assure la régularité de la vitesse de production, tandis que la **scie automatique** effectue la **coupe précise des tubes** à la longueur standardisée.

En somme, cette étude a révélé que la fabrication des tubes PEHD est un processus complexe, rigoureusement encadré par une **technologie de pointe**, où chaque étape est optimisée pour garantir une **production continue, stable et conforme aux standards de qualité les plus stricts**. Le rôle de l'opérateur est renforcé par la supervision informatique (systèmes SCADA, automates industriels), permettant de surveiller en temps réel les conditions de production, les alarmes, les historiques et les performances.

Ce processus témoigne de l'intégration réussie entre la **science des matériaux**, l'**automatisation industrielle** et les **exigences du marché**, et fait du PEHD un matériau de choix dans le développement durable des réseaux d'adduction et d'assainissement. L'usine ITP Oran, en maîtrisant toutes les étapes de ce procédé, se positionne comme un acteur clé dans la fabrication de solutions plastiques de haute performance, adaptées aux besoins croissants des

collectivités et des industriels. Dans le chapitre qui suit nous allons nous focaliser sur la pièce maîtresse de ce processus qui est l'extrudeuse.

Chapitre III

Description Détaillée de la Machine d'Extrusion

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, on s'est concentré sur l'étude approfondie de l'extrudeuse *CINCINNATI BETERFELD 75-40*, la machine principale utilisée dans la production de tubes en PEHD à l'usine. Ce modèle, réputé pour sa robustesse et sa précision, est issu d'un savoir-faire industriel développé depuis plusieurs décennies par la marque Cincinnati, pionnière dans le domaine des équipements d'extrusion. Elle joue un rôle central dans le processus de fabrication, car elle permet de transformer les granulés de PEHD en tubes de différents diamètres.

Elle assure à la fois la fusion du polymère, sa compression, son homogénéisation, et sa mise en forme finale à travers une tête d'extrusion. Son fonctionnement repose sur plusieurs composants clés : la trémie, la vis sans fin, les cinq zones de chauffe à température contrôlée (195°C à 215°C), les capteurs de pression et de température, ainsi que les relais statiques pour piloter les sondes. La supervision est assurée via le logiciel *WinCC*, tandis que l'automatisation repose sur un API de marque *B&R Automation*, en combinaison avec des technologies *Siemens*.

Ce chapitre détaille donc les éléments constitutifs de cette machine, leurs fonctions techniques, ainsi qu'un programme de pilotage développé en langage *Grafset*, afin d'illustrer comment cette extrudeuse est intégrée dans une chaîne de production automatisée performante. [1, 6, 7]



Figure III.1 : Extrudeuse CINCINNATI BETERFELD 75-40.

III.2. Présentation du modèle CINCINNATI BETERFELD 75-40

Le modèle *CINCINNATI BETERFELD 75-40* est une extrudeuse conçue pour la transformation de polymères thermoplastiques, notamment le polyéthylène haute densité (PEHD), en tubes à usage industriel. On a noté que ce modèle se distingue par sa capacité à garantir une fusion homogène du matériau et une extrusion stable à travers toute la production. La référence *75-40* indique un diamètre de vis de 75 mm et un rapport longueur/diamètre (L/D) de 40, ce qui permet une plastification progressive et efficace.

L'extrudeuse est équipée de cinq zones de chauffe indépendantes, réglées respectivement à 195°C, 200°C, 205°C, 210°C et 215°C. Cette configuration assure une montée en température progressive, adaptée à la fusion complète du PEHD sans dégradation du polymère. On a aussi noté la présence de capteurs de température et de pression intégrés, pilotés par des relais statiques, ce qui permet une régulation fine des conditions de fonctionnement.

Par ailleurs, ce modèle est compatible avec les systèmes d'automatisation modernes. Il intègre un automate programmable (API) de marque *B&R Automation*, en lien avec des équipements *Siemens*, pour la gestion des paramètres critiques : température, vitesse de rotation de la vis, démarrage/arrêt, sécurité, etc. La supervision est assurée par le logiciel *WinCC*, qui permet une visualisation en temps réel des données de fonctionnement. [4, 6]

L'extrudeuse *CINCINNATI BETERFELD 75-40* est utilisée principalement pour la transformation de granulés de PEHD en tubes de différents diamètres. Son principal rôle est d'assurer une production continue, stable et conforme aux normes de qualité exigées dans le secteur des canalisations industrielles.

Cette machine permet de :

- Réaliser la fusion homogène du polymère grâce à un contrôle précis de la température dans les cinq zones de chauffe.
- Maintenir une pression constante pour garantir une extrusion régulière.
- Adapter facilement la vitesse de la vis et les réglages de production selon le type de tube à fabriquer.
- Réduire les pertes de matière et les interruptions, ce qui améliore la rentabilité globale.

- Intégrer des systèmes automatisés pour la surveillance et la commande du processus via un API et une interface de supervision.

En somme, ce modèle est destiné à une utilisation industrielle intensive, tout en assurant précision, fiabilité et adaptabilité. [3, 5, 6, 40]

C'est principales caractéristiques techniques sont :

- Diamètre de vis : 75 mm
- Rapport L/D (longueur/diamètre) : 40
- Puissance moteur : généralement autour de 90 à 110 kW
- Capacité de production : variable selon le diamètre des tubes, allant de 300 à 600 kg/h

III.3. Désignation de la machine

Dans le cadre de la production de tubes en polyéthylène haute densité (PEHD), on a étudié l'extrudeuse de type **SOL EX 75-40**, fabriquée par **Battenfeld**. Il s'agit d'une machine d'extrusion mono-vis, spécialement conçue pour le traitement des polymères thermoplastiques.

Cette extrudeuse est composée d'une trémie d'alimentation, d'un corps chauffant comprenant plusieurs zones de chauffe, d'une vis sans fin logée dans un cylindre, d'un moteur principal assurant la rotation de la vis, ainsi que d'une filière qui donne la forme finale au tube. La machine est également équipée d'un système de contrôle électronique qui permet de réguler les paramètres de température, de vitesse et de pression.

Grâce à sa conception robuste et performante, le modèle SOL EX 75-40 permet de transformer efficacement les granulés de PEHD en tubes de différents diamètres, avec une grande précision dimensionnelle. [1, 6, 44]

Le modèle *CINCINNATI BETERFELD 75-40* présente un excellent rendement énergétique et une grande efficacité de production. Grâce à ses cinq zones de chauffe indépendantes (réglées respectivement à 195 °C, 200 °C, 205 °C, 210 °C et 215 °C), la machine assure une montée en température progressive et maîtrisée du PEHD. Cette régulation thermique est pilotée par des capteurs de température et de pression, associés à des relais statiques pour un contrôle réactif et précis.

