

E.N.S.T

المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا
Ecole Nationale Supérieure de Technologie

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية



Department of Industrial
Engineering & Maintenance

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا

Ecole national supérieur de technologie

Département : Génie Industriel Et Maintenance

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme

D'Ingénieur d'état

Filière : Génie Industriel & Électromécanique

Spécialité : Management Et Ingénierie De Maintenance Industriel & Mécatronique

Thème :

**Proposition D'une Approche Basée Sur L'intelligence Artificielle
Permettant D'adopter Une Politique De Maintenance Prédictive**

Réalisé par

BENSALEM Hafsa & ZERROUKI Kheira

Les membres de Jury :

Mr. GOURI Rabah	Président
Mr. BOUDHAR HAMZA	Promoteur
Mr. CHAABANE Ali	Co-encadrant
Mme. GHAZI Nawal	Examineur

Alger, le 28/06/2023

Année universitaire 2022 –2023

إهداء

إلى من كان له الفضل في أن أصبح ما أنا عليه اليوم، إلى والدي
الداعمين وسبب نجاحي العلمي والدنيوي، لك يا أمي يا من صنعت
مني امرأة مفكرة ولك يا أبي يا من زرعت في حب العلم والسعي
إليه ابتغاء وجه الله تعالى وإلى جدتي فاطمة بن سالم رحمة الله
عليها وإخوتي الكرام.

إلى أساتذتي الكرام منذ بداية مشوارنا الدراسي حتى يومنا هذا،
إلى كل صديق ورفيق درب كان سندا خلال هذه السنوات خاصة
أنت يا صديقتي زروقي خيرة يا خير رفيقة.
إلى كل من ساهم في بناءنا علما وخلقا، هذا العمل إهداء لكم.

بن سالم حفصة

Dédicaces

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie du plus profond de mon

Cœur ce travail à :

Mon cher père, Abdelkader, qui m'a inculqué le sens de la responsabilité et qui a toujours été présent à mes côtés pour me guider vers le bon chemin.

Ma chère maman, Aicha, pour son soutien moral et physique quotidien pendant toutes ses années, elle qui a toujours su m'encourager et me pousser d'aller vers l'avant.

Mon frère, Abdelhamid, mon deuxième père après le décès de mon père, mon frère qui m'a accompagné tout au long de mon parcours, MERCI infiniment.

Mes frères et sœurs pour leur soutien, leurs conseils et leurs encouragements tout au long de ces années.

Mon binôme, Hafsa, pour sa patience et son sens de la responsabilité tout le long des cinq (05) années que nous avons passé ensemble à étudier.

Mes chères amies, Karima, Nadjat, Farah, Souhila, Nour, Foula et Malak.

Zerrouki Kheira

Remerciements

Nos premiers remerciements s'adressent à Dieu le tout puissant qui par sa bonté et sa miséricorde nous a permis d'avoir le courage, la foi et la volonté de mener à bien ce travail. Nous tenons aussi à remercier nos encadreurs Mr.

BOUDHAR et Mr. CHABANE qui ont été présent à tout moment de la réalisation de ce projet et sans lui ce modeste travail n'aurait jamais vu le jour, ainsi que les membres de jury pour l'intérêt qu'ils ont portés à ma recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous remercions également tous les professeurs qui ont contribués de près ou de loin à notre formation universitaire, sans oublier toutes personnes qui nous ont aidés à mener à terme notre projet.

Merci à tous.

Table des matières

Dédicaces	3
Remerciements	4
Introduction générale	10
Chapitre I	12
I.1 Introduction.....	13
I.2 Présentation de l'entreprise.....	13
1.4 Présentation de processus.....	17
I.5 Présentation d'outils de production	18
I.5.1 Le trémie d'alimentation :.....	21
I.5.2 Vis de plastification :	21
I.5.3 Zone d'alimentation :.....	22
I.5.4 Cylindre :.....	23
I.5.5 Tête d'extrusion :	23
I.5.6 Le système de régulation de température :.....	25
I.5.7 Le convoyeur de rétrécissement :	25
Chapitre II	27
II. 1 Introduction	28
II.2.1 Analyse Fonctionnelle Externe.....	29
II.2.1.1 Analyse de besoin	29
II.2.1.2 Définition du besoin de sous-système ²⁺³	29
II.2.1.4 Cahier des charges fonctionnelles	31
II.2.2 Analyse fonctionnelle interne	32
II.2.2.1 Diagramme SADT (analyse descendante et liens inter-fonctionnelle).....	33
II.2.2.2 Cahier des charges techniques	36
II.3.1 Analyse des Modes de Défaillances et de leur Effet et de leur Criticité	38
II.3.2 Méthodologie de l'AMDEC.....	38
II. 3.3.4 Evaluation de la criticité	50
IV.4 Conclusion	51

Chapitre III	52
III.1 Introduction.....	53
III.2 Pourquoi le Machine Learning.....	53
III.3 Application de la méthode K-means	54
III.4 Interprétation de résultat et synthèse :.....	60
III.4.1 L'interprétation du premier chart	60
III.4.2 Interprétation du deuxième chart	61
III.4.2 La Politique De Maintenance Proposé.....	64
II.5 Conclusion.....	65
CHAPITRE IV	66
IV.1 Introduction	67
IV.2 Définition de Digital Twin (DT)	67
IV.3 Modélisation du sous-système	67
IV.3.1 Modélisation par Bond Graph :	68
IV.3.2 Le passage du BG à la représentation d'état	71
IV.4 Description des logiciels SolidWorks et V-REP (Virtual Robot Experimentation Platform) ...	74
IV.5 Construction de digital twin.....	75
IV.6 Conclusion	78
Conclusion générale	79
Les Références	80
Annexe	83

Liste des Figures

Chapitre I

Figure I. 1 : La carte géographique de IRIS TYRES	14
Figure I. 2: L'organigramme de la ligne Apexer	15
Figure I. 4: Les étapes du processus de fabrication de l'Apex.....	18
Figure I. 5: Les composants d'un convoyeur de rétrécissement.....	19
Figure I. 6: Les composants et les éléments d'une extrudeuse plastique	20
Figure I. 7: Entonnoir et rouleau d'alimentation	21
Figure I. 8 : Vis de plastification	22
Figure I. 9 : Zone d'alimentation	22
Figure I. 10: Cylindre.....	23
Figure I. 11: Tête d'extrusion	24
Figure I. 12 : Pompe de vérin hydraulique	24
Figure I. 13 : Régulateur de température	25
Figure I. 14 : Convoyeur de rétrécissementI.6 Conclusio.....	25

Chapitre II

Figure II. 1 : Les différentes étapes de l'analyse fonctionnelle.	28
Figure II. 3 : Diagramme pieuvre	30
Figure II. 4 : Diagramme pieuvre	30
Figure II. 5 : Diagramme SADT niveau A-0 de sous-ensemble 2+ 3.	33
Figure II. 6 : Diagramme SADT niveau A0 de sous-système 2+.....	34
Figure II. 7 : Diagramme SADT d'extrudeur et le convoyeur	35
Figure II. 8 : L'organigramme de la méthode AMDEC	39

Chapitre III :

Figure III. 1: Les différentes algorithmes de Machine Learning.....	54
Figure III. 2 : Processus de l'application de la méthode K-means.....	55
Figure III. 3: Visualisation da la 1ère base de données	55
Figure III. 4 :Visualisation da la 2èmé base de données	566
Figure III. 5 : L'application de l'algorithme de clustering sur le dataset 1 Error! Bookmark not defined.	7
Figure III. 6 : Le résultat de clustering par le dataset 1	Error! Bookmark not defined.7
Figure III. 7 : Le résultat de clustering par le dataset 2	Error! Bookmark not defined.8
Figure III. 8 : L'application de l'algorithme de clustering sur le dataset 2 Error! Bookmark not defined.	8
Figure III. 9: Le résultat de clustering par le dataset 2	599

Chapitre IV

Figure IV. 1 :Circuit électrique de l'induit d'un moteur	68
Figure IV. 2 : Circuit de commande d'un moteur	68
Figure IV. 3: première convention pour faire apparaitre la causalité	70
Figure IV. 4: deuxième convention pour faire apparaitre la causalité.....	70
Figure IV. 5 : Modélisation par Bond Graph du système «extrudeur».....	70
Figure IV. 6 : Conception du la vue de face de extrudeur sur SolidWorks	75
Figure IV. 7 : Conception du la vue de dusse de extrudeur sur SolidWorks	76

Figure IV. 8 : Simulation d'extrudeur dans V-REP77

Liste des Tableaux

Tab I.1 : : les systèmes de la ligne Apexer et ces fonctions requises16

Tab II. 1: Les trois questions pour l'élancement de besoin29

Tab II. 2: Fonctions de diagramme de pieuvre31

Tab II. 3 : Cahier des charges fonctionnel32

Tab II. 4 : Cahier des charges technique de l'extrudeur36

Tab II. 5 : Cahier des charges technique de convoyeur37

Tab II. 6 : AMDEC de l'ensemble extrudeuse plastique et convoyeur41

Tab II. 7: Critère de Gravité49

Tab II. 8 : Critère de Gravité49

Tab II. 9 : Critère de Fréquence49

Tab II. 10 : Classement des causes de défaillance50

Tab III. 1 Interprétation du premier chart60

Tab III. 2 : Interprétation du deuxième chart62

Tab III. 3: La politique de maintenance préventif proposé64

Tab IV 1 : Les principaux caractéristiques de moteurs et de vis de l'extrudeur69

A. 1 : Les caractéristiques d'extrudeur83

A. 2 : Les caractéristiques Convoyeur de rétrécissement86

Liste des Abréviations

FP : Fonction Principale

FC : Fonction de Contrainte

CDCF : Cahier Des Charges Fonctionnels

SADT: Structured Analyze and Design Technique

BG : Band Graph

AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et leurs Criticité

F : Fréquence

O : Occurrence

G : Gravité

D : Non Détectabilité

C : Criticité

IA : Intelligence Artificiel

ML: Machine Learning

DT: Digital Twin

Introduction générale

Aujourd'hui, la croissance des systèmes à risques, centrales nucléaires, installation des gaz, aéronautique, il devient impératif de surveiller, identifier et diagnostiquer toutes variations de comportement. La gestion des piliers de la maintenance des installations industrielles est devenue, au fil des ans, un facteur de compétitivité. Les bons outils et la bonne stratégie de maintenance permettent en effet de maintenir une disponibilité élevée des équipements, tout en minimisant les coûts liés aux interventions. Donc en termes de coût la réduction des interventions (inutile) implique une réduction des coûts de maintenance (systématique, conditionnelle ou curative), cela impose aux industries de prendre des mesures pour rendre les outils de gestion de la maintenance et les systèmes plus fiables. Dans la plupart des industries, la fonction maintenance ne consiste plus seulement à réparer mais également à prévenir et à prédire la durée de vie des équipements. Le premier pas consiste à développer une meilleure connaissance de leurs comportements en exploitation pour toute leur durée de vie.

D'une part, la maintenance régulière et préventive peut contribuer à réduire les coûts à long terme en évitant les pannes majeures et coûteuses, en effectuant des inspections, des réglages et des réparations mineures de manière proactive et selon un échéancier. D'autre part, les actions exécutées en basant sur la surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent. À partir de ces notions de maintenance préventive systématique et conditionnelle on cite que la maintenance prédictive est une forme avancée de la maintenance conditionnelle ou systématique basée sur les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien.

La digitalisation est également cruciale pour la maintenance prédictive. La maintenance prédictive consiste à utiliser des données et des technologies pour anticiper les défaillances et les pannes d'équipements et planifier des interventions de maintenance avant qu'un problème ne se produise réellement. La collecte, le stockage et l'analyse des données nécessaires à la maintenance prédictive sont facilitées par la digitalisation.

Les concepts de maintenance prédictive, d'intelligence artificielle (IA) et de Digital Twin sont étroitement liés. Ils contribuent tous ensemble à une méthode innovante de gestion des actifs et des coûts de maintenance des équipements industriels. Par conséquent, la concentration sur l'application des concepts de maintenance systématique et conditionnelle ne sert pas à répondre aux besoins des industries par rapport à l'objectif de zéro panne, Les responsables de la maintenance sont de plus en

plus confrontés à la nécessité de nouveaux outils et méthodes pour la fonction de maintenance. Notre travail à la Seine de l'entreprise IRIS TYRES consiste à proposer une approche basée sur l'intelligence artificielle (AI) pour adapter une politique de maintenance prédictive afin de réaliser des interventions efficaces, ce qui permet de réduire les coûts de maintenance (directs ou indirects) et d'améliorer les outils de gestion de cette fonction cruciale.

Notre mémoire est divisé quatre parts

1. Contexte d'étude et motivation, elle consiste à présenter l'entreprise d'accueil, la ligne, le processus de production et le système choisi.
2. Dans la deuxième partie, nous appliquons l'analyse fonctionnelle comme une base pour l'analyse dysfonctionnelle afin d'utiliser la méthode qualitative AMDEC pour l'analyse des modes de défaillance de l'équipement choisi.
3. La troisième partie, nous aborderons la partie de l'intelligence artificielle précisément le Machine Learning (ML) et nous présenterons quelle méthode de (ML) on a utilisé pour entamer l'approche proposée.
4. La dernière partie est la digitalisation, une application de Digital Twin (DT) pour l'équipement choisi a étudié.

Chapitre I

Contexte d'étude et motivation

I.1 Introduction

La transformation digitale est un phénomène qui affecte les entreprises de n'importe quel secteur ou domaine. Pour cette raison, l'industrie doit évoluer avec cela. Ces dernières années, on parle d'une nouvelle révolution industrielle c'est l'Industrie 4.0 appelé aussi l'industrie numérique, intelligente ou bien usine connectée. Les usines intelligentes ou bien les usines 4.0 se caractérisent notamment par la transformation numérique des systèmes de production pour atteindre un nouveau stade de flexibilité, la spécificité du concept Industrie 4.0 par rapport à celui d'Industrie 3.0 a poussé les entreprises à innover davantage, à produire plus rapidement de façon plus spécifique, personnalisée et à moindre coûts.

La maintenance industrielle est une fonction stratégique dans les entreprises et d'une manière spéciale dans les usines intelligentes, grâce à l'intégration de technologies les usines intelligentes permettent de gérer la fonction maintenance d'une manière flexible et fiable. La bonne gestion de la fonction maintenance et ses tâches offre de nouvelles opportunités aux entreprises de rester compétitives dans un environnement en constante évolution. La combinaison de la fonction maintenance avec la technologie intégrée pour assurer la bonne gestion de cette fonction dans les usines intelligentes joue un rôle crucial dans l'avenir de la fabrication industrielle, leur importance réside dans leur capacité à révolutionner les opérations de production en optimisant l'efficacité, la qualité et la rentabilité des équipements.

Nous avons effectué notre stage au niveau de l'une des plus grandes usines intelligentes d'usine en Algérie se classant le premier en Algérie et le troisième en Afrique au domaine pneumatique, c'était IRIS TYRES au niveau de la wilaya de Sétif. L'industrie d'IRIS pneumatique est une industrie 4.0 spécialisée dans la fabrication des pneus premium qui ont leur place parmi les grands du secteur.

Dans ce chapitre nous allons présenter l'entreprise IRIS TYRES, aussi on présente la ligne de production passant par le processus, ensuite la présentation de notre outil de production choisi pour étudier.

I.2 Présentation de l'entreprise

IRIS TYRES c'est un projet grandiose, un méga complexe industriel bâti sur une superficie de 5,5 hectares situé à la zone industrielle de Sétif. Son processus 100 % local a été mis en place dont la capacité estimée est de 2 Millions de pneus légers, utilitaires et semi lourds par an durant la première phase et qui connaîtra une augmentation considérable de la cadence de production atteignant les 4,5 Millions de pneus par an pour la deuxième phase. Le projet de l'usine regroupe plusieurs partenaires

I.3 Présentation de ligne

La ligne de production choisie dans l'industrie IRIS TYRES est appelée Apexer VMI, l'Apexer VMI est un équipement Hollandais dont la fonction requise est la fabrication du cerceau extérieur du pneu appelé le Tringles-Apex ou bien le Bead-Apex. L'Apexer se compose de plusieurs systèmes, les systèmes se composent aussi aux composants et les composants à des éléments. La ligne s'alimente par une bande de caoutchouc comme matière première appelée BA800 pour commencer à fabriquer le Bead-Apex. L'organigramme de la ligne Apexer au-dessous représente les différents systèmes trouvés dans ce dernier.

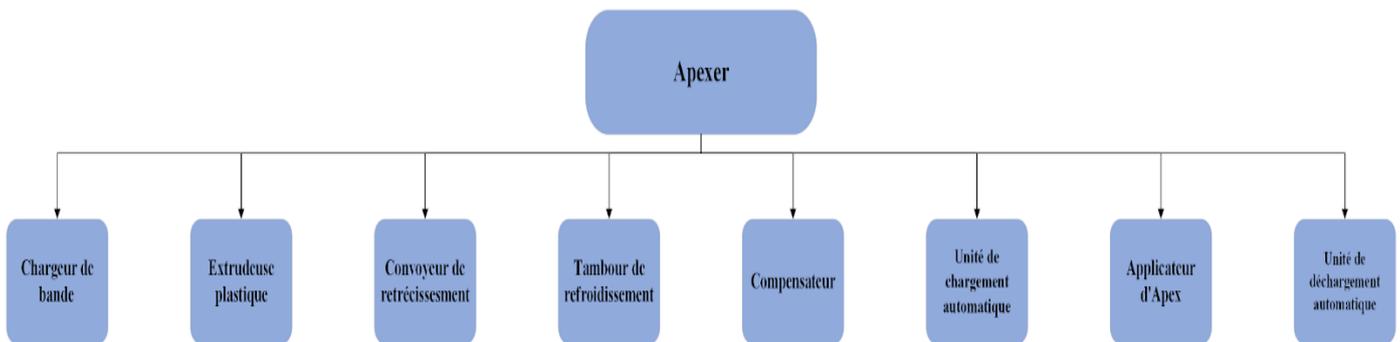


Figure I. 2 : L'organigramme de la ligne Apexer

Le tableau suivant représente les systèmes de la ligne Apexer et ces fonctions requises :

Tab I.1 : les systèmes de la ligne Apexer et ces fonctions requises

Les systèmes de la ligne Apexer	Fonctions requises
Le chargeur de bandes	Alimenter uniformément et régulièrement la ligne de production par la matière d'œuvre la bandes de caoutchouc appelé le BA800 obtenir la bande Apex.
Le chargeur de bandes	Alimenter uniformément et régulièrement la ligne de production par la matière d'œuvre la bandes de caoutchouc appelé le BA800 obtenir la bande Apex.
Extrudeuse plastique	Fondre et extruder la matière première à travers un vis d'extrusion appelé une vis sans fin.
Convoyeur de rétrécissement	Rétrécit et transporter la matière fabriquée par l'extrudeuse plastique (l'Apex) de l'extrudeuse vers un tambour de refroidissement.
Tambour de refroidissement	Refroidir les enroulements de l'apex.
Compensateur	Compensateur enrouler et établir une accumulation de caoutchouc avant l'application de l'apex.
Unité de chargement automatique	Séparer les talons chargés des bras du carrousel de stockage et charger les cerceaux (tringles / Bead) pour l'application de l'Apex
Applicateur de cerceau	Appliquer la bande Apex par un applicateur de pression sur la Bead pour obtenir une Bead Apex.
Unité de déchargement automatique	Décharger automatiquement les Bead-Apex de l'unité d'assemblage vers les bras de carrousel de stockage.

1.4 Présentation de processus

Le processus de fabrication de la Bead Apex commence par :

- L'alimentation de trémie d'alimentation par la matière d'œuvre en caoutchouc appelé BA800, le BA800 a une texture rigide à l'aide d'un chargeur de bande qui va assurer une alimentation régulière et continue au cours du temps.
- Ensuite l'opérateur de machine va régler la trémie par l'IHM afin de continuer à alimenter l'extrudeuse, l'extrudeuse se compose d'une vis sans, un cylindre et une tête d'extrusion. La vis commence à extruder (couper) la matière d'œuvre BA800 lorsque la matière coïncide avec le. Au même temps, le cylindre chauffe la pâte extrudée pour devenir une pâte souple (le vis dans ce cas joue un rôle d'un coupeur et un mélangeur en même temps).
- Après l'extrusion de caoutchouc au niveau de l'extrudeuse la pâte sera pressée par un grille-contre-pression vers une tête d'extrusion qui va donner la forme **aux bandes pressées** à l'aide des bloc filière contient des moules ont des ouvertures spéciales pour former une bande Apex a une largeur précise. A partir d'un convoyeur de rétrécissement, la bande Apex va transporter vers le système de refroidissement pour continuer le processus de fabrication de la Bead-Apex, l'étape qui suit c'est refroidir, accumuler la bande Apex et la stocker sur un tambour de refroidissement et un compensateur.

A ce moment-là, l'unité de chargement automatique sépare les talons chargés des bras du carrousel de stockage à l'aide d'un module de préhension et d'un séparateur. La bande Apex se transporte par un convoyeur vers l'endroit où applicateur automatique va presser la bande Apex autour d'un cerceau (tringle), après l'application du bande Apex on obtient une Bead-Apex prêt à stocker.

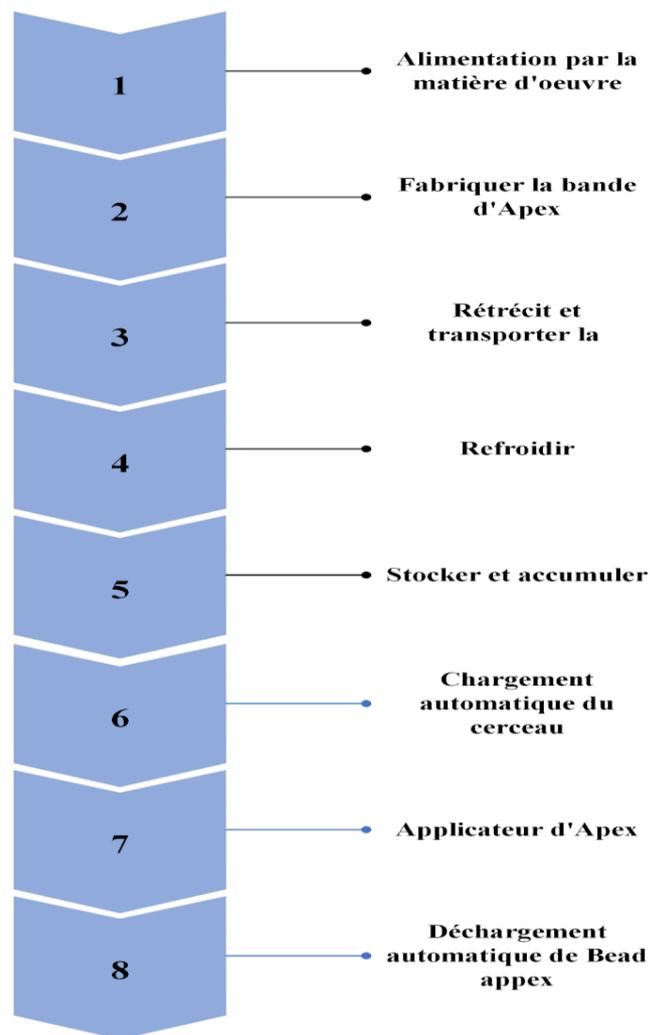


Figure I.3: Les étapes du processus de fabrication de l'Apex

I.5 Présentation d'outils de production

Parmi les systèmes qui se compose l'équipement Apexer on a choisi un système appelé extrudeuse plastique et un convoyeur de rétrécissement, la fonction requise de l'extrudeuse est de fondre et extruder les bandes de caoutchouc appelé BA800 pour fabriquer et former une bande Apex afin de :

L'utiliser pour le cerceau extérieur du pneu (le Bead-Apex). Le convoyeur a comme fonction requise de rétrécir et transporter la bande Apex vers le prochain système.

L'extrudeuse plastique est un système mécanique fonctionnant par une énergie mécanique (moteur) et autre thermique (l'eau chaude), le contrôle de l'énergie thermique se fait par des régulateurs de température sous formes des blocs régler manuellement et par l'interface homme machine. Grâce à l'automatisation de l'industrie IRIS TYRES le fonctionnement d'une extrudeuse plastique est toujours sous surveillance en temps réel, qui nous permet de sauvegarder des bases de données fiables en temps réel sur l'état de fonctionnement de système.

Le convoyeur de rétrécissement se compose de deux convoyeurs-, le premier enlever la matière d'APEX à l'extérieur de l'extrudeuse pour la rétrécit, le deuxième transporte la matière d'Apex vers le prochain système.

L'organigramme au-dessous présente les différents composants du système et ces éléments.

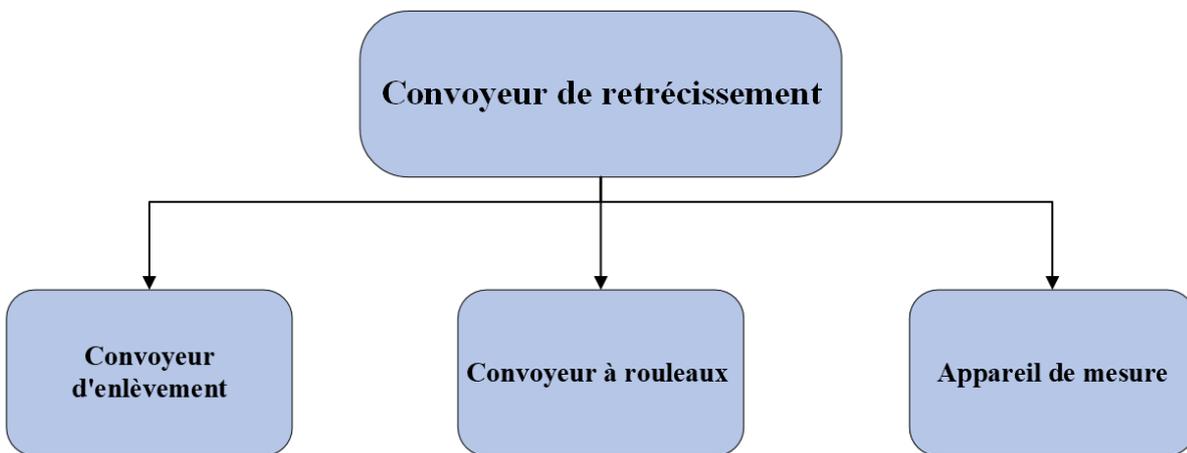


Figure I.4: Les composants d'un convoyeur de rétrécissement

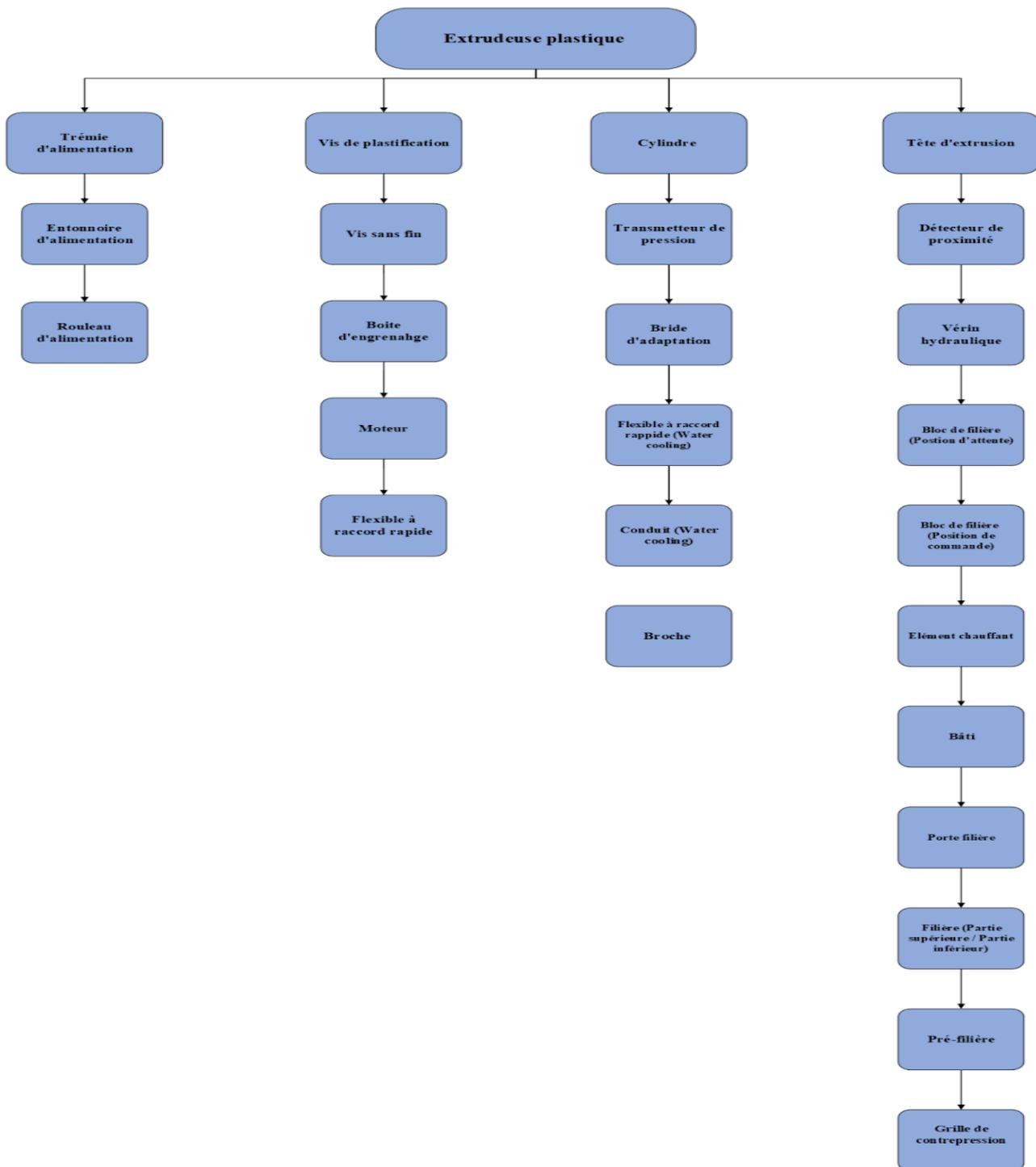


Figure I. 5: Les composants et les éléments d'une extrudeuse plastique

I.5.1 Le trémie d'alimentation :

La trémie d'alimentation sert à alimenter la vis par la matière d'œuvre de caoutchouc, il se compose de deux éléments à un entonnoir et un rouleau d'alimentation.

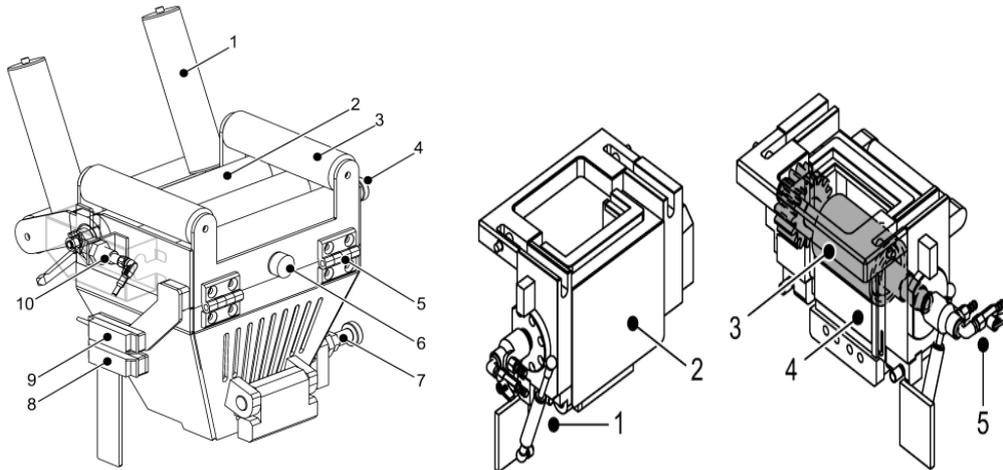


Figure I. 6: Entonnoir et rouleau d'alimentation

I.5.2 Vis de plastification :

Le deuxième composant est une vis de plastification, il a comme un rôle- de couper et extruder la matière d'œuvre de caoutchouc, Si l'alimentation s'arrête, par exemple, ou s'il n'y a plus de bandes dans l'entonnoir, le système de commande informatique génère automatiquement un message d'alarme sur l'IHM.

Il se compose de 4 éléments :

- 1- Une vis sans fin.
- 2- Boîte d'engrenage.
- 3- Moteur d'entraînement.
- 4- Flexible à raccord rapide (water cooling).

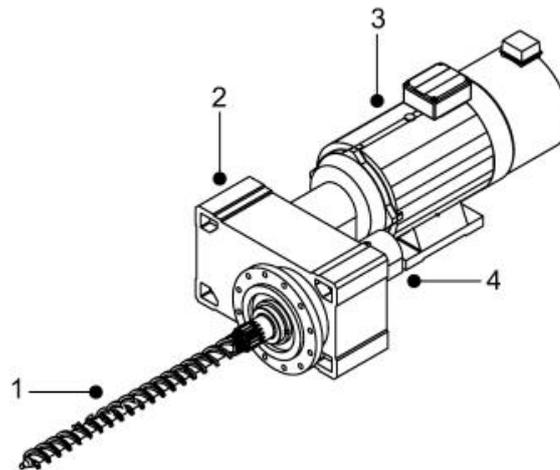


Figure I. 7 : Vis de plastification

I.5.3 Zone d'alimentation :

La zone d'alimentation assure l'alimentation de vis par la matière d'œuvre d'une manière régulière et continue, se compose de 3 éléments :

- 1- Zone d'alimentation
- 2- Vis de l'extrudeur
- 3- Rouleau d'alimentation

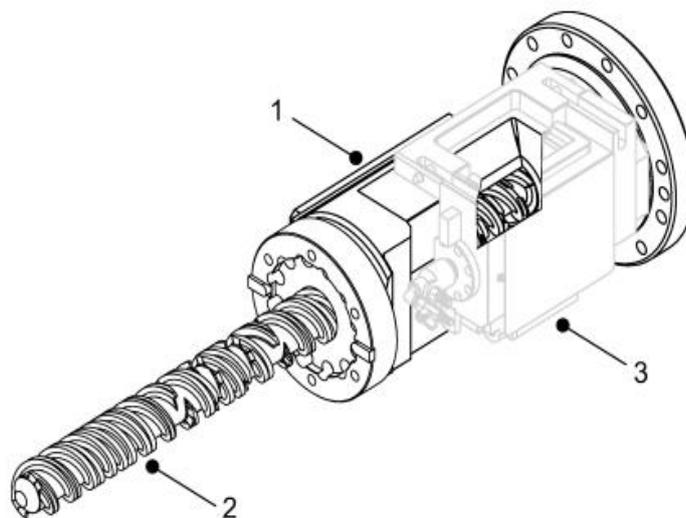


Figure I. 8 : Zone d'alimentation

I.5.4 Cylindre :

Le cylindre à broches est conçu de manière à améliorer la plastification et l'homogénéisation du processus. Il se compose à 5 éléments :

- 1- Transmetteur de pression.
- 2- Bride d'adaptation.
- 3- Flexible à raccord rapide (Water-cooling).
- 4- Conduit (Water-cooling).
- 5- Broche.

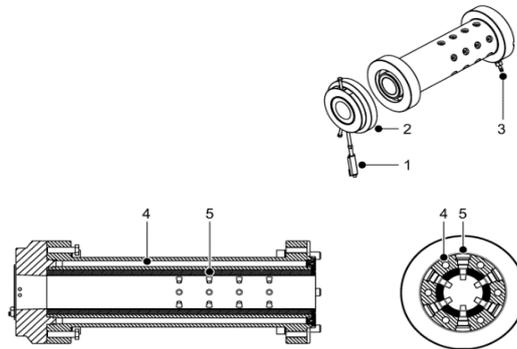


Figure I. 9: Cylindre

I.5.5 Tête d'extrusion :

La tête d'extrusion se trouve à la deuxième extrémité de l'extrudeuse a comme fonction de donner la forme désirée de composer. La tête d'extrusions compose de 10 éléments :

- 1- Détecteur de proximité (2x).
- 2- Vérin hydraulique.
- 3- Bloc de la filière (Position d'attente).
- 4- Bloc de la filière (Position de commande).
- 5- Élément chauffant (2x)
- 6- Bâti.
- 7- Porte-filière
- 8- Filière (Partie supérieure / Partie inférieure).
- 9- Pré-filière.
- 10- Grille de contrepression.