L'intégration d'un automate programmable industriel (API) de marque *B&R Automation* permet une gestion fine de tous les paramètres critiques : température, vitesse de rotation de la

vis, et conditions de démarrage/arrêt. Cette automatisation améliore la stabilité du processus et réduit considérablement les marges d'erreur.

Le système de supervision WinCC facilite quant à lui la surveillance en temps réel, permettant aux opérateurs d'intervenir rapidement en cas de dérive. On peut observer que la machine garantit une excellente homogénéité du produit fini, avec peu de rejets, ce qui optimise le rendement matière et réduit les arrêts pour maintenance. [6, 7, 9, 44]

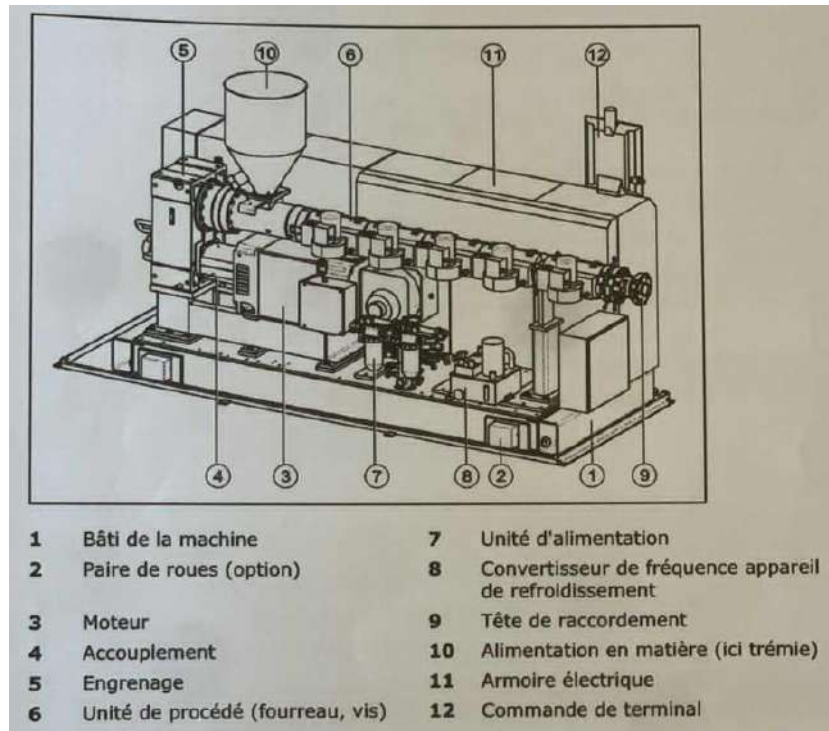


Figure III.2 : Description des modules de l'extrudeuse.

Ce modèle assure une excellente homogénéité de fusion du PEHD. La pression reste stable à la sortie, ce qui garantit une forme régulière du tube. La qualité d'extrusion est constante, même lors de longues périodes de production. Il est aussi compatible avec des dispositifs de contrôle automatisés récents. Cela facilite son intégration dans des lignes de production complètes et modernes. En plus, sa conception robuste le rend fiable et durable dans le temps.

III.4. Description des composants de la machine d'extrusion

Dans le cadre de notre étude, on a examiné les composants essentiels qui assurent le bon fonctionnement de l'extrudeuse *CINCINNATI BETERFELD 75-40*. Chacun joue un rôle spécifique dans la transformation du PEHD en tube, depuis l'alimentation jusqu'à la sortie du produit.



Figure III.12 : Photographie de l'extrudeuse de l'ITP d'Oran.

- **Trémie d'alimentation** : située au sommet de la machine, elle permet l'introduction des granulés de PEHD. On a constaté qu'un système de dosage peut y être intégré pour réguler la quantité de matière introduite.
- **Vis sans fin** : elle entraîne les granulés le long du fourreau. Son profil est divisé en zones (alimentation, compression, dosage) afin d'assurer la fusion, la compression et l'homogénéisation du matériau.
- **Zones de chauffe** : il existe cinq zones de chauffe indépendantes, commandées par des relais statiques. Elles élèvent progressivement la température (195 à 215 °C), garantissant une plastification uniforme du polymère.

- **Capteurs de température et de pression** : ils assurent un suivi précis des conditions internes, transmettant les informations à l'API pour ajuster automatiquement les réglages si nécessaire.
- **Filière d'extrusion** : elle donne au PEHD sa forme tubulaire. Sa conception détermine le diamètre et l'épaisseur du produit final.
- **Boîtier de commande API (B&R Automation)** : Il assure le pilotage automatique de la machine, en contrôlant la vis, les températures et les sécurités.
- **Système de supervision WinCC** : utilisé pour visualiser en temps réel l'état de l'extrudeuse, paramétrer les réglages et intervenir rapidement en cas de défaut
- **La tête d'extrusion et la filière** : Une fois le PEHD fondu, il est poussé vers l'avant jusqu'à la tête d'extrusion. C'est ici que le matériau prend la forme d'un tube, grâce à une filière adaptée. La forme et le diamètre du tube dépendent directement de cette pièce.
- **Le dispositif de mise en forme (calibrage)** : Juste à la sortie de la filière, il y a un dispositif qui maintient la forme du tube pendant les premières secondes, avant refroidissement. Ce calibrage est essentiel pour assurer une géométrie régulière. [6, 9, 20, 21, 22]

III.5. Automate programmable (API) et B&R Automation

Le fonctionnement de l'extrudeuse est entièrement automatisé grâce à un **automate programmable industriel (API)**. Cet équipement électronique remplace les systèmes de commande classiques à relais, en assurant le pilotage logique et sécurisé de la machine. L'API permet de traiter des signaux d'entrée (capteurs de température, pression, etc.) et de commander des actionneurs (résistances, moteurs, relais, etc.) selon un programme prédéfini.

Dans notre cas, l'extrudeuse est équipée d'un **automate de la marque B&R Automation**, un fabricant autrichien réputé pour ses solutions robustes en automatisation industrielle. Cette technologie assure une grande précision dans le contrôle des paramètres de production, tout en offrant une interface conviviale pour le diagnostic, la maintenance, et la supervision en temps réel. [4, 5, 47, 48]



Figure III.13 : Photographie des entrées et sortie de l'extrudeuse de l'ITP d'Oran.

III.6. Logiciel de supervision WinCC

Dans l'environnement industriel où fonctionne l'extrudeuse CINCINNATI BETERFELD 75-40, La supervision du processus est assurée par le logiciel **WinCC** (*Windows Control Center*), développé par **Siemens**. Ce logiciel fait partie des systèmes SCADA, qui sont utilisés pour la supervision centralisée des processus automatisés.

Grâce à WinCC, on a pu suivre en temps réel l'évolution des paramètres de production : les températures des cinq zones de chauffe (195 °C à 215 °C), la pression du polymère fondu, la vitesse de rotation de la vis, ainsi que l'état des capteurs et des relais statiques. Le logiciel affiche ces données sous forme de graphiques, de jauges numériques et d'écrans dynamiques, ce qui facilite énormément la lecture et l'analyse.

Il faut noter que WinCC permet de gérer les alarmes (surchauffe, perte de pression, arrêt d'urgence...), d'enregistrer l'historique de fonctionnement, et même de contrôler certaines fonctions à distance. L'interface utilisateur est intuitive, avec une structure hiérarchique des écrans qui simplifie la navigation entre les différentes zones de la machine.

En résumé, on peut dire que WinCC joue un rôle crucial dans la supervision de l'extrusion, en permettant aux opérateurs d'intervenir rapidement, d'ajuster les paramètres si nécessaire, et de garantir la continuité et la qualité du processus. [2, 3, 5, 45, 46]



Figure III.14 : Vue d'ensemble du terminal.



Figure III.15 : Ecran tactile de supervision.

III.7. Relais statiques (SSR – Solid State Relays)

Le contrôle de la température dans chaque zone de chauffe repose sur l'utilisation de **relais statiques**, également appelés SSR (*Solid State Relays*). Ces composants électroniques jouent un rôle essentiel dans la régulation thermique de l'extrudeuse.

Contrairement aux relais électromécaniques classiques, les relais statiques ne comportent pas de pièces mobiles. Ils utilisent des composants à semi-conducteurs (typiquement des triacs ou des thyristors) pour effectuer la commutation électrique. Lorsqu'ils reçoivent un signal de l'automate (issu de la comparaison entre la température mesurée et la consigne), ils commandent l'alimentation des résistances chauffantes, soit en l'activant, soit en la coupant.

Cette technologie présente plusieurs avantages en milieu industriel :

- **Temps de réponse rapide**, permettant une régulation fine de la température,
- **Absence d'usure mécanique**, ce qui prolonge la durée de vie du système,
- **Silence de fonctionnement**, car il n'y a pas de claquement de contact,
- **Moins de perturbations électriques**, surtout lorsqu'ils sont associés à un déclenchement en passage par zéro (*zero crossing*).

L'intégration des relais statiques dans la boucle de régulation permet donc de garantir une chauffe stable et continue, condition essentielle pour assurer une fusion homogène du PEHD à travers les cinq zones de l'extrudeuse. [6, 46]

III.8. Capteurs utilisés dans l'extrudeuse

Cette machine intègre plusieurs types de capteurs assurant une régulation précise et une sécurité optimale du processus d'extrusion. En particulier, on a noté l'utilisation :

- ❖ **Des thermocouples (capteurs de température)** pour la mesure de température dans chaque zone de chauffe. Ces sondes, reliées à des relais statiques, permettent un ajustement en temps réel via l'API B&R.

Figure III.16 : Capteur de température (thermocouple).



On a observé que ces capteurs sont utilisés pour mesurer la température dans chaque zone de chauffe. Leur principe repose sur l'effet Seebeck : deux métaux différents sont soudés ensemble, et lorsqu'il existe une différence de température entre les deux extrémités, une tension électrique (en millivolts) est générée. Cette tension est proportionnelle à la température mesurée.

Les thermocouples transmettent cette information à l'automate B&R, qui régule les relais statiques pour ajuster la puissance des résistances chauffantes.

- ❖ **Des capteurs de pression** tels que les capteurs **piézoélectriques** qui fonctionnent sur le principe de la **piézoélectricité**, un phénomène physique selon lequel certains matériaux (comme le quartz ou les céramiques piézoélectriques) génèrent une **charge électrique lorsqu'ils sont soumis à une contrainte mécanique**.



Figure III.17 : Capteur de pression (piézoélectricité).

Principe de fonctionnement :

- Lorsqu'une force ou une pression est appliquée sur un matériau piézoélectrique, cela crée un déséquilibre des charges électriques dans sa structure cristalline.
- Ce déséquilibre produit une **tension électrique** proportionnelle à la force appliquée.
- Cette tension est ensuite amplifiée et convertie en **signal électrique utilisable** par un automate ou un système de supervision.
- ❖ **Des détecteurs de présence de matière** sont également utilisés à l'entrée de la trémie ou à d'autres points critiques pour vérifier la continuité de l'alimentation en granulés. Cela évite les vides ou les défauts dans la fusion du polymère.

On a constaté que les capteurs de **présence de matière** utilisés sur les extrudeuses sont souvent des **capteurs inductifs** (pour les matériaux métalliques) ou **capteurs optiques** (pour les granulés ou tubes plastiques).



Figure III.18 : Détecteurs de présence.

- **Capteur optique (pour les granulés ou tubes en PEHD) :**
 - Il émet un **rayon lumineux** (généralement infrarouge).
 - Si la matière (granulés ou tube) passe devant le faisceau, celui-ci est **bloqué ou réfléchi**.
 - Cette variation est captée par un **récepteur optique**, ce qui déclenche un signal indiquant que la matière est présente
- ❖ **Capteur de vitesse de vis sans fin :**

Le **tachymètre** (ou **tachymètre**) est un capteur utilisé pour mesurer la **vitesse de rotation** de la vis sans fin dans une extrudeuse. Il fonctionne en générant un signal électrique (souvent une tension continue) proportionnel à la vitesse de l'arbre sur lequel il est monté. Ce signal est ensuite envoyé vers l'automate (API), qui peut l'utiliser pour ajuster automatiquement la vitesse du moteur via un variateur. Ce dispositif est crucial pour assurer une extrusion régulière, adaptée au type de PEHD et au diamètre souhaité du tube.



Figure III.19 : Tachymètre.

Le **principe de fonctionnement d'un tachymètre** repose sur la génération d'un signal électrique proportionnel à la **vitesse de rotation** d'un arbre mécanique, comme celui de la vis sans fin. En pratique, le tachymètre est couplé à l'arbre moteur : lorsqu'il tourne, le capteur (souvent basé sur un générateur à aimant ou un capteur optique) produit une tension continue ou une série d'impulsions. Cette sortie est ensuite lue par l'API ou le variateur de fréquence, permettant de **surveiller et réguler dynamiquement la vitesse** de rotation selon les besoins du processus d'extrusion.