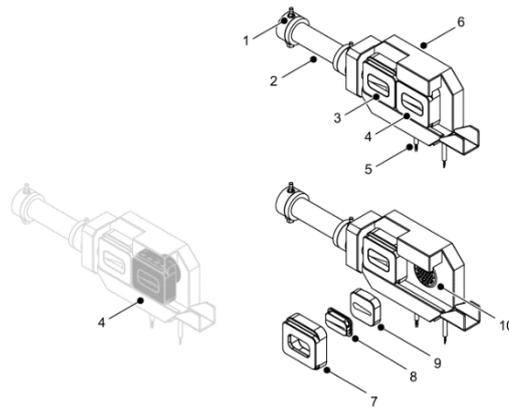


Figure I. 10 : Tête d'extrusion

L'opérateur peut rapidement remplacer la filière en place par une autre filière grâce à une pompe hydraulique activée manuellement. La pompe hydraulique [3] met un vérin hydraulique [1] sous pression, et cette dernière pousse la filière en position d'attente. Ainsi, cette filière déloge la filière qui se trouve en position de fonctionnement pour prendre sa place. Deux détecteurs de proximité surveillent les positions 'IN' (entrée) et 'OUT' (sortie) du vérin hydraulique. Si le piston n'est pas en position 'IN' ou 'OUT', il est impossible de lancer la machine, et le témoin lumineux sur la console à bouton-poussoir clignote pour avertir l'opérateur.

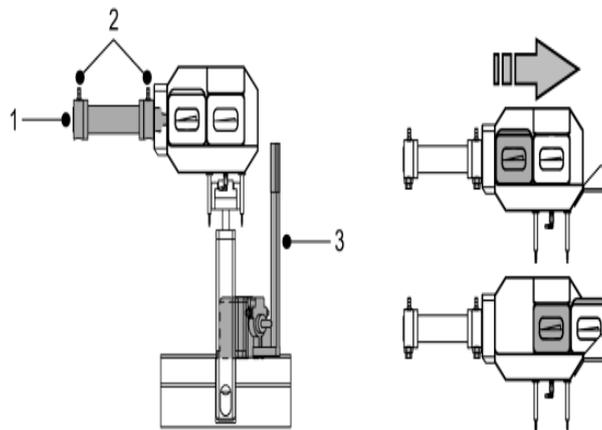


Figure I. 11 : Pompe de vérin hydraulique

I.5.6 Le système de régulation de température :

Le système de régulation de température régule la température des ensembles suivants :

1. Zone d'alimentation
2. Vérin
3. Vis de l'extrudeur

Chaque ensemble dispose de sa propre unité de régulation de température. L'entrée et la sortie de chaque unité de régulation de température est équipée d'un filtre. L'arrivée principale d'eau est aussi équipée d'un filtre.

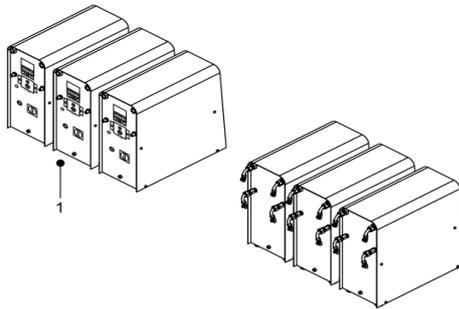


Figure I. 12 : Régulateur de température

I.5.7 Le convoyeur de rétrécissement

Le convoyeur de rétrécissement est un convoyeur composé de deux convoyeurs, le premier est un convoyeur d'enlèvement [1] et d'un convoyeur à rouleaux en trois sections [2]. Le convoyeur d'enlèvement se trouve directement derrière l'extrudeuse pour tirer le matériau de l'apex hors de l'extrudeur. Après l'enlèvement, le matériau de l'apex se rétrécit par relaxation, l'élément numéro [3] est un appareil de mesure a comme rôle démesurer la largeur de l'apex.

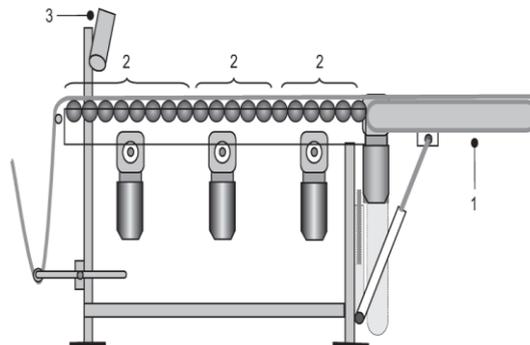


Figure I. 13 : Convoyeur de rétrécissement

6 Conclusion

Le stage qu'on a passé au niveau de l'usine IRIS TYRES, nous a permis de comprendre toutes les étapes du processus de la fabrication de Bead-Apex d'un pneu et de voir l'enchaînement et le fonctionnement des différents systèmes avec ses composants de production.

Nous allons dans un premier temps présenter dans le chapitre suivant les notions nécessaires pour notre étude. L'exploitation de ces données pour réaliser nos objectifs sera faite dans le chapitre suivant.

Chapitre II

Analyse fonctionnelle et analyse dysfonctionnelle

II. 1 Introduction

Afin de mettre en place une politique de gestion de la maintenance, on a besoin de bien connaître notre équipement ainsi que les différents modes de défaillances. La méthode qualitative AMDEC est une étude qualitative permet de déterminer les différents modes, causes de défaillances ainsi leur criticité basée sur une analyse fonctionnelle et autre dysfonctionnelle du système pour bien comprendre son fonctionnement.

II.2 Analyse fonctionnelle

L’analyse fonctionnelle est une démarche permettant de caractériser les fonctions d’un système et ses interactions avec son environnement. L’analyse nous aide à déterminer les besoins du système et de pouvoir ainsi définir les solutions technologiques nécessaires à sa conception.

Cette démarche est principalement divisée en deux parties : la première concerne l’analyse fonctionnelle externe servant à définir et à exprimer le besoin du système ; la seconde concerne l’analyse fonctionnelle interne permettant de mettre à l’évidence les solutions technologiques nécessaires à l’exécution de chaque fonction interne du système [1].

Les différentes étapes de l'analyse fonctionnelle :

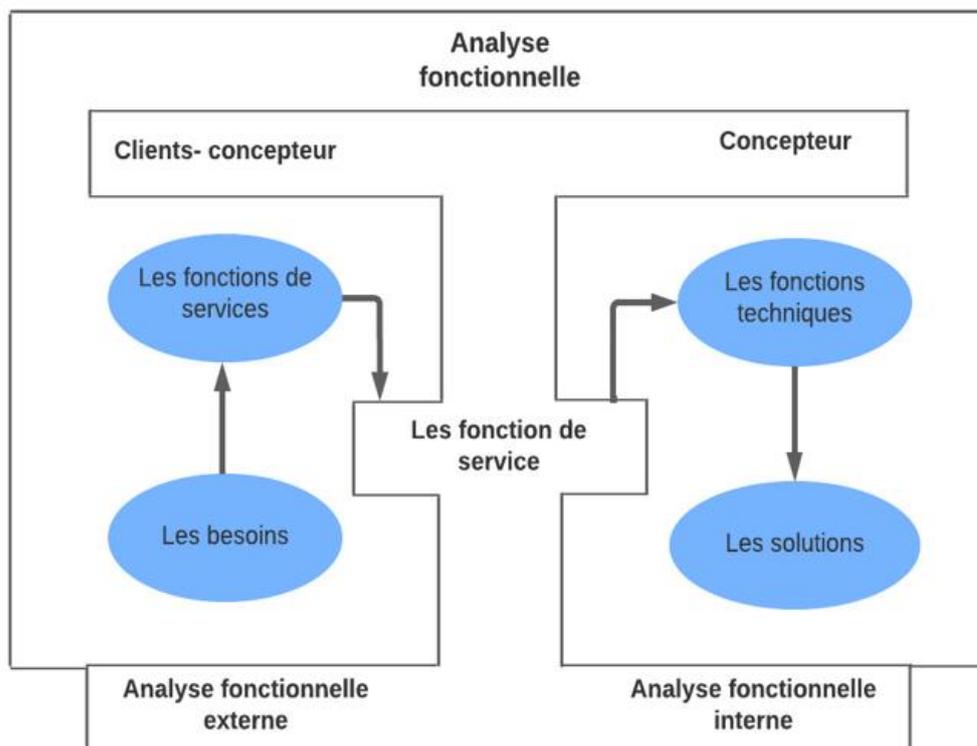


Figure II.1: Les différentes étapes de l'analyse fonctionnelle.

II.2.1 Analyse Fonctionnelle Externe

L’analyse fonctionnelle externe décrit le point de vue d’utilisateur, et ne s’intéresse au produit qu’en tant que « Boîte noire » capable de former des services dans son environnement durant son cycle d’utilisation [2].

II.2.1.1 Analyse de besoin

La première étape de la conception consiste à analyser la situation pour tenir compte des contraintes, des risques et de tout autre élément pertinent. Elle assure un ouvrage ou un processus répondant au besoin du client.

II.2.1.2 Définition du besoin de sous-système 2&3

Pour définir le besoin, nous utilisons le diagramme de bête à corne, ce diagramme basé sur la réponse des trois questions suivantes :

- À qui ?
- Sur quoi ?
- Dans quel but ?

Cet ensemble de questions est regroupé dans le tableau :

Tab II. 1: Les trois questions pour l’élancement de besoin

Question	Réponse
A qui rend-il service ?	Utilisateur
Sur quoi ?	Bead apex
Pour quel but ?	Fabrication de bead apex

On obtient le diagramme suivant :

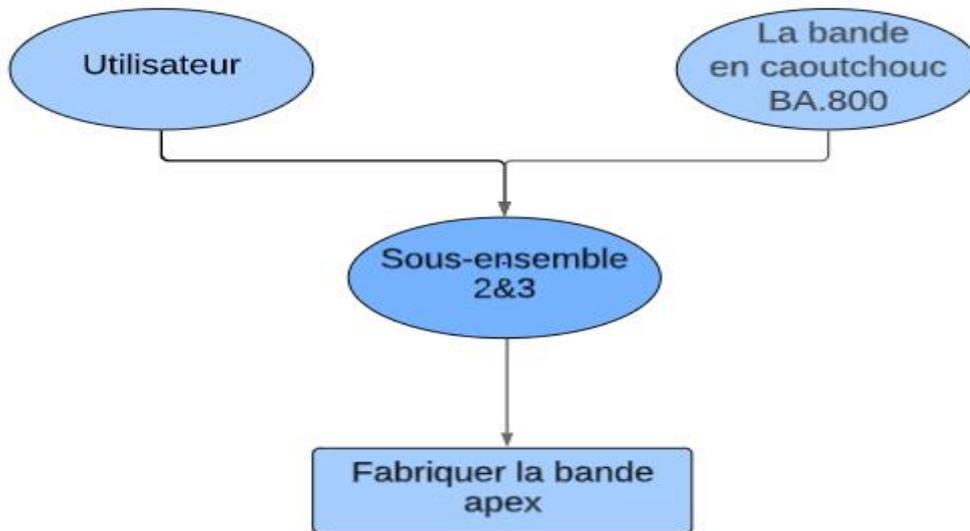


Figure II.2: Diagramme tête à corn

II.2.1.3 Expression du besoin

L'expression du besoin est basée sur la réalisation du diagramme de pieuvre. Ce diagramme est présenté dans la figure 3 et met en évidence les relations entre les différents éléments du milieu environnant et le système [3].

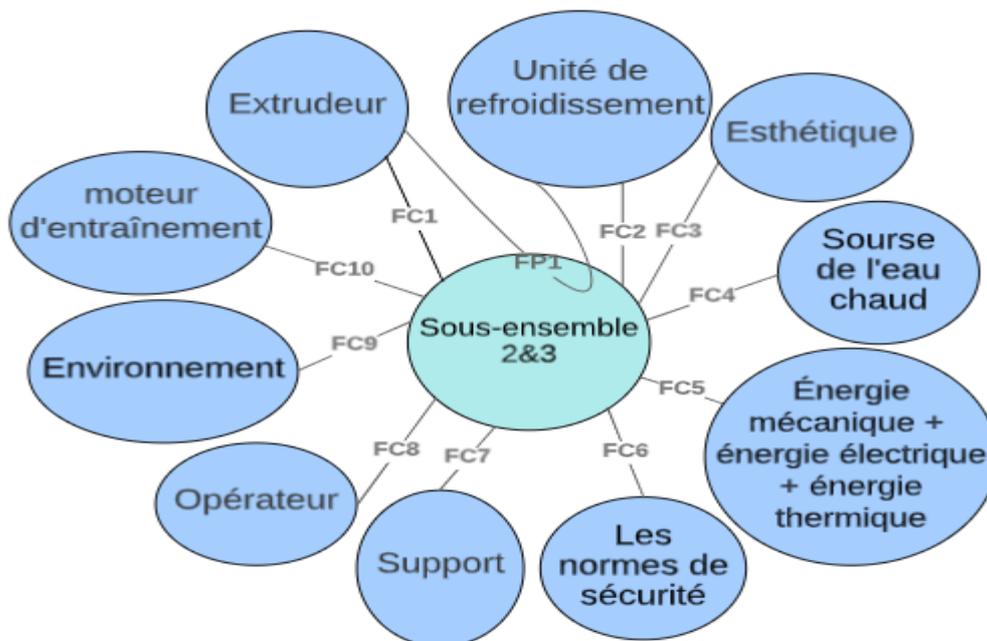


Figure II.3: Diagramme pieuvre

Chacune de ses fonctions est bien expliquée dans le tableau suivant :

Tab II. 2: Fonctions de diagramme de pieuvre

FP1	Fabriquer la bande d'apex
FC1	Alimenter (donner) la bande en caoutchouc
FC2	Refroidir les enroulements de l'apex
FC3	Respecter le design demandé par le client
FC4	Alimenter les sous-ensembles 2&3 par l'eau chaud
FC5	Alimentation le sous-ensemble 2&3 par l'énergie mécanique et électrique et thermique
FC6	Sécuriser le système
FC7	Porter le système
FC8	Manipuler les sous-ensembles 2&3
FC9	Respecter les contraintes environnementales
FC10	Alimentation le sous-ensemble 2&3

II.2.1.4 Cahier des charges fonctionnelles

Le cahier des charges fonctionnelles (CDCF) est le document qui récapitule la démarche et les résultats de l'analyse fonctionnelle du besoin. Il porte donc essentiellement sur les fonctions de service. Le tableau représente la caractérisation de toutes les fonctions de services en conformité avec le cahier de charges préalablement [4] :

Tab II. 3 : Cahier des charges fonctionnel

Fonction	Critère de désignation	Niveau	Flexibilité
FPI : Alimenter le linge de production en bandes de caoutchouc	<ul style="list-style-type: none"> Poids Alimentation électrique 	<ul style="list-style-type: none"> 810 kg 400 v ,50 HZ 	<p>1</p> <p>0</p>
Fondre et extruder la bande en caoutchouc	<ul style="list-style-type: none"> Poids Pression maximal autorisée Débit maximal 	<ul style="list-style-type: none"> 2670 kg 300 bar 320 kg /h 	<p>1</p> <p>1</p> <p>1</p>
Transporter la matière intitulée apex de l'extrudeur vers un tambour de refroidissement	<ul style="list-style-type: none"> Poids Hauteur de chargement maximal L'arguer d'apex Nombre sections de rétrécissement 	<ul style="list-style-type: none"> 700 kg 1000 mm 20 – 65 m 3 	<p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>0</p>
Refroidir les enroulements de l'apex	<ul style="list-style-type: none"> Diamètre de tambour Taille (L × l × H) Hauteur apex Poids 	<ul style="list-style-type: none"> 1200 mm 1200 × 1610 × 1870 mm 20 – 65 mm 1500 kg 	<p>1</p> <p>1</p> <p>1</p>

II.2.2 Analyse fonctionnelle interne

L'analyse fonctionnelle interne permet de faire la transition entre l'analyse fonctionnelle du besoin (qui reste étrangère aux préoccupations d'ordre technologiques) et la conception détaillée, qui entre de plaisir pied dans les considérations technologiques. L'analyse fonctionnelle interne est aussi appelée analyse fonctionnelle technique. Afin de réaliser cette analyse, il existe plusieurs outils tel que la méthode FAST et la méthode SADT.

II.2.2.1 Diagramme SADT (analyse descendante et liens inter-fonctionnelle)

Le **SADT** permet de réaliser une analyse descendante de notre système étudié. La méthode d'analyse descendante permet de comprendre pourquoi le système existe, ou doit être conçu, quelles fonctions doit être remplir et enfin, comment elle est réalisée, quelle que soit la complexité.

L'analyse SADT de notre système étudié se déroule comme suit :

Etape 01 : le Niveau A-0 de la méthode SADT qu'est un outil graphique permettant de valider le besoin.

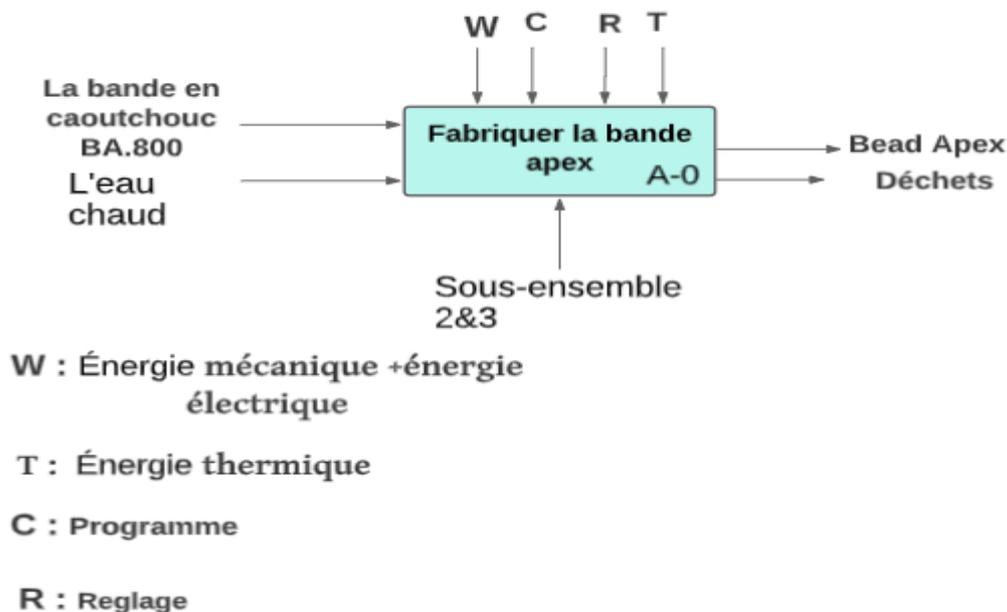


Figure II. 4 : Diagramme SADT niveau A-0 de sous-ensemble 2&3.