Ces capteurs jouent un rôle crucial dans le pilotage automatique et la sécurité globale de la ligne d'extrusion. Ils sont directement intégrés dans le programme de commande, que nous allons présenter dans la section suivante en langage Grafset. [6, 20, 21, 22, 23]

Zone de chauffe : Lors de l'analyse du fonctionnement de l'extrudeuse **CINCINNATI BETERFELD 75-40**, on a constaté que le cylindre de plastification est divisé en **cinq zones de chauffe distinctes**, chacune équipée de résistances électriques commandées indépendamment.

Ces zones sont disposées longitudinalement le long du cylindre, de l'entrée de la matière première jusqu'à la tête de filière. La répartition des températures observée est la suivante :

- Zone 1 : **195 °C**
- Zone 2 : **200 °C**
- Zone 3 : **205 °C**
- Zone 4 : **210 °C**
- Zone 5 : **215 °C**

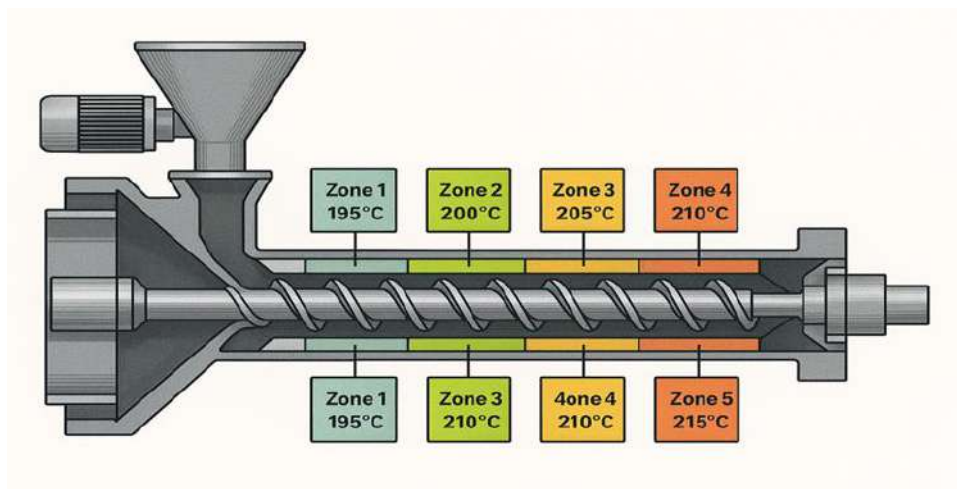


Figure III.20 : Zone de chauffe dans l'extrudeuse.

Cette gradation progressive permet d'assurer une **fusion contrôlée et homogène** du polyéthylène haute densité (PEHD). On a noté que les premières zones (1 et 2) assurent le préchauffage et le ramollissement progressif des granulés, tandis que les zones suivantes (3 à 5) assurent la plastification complète et la mise en pression avant l'extrusion.

Chaque zone est équipée :

- d'un **thermocouple** de type J (ou K selon les modèles), pour mesurer la température réelle,
- d'un **relais statique** commandé par l'API pour activer ou désactiver la résistance chauffante,
- et d'un **module de régulation** qui ajuste automatiquement la puissance en fonction de l'écart entre la consigne et la valeur mesurée.

On a également observé que le bon fonctionnement de ces zones est essentiel à la qualité du produit extrudé : un écart thermique important dans une zone peut entraîner des défauts tels que des bulles, des variations d'épaisseur, ou une mauvaise homogénéité du matériau. [6, 1, 44]

III.9. Principe de fonctionnement de l'extrudeuse SOL EX 75-40

Le fonctionnement de l'extrudeuse suit une séquence d'étapes précises pour garantir une production continue et de qualité. Il est important de souligner que la machine est conçue pour fonctionner 24 heures sur 24 (H24) afin de répondre aux exigences de la production industrielle de tubes en PEHD. Toutefois, avant chaque démarrage, une phase de préparation thermique est indispensable : on a constaté que l'extrudeuse nécessite entre 4 et 6 heures de chauffe pour que les cinq zones thermiques atteignent leurs températures respectives (de 195 °C à 215 °C). Cette montée progressive en température, régulée par les relais statiques, est essentielle pour éviter les chocs thermiques et garantir une plastification uniforme dès le début du cycle de production.

En observant le processus de production, on a constaté que le fonctionnement de l'extrudeuse suit plusieurs étapes bien précises :

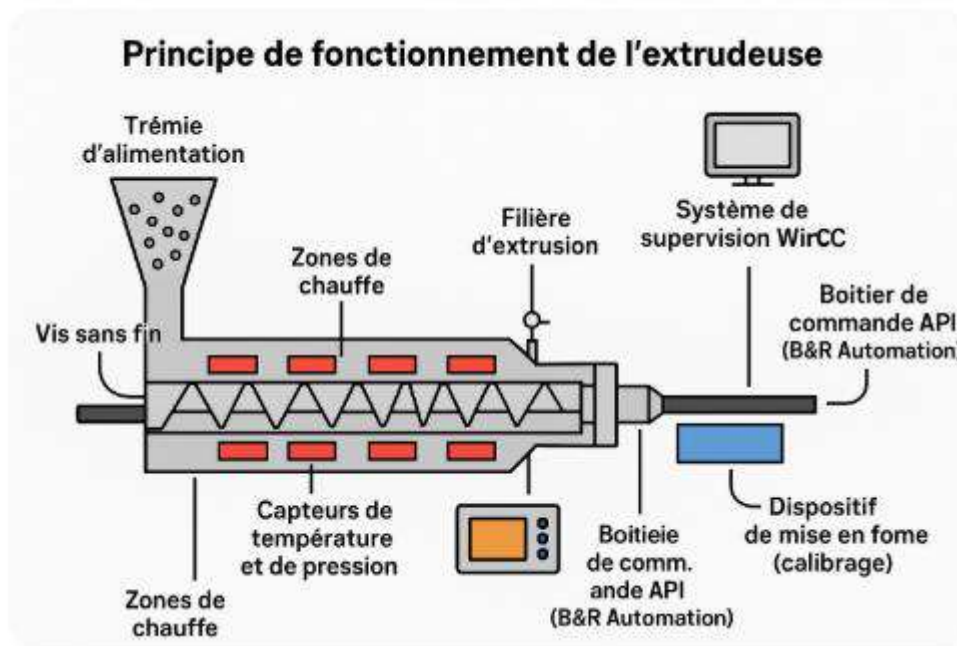


Figure III.21 : Schéma de principe de l'extrudeuse.