La fonction définie au niveau **A-0** "fabriquer la bande apex" s'appelle fonction globale (ou fonction de système) réalisée par un extrudeur, où l'entrée est un "bande en caoutchouc BA800 et l'eau chaud, et la sortie souhaitée est un "bande apex".

Les paramètres qui déclenchent ou modifient la réalisation de cette fonction (contraintes de pilotage ou de commande) sont :

- Énergie Mécanique
- Énergie Electrique
- Énergie Thermique
- Programme
- Réglage

Etape 02 : le Niveau A0 de la méthode SDTA qu'est un outil graphique permettant de décomposer le système étudié.

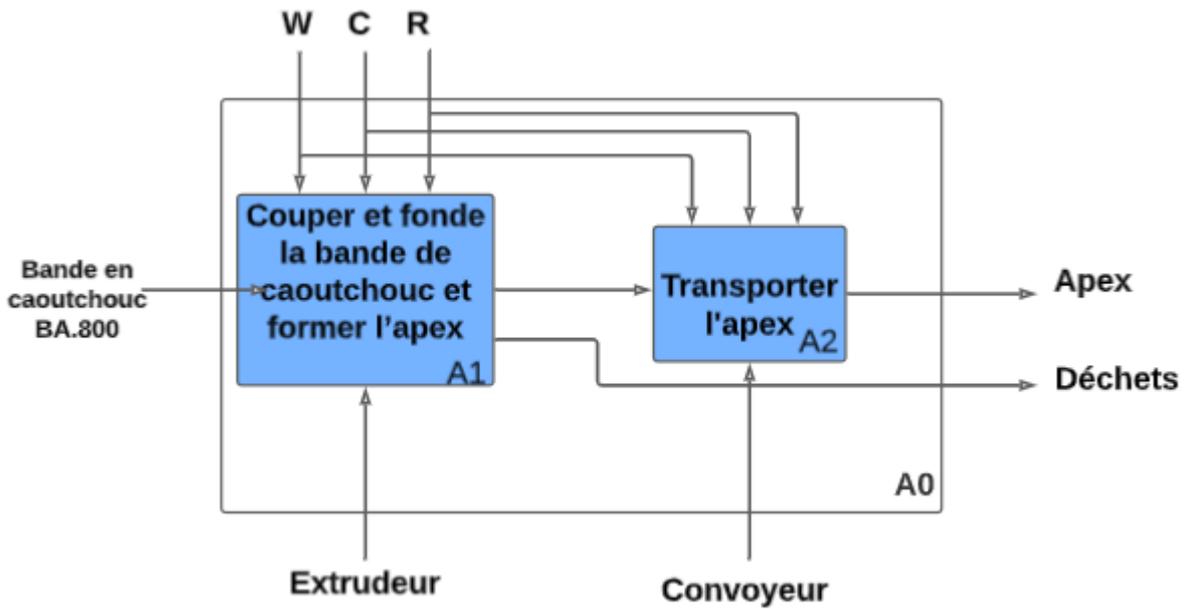


Figure II. 5 : Diagramme SADT niveau A0 de sous-ensembles 2&3

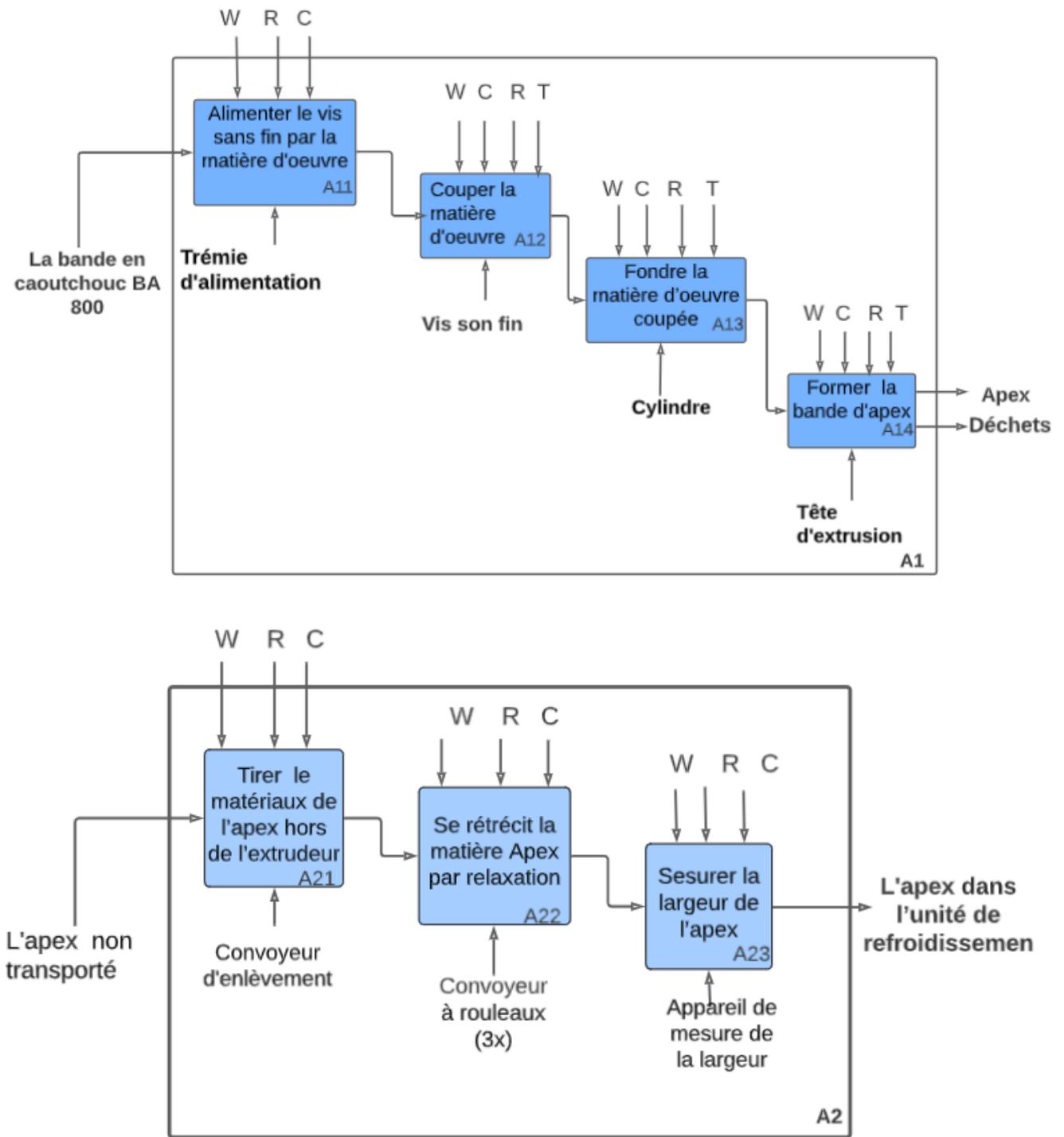


Figure II. 6 : Diagramme SADT d'extrudeuse et le convoyeur

Le niveau **A0** définit les fonctions principales de sous-systèmes 2 & 3 “extrudeur et convoyeur” qui sont : ”couper et fonde la bande de caoutchouc et former l’apex, transporter l’apex”, ainsi que leur relation et agencement dans le système et les mécanismes qui réalisent ces fonctions “ extrudeur, convoyeur”

Les blocs fonctionnels **A1** et **A2** définit les sous-fonctions de A0 qui sont : “Alimenter le vis sans fin par la matière d'œuvre, Couper la matière d'œuvre, fondre la matière d'œuvre coupée, former la bande d'apex, tirer le matériaux de l’apex hors de l’extrudeur, se rétrécit la matière Apex par relaxation, mesurer la largeur de l’apex”, ainsi que leur relation et agencement dans le système et les mécanismes qui réalisent ces fonctions “Trémie d'alimentation, La vis sans fin, Cylindre, Tête d'extrusion, Convoyeur d'enlèvement, Appareil de mesure de la largeur”, avec les mêmes entrée et sortie de **A0**.

II.2.2.2 Cahier des charges techniques

Tab II. 4 : Cahier des charges technique de l’extrudeur

Fonction	Élément	Caractéristique
Alimenter la vis sans fin par la matière d'œuvre	Trémie d'alimentation	<ul style="list-style-type: none"> • Largeur de l'entonnoir 202 mm • Dimensions bande d'alimentation (largeur x épaisseurs) 120 x 8 mm
Couper la matière d'œuvre	La vis sans fin	<ul style="list-style-type: none"> • Diamètre 70 mm • Longueur (L / D) 14 • Vitesse de rotation 76 tr/mn • Couple 5580 Nm •
Fondre la matière d'œuvre coupée	Cylindre	<ul style="list-style-type: none"> • La pression de sortie chauffage P = 9 KW
Former la bande d'apex	Tête d'extrusion	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensions d'ouverture (Max) 70 x 40 mm • Grille de contre-pression 75 mm

Tab II. 5 : Cahier des charges technique de convoyeur

Fonction	Élément	Caractéristique
Tirer Les Matériaux De L'apex Hors De L'extrudeur	Convoyeur D'enlèvement (Convoyeur A Bande)	<ul style="list-style-type: none"> • Largeur : 1500 Mm • Longueur : 100 Mm • Charge Totale : 700 Kg • Vitesse : 70 M/Min
Se Rétrécit La Matière Apex Par Relaxation.	Convoyeur A Rouleaux (3x)	<ul style="list-style-type: none"> • Largeur : 1500 Mm • Longueur : 100 Mm • Charge Totale : 700 Kg • Vitesse : 70 M/Min • Nombre De Rouleaux : 13 Rouleaux
Mesurer La Largeur De L'apex	Appareil De Mesure De La Largeur	<ul style="list-style-type: none"> • Caméra DCT E+L

II.3 Analyse dysfonctionnelle

La fiabilité et la maintenance se complètent pour garantir un niveau élevé de service et de sécurité malgré le vieillissement, l'usure, les dégradations inhérents à tout système technique. La connaissance des modes de fonctionnement, des fonctions et des modes de dysfonctionnement d'un système est essentielle pour la fiabilité, le diagnostic et la maintenance [6]. L'analyse fonctionnelle permet de bien mener l'analyse dysfonctionnelle telle que l'analyse des modes de défaillances, des effets et de criticité (AMDEC), l'analyse des effets et erreurs du logiciel (AEEL), les arbres de défaillances (AD).

Dans ce chapitre, on concentre sur la combinaison de deux analyses, une analyse fonctionnelle qui consiste à examiner en détail le fonctionnement normal du système par l'identification des différentes fonctions qu'il doit remplir, les exigences auxquelles il doit répondre et les interactions entre ces différents composants [7]. La deuxième c'est l'analyse dysfonctionnelle qui se concentre sur les défaillances potentielles du système, focalise sur la défaillance du système ainsi que leur mode, cause et leur effet dans le but de hiérarchiser ces défaillances et d'agir afin de les décliner.

La combinaison a comme but de réaliser la méthode inductive appelé AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effet et de leur Criticité), cette méthode permet nous de prioriser les actions correctives et de mettre en place un politique de maintenance pour améliorer la fiabilité et la sûreté de fonctionnement du système [8].

II.3 Analyse dysfonctionnelle

L'analyse dysfonctionnelle faite, il est plus aisé de comprendre et de modéliser les systèmes sous l'angle des dysfonctionnements. C'est la première étape qui conduit vers la construction de la fiabilité, de la surveillance, du diagnostic des systèmes complexes. En effet on construira à partir de cette étape des outils de prévention ou de correction comme la méthode inductive AMDEC [9].

II.3.1 Analyse des Modes de Défaillances et de leur Effet et de leur Criticité

L'Analyse des Modes de Défaillances et de leur Effet et de leur Criticité est une technique spécifique de la sûreté de fonctionnement, la méthode consiste à examiner les défaillances potentielles des systèmes, leurs causes et leurs conséquences sur le fonctionnement de l'ensemble [10]. Ensuite une hiérarchisation des défaillances basée sur la criticité, qui est l'estimation du niveau de risque de défaillances, doit être examinée. Des mesures correctrices jugées prioritaires doivent être prises et un suivi doit être assuré [11]

La méthode a pour but de découvrir, évaluer et classer les faiblesses, les anomalies et les origines des causes de dysfonctionnements et ainsi chercher les solutions appropriées et les actions correctives à engager pour les éliminer d'une part et de généraliser et standardiser les résultats à toutes les composantes similaires de processus d'autre part. L'AMDEC étudié dans ce chapitre c'est AMDEC machine [12].

II.3.2 Méthodologie de l'AMDEC

L'application de la méthode AMDEC comprend 7 étapes principales qui s'agencent de la façon décrite dans l'organigramme de la figure II.1

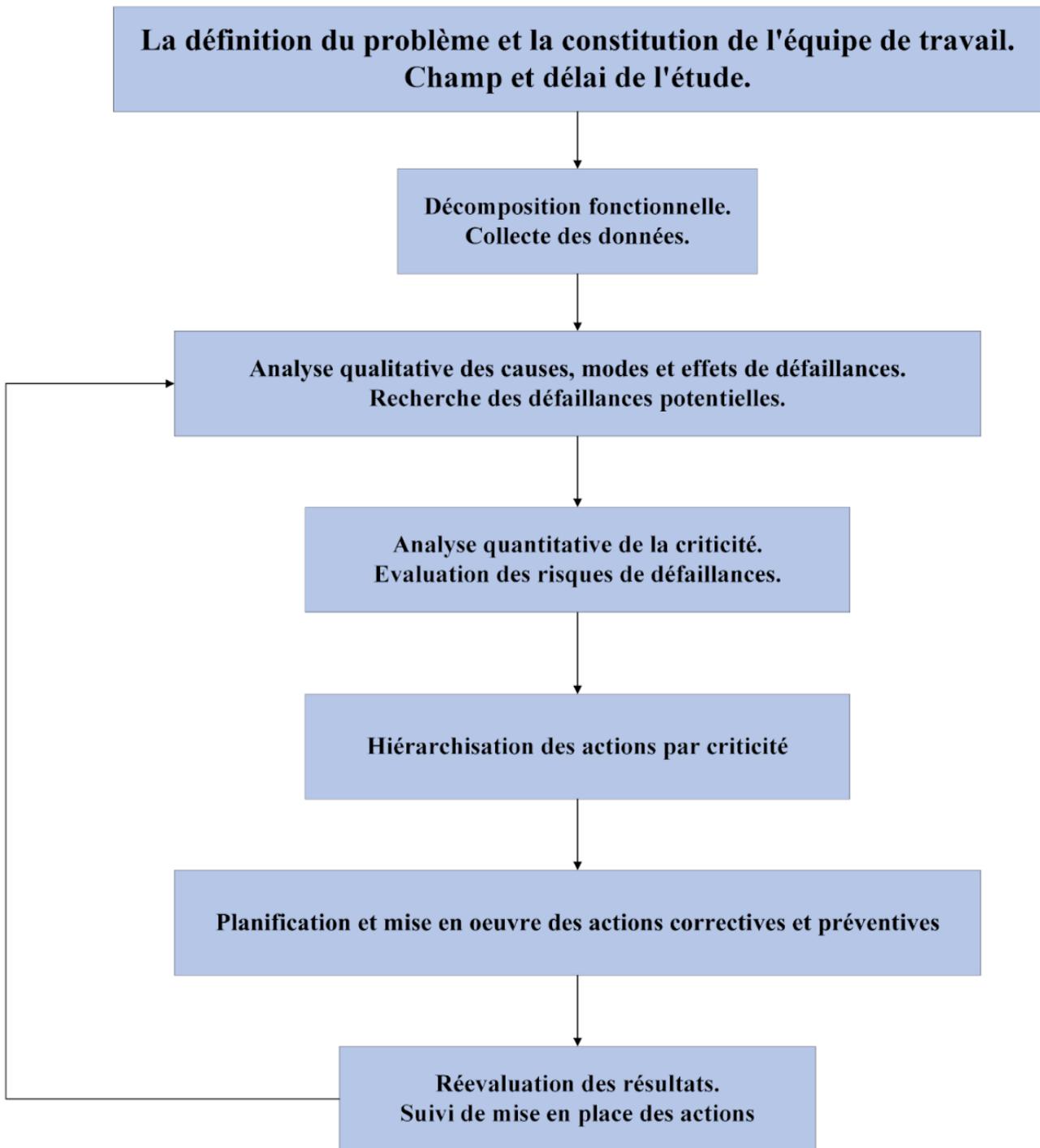


Figure II.7: L'organigramme de la méthode AMDEC

II.3.3 Application de l'AMDEC

II.3.3.1 Définir le problème

Le problème concernant un ensemble de système (extrudeuse plastique & convoyeur de rétrécissement) de l'équipement Apexer a comme fonction requise de fabriquer le Bead-Apex. L'objectif principal à atteindre c'est améliorer la fiabilité et la disponibilité de l'équipement Apexer par la détection et la réduction des modes de défaillances critiques de l'ensemble de système. L'équipe du projet AMDEC se compose d'un responsable du bureau méthode de maintenance, responsable de conception et pièces de rechanges, deux responsables préventifs et un métrologiste.

II.3.3.2 La décomposition fonctionnelle

Faite dans la première partie comme une base de l'analyse dysfonctionnelle.

II.3.3.3 Etude qualitative

Le tableau suivant montre les différents modes, causes, effets de défaillances possibles ainsi leur criticité et les actions préventives correspondantes pour l'ensemble extrudeuse plastique & convoyeur de rétrécissement) [13]. Pour déterminer la valeur de l'indice de criticité en multipliant les trois notes suivantes :

$$C = F * G * D$$

F : **Fréquence** d'apparition de la défaillance : elle doit représenter la probabilité d'apparition du mode de défaillance résultant d'une cause de données.

G : **Gravité** des effets de la défaillance : elle doit représenter la probabilité d'évaluation de la sévérité relative de l'effet d'un mode de défaillance.

D : **Fréquence** de non détecter la cause ou le mode de défaillance : évaluation de la facilité de détection d'un mode de défaillance avant qu'il ne cause des effets indésirables [14].