1. Alimentation en matière première

Le PEHD est fourni sous forme de granulés, stockés dans des silos. Ces granulés descendent par gravité dans la **trémie** de l'extrudeuse. On a noté qu'un système de dosage peut réguler le débit entrant pour garantir une alimentation stable et continue.

2. Plastification du PEHD

Les granulés sont entraînés dans un **fourreau** par une **vis sans fin**. Ce fourreau est divisé en **cinq zones de chauffe indépendantes** (195 °C, 200 °C, 205 °C, 210 °C et 215 °C), chacune réglée par des **relais statiques**. Ces derniers commandent des **sondes thermiques** pour maintenir la température cible. La chaleur, combinée au frottement mécanique de la vis, permet de faire fondre progressivement le polymère.

3. Compression et homogénéisation

En progressant, la matière fondue passe par des zones où la pression augmente. Cela assure une **fusion homogène**, sans bulles ni impuretés. Cette régularité est cruciale pour la qualité du tube extrudé. La vis comporte plusieurs profils : zone d'alimentation, de compression et de dosage.

4. Mise en forme (filière et dispositif de calibrage)

La matière fondue est ensuite poussée à travers une **filière** située à la sortie de la tête d'extrusion. Cette filière détermine le **diamètre extérieur du tube**. Juste après, un **dispositif de calibrage** est utilisé pour stabiliser la forme du tube en contrôlant ses dimensions internes et externes. Ce calibrage est effectué souvent sous vide pour garantir la régularité.

5. Refroidissement

Une fois le tube formé, il passe dans un **bain de refroidissement** ou un tunnel de refroidissement à eau. Ce refroidissement rapide permet de **solidifier la paroi** du tube sans la déformer. Des **capteurs de température** vérifient que le refroidissement reste uniforme pour ne pas compromettre la structure.

6. Tirage et découpe

Le tube refroidi est ensuite **tiré** par un système de **tireuse à chenilles**, qui maintient une tension constante pour ne pas déformer le tube. En fin de ligne, une **découpeuse automatique** est installée. Celle-ci coupe les tubes à la longueur souhaitée (souvent 6 m ou 12 m), avec une grande précision. Elle est synchronisée avec la vitesse d'extrusion. [6, 13, 19, 44]

III.10. Grafcet pour l'automatisation de l'extrudeuse

Le **Grafcet** (Grphe Fonctionnel de Commande Étape/Transition) est un langage graphique utilisé pour décrire de manière claire et structurée le **fonctionnement séquentiel** d'un système automatisé. Ce langage est normalisé selon la norme **CEI 60848**. Il permet de représenter les différentes **étapes** d'un processus (états) ainsi que les **transitions** (conditions de passage d'un état à un autre).

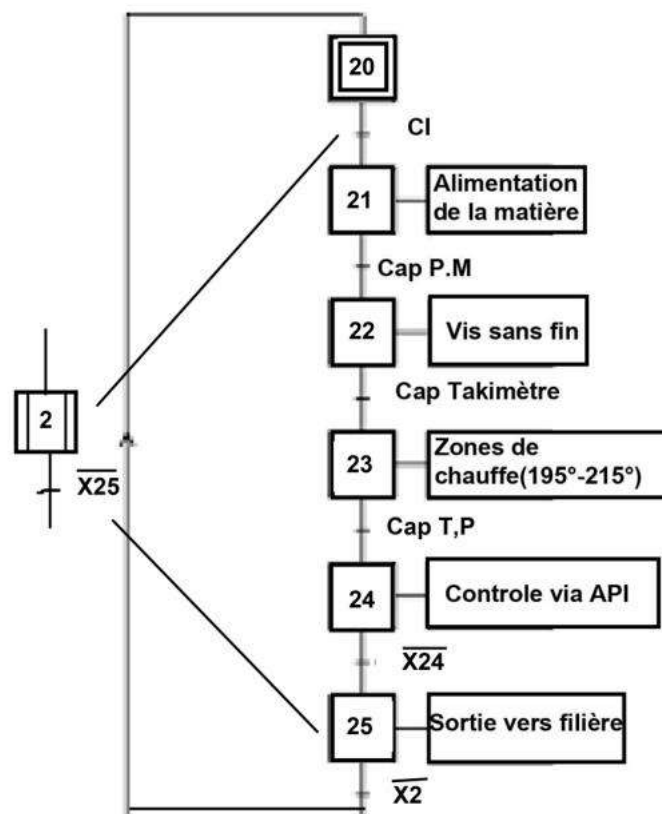
En analysant son usage sur la machine *CINCINNATI BETERFELD 75-40*, le Grafcet offre plusieurs avantages :

- Il permet une **lecture intuitive** du déroulement des opérations.
- Il facilite la **conception, la modification et le suivi** du processus de commande.
- Il s'intègre facilement avec les **automates programmables industriels (API)** comme ceux de **B&R Automation**.
- Il rend le travail **collaboratif plus simple**, en servant de base commune aux automaticiens, programmeurs et techniciens de maintenance.

- Il autorise une **traduction directe vers le langage Ladder**, utilisé pour la programmation des API.

En Application à l'extrudeuse, objet de notre étude, le Grafcet permet de piloter les opérations suivantes :

- **Initialisation** de l'extrudeuse,
- **Activation des résistances chauffantes** dans les 5 zones,
- **Contrôle de la température via les capteurs et relais statiques**,
- **Mise en marche de la vis sans fin** une fois les températures atteintes,
- **Démarrage du système de tirage** et du dispositif de coupe,
- **Arrêt contrôlé** en cas d'anomalie détectée (pression, température, ou arrêt d'urgence).



Voici une description simplifiée des étapes de fonctionnement de l'extrudeuse, à l'aide d'un GRAFCET :

- **CI** : Avant de lancer la production, certaines conditions sont indispensables : la matière doit être présente dans la trémie (confirmée par capteur), les cinq zones de chauffe doivent

atteindre entre 195°C et 215°C. La vis sans fin doit être libre, sans obstruction, et prête à fonctionner. Aucune alarme ne doit être active, que ce soit pour la température, la pression ou un capteur défectueux. Ces éléments garantissent un démarrage sécurisé et stable du cycle. La réceptivité est l'appui sur le bouton de démarrage.