Tab II. 6 : AMDEC de l'ensemble extrudeuse plastique et convoyeur

Date de l'analyse	AMDEC Machine Fonction Principale : Fabriquer la bande d'apex													
	Système : Apexer						Sous-ensemble : Extrudeuse & Convoyeur de rétrécissement							
Sous- système	Fonction de sous-système	Elément	Fonction de l'élément	Composant	Fonction de contrainte	Mode de défaillance	Cause de défaillance	Effet de défaillance	Détection	Criticité				Action préventive
										F	D	G	C	
Extrudeur	Fondre et extruder la matière d'œuvre	Trémie	Alimenter le vis par la matière d'œuvre	Entonnoir d'alimentation	Alimenter la vis sans fin par la matière d'œuvre d'une manière constante	Fuite	Déformation (mécanique, thermique)	Produit non conforme	visuel	1	1	3	3	Effectuer une inspection régulière de l'entonnoir d'alimentation pour détecter les fuites et les déformations.

						Bouché	Surplus de la bande. Présence de poucier	L'arrêt de l'extrudeuse	Visuel Auditif	1	2	3	6	Effectuer une inspection périodique des roulements pour détecter toute défaillance imminente.
				Rouleau d'alimentation	Assurer l'alimentation constante des bandes vers la vis	Blocage	Surplus de la bande. Défaillances des roulements. Flexion.	Arrêt de l'extrudeuse	Visuel Auditif	1	1	3	3	Effectuer une inspection périodique des roulements pour détecter toute défaillance imminente.
						Rotation discontinue	Mauvaise lubrification. Flexion. Dégradation des roulements.	diminution de rendement de production	Visuel Auditif	1	2	3	6	Assurer une lubrification adéquate pour éviter la flexion et la dégradation des roulements

				Vis de l'extrudeur	Couper la matière d'œuvre.	Perte de fixation. Blocage	Vibration. Mauvaise conception. Désalignement	Dégradation Arrêt	Visuel Auditif	1	2	4	8	Vérifier régulièrement la fixation de la vis pour éviter les pertes.
														Assurer un alignement approprié pour éviter les vibrations et les blocages.
		Vis sans fin	Couper et extruder la matière d'œuvre	Boîte d'engrenage	Transmettre le mouvement mécanique du moteur vers la vis	Blocage	Déformation e roue dentaire. Présence d'obstacle. Absence de lubrification.	Arrêt de l'extrudeuse	Visuel auditif	2	1	3	6	Effectuer une lubrification régulière de la boîte d'engrenage. Vérifier l'absence d'obstacles et la présence de lubrification adéquate.
								Dégradation de transmission	Manque de lubrification. Flexion des roues. Cassure de quelques dents.	Diminution de rendement de production	Visuel	1	2	3

				Flexible à raccord rapide (Water cooling)	Connecter rapidement les canaux intégrés par l'eau (refroidir et chauffer le vis)	L'absence totale de l'eau	Conduite bouchée. Défaillance des pompes de refoulement.	Choc thermique sur le vis.	Vérification par IHM	1	2	2	4	Vérifier le système d'alimentation en eau pour s'assurer qu'il fonctionne correctement et qu'il est suffisamment approvisionné en eau.
														Effectuer une maintenance préventive des pompes de refoulement.

						Surplus de l'eau	Les conduites de retour bouchées. -débit incontrôlable	Choc thermique sur la vis	Vérification par IHM	1	2	2	4	Effectuer une maintenance régulière du système de refroidissement, y compris le nettoyage et le détartrage si nécessaire.
						L'absence totale de l'eau	Conduite bouchée. Défaillance des pompes de refoulement.	Vérification par IHM	Vérification par IHM	1	2	4	3	Vérifier régulièrement l'absence de fuites ou d'obstructions dans les conduites.
						Surplus de l'eau	Les conduites de retour bouchées. -débit incontrôlable	Choc thermique sur la vis	Vérification par IHM	1	2	3	4	Effectuer une maintenance régulière du système de refroidissement, y compris le nettoyage et le détartrage si nécessaire.
						L'absence totale de l'eau	-conduite bouchée -Défaillance des pompes de refoulement.	Choc thermique sur la vis.	Vérification par IHM	1	2	3	4	Vérifier les vannes d'alimentation en eau pour s'assurer qu'elles sont ouvertes et que l'eau circule correctement
						Flexible à raccord rapide (Water cooling)	Connecter rapidement les canaux intégrés par							Effectuer une maintenance Cylindre
						Conduit (Water cooling)	Permet le passage de l'eau de refroidissement à travers un système de refroidissement							
						Cylindre	Chauffer la matière d'œuvre à l'intérieur							

					Surplus de l'eau	Les conduites de retour bouchées. Débit incontrôlable	Choc thermique sur le vis	vérification par IHM	1	2	2	4	Effectuer une maintenance régulière du système de refroidissement, y compris le nettoyage et le détartrage si nécessaire.	
			Détecteurs de proximité	Surveillent les positions 'IN' (entrée) et 'OUT' (sortie) du vérin hydraulique	Pas d'information sur l'état de vérin	Absence de l'énergie électrique. Déconnection de câblage. présence d'obstacle.	Pas d'emplacement de moule	visuel	1	2	3	4	Vérifier régulièrement les connexions électriques et la présence d'obstacles.	
			Vérin hydraulique	Pousse la filière en position d'attente ou de fonctionnement	Blocage	Corrosion de surface de cylindre. Déformation du ressort de rappel. Flexion de l'arbre. Absence de l'eau	Pas d'emplacement de moulé	Visuel	1	2	3	4	Effectuer une lubrification régulière du vérin et vérifier les éléments de fixation.	
		Tête d'extrusion	Donner la forme désirée de composé	Bloc de la filière	Donne la forme désirée à la bande Apex	Déformation	Température élevée. La pression de pâte Vibration Mauvais assemblage	Produit non conforme Blocage de production	Visuel Auditif	2	2	2	6	Effectuer un contrôle régulier de la température et de la pression, ainsi qu'un entretien préventif du bloc de la filière

				Grille de contre Pression	Permet au composé issu du cylindre d'atteindre la filière de manière égale et équilibrée	Blocage de la pâte	Manque de pression. Les filtres bouchés	Produit non conforme. Blocage de production.	Visuel	1	1	2	2	Nettoyer régulièrement les filtres et surveiller la pression de la pâte.
				Pompe hydraulique	Alimenter le vérin hydraulique sous pression	Absence de l'énergie hydraulique	Pas de l'énergie électrique au niveau de la pompe. Défaillance des conduites. Défaillances interne de la pompe	Dysfonctionnement du vérin -blocage	Visuel	1	2	3	4	Effectuer une maintenance préventive régulière de la pompe hydraulique et vérifier les connexions électriques.
Convoyeur de rétrécissement	Transporter la matière intitulée Apex de l'extrudeur vers un tambour de refroidissement	Convoyeur de rétrécissement	L'enlèvement et le transport de la matière	Convoyeur d'enlèvement	Tirer le matériau de l'apex hors de l'extrudeur	Intermittente de tapis	Dysfonctionnement du réducteur. Absence de l'énergie électrique. Défaillances interne de la pompe	Produit non conforme. Arrêt de ligne de production.	Visuel Auditif	2	1	2	4	Vérifier régulièrement l'état du tapis, effectuer une lubrification du réducteur et réaliser une maintenance préventive du système électrique.

				Convoyeur à rouleaux (3x)	Rétrécit la matière Apex par relaxation.	Blocage des rouleaux	Dysfonctionnement du réducteur Absence de l'énergie électrique Défaillances interne de la pompe	Arrêt du convoyeur	Visuel	1	1	2	2	Effectuer un entretien régulier du réducteur, inspecter les rouleaux et vérifier l'alimentation électrique
				Appareil de mesure de la largeur	Mesurer la largeur de l'apex	Pas d'information sur la largeur de la bande Apex	Dysfonctionnement de l'appareil	Blocage de convoyeur Produit non conforme	Visuel Vérification par l'IHM	1	1	2	2	Calibrer régulièrement l'appareil de mesure et effectuer des vérifications de la largeur de la bande Apex.

Tab II. 7: Critère de Gravité

D	Description
1	Évidente : dispositif automatique, détection sûre de la cause.
2	Possible : détection nécessitant l'intervention d'un opérateur.
3	Détection : nécessitant un démontage ou un appareillage.
4	Impossible : aucun signe avant-coureur de la défaillance.

Tab II. 8 : Critère de Gravité

G	Description
1	Sans influence.
2	Pas critique ou arrêt de production sans rebut.
3	Critique ou arrêt de production et rebut.
4	Très critique ou brisé.

Tab II. 9 : Critère de Fréquence

F	Description
1	Évènement quasi impossible
2	Evènement très improbable
3	Evènement improbable
4	Évènement possible

II. 3.3.4 Evaluation de la criticité

À partir de la table de l'AMDEC on peut classer dans le tableau au-dessous les modes et les causes de défaillances de différents éléments de notre ensemble du système.

Tab II. 10 : Classement des causes de défaillance

Le système	L'élément	La cause de défaillance	La criticité
La vis de l'extrudeur	La vis sans fin	- Vibration - mauvaise conception -désalignement	8
Cylindre	Flexible à raccord rapide	-Conduit bouchée -défaillance de pompes de refoulement	4
		-les conduits de retours bouchés - débit incontrôlable	
	Conduit (water cooling)	-Conduit bouchée -défaillance de pompes de refoulement	6
		-les conduits de retours bouchés - débit incontrôlable	

IV.4 Conclusion

Dans ce chapitre on a basé sur l'analyse fonctionnelle du système pour passer à l'analyse dysfonctionnelle qui nous a permis de construire la table d'AMDEC. À partir de l'AMDEC on a classé les modes de défaillances critiques de notre ensemble (extrudeuse & convoyeur), ces défaillances et leurs causes apparaissent grâce à des paramètres spécifiques liées à l'ensemble du système. Dans le chapitre suivant on va prendre en considération ces paramètres dans l'étude de diagnostic et prédiction par le Machine Learning afin de classer les modes de défaillances pour chaque paramètre.

Chapitre III

Evaluation des dysfonctionnements

III.1 Introduction

L'intelligence artificielle, définie comme l'ensemble des techniques mises en œuvre afin de construire des machines capables de faire preuve d'un comportement que l'on peut qualifier d'intelligent, fait aussi appel aux sciences cognitives, à la neurobiologie, à la logique, à l'électronique, à l'ingénierie et bien plus encore.

L'apprentissage automatique ou bien le Machine Learning vu comme une branche de l'intelligence artificielle, la capacité à apprendre et à tirer parti de ses expériences est en effet essentielle à un système conçu pour s'adapter à un environnement changeant [15]. Dans ce chapitre on a utilisé un algorithme de l'apprentissage automatique (apprentissage non supervisé) pour classer les données trouvées dans la base de données qui caractérise l'équipement cité précédemment (extrudeuse plastique). Le choix de l'apprentissage non supervisé est lié aux données non étiquetées de notre base de données, cela impose de choisir un algorithme de l'apprentissage non supervisé afin de classer les différentes données pour aller vers les modes de défaillances trouvées par la table AMDEC (analyse dysfonctionnelle).

L'algorithme d'apprentissage non supervisé choisi c'est le « clustering » par centrioles par le K-means, le « clustering » ou bien le partitionnement nous permet de séparer les données en sous-groupes homogènes, appelés clusters, qui partagent des caractéristiques communes qui vont nous aider à affecter chaque cluster à un / des modes(s) de défaillances trouvées précédemment.

III.2 Pourquoi le Machine Learning

Le Machine Learning (ML) est un domaine captivant. Issu de nombreuses disciplines comme les statistiques, l'optimisation, l'algorithmique ou le traitement de signal, c'est un champ d'études en mutation constante qui s'est maintenant imposé dans notre société [16]. Le ML donc utilisé quand les données sont abondantes (relativement), mais les connaissances peu accessibles ou peu développées, ainsi le ML peut aussi aider les humains à apprendre.

Le ML peut servir à résoudre des problèmes :

- Que l'on ne sait pas résoudre (problèmes de prédiction).
- Que l'on sait à résoudre, mais dont on se sait formaliser en termes algorithmiques comment nous les résolvons (notre problématique)

- Que l'on sait résoudre, mais avec des procédures beaucoup trop gourmandes en ressources informatiques.

Donc, les algorithmes de ML nous permettent de modéliser un phénomène à partir d'exemples.

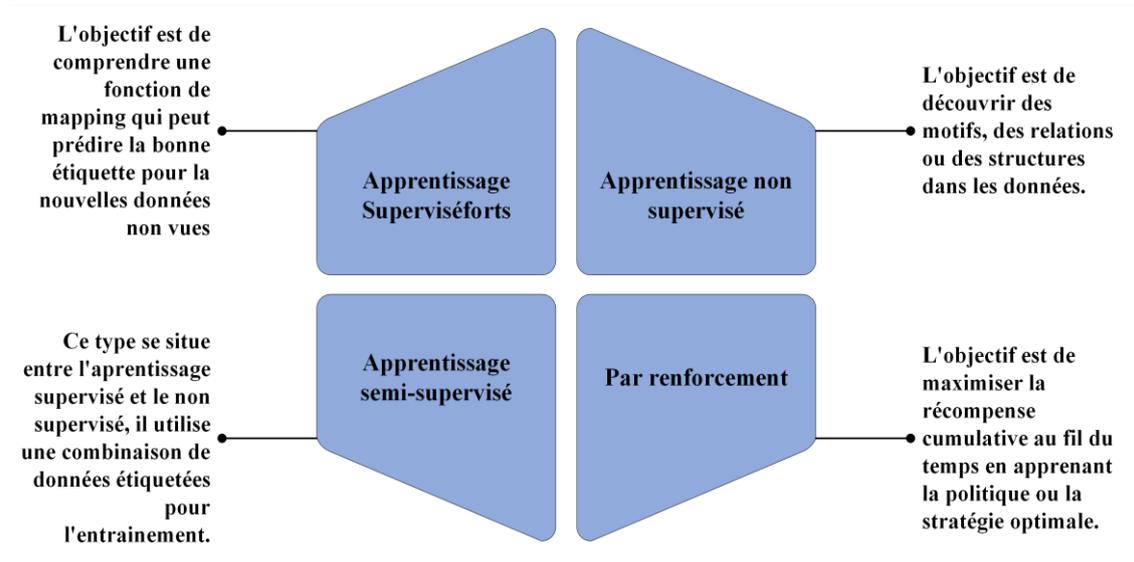


Figure III.1: Les différents algorithmes de Machine Learning

III.3 Application de la méthode K-means

Le ML se repose sur deux piliers fondamentaux :

- D'une part les données, sont les exemples à partir duquel l'algorithme va apprendre.
- D'autre part, l'algorithme d'apprentissage, qui est la procédure que l'on fait tourner sur ces données pour produire un modèle.

A partir de la base de données obtenue de l'industrie IRIS TYRES de notre équipement (extrudeuse plastique), on a construit deux sous base de données. La première contient des pressions et des températures calculer pour des vitesses, dans la deuxième la vitesse se change donc les pressions et les températures changes aussi. Donc on a deux bases de données, on va obtenir deux présentations différentes du clustering par centroïdes. Le processus se dessous présente les différentes étapes pour l'application de la méthode K-means.

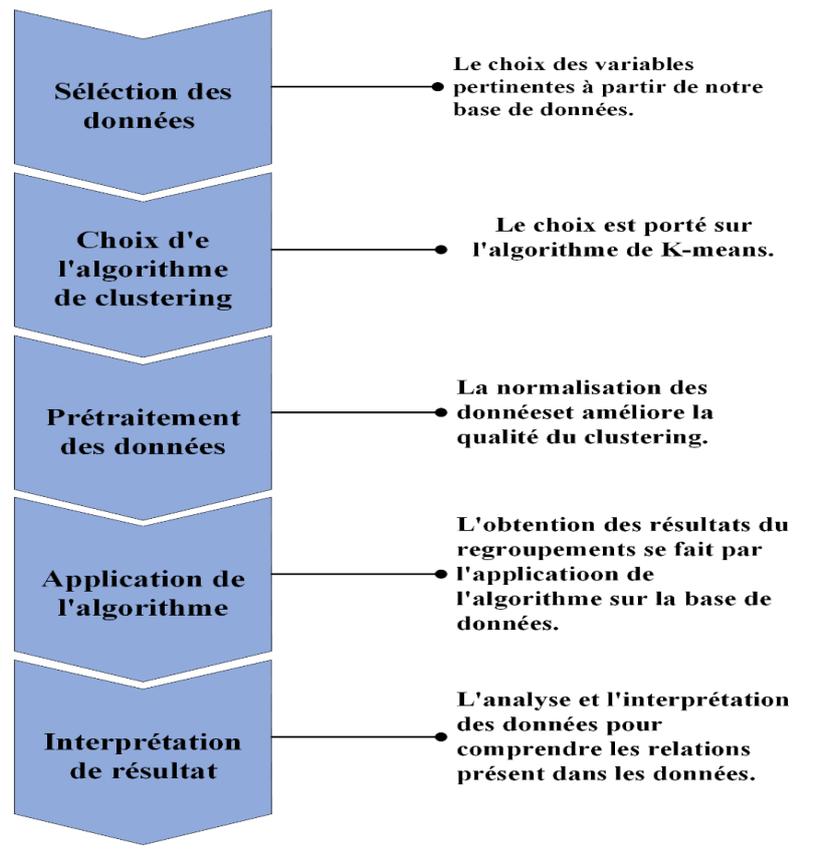


Figure III.2 : Processus de l’application de la méthode K-means

```
# Lecture des données à partir du fichier CSV
data_df = pd.read_excel("/content/drive/MyDrive/dossier/dataset 1.xlsx")
data_df.head()
```

	Extrspeed_1	Extrtemp_1	Extrtempbarr_1_1	Extrpressure_1_1	Extrpressure_1_2	PLCtime
0	5.498138	70.08289	42.12890	18.48597	41.82581	2023-04-10 11:07:52
1	7.369019	69.95557	45.85973	21.68692	46.85149	2023-04-10 11:06:52
2	7.366974	69.94476	44.37809	21.63629	46.33247	2023-04-10 11:05:52
3	7.369019	70.10267	42.21057	21.72309	45.94003	2023-04-10 11:04:52
4	7.369019	69.98849	45.74596	21.74479	45.54760	2023-04-10 11:03:52

Figure III. 3: Visualisation da la 1ère base de données

```
# Chargement des données à partir d'un fichier CSV
data= pd.read_excel("/content/drive/MyDrive/dossier/dataset 2.xlsx")
data.head() # Remplacez 'nom_du_fichier.csv' par le nom de votre fichier
```

	Extrspeed_2	Extrtemp_2	Extrtempbarr_2_1	Extrtempbarr_2_2	Extrpressure_2_1	Extrpressure_2_2	PLCtime
0	19.80286	64.72893	48.07814	61.06451	42.87109	50.85358	2023-04-10 11:07:52
1	24.19708	64.72111	51.35813	60.33286	45.69227	54.19198	2023-04-10 11:06:52
2	24.19922	64.73124	50.89591	58.29580	45.95631	54.35474	2023-04-10 11:05:52
3	24.20135	64.71081	48.71270	61.07571	46.14077	55.34577	2023-04-10 11:04:52
4	24.20135	64.70525	49.45546	60.41081	45.78631	53.69647	2023-04-10 11:03:52

Figure III. 4 : Visualisation de la 2^{ème} base de données

Après la pré-procésion et la lecture des bases de données, on applique l'algorithme de clustering par centrioles pour classer les différents paramètres (vitesse, pression, températures).

Pour la 1^{ère} base de données :

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
from sklearn.cluster import KMeans

# Load the data from the database
data = pd.read_excel("/content/drive/MyDrive/dossier/dataset 1.xlsx")

# Select the features for clustering
features = ['Extrspeed_1', 'Extrtemp_1', 'Extrtempbarr_1_1', 'Extrpressure_1_1', 'Extrpressure_1_2']

# Apply feature scaling
scaler = StandardScaler()
scaled_data = scaler.fit_transform(data[features])

# Sélection des colonnes pertinentes pour le clustering
features = ['Extrspeed_1', 'Extrtemp_1', 'Extrtempbarr_1_1', 'Extrpressure_1_1', 'Extrpressure_1_2']
# Apply feature scaling
scaler = StandardScaler()
scaled_data = scaler.fit_transform(data[features])

# Create the K-means model
kmeans = KMeans(n_clusters=4, random_state=0)

# Fit the model to the scaled data
kmeans.fit(scaled_data)

# Get the cluster labels for each data point
labels = kmeans.labels_
```

```

# Get the cluster labels for each data point
labels = kmeans.labels_

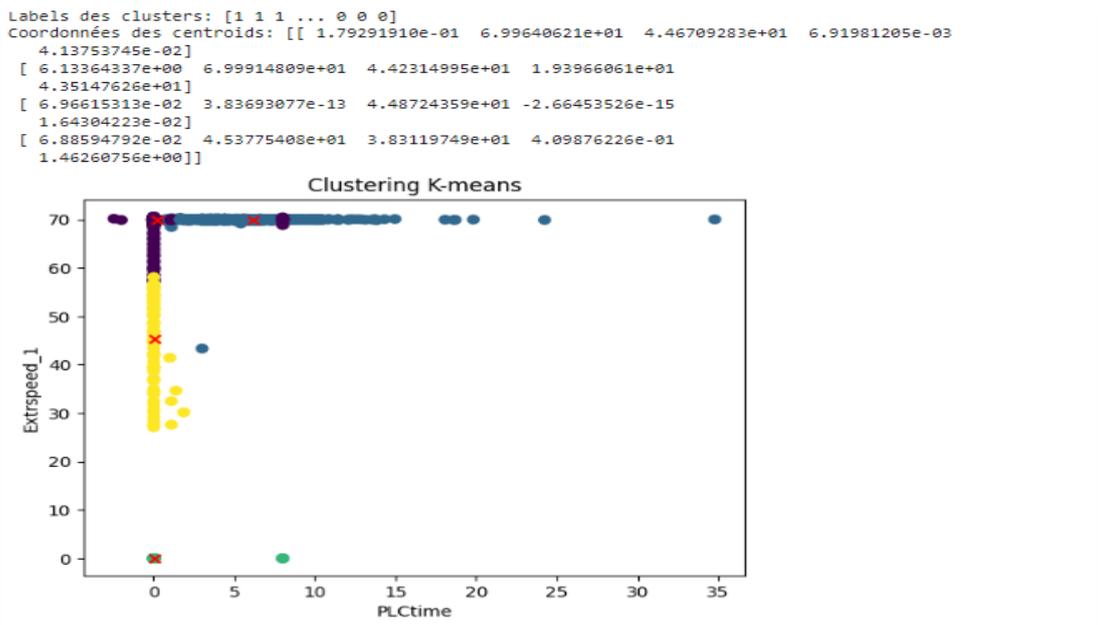
# Print the cluster labels
print("Cluster labels:", labels)

# Plot the clusters
plt.scatter(scaled_data[:, 0], scaled_data[:, 1], c=labels, cmap='viridis')
plt.xlabel('PLCtime')
plt.ylabel('Extrspeed_1')
centers = kmeans.cluster_centers_
plt.scatter(centers[:, 0], centers[:, 1], c='red', marker='x')
plt.title('K-means Clustering')
plt.show()

```

Figure III. 5 : L'application de l'algorithme de clustering sur le dataset 1

Figure III. 5 : Le résultat de clustering par le dataset 1



```

# Fit the model to the scaled data
kmeans.fit(scaled_data)

# Get the cluster labels for each data point
labels = kmeans.labels_

# Print the cluster labels
print("Cluster labels:", labels)

# Plot the clusters
plt.scatter(scaled_data[:, 0], scaled_data[:, 1], c=labels, cmap='viridis')
plt.xlabel('PLCtime')
plt.ylabel('Extrspeed_2')
centers = kmeans.cluster_centers_
plt.scatter(centers[:, 0], centers[:, 1], c='red', marker='x')
plt.title('K-means Clustering')
plt.show()

```

Figure III. 6 : Le résultat de clustering par le dataset 2

Figure III. 7 : L'application de l'algorithme de clustering sur le dataset 2

```

import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
from sklearn.cluster import KMeans

# Load the data from the database
data = pd.read_excel("/content/drive/MyDrive/dossier/dataset 2.xlsx")

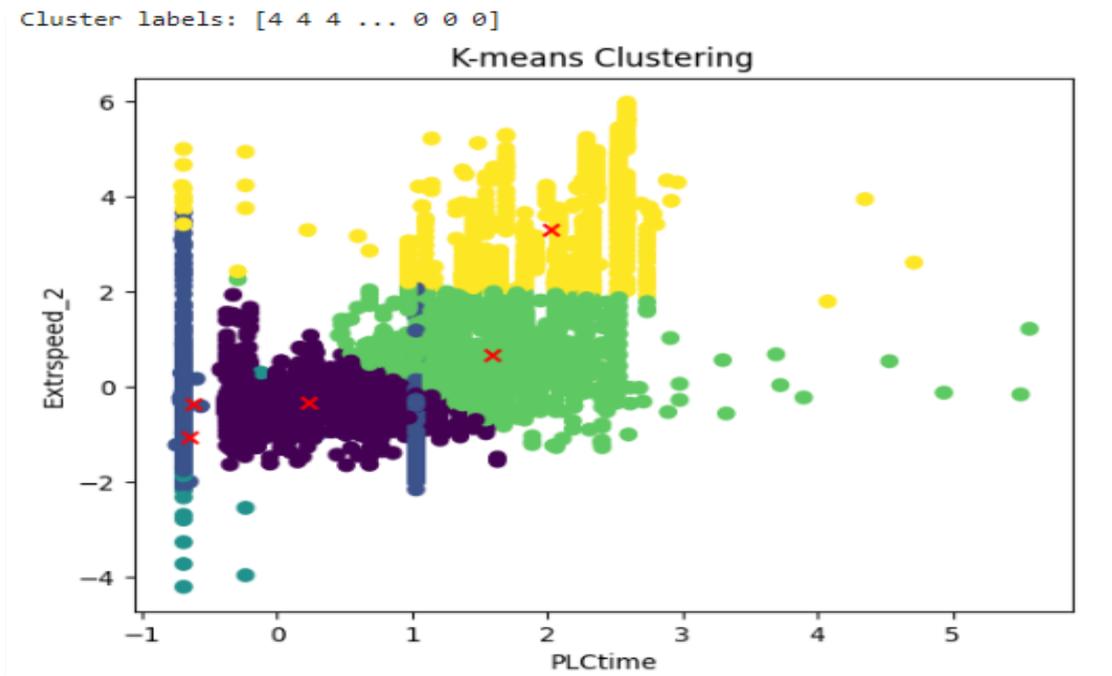
# Select the features for clustering
features = ['Extrspeed_2', 'Extrtemp_2', 'Extrtempbarr_2_1', 'Extrtempbarr_2_2', 'Extrpressure_2_1', 'Extrpressure_2_2']

# Apply feature scaling
scaler = StandardScaler()
scaled_data = scaler.fit_transform(data[features])

# Select the features for clustering
features = ['Extrspeed_2', 'Extrtemp_2', 'Extrtempbarr_2_1', 'Extrtempbarr_2_2', 'Extrpressure_2_1', 'Extrpressure_2_2']
# Apply feature scaling
scaler = StandardScaler()
scaled_data = scaler.fit_transform(data[features])