- **CAP P.M** : Il détecte si les granulés de PEHD sont présents dans la trémie. Son signal autorise ou bloque l'alimentation vers la vis sans fin. Il garantit ainsi un démarrage uniquement en présence de matière
- **Cap Tachymètre** : Ce capteur mesure la vitesse de rotation de la vis sans fin. Il envoie un signal proportionnel à la vitesse au système d'automatisation. Cela permet de réguler précisément le débit de matière extrudée.
- **X24** : La transition X24 indique que la fusion du PEHD est achevée et que l'API a validé les températures et pressions via les capteurs. Cette condition permet de passer à l'étape suivante du processus
- **Cap T,P** : désignent les capteurs de température et de pression intégrés dans l'extrudeuse. Les capteurs T mesurent la chaleur dans chaque zone, tandis que les capteurs P surveillent la pression de la matière fondue. Ces données sont transmises à l'API pour un contrôle automatique. La réceptivité est que la température et la pression doivent être atteintes dans toutes les zones de chauffe.
- **X2** : marque la fin de la plastification du PEHD à l'intérieur de l'extrudeuse. La matière fondue a été homogénéisée et envoyée vers la filière. Le tube est désormais prêt pour le calibrage et le refroidissement.

Et les étapes (actions) sont :

Étape 20 – CI : Condition Initiale

L'automate vérifie la présence de matière dans la trémie, la stabilité des températures (195°C à 215°C), l'état libre de la vis sans fin, et l'absence d'alarme. Ces vérifications assurent un démarrage sécurisé du cycle d'extrusion.

Étape 21 – Alimentation de la matière

Les granulés de PEHD descendent par gravité depuis la trémie vers la vis. Un capteur détecte leur présence et autorise le processus à se poursuivre. Le système de dosage peut ajuster la quantité introduite.

Étape 22 – Vis sans fin (avec Cap Tachymètre)

La vis se met en rotation pour transporter la matière dans le fourreau. Sa vitesse est surveillée par un tachymètre, et ajustée automatiquement par l'automate selon les paramètres programmés.

Étape 23 – Zones de chauffe (195°–215 °C) avec éléments chauffants et ventilation

Le PEHD traverse cinq zones de chauffe régulées par thermocouples et relais statiques. Des capteurs de température et de pression contrôlent la fusion du polymère pour garantir une plastification homogène.

Étape 24 – Contrôle via API

L'API B&R lit les capteurs T (température) et P (pression), ajuste les résistances, et déclenche des alarmes en cas de défaut. Il supervise en temps réel les paramètres critiques de l'extrusion.

Étape 25 – Sortie vers filière

La matière fondue et homogénéisée est dirigée vers la filière située à la tête de l'extrudeuse. À cette étape, la forme tubulaire commence à se dessiner. C'est la fin du cycle interne de l'extrudeuse, avant les phases de calibrage et refroidissement. [6, 16, 48]

III.11. Conclusion

À travers ce chapitre, nous avons mené une étude approfondie de l'extrudeuse **CINCINNATI BETERFELD 75-40**, pièce maîtresse de la ligne de production de tubes en **PEHD** à l'usine **ITP Oran**. Cette machine, d'une robustesse industrielle avérée, constitue un maillon essentiel du processus d'extrusion, garantissant une transformation continue, homogène et parfaitement maîtrisée du polyéthylène haute densité.

Nous avons constaté que cette extrudeuse mono-vis repose sur une technologie de plastification avancée, avec une vis de 75 mm de diamètre et un rapport L/D de 40, assurant une fusion progressive et sans dégradation thermique. Elle dispose de **cinq zones de chauffe**

indépendantes, allant de **195 °C à 215 °C**, régulées par des relais statiques contrôlés par l'**API B&R Automation**. Cette configuration assure une stabilité thermique optimale, indispensable à la qualité d'extrusion. Grâce aux capteurs de température, de pression et de vitesse intégrés, l'automate peut ajuster en temps réel les paramètres critiques.

Le **logiciel de supervision WinCC** joue également un rôle central : il permet de surveiller en temps réel l'état de la machine, de gérer les alarmes, et de faciliter les interventions en cas d'anomalie. Sa convivialité permet une meilleure réactivité, réduit les arrêts de production, améliore la maintenance, et garantit la traçabilité des opérations.

En matière d'automatisation, nous avons structuré le cycle de fonctionnement de l'extrudeuse à travers un programme développé en **langage Grafcet**. Ce langage graphique a permis de modéliser de manière claire et séquentielle les différentes étapes du processus d'extrusion, depuis la phase de condition initiale jusqu'à la sortie de la matière vers la filière. **Aucune conversion en langage Ladder n'a été réalisée**, mais le Grafcet offre déjà une lecture fluide et une base solide pour le développement automatisé.

Sur le plan mécanique, nous avons étudié chaque composant de la machine, depuis la **trémie d'alimentation**, la **vis sans fin**, les **zones de chauffe**, jusqu'aux **systèmes de mesure** et à la **filière d'extrusion**. L'interaction de ces éléments permet une production stable, conforme aux normes industrielles, avec un haut niveau de fiabilité.

En conclusion, cette extrudeuse ne se limite pas à un outil de transformation du PEHD : elle constitue un système intégré alliant **mécanique de précision**, **automatisation avancée** et **supervision intelligente**. Ce chapitre met en lumière l'importance d'une telle machine dans une chaîne de production moderne, capable de répondre à des cadences industrielles tout en maintenant une qualité constante et une rentabilité maîtrisée.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Le présent mémoire a permis de développer une vision complète du fonctionnement d'une ligne d'extrusion de tubes PEHD à travers l'étude approfondie d'un cas réel : l'extrudeuse CINCINNATI BETERFELD 75-40 installée à l'usine ITP d'Oran. Cette machine, essentielle dans le processus de production, se distingue par sa capacité à transformer les granulés de PEHD en tubes de haute précision grâce à un système de régulation thermique avancé, une vis mono-filet adaptée et une tête d'extrusion calibrée avec précision.

Tout au long de ce travail, on a pu analyser de manière rigoureuse les différents composants de la machine : la trémie d'alimentation, la vis sans fin, les cinq zones de chauffe, les capteurs de température et de pression, les relais statiques, ainsi que le système de commande basé sur un automate programmable B&R. La supervision assurée par le logiciel WinCC a également été abordée en détail, montrant comment une interface industrielle moderne permet de piloter efficacement un système complexe en assurant à la fois performance, sécurité et traçabilité.

Par ailleurs, l'utilisation du langage **Grafset** pour modéliser le fonctionnement séquentiel de l'extrudeuse a permis de clarifier la logique de commande et de visualiser les transitions entre les différentes étapes du processus. Grâce à sa structuration claire et adaptée aux besoins du pilotage industriel, ce langage constitue un outil précieux pour l'analyse et la compréhension du cycle automatisé.

Cette immersion dans un environnement industriel réel nous a permis d'enrichir mes compétences techniques, d'appliquer concrètement des notions d'automatisme, de régulation et de supervision, et de mieux appréhender les exigences liées à la production continue. Elle nous a également sensibilisé à l'importance de la précision, de la maintenance préventive, et du rôle stratégique des automatismes dans l'optimisation des procédés industriels.