# Create the K-means model
kmeans = KMeans(n_clusters=5, random_state=0)

```



Labels des clusters: [3 2 2 ... 3 3 0]

Coordonnées des centroids: [[6.15141981e+00 6.00834494e+01 4.99417927e+01 5.99286869e+01
 4.13516945e+01 4.73545763e+01]
 [2.89782493e-03 6.00139196e+01 4.99171072e+01 5.98734095e+01
 5.67821703e+00 4.42551923e-02]
 [2.42012419e+01 6.30038698e+01 4.99803706e+01 6.00091001e+01
 4.79778509e+01 5.76830703e+01]
 [1.63005377e+01 6.10510317e+01 4.99861615e+01 6.00028649e+01
 4.49306383e+01 5.39003104e+01]
 [1.49461680e+01 5.98143255e+01 5.00399431e+01 5.99971596e+01
 6.22783809e+00 1.00767673e-01]]

Figure III. 8: Le résultat de clustering par le dataset 2

III.4 Interprétation de résultat et synthèse :

Après l'application de la méthode de K-means sur les deux bases de données, on obtient les deux charts précédents avec les résultats des **centroïdes**.

III.4.1 L'interprétation du premier chart

Le premier nuage de points obtenu représente un groupe de clusters, chaque cluster est associé à une colonne d'un paramètre précise (Pression, Température, Vitesse). Le nuage de point se compose de 4 clusters donc 4 centroïdes. La table suivante représente l'association des causes de défaillance de l'extrudeuse (Cylindre & vis de plastification) trouvées dans la table d'AMDEC avec les paramètres classés sous forme des clusters par les méthodes K-means.

Tab III. 1 Interprétation du premier chart

Le Système	L'élément	La Cause	Le Paramètre Influencer	Le Cluster 1	Explication
Extrudeuse	Le vis sans fin	Vibration	Augmentation ou diminution de pression	Le vert ou le jaune si la vitesse de rotation varie : le vert let le jaune.	On observe que les valeurs de vitesse de rotation et la température sont constante, donc on fixe les cherche les stables deux paramètres pour trouver les clusters qui correspond au variation
				Le mauve et le bleu. Si non le mauve et le bleu.	On observe une variation constate de toutes les paramètres, on cherche de trouver le cluster qui correspond aux variations.
		Mauvaise conception	Augmentation ou diminution de la pression, vitesse et température	Le vert ou le jaune	On observe une variation constate de vitesse de rotation et température, donc on fixe les cherche les stables deux paramètres pour trouver les clusters qui correspond aux variations.

		Désalignement	La vitesse de rotation de vis	Le vert let le jaune.	Trouver où il y a une coordonnée de centroïde nul pour la colonne de pression
	- le flexible à raccord rapide - Conduit (water cooling)	Conduit bouché	La pression est nul	Le mauve	Trouver où il y a une coordonnée de centroïde correspond à une diminution de pression
		Défaillance de pompe de refoulement	Diminution de la pression	Le mauve	Trouver où il y a une coordonnée de centroïde correspond à une augmentation de pression
		Débit incontrôlable	Augmentation de la pression	Le vert ou le jaune	On observe une variation constate des cordonnées de toutes les paramètres, on cherche de trouver le cluster qui correspond aux variations.
		Conduit de retours bouché	Augmentation ou diminution de la pression	Le vert ou le jaune	On observe une variation constate de toutes les paramètres, on cherche de trouver le cluster qui correspond aux variations.

III.4.2 Interprétation du deuxième chart

Le deuxième nuage de points obtenu représente un groupe de clusters, chaque cluster est associé à une colonne d'un paramètre précise (Pression, Température, Vitesse). Le nuage de point se compose de 5 clusters donc 5 centroïdes. La table suivante représente l'association des causes de défaillance de l'extrudeuse (Cylindre & vis de plastification) trouvées dans la table d'AMDEC avec les paramètres classés sous forme des clusters par la méthode K-means.

Tab III. 2 : Interprétation du deuxième chart

Le Système	L'élément	La Cause	Le Paramètre Influencer	Le Cluster 2	Explication
Extrudeuse	Le vis sans fin	Vibration	Augmentation ou diminution de pression	Le bleu ou le mauve	On observe que les valeurs de vitesse de rotation et la température sont constante, donc on fixe les cherche les stables deux paramètres pour trouver les clusters qui correspond au variation

		Mauvaise conception	Augmentation ou diminution de la pression, vitesse et température	Le mauve ou le vert	On observe une variation constate de toutes les paramètres, on cherche de trouver le cluster qui correspond aux variations.
		Désalignement	Augmentation de vitesse de rotation de vis	Le mauve	on observe une variation constate de vitesse de rotation et température, donc on fixe les cherche les stables deux paramètres pour trouver les clusters qui correspond au variation.
	- le flexible à raccord rapide - Conduit (water cooling)	Conduit bouché	La pression est nul	Le jaune	Trouver où il y a une coordonnée de centroïde nul pour la colonne de pression
		Défaillance de pompe de refoulement	Diminution de la pression	le bleu ou le jaune	Trouver où il y a une coordonnées de centroïde correspond à une diminution de pression
		Débit incontrôlable	Augmentation de la pression	Le mauve	Trouver où il y a une coordonnée de centroïde correspond à une augmentation de pression
		Conduit de retours bouché	Augmentation ou diminution de la pression	Le mauve ou le vert	On observe une variation des cordonnées de centroïdes de toutes les paramètres, on cherche de trouver le cluster qui correspond aux variations.

III.4.2 La Politique De Maintenance Proposé

Afin de mettre en place une politique de gestion de la maintenance, on a besoin de bien connaître notre équipement ainsi que les différents modes de défaillances et après l'association des causes de défaillances de l'extrudeuse avec les différents paramètres qui influent sur son fonctionnement, nous proposons une méthode d'élaboration d'un plan de maintenance préventive pour la machine extrudeuse. Le tableau suivant représente le plan de maintenance proposé.

Tab III. 3: La politique de maintenance préventif proposé

Sous-système	Élément	Tâches de maintenance préventive	Fréquence d'inspection
Extrudeuse	Vis sans fin	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier visuellement l'état de la vis sans fin et la fixité - Vérifier la boîte d'engrenage pour tout blocage ou déformation - Vérifier le moteur d'entraînement pour toute défaillance ou manque de lubrification 	Trimestrielle
	Le cylindre	<ul style="list-style-type: none"> - Vérifier visuellement les conduites d'eau de refroidissement pour toute fuite ou obstruction - Vérifier le débit d'eau et la pression - Vérifier les raccords rapides pour toute défaillance ou mauvais fonctionnement 	Mensuelle

II.5 Conclusion

La méthode K-means utilisé dans cette étude permet de classer les paramètres de base de données sous forme des clusters par centroïdes, qui nous a permet d'associé les causes de défaillances aux ces clusters. Le choix de cette méthode est lié au contenu de base de données donc les résultats sont encourageants pour l'application de cette approche dans le domaine de maintenance prédictive, permettant une détection des précoce des défaillances et une réduction des couts liées aux maintenances.

CHAPITRE IV

Digitalisation

IV.1 Introduction

La digitalisation est également cruciale pour la maintenance prédictive. La maintenance prédictive consiste à utiliser des données et des technologies pour anticiper les défaillances et les pannes d'équipements et planifier des interventions de maintenance avant qu'un problème ne se produise réellement. La collecte, le stockage et l'analyse des données nécessaires à la maintenance prédictive sont facilitées par la digitalisation. La réalisation de jumeaux numérique consiste à construire un modèle 3D sur une plateforme de conception ensuite, de le simuler dans un logiciel de simulation après l'injection des paramètres principaux de son fonctionnement [17].

Le Solid Works est le logiciel utilisé pour la conception détaillée et la modélisation 3D du système, tandis que V-REP est le logiciel utilisé pour la simulation en temps réel, la validation et l'analyse du comportement du système. Ensemble, ces deux outils permettent aux ingénieurs de concevoir, simuler et améliorer les systèmes virtuellement, avant de les mettre en œuvre dans le monde réel [18].

IV.2 Définition de Digital Twin (DT)

La technologie de (DT) est apparue avec l'arrivée d'Industriel 4.0. Le terme Digital Twin peut être décrit comme une copie numérique d'une véritable usine, d'une machine, d'un travailleur et plus encore, qui est créée et peut être développée indépendamment, automatiquement mise à jour en plus d'être globalement disponible en temps réel. De plus, l'intégration de modèles numériques avec l'IoT a le potentiel de générer un mode interactif flexible pour améliorer l'efficacité des machines et la sécurité des processus [19]. Les DT ne sont pas nouveaux dans les industries de transformation, où ils sont utilisés sous diverses formes, dans le but principal de modéliser un système, conformément à la nature centrée sur le modèle de la pratique de l'ingénierie [20].

Le modèle conceptuel DT contient trois parties principales :

- Objets physiques dans l'espace réel.
- Objets virtuels dans l'espace virtuel.
- Les connexions de données et d'informations qui relient les produits virtuels et réels.

IV.3 Modélisation du sous-ensemble

La modélisation par les bords graph et les équations d'état sont des outils essentiels dans la construction de "Digital Twin". Ils permettent de représenter le comportement et les interactions du système de manière mathématique [21].

Les équations d'état et la modélisation permettent de comprendre et de décrire avec précision les performances d'un système physique et de prédire ses performances dans différentes conditions. Ils permettent de définir les relations entre les différentes variables d'un système et de saisir les principes physiques et les interactions entre les composants.

IV.3.1 Modélisation par Bond Graph :

La modélisation par Bond Graph est une technique de modélisation systématique qui permet de représenter les systèmes physiques multi-domaines (mécanique, électrique, hydraulique, thermique, etc.) de manière unifiée [22].

La modélisation en utilisant le Bond Graph permet de représenter les échanges de puissances d'un système ainsi que les échanges des flux et des efforts entre les différents composants d'un système.

Afin d'aboutir au modèle Bond Graph du système, nous allons d'abord déterminer les différents éléments physiques du système. Ensuite, nous déterminons les efforts appliqués et enfin attribuons une jonction 0 ou une jonction 1 à laquelle seraient associés les éléments physiques correspondants.

Dans notre cas d'étude, nous modélisons le sous-ensemble d'extrudeur par moteur et une vis. Le moteur étant alimenté par l'énergie électrique, il va transformer cette énergie en énergie mécanique.

- Le circuit électrique illustré par la figure représente le circuit électrique de l'induit d'un moteur.

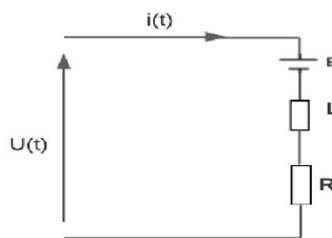


Figure IV. 1: Circuit électrique de l'induit d'un moteur

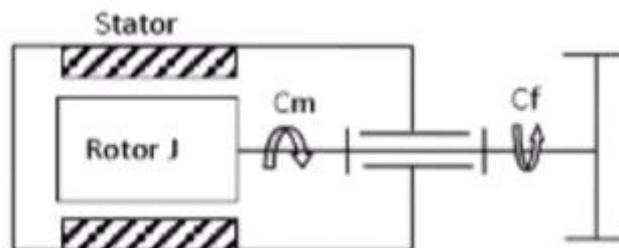


Figure IV. 2 : Circuit de commande d'un moteur

Les équations modélisant le comportement du système sont :

- a) Une équation électrique obtenue par la loi de mailles :

$$U_m = R.i(t) + L \frac{di(t)}{dt} + e(t) \quad (1)$$

- b) Une équation mécanique donnée issue du PFD :

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} = C_m(t) - C_f(t)$$

$$C_f(t) = a \omega(t)$$

$$C_m = J \frac{d\omega(t)}{dt} + a \omega(t) \quad (2)$$

- c) La modélisation des forces appliquées à la vis est représentée par l'équation :

$$F_v = M_v \frac{dv_v}{dt} \quad (3)$$

Tab IV 1 : Les principales caractéristiques de moteurs et de vis de l'extrudeur

R	Résistance
L	Inductance
U_m	Tension
i	Intensité
a	Coefficient de frottement visqueux mécanique
ω	Vitesse de rotation
J	Moment d'inertie de rotor
C	Couple
E	Force électromotrice
F_v	Force de vis
M_v	Masse de vis
V_v	Vitesse de vis

A partir des trois équations (1) (2) et (3) nous établissons le modèle Bond Graph du système comme suit :

- Lignes de puissance connectent les multiports et représentent la puissance échangée entre eux, ces liens sont désignés par le symbole d'une demi-flèche.
- La puissance s'exprime comme le produit de deux variables complémentaires :
 1. La variable d'effort e
 2. La variable de flux f
- La causalité permet de faire apparaître graphiquement les relations de cause à effet et l'orientation de calcul des équations caractéristiques.

Existe deux conventions pour faire apparaître la causalité :

- Si A envoie un effort à B, B réagit en envoyant un effort à A.

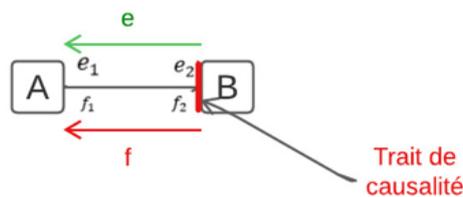


Figure IV. 3: première convention pour faire apparaitre la causalité

- Si A applique un flux à B, B réagit en renvoyant un effort à A.

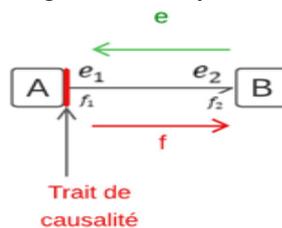


Figure IV. 4: deuxième convention pour faire apparaitre la causalité

Le résultat est montré par laFigure IV.3comme suit :

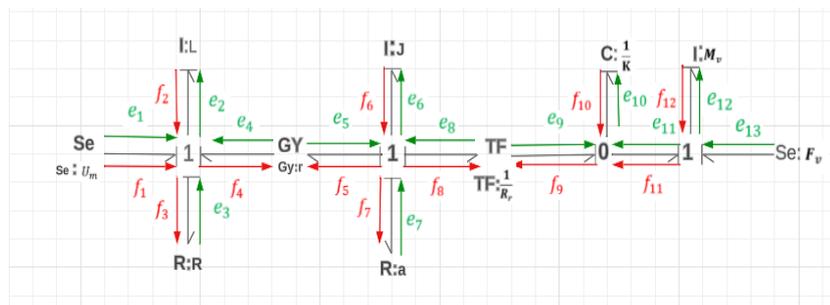


Figure IV. 5 : Modélisation par Bond Graph du système « extrudeur »

IV3.2 Le passage du BG à la représentation d'état

Des équations dynamiques équivalentes peuvent être facilement déduites à l'aide d'un modèle BG causale. Les étapes ci-dessous doivent être suivies afin de construire la représentation d'état de notre système « extrudeur »

- Jonction « 1 » :

$$f_i = C^{ste}$$

$$\sum e_i = 0$$

- Jonction « 0 » :

$$e_i = C^{ste}$$

$$\sum f_i = 0$$

En utilisant l'équation du moment généralisé, nous obtenons l'équation d'état correspondant à chaque jonction.

$$P_i = \int e_i(t)dt$$

- Élément inertiel $I_1=L$:

$$\sum e_i = 0$$

$$e_1 + e_2 + e_3 + e_4 = 0$$

$$e_2 = e_1 - e_3 - e_4$$

$$f_2 = \frac{1}{L} \int e_2(t)$$

$$P_1 = \int e_2(t) dt ; \dot{P}_1 = e_1 - e_3 - e_4$$

$$\dot{P}_1 = U - \frac{R}{L} P_1 - e_4$$

La valeur de e_4 est obtenue à travers les équations caractéristiques du gyrate

$$\begin{cases} e_4 = r \times f_5 \\ e_5 = r \times f_4 \end{cases}$$

$$e_4 = \frac{r}{J} P_2$$

$$\dot{P}_1 = U - \frac{R}{L} P_1 - \frac{r}{J} P_2$$

- Élément inertiel $I_2=J$:

$$\sum e_i = 0$$

$$e_5 + e_6 + e_7 + e_8 = 0$$

$$e_6 = e_5 - e_7 - e_8$$

$$f_6 = \frac{1}{J} \int e_6(t)$$

$$P_2 = \int e_6(t) dt ; \quad \dot{P}_2 = e_5 - e_7 - e_8$$

$$\dot{P}_2 = \frac{r}{L} P_1 - \frac{a}{J} P_2 - e_8$$

La valeur de e_8 est obtenue à travers les équations caractéristiques du transformateur :

$$\begin{cases} e_9 = \frac{1}{R_r} \times e_8 \\ f_8 = \frac{1}{R_r} \times f_9 \end{cases}$$

$$e_8 = k \times R_r \times P_3$$

$$\dot{P}_2 = \frac{r}{L} P_1 - \frac{a}{J} P_2 - k \times R_r \times P_3$$

- Élément capacitif $C = \frac{1}{K}$:

$$\sum f_i = 0$$

$$f_9 + f_{10} + f_{11} = 0$$

$$e_{10} = k \int e_{10} dt ; \quad P_3 = \int f_{10} dt$$

$$\dot{P}_3 = f_9 - f_{11} f_9 = \frac{R_r}{J} P_2 f_{11} = \frac{1}{M_v} P_4$$

$$\dot{P}_3 = \frac{R_r}{J} P_2 - \frac{1}{M_v} P_4$$

Élément inertiel $I_3 = M_v$:

$$\sum e_i = 0$$

$$e_{11} + e_{12} + e_{13} = 0$$

$$e_{12} = e_{11} - e_{13}$$

$$f_{12} = \frac{1}{M_v} \int e_{12}(t)$$

$$P_4 = \int e_{12}(t) dt ; \quad \dot{P}_4 = e_{11} - e_{13}$$

$$e_{11} = k P_3 e_{13} = F_v$$

$$\dot{P}_4 = k P_3 - F_v$$

On considère les variables d'états x_i et les sorties y_i :

$$\begin{cases} x_1 = P_1 \\ x_2 = P_2 \\ x_3 = P_3 \\ x_4 = P_4 \\ y_1 = i \\ y_2 = \omega \\ y_3 = \omega_v \end{cases}$$

Enfin, nous établissons la représentation d'état correspondante au système d'étude de la forme :

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = U - \frac{R}{L}x_1 - \frac{r}{J}x_2 \\ \dot{x}_2 = \frac{r}{L}x_1 - \frac{a}{J}x_2 - k R_r x_3 \\ \dot{x}_3 = \frac{R_r}{J}x_2 - \frac{1}{M_v}x_4 \\ \dot{x}_4 = k x_3 - F_{res} \\ y_1 = \frac{1}{L}x_1 \\ y_2 = \frac{1}{J}x_2 \\ y_3 = \frac{1}{M_v}x_4 \end{cases}$$

La forme matricielle de la représentation d'état

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{r}{J} & 0 & 0 \\ \frac{r}{L} & -\frac{a}{J} & -k R_r & 0 \\ 0 & \frac{R_r}{J} & 0 & -\frac{1}{M_v} \\ 0 & 0 & k & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U \\ F_v \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{J} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{M_v} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix}$$

IV.4 Description des logiciels SolidWorks et V-REP (Virtual Robot Experimentation Platform)

SolidWorks est un programme de conception assistée par (CAO) largement l'industrie pour la modélisation 3D, la conception de pièces mécanique, l'assemblage de composants et la création de dessins technique. Il est souvent utilisé dans le processus de conception initiale et détaillée du produit.

V-REP c'est un simulateur de robot 3D. Il fournit un environnement complet pour la conception, la programmation et la simulation de robots et de systèmes robotiques. V-REP permet d'éditer et de simuler des systèmes robotiques en tant que systèmes ou sous-systèmes complets (capteurs, mécanismes, etc.). V-REP est largement utilisé dans les universités, l'industrie et les instituts de recherche pour diverses applications robotiques. Il simule un grand nombre de lois physiques pour se rapprocher de la réalité.