En conclusion, cette expérience a été pour nous une étape déterminante, à la fois professionnelle et personnelle, nous permettant de mieux cerner les réalités du monde industriel, et de confirmer notre orientation vers le domaine de l'automatisation et du contrôle des procédés.

Références

Bibliographiques

Bibliographie

1. Trotignon, J.P. (2020). *Technologie des Polymères*. 5ème édition. Paris: Lavoisier.
2. Pirlot, M. (2019). *Conception des Usines Industrielles*. 3ème édition. Paris: Dunod.
3. Norme ISO 4427 (2021). *Systèmes de canalisations en polyéthylène (PE) pour l'alimentation en eau*.
4. Norme ISO 9001: 2015. *Systèmes de management de la qualité - Exigences*.
5. Ministère de l'Industrie Algérien (2023). *Rapport Annuel sur le Développement Industriel*. Alger: MPI.
6. Rauwendaal, C. (2014). *Polymer Extrusion* (5^e éd.). Munich : Hanser Publications.
7. Rosato, D.V. (1998). *Extruding Plastics*. Boston, MA : Springer US.
8. Todd, R.H., Allen, D.K., & Alting, L. (1994). *Manufacturing Processes Reference Guide*. Industrial Press Inc.
9. Wagner, J.R. (2012). *Handbook of Troubleshooting Plastics Processes*. Hoboken, NJ : John Wiley & Sons.
10. Muralisrinivasan, N.S. (2011). *Update on Troubleshooting the PVC Extrusion Process*. Shrewsbury, UK : iSmithers.

Webographie

1. ITP Oran (2023). *Site Officiel de l'Entreprise*. [En ligne] Disponible sur: www.itp-oran.dz
2. Google Maps (2023). *Localisation Géographique de l'Usine ITP Oran*. [En ligne] Disponible sur: <https://maps.app.goo.gl/x7WueRjZm4CLs6ak9>
3. Ministère de l'Environnement Algérien (2022). *Règlement 06-141 sur les Rejets Industriels*. [En ligne] Disponible sur: www.minenv.dz/reglementation
4. Battenfeld-Cincinnati (2022). *Fiche Technique Extrudeuse BC-160*. [En ligne] Disponible sur: www.battenfeld-cincinnati.com/products
5. Siemens Industrial (2023). *Documentation SCADA SIMATIC PCS7*. [En ligne] Disponible sur: www.siemens.com/automation
6. Sick AG. (2024). *MM12 Compact Level Sensor – Technical Data*. <https://www.sick.com>

7. Pfeiffer Vacuum. (2023). *PKR 251 Cold Cathode Gauge – Datasheet*.
<https://www.pfeiffer-vacuum.com>
8. KraussMaffei. (2024). *Extrusion Line for PEHD Pipes*.
<https://www.kraussmaffei.com>
9. Krohne. (2023). *Optiflux 2300 Flow Meter – Specifications*.
<https://www.krohne.com>
10. Domino Printing. (2024). *Inkjet Printing for Pipe & Tube Marking*.
<https://www.domino-printing.com>
11. Brabender Technologie. (2023). *FlexWall®Plus FW80/5 – Fiche technique*.
↪ <https://www.brabender-technologie.com/fileadmin/media/Werksnormen/FW80/PDF/DDW-FW80-5-E.pdf>
12. Qenos. (2012). *Extrusion Technical Guide*.
[https://www.qenos.com/internet/home.nsf/\(LUIImages\)/TG2Extrusion/\\$File/TG2Extrusion.pdf](https://www.qenos.com/internet/home.nsf/(LUIImages)/TG2Extrusion/$File/TG2Extrusion.pdf)
13. Wikipedia contributors. (2024). *Plastic extrusion*. Wikipedia.
↪ https://en.wikipedia.org/wiki/Plastic_extrusion
14. Grafiati. (2024). *HDPE Pipe – Academic References*.
↪ <https://www.grafiati.com/en/literature-selections/hdpe-pipe/>
15. Kubota Brabender. (2023). *FlexWall®Plus FW80/7 – Product page*.
↪ <https://www.kubota-bt.com/en/products/flexwall-plus-fw80-7-80/>
16. Manohar, D. M. (2019). *Module III – Extrusion Processes*. Crescent Education.
<https://crescent.education/...extrusion-processes.pdf>
17. Dynisco. (2006). *The Dynisco Extrusion Processors Handbook*.
<https://www.dynisco.com/.../Extrusion-Handbook.pdf>
18. WIKA Instruments. (2023). *Capteur de pression S-20 – Fiche technique*.
<https://www.wika.com>
19. Sinopipe Factory. (2024). *Understanding the HDPE Pipe Extrusion Process*.
<https://sinopipefactory.com/...extrusion-process>
20. Machine Gold Supplier. (2024). *HDPE Pipe Extrusion – Step by Step*.
<https://machine.goldsupplier.com/blog/hdpe-pipe-extrusion-process>

21. Plastics Technology. (2023). *Selecting Tooling for Pipe Extrusion*.
<https://www.ptonline.com/articles/...tooling-pipe>
22. SICA S.p.A. (2023). *Vacuum Sizing Tanks for HDPE Pipes*.
<https://www.sica-italy.com>
23. Battenfeld-Cincinnati; solEX single screw extruders; Disponible sur :
[\[https://www.battenfeld-cincinnati.com/products/detail/solex\]](https://www.battenfeld-cincinnati.com/products/detail/solex)[\]\(https://www.battenfeld-cincinnati.com/products/detail/solex\)](https://www.battenfeld-cincinnati.com/products/detail/solex)
24. Siemens – SIMATIC WinCC System Overview; Présentation du système SCADA WinCC, Disponible sur :
<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid%3A70cd7167-050a-47d0-b6f5-a4e1aa02113e/ipdf-wincc-systemuebersicht-eng.pdf>[\]\(https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid%3A70cd7167-050a-47d0-b6f5-a4e1aa02113e/ipdf-wincc-systemuebersicht-eng.pdf\)](https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid%3A70cd7167-050a-47d0-b6f5-a4e1aa02113e/ipdf-wincc-systemuebersicht-eng.pdf)
25. Siemens – ProDiag pour WinCC; Documentation sur la surveillance avancée avec ProDiag ; Disponible sur :
https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109823813/ProDiagWinCC_en-US.pdf[\]\(https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109823813/ProDiagWinCC_en-US.pdf\)](https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109823813/ProDiagWinCC_en-US.pdf)
26. B&R Automation – Automation Device Interface (ADI) ; Technologie d’interface pour l’automatisation industrielle ; Disponible sur : <https://www.br-automation.com/en/products/software/additional-information/automation-device-interface-adi>[\]\(https://www.br-automation.com/en/products/software/additional-information/automation-device-interface-adi\)](https://www.br-automation.com/en/products/software/additional-information/automation-device-interface-adi)
27. Control.com – Programming B&R PLCs with Automation Studio; Article technique sur la programmation d’API B&R ; Disponible sur : <https://control.com/technical-articles/programming-br-plcs-with-automation-studio>[\]\(https://control.com/technical-articles/programming-br-plcs-with-automation-studio\)](https://control.com/technical-articles/programming-br-plcs-with-automation-studio)
28. Université de Biskra – Mémoire technique PEHD ; Étude d’une extrudeuse PEHD avec API Siemens ; Disponible sur : <https://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/21906/1/BEN%20ABBAS%20Taki%20Eddine.pdf>[\]\(https://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/21906/1/BEN%20ABBAS%20Taki%20Eddine.pdf\)](https://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/21906/1/BEN%20ABBAS%20Taki%20Eddine.pdf)

- [/archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/21906/1/BEN%20ABBAS%20Taki%20Eddine.pdf](https://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/21906/1/BEN%20ABBAS%20Taki%20Eddine.pdf)
29. Battenfeld-Cincinnati. (s.d.). *solEX single screw extruders*. Disponible sur <https://www.battenfeld-cincinnati.com/products/detail/solex>](<https://www.battenfeld-cincinnati.com/products/detail/solex>)
 30. Siemens. (2022). SIMATIC WinCC System Overview. Siemens AG. Disponible sur <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid%3A70cd7167-050a-47d0-b6f5-a4e1aa02113e/ipdf-wincc-systemuebersicht-eng.pdf>](<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid%3A70cd7167-050a-47d0-b6f5-a4e1aa02113e/ipdf-wincc-systemuebersicht-eng.pdf>)
 31. Siemens. (2018). ProDiag in WinCC. Siemens Industry Support. Disponible sur https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109823813/ProDiagWinCC_en-US.pdf](https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109823813/ProDiagWinCC_en-US.pdf)
 32. B&R Automation. (s.d.). Automation Device Interface (ADI). B&R Industrial Automation. Disponible sur <https://www.br-automation.com/en/products/software/additional-information/automation-device-interface-adi>](<https://www.br-automation.com/en/products/software/additional-information/automation-device-interface-adi>)
 33. Gonzalez, A. (2023). Programming B&R PLCs with Automation Studio. Control.com. Disponible sur <https://control.com/technical-articles/programming-br-plcs-with-automation-studio>](<https://control.com/technical-articles/programming-br-plcs-with-automation-studio>)
 34. Ben Abbas, T. E. (2022). Étude d'une extrudeuse de tube PEHD avec API Siemens S7-300 et supervision Step7/WinCC. Mémoire de fin d'études, Université de Biskra. Disponible sur <https://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/21906/1/BEN%20ABBAS%20Taki%20Eddine.pdf>](<https://archives.univ-biskra.dz/bitstream/123456789/21906/1/BEN%20ABBAS%20Taki%20Eddine.pdf>)

Résumé:

Ce mémoire de fin d'études porte sur l'étude du fonctionnement des machines de production des tubes en polyéthylène haute densité (PEHD) au sein de l'usine ITP d'Oran. Ce matériau, reconnu pour sa robustesse, sa résistance chimique et sa longue durée de vie, est largement utilisé dans les réseaux d'eau potable, de gaz et d'assainissement. L'étude s'appuie sur une immersion technique en milieu industriel, avec une analyse détaillée des différentes étapes du processus de fabrication : alimentation en granulés, extrusion, calibrage, refroidissement, marquage, tirage, coupe et contrôle qualité. Une attention particulière est portée à la machine principale de la ligne, l'extrudeuse CINCINNATI BETERFELD 75-40, équipée de capteurs, d'un automate programmable (API B&R) et d'un système de supervision WinCC. Ce travail met en lumière l'importance de l'automatisation, du contrôle des paramètres de production et de la rigueur dans l'organisation industrielle pour garantir une production continue, conforme aux normes et respectueuse de l'environnement. Un programme en Grafcet a été présenté pour mettre en évidence les différentes étapes et transitions du fonctionnement de l'extrudeuse.

Mots clés : Polyéthylène haute densité (PEHD), ITP d'Oran, Extrudeuse, Grafcet.

المخلص:

يتناول هذا التقرير دراسة تفصيلية لكيفية عمل آلات إنتاج أنابيب البولي إيثيلين عالي الكثافة (PEHD) في مصنع ITP بهران. يُستخدم هذا البوليمر على نطاق واسع في شبكات المياه الصالحة للشرب، الغاز والصرف الصحي، لما يتميز به من صلابة ومقاومة كيميائية وعمر افتراضي طويل. تمت الدراسة من خلال تدريب ميداني، وشملت تحليلاً شاملاً لجميع مراحل الإنتاج: تغذية الحبيبات، البثق، المعالجة، التبريد، التعليم، السحب، التقطيع والمراقبة. وتم التركيز بشكل خاص على آلة البثق الرئيسية CINCINNATI BETERFELD 75-40 المزودة بحساسات ونظام تحكم آلي (B&R API) ونظام مراقبة (WinCC). يُظهر هذا العمل أهمية الأتمتة ودقة التحكم في المعايير الصناعية لتحقيق إنتاج متواصل وفعال ومتوافق مع المعايير البيئية والجودة العالمية. تم تقديم برنامج Grafcet لتسليط الضوء على المراحل والانتقالات المختلفة في تشغيل الطارد.

كلمات مفتاحية: البولي إيثيلين عالي الكثافة (PEHD)، مصنع ITP، آلة البثق، Grafcet.

Abstract:

This thesis focuses on the operational study of machines involved in the production of high-density polyethylene (HDPE) pipes at the ITP factory in Oran. HDPE is widely used in water supply, gas distribution, and sanitation networks due to its mechanical strength, chemical resistance, and long service life. The work is based on field observations and a detailed technical analysis of the production stages: raw material feeding, extrusion, calibration, cooling, marking, pulling, cutting, and quality control. Particular attention is given to the CINCINNATI BETERFELD 75-40 extruder, the core of the process, equipped with sensors, a programmable logic controller (B&R PLC), and the WinCC supervision system. This study highlights the critical role of automation, parameter control, and structured industrial organization to ensure continuous, high-quality, and environmentally compliant production. A Grafcet program was presented to highlight the different stages and transitions of the extruder's operation.

Keywords: High density polyethylene (HDPE), ITP d'Oran, Extruder, Grafcet.