Principales caractéristiques de V-REP :

- Éditer et simuler toute sorte de systèmes robotiques et sous-systèmes.
- Modeler les systèmes avec une expérience proche à la réalité.
- Parfait pour le contrôle à distance, contrôle de composants, prototypes et vérification, simulations d'automatisation de fabriques, etc.

IV.5 Construction de digital twin

La construction d'un Digital Twin est un processus complexe qui implique la création d'un modèle virtuel d'un objet réel ou d'un système [23].

Voici les étapes générales pour construire un digital Twin :

- Collecté des données : la première étape consiste à collecter des données pertinentes sur le sous-système que nous voulons concevoir. Cela peut inclure des données d'ingénierie, des spécifications techniques, des données opérationnelles, des capteurs, etc.
- La modélisation : Nous avons modélisé le sous-système afin de créer une représentation virtuelle précise et réaliste du système. La modélisation capture les caractéristiques de base, les comportements et les interactions d'un objet réel dans un environnement virtuel contrôlé.
- La conception mécanique du sous-système extrudeur dans le logiciel SolidWorks :

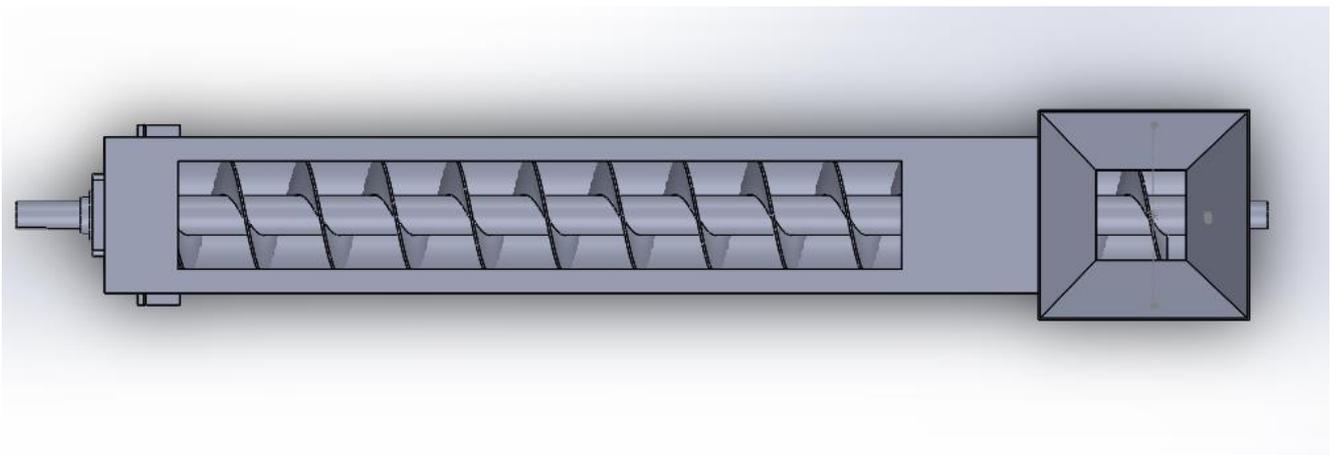


Figure IV. 6 : Conception du la vue de face d'extrudeur sur SolidWorks.

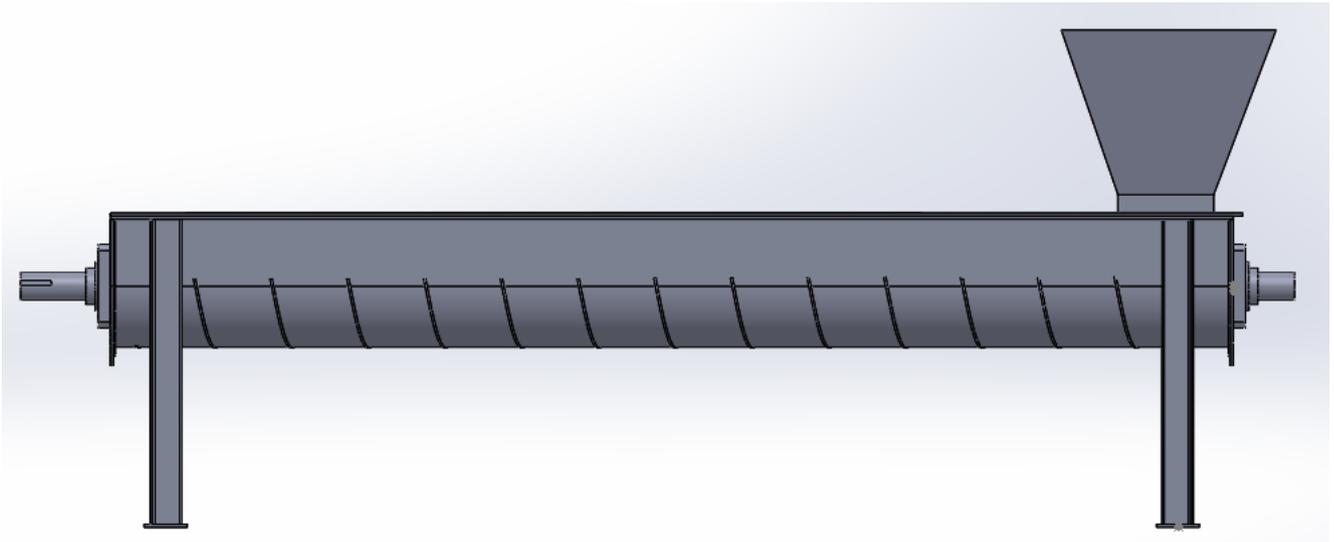


Figure IV. 7 : Conception du la vue de dusse d'extrudeur sur SolidWorks

- Transfert le sous-système de SolidWorks vers V-REP (Virtual Robot Expérimentation Platform) :
- Exportation du modèle SolidWorks : Dans SolidWorks, nous ouvrons le modèle que nous voulons transférer vers V-REP. Nous assurons que le modèle est conçu correctement et que toutes les pièces et tous les assemblages sont prêts à être exportés. Ensuite, nous utilisons l'option d'exportation appropriée pour enregistrer le modèle dans un format pris en charge par V-REP.
- Importer le modèle dans V-REP : nous exécutons V-REP et créons un nouveau scénario ou ouvrons un scénario existant. Nous utilisons les options d'importation V-REP pour importer le modèle exporté depuis SolidWorks. V-REP prend en charge différents formats de fichiers CAO, nous assurons donc de choisir ceux qui sont compatibles avec notre exportation SolidWorks.
 - Simulation et validation : une fois le modèle, les capteurs, les actionneurs et les commandes configurés, nous pouvons exécuter la simulation dans V-REP. Interagissez avec le modèle et nous exécutons des scénarios et analysons les résultats pour valider le comportement du sous-système et améliorer les paramètres si nécessaire.

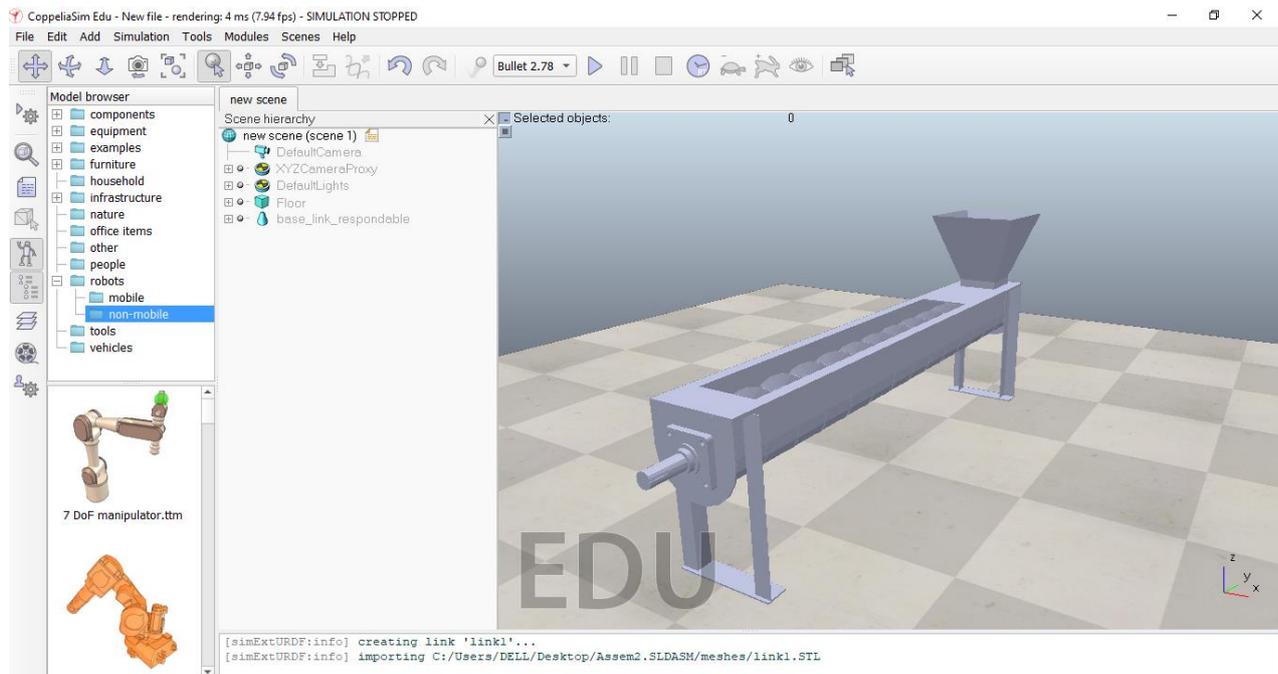


Figure IV. 8 : Simulation d'extrudeur dans V-REP

Les concepts de maintenance prédictive, d'intelligence artificielle (IA) et de Digital Twin sont étroitement liés. Ils travaillent ensemble pour créer une approche innovante de la maintenance des équipements et de la gestion des actifs. Voici comment ces trois composants se combinent ensemble :

- **Twin digital et collecte de données** : En utilisant des modèles informatiques, le Twin digital crée une représentation virtuelle d'un équipement réel. Il est connecté à l'équipement réel à travers des capteurs qui collectent des données en temps réel sur les performances, les conditions de fonctionnement et d'autres paramètres. L'IA et la maintenance prédictive ont besoin de ces données.
- **L'intelligence artificielle et l'analyse des données** : En utilisant des techniques, l'IA est utilisée pour analyser les données collectées à partir du digital Twin et d'autres sources.
- **Prévision des défaillances et maintenance prédictive** : En utilisant l'IA et les données du digital Twin, il est possible de prédire les défaillances et les pannes avant qu'elles ne se produisent. L'intelligence artificielle analyse les données en temps réel pour trouver des signes de défaillance et crée des alertes pour initier des actions de maintenance préventive.

Une représentation numérique d'un équipement réel, la collecte de données en temps réel et l'analyse des données facilitées par l'IA sont fournies par le digital Twin. Ces données sont utilisées par l'IA pour identifier les défauts potentiels, prédire les pannes et optimiser les stratégies de maintenance.

Le digital Twin, l'IA et la maintenance prédictive aident à optimiser les performances opérationnelles, à réduire les coûts de maintenance et à améliorer la fiabilité des équipements.

À cause de la version limitée de logiciel de simulation de V-Rep on a pu de simuler le fonctionnement de notre système en temps réel. La version trouvée elle n'était pas capable de simuler autres modèles existant déjà dans le logiciel.

IV.6 Conclusion

Les concepts de maintenance prédictive et le Digital Twin sont étroitement liés. Ils travaillent ensemble pour créer une approche innovante de la maintenance des équipements et de la gestion des actifs. Voici comment ces trois composants se combinent ensemble. En utilisant le (DT) pour créer une représentation virtuelle d'un équipement réel. Il est connecté à l'équipement réel à travers des capteurs qui collectent des données en temps réel sur les performances, les conditions de fonctionnement et d'autres paramètres afin de prédire les défaillances et les pannes avant qu'elles ne se produisent.

Conclusion générale

Ce stage nous permis de renforcer nos connaissances techniques, c'est une expérience enrichissante ou nous l'occasion d'approfondir et de compléter nos connaissances acquises durant nos études.

Ce projet a pour objectif de proposer une approche basée sur l'intelligence artificielle permettant d'adapter une politique de maintenance prédictive afin de réduire les couts de maintenance (directs ou indirects).

Nous avons entamé ce projet par l'application de l'analyse fonctionnelle l'analyse dysfonctionnelle pour réaliser une étude qualitative (AMDEC) sur le système choisi, la table d'AMDEC nous a permet de classer les modes de défaillances de notre système et leur causes critique. Après la proposition des grilles de cotation nous avons déterminé les niveaux de criticité de chaque composant et leurs éléments. Ensuite nous avons utilisé l'apprentissage non-supervisé de Machine Learning de (AI) précisément la technique de K-means pour classer les causes de défaillances et les associées avec les paramètres regroupés à des clusters par centroïdes. Enfin nous avons appliqué la technologie de Digital Twin sur notre système comme un outil de surveillance en temps réelle, la simulation en temps réelle du système nous a permet de visualiser le fonctionnement normal et anormale de ce dernier et d'estimer les paramètres influent sur le fonctionnement du système ainsi ces valeurs, Donc de prévenir les causes probables imposer un fonctionnement anormal ou des pannes critiques à nos systèmes.

Pour l'obtention de meilleure approche de maintenance prédictive, il est préférable de collecter des données plus précises sur l'état de machine pour aller vers l'apprentissage supervisé de Machine Learning qui nous a permet de faire des prédictions sur les défaillances critiques d'une manière plus précise et fiable. Ainsi que d'utiliser des autres logiciels ont des capacités illimitées pour bénéficier de faire des Twins fiable pour les systèmes a étudié.

Les Références

- [1] Yannou, B. (1998). Analyse fonctionnelle et analyse de la valeur. Conception de produits mécaniques. Méthodes, modèles et outils, 77-104.
- [2] Ozouf V., and Pillet M., (2006). Set up your AMDEC product through the APR. Centrale Paris.
- [3] Soin R. S., and Spence R., (1980). Statistical exploration approach to design centring. IEE Proceedings Electronic Circuits and Systems, vol. 127, no. 6 : 260 – 269.
- [4] Zwingmann X., (2005). Model for assessing reliability and maintainability at the design stage. Quebec. Ph.D. thesis: Department of Mechanical Engineering, Faculty of Science and Engineering, Laval University, 379 p.
- [5] LAKEHAL, Abdelaziz et HADJADJ-AOUL, E. Une nouvelle stratégie de diagnostic en maintenance préventive conditionnelle. In: 4th International Conference on Computer Integrated Manufacturing CIP. 2007. p. 2-5.
- [6] CHIEMENTIN, Xavier. Localisation et quantification des sources vibratoires dans le cadre d'une maintenance préventive conditionnelle en vue de fiabiliser le diagnostic et le suivi de l'endommagement des composants mécaniques tournants : application aux roulements à billes. 2007. Thèse de doctorat. Reims.

- [7] .CASTANIER, Bruno. Modélisation stochastique et optimisation de la maintenance conditionnelle des systèmes à dégradation graduelle. 2001. Thèse de doctorat. Troyes.
- [8] DELOUX, Estelle. Politiques de maintenance conditionnelle pour un système à dégradation continue soumis à un environnement stressant. 2008. Thèse de doctorat. Université de Nantes.
- [9]. VRIGNAT, Pascal, AVILA, Manuel, DUCULTY, Florent, et al. GENERATION D'INDICATEURS DANS LE CADRE D'UNE POLITIQUE DE MAINTENANCE PREVENTIVE CONDITIONNELLE. In : GENERATION D'INDICATEURS DANS LE CADRE D'UNE POLITIQUE DE MAINTENANCE PREVENTIVE CONDITIONNELLE. 2012. p. 177-196.
- [10] CHERRAD, Mohamed Lotfi. Localisation des sources vibratoires dans le cadre d'une maintenance préventive conditionnelle. Application aux machines tournantes. Thèse de COULIBALY, S., KOUAM, P., et PAGE, M. Organisation de la maintenance préventive en milieu hospitalier. ITBM-RBM, 2001, vol. 22, no 2, p. 125-133.
- [11] ABDENACEUR, BELOUADAH. Amélioration de la fiabilité d'un système électromécanique par l'utilisation des opérations de la maintenance préventive. 2016. Thèse de doctorat. Faculte de technologie/UniversiteMohamed Boudiaf-M'sila.
- [12] BEN DJAAFER, Ahmed. Réalisation d'un plan de maintenance préventive systématique pour l'amélioration de la sûreté de fonctionnement d'un système électromécanique. 2013. Thèse de doctorat. Université Mohamed Boudiaf-M'Sila.
- [13] Liu, Z., Meyendorf, N., Mrad, N.: The role of data fusion in predictive maintenance using Arshad et al.
- [14] .Vathoopan, M., Johny, M., Zoitl, A., Knoll, A.: Modular fault ascription and corrective maintenance using a digital twin. IFAC-PapersOnLine 51(11), 1041–1046 (2018).
- [15] Rudskoy, A., Ilin, I., Prokhorov, A.: Digital twins in the intelligent transport systems. Transportatio Research Procedia 54, 927–935 (2021).
- [16] Eirinakis, P., Kalaboukas, K., Lounis, S., Mourtos, I., Rožanec, J.M., Stojanovic, N., Zois, G.: Enhancing cognition for digital twins. In: 2020 IEEE International Conference on Engineering Technology and Innovation (ICE/ITMC). pp. 1–7. IEEE (2020).
- [17] Aivaliotis, K. Georgoulas & G. Chryssolouris (2019) The use of Digital Twin for predictive maintenance in manufacturing, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 32:11, 1067-1080,
- [18] Goschy, W.; Rohrbach, T. (Staufen Digital Neonex GmbH und Staufen AG): Deutscher Industrie 4.0 Index 2017, Köntgen (2017).

[19] R.H. Bishop, "Mechatronics: An introduction». Taylor and Francis Group. USA, 2006, pp. 1-10.

[20] M. A. Djeziri, "Diagnostic des Systèmes Incertains par l'Approche Bond Graph", Thèse de doctorat, 2007, Laboratoire d'Automatique et Informatique Industrielle de Lille.

Digital twin

[21] Tao, F., Xiao, B., Qi, Q., Cheng, J., & Ji, P. (2022). Digital twin modeling. *Journal of Manufacturing Systems*, 64, 372-389.

[22] TAO, Fei, XIAO, Bin, QI, Qinglin, et al. Digital twin modeling. *Journal of Manufacturing Systems*, 2022, vol. 64, p. 372-389.

[23] Tao, Fei, et al. "Digital twin modeling." *Journal of Manufacturing Systems* 64 (2022): 372-38

Annexe

Annexe A

A. 1 : Les caractéristiques d'extrudeur

Description	Unit	Valeur (min/max)
Taille (L x l x H)	mm	2784 x 1600 x 2000
Poids	kg	2670
Pression maximale autorisée	bar	300
Débit maximal (densité du composé : 1,1 kg/dm ³)	kg/h	320
Alimentation électrique		400 VCA 50 Hz Triphasé, PE
Énergie requise	kW	10
Entrée d'alimentation en eau de l'extrudeur	pouce	G ¾
Sortie d'alimentation en eau de l'extrudeur	pouce	G ¾
Pression minimale de l'eau	bar	2
Pression maximale de l'eau	bar	6
Vis de l'extrudeur Diamètre Longueur Vitesse de rotation Couple	Mm (L / D) Rpm Nm	70 14 76 5580

Débit maximal (densité du composé : 1,1 kg/dm ³)	kg/h	320
Alimentation électrique		400 VCA 50 Hz Triphasé, PE
Énergie requise	kW	10
Entrée d'alimentation en eau de l'extrudeur	pouce	G ¾
Sortie d'alimentation en eau de l'extrudeur	pouce	G ¾
Pression minimale de l'eau	bar	2
Pression maximale de l'eau	bar	6
Vis de l'extrudeur Diamètre Longueur Vitesse de rotation Couple	Mm (L / D) Rpm Nm	70 14 76 5580
Vis de plastification Boîte d'engrenage Rapport de transmission Volume du réservoir d'huile Moteur d'entraînement Moteur à courant alternatif avec ventilateur externe Sortie Vitesse de rotation Alimentation électrique	L KW rpm	23:1 18 45 kW à 50 Hz 1478 tr/mn à 50 Hz 400 V
Zone d'alimentation Dimensions d'ouverture Largeur de l'entonnoir Dimensions bande d'alimentation (largeur x épaisseur)	mm mm mm	120 202 120x8

Cylindre Nombre de lignes Profondeur de ligne		6 6
Tête d'extrusion Dimensions d'ouverture (Max.) Grille de contre- pression	mm mm	70x40 75
Capteur de pression (Vérin / Bride d'adaptation) Fourchette Type de raccord Sortie de signal	Bar pouce mA	0 – 350 1/2" - 20 UNF 4 - 20
Sonde de température (Tête d'extrusion / Bâti) Type de Plage de température	°C	capteur Résistance thermique PT100 20 - 150
Sonde de température (Tête d'extrusion / Mélange) Type de capteur Plage de température	°C	Résistance thermique PT100 20 - 150
Systeme de régulation de la température Marque Circuits de régulation de la température Sortie chauffage Refroidissement Sortie refroidissement Consommation d'eau Température eau de refroidissement	kW °C kW/h m3/h °C	Temps outil TT188E Zone d'alimentation Vérin Vis de l'extrudeur P = 3/6/9 0 – 90 0,2 25 (Max.)

A. 2 : Les caractéristiques Convoyeur de rétrécissement

Description	Valeurs
Largeur d'apex section	20 – 65 mm
Hauteur de chargement maximale	1000 mm
Pourcentage de rétrécissement Max	10 % par
Nombre de sections de rétrécissement	3
Mesure de la largeur	caméra DCT E+L
Taille (L x l x H)	2488 x 785 x 2000 mm
Poids	700 k

Annexe B

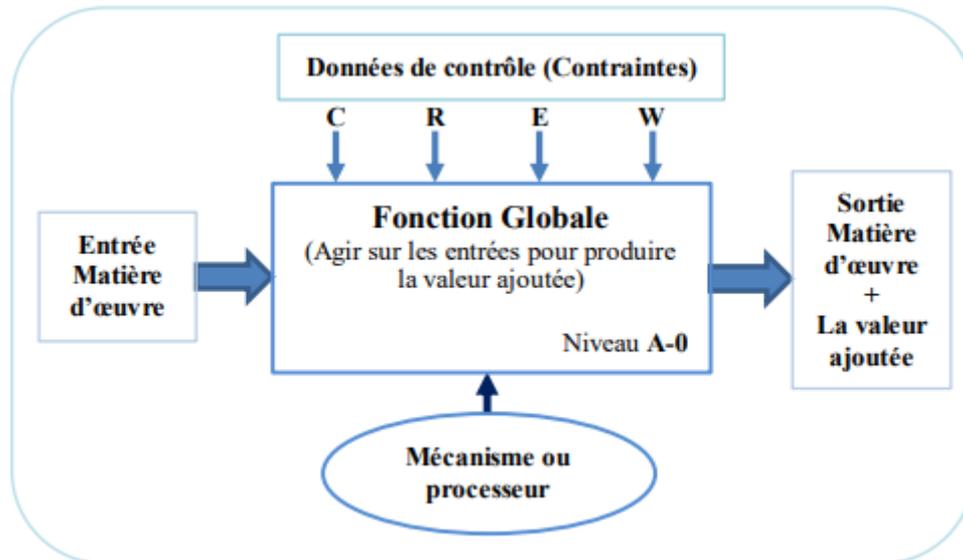
B.1 Analyse Fonctionnelle : SADT

Les boîtes SADT sont dans leur contexte avec d'autres boîtes ou modules par des flèches de relation. Ces flèches représentent des contraintes liées entre cases. Ils ne sont pas strictement contrôlés ou commandés.

SADT peut décrire non seulement les tâches d'un projet et leurs interactions, mais aussi les systèmes que le projet vise à étudier, Créer ou modifier, notamment en mettant en évidence Mettre l'accent sur les éléments qui composent le système, son objectif, la fonction de chaque élément et Faire du système plus qu'une simple interface entre les parties d'une collection Des éléments séparés, mais une organisation Ceux-ci sont construits dans un but précis.

- Méthode d'analyse fonctionnelle et de gestion de projets.
- Spécification de n'importe quel système.

Démarche d'analyse structurée qui identifie et organise les détails d'un système qu'on veut appréhender suivant une hiérarchie de modèles parfaitement référencée [4].



Bloc fonctionnel SADT

- Mécanismes (flèches entrantes en bas) : supports de la fonction qui représentent les éléments matériels.
- Entrées (flèches entrantes à gauche) : entrées de matière d'œuvre qui sont transformées par la fonction.
- Contrôles (flèches entrantes en haut) : données de contrôle qui provoquent ou modifient la mise en œuvre de la fonction.
- Sorties (flèches sortantes à droite) i.e. ce qui est produit par le système :
 1. sorties de matière d'œuvre dotée de valeur ajoutée.
 2. sorties secondaires (généralement des flux d'informations associées au processus et des sous-produits ou déchets).

Résumé

La maintenance prédictive est une forme avancée de la maintenance préventive conditionnelle et systématique, afin d'adapter une politique de maintenance prédictive au sein d'industriel 4.0 IRIS TYRES à Sétif on a basé sur intelligence Artificielle. Elle visait de réduire les couts de maintenance (directes ou indirectes) par association des clusters d'AI avec les causes de défaillance de système nous avons choisi à étudié classé dans la table d'AMDEC. Cette approche nous permet de connaitre les causes principales de défaillance pour objectif de proposer la politique adéquate qui nous permet de proposer la politique de maintenance que nécessite le système.

Mots clés : AI, La maintenance Prédictive, AMDEC, les couts de maintenance

ملخص

الصيانة التنبؤية هي شكل متقدم من أشكال الصيانة الصناعية المشروطة والمنهجية. من اجل اعتماد سياسة الصيانة الصناعية التنبؤية على مستوى مؤسسة إيريس للعجلات المطاطية بولاية سطيف والقائمة على أحد أعمدة الذكاء الاصطناعي. إن الهدف الرئيسي هو التقليل من تكاليف الصيانة الصناعية (سواء كانت المباشرة أو غير المباشرة) خاصة تلك غير المجدية بالدرجة الأولى والتي يمكن التخلي عنها تدريجياً، وذلك من خلال الربط المباشر للمجموعات المصنفة بإحدى خوارزميات الذكاء الاصطناعي بالأسباب الرئيسية المتعلقة ب فشل السيرورة الحسنة والوظيفة الأساسية الخاصة بالألية الصناعية المختار دراستها في هذا العمل. تم تحديد (أسباب الفشل المباشرة) من خلال استعمال طريقة التحليلية لأسباب الفشل. . نتيج لنا هذه الدراسة اقتراح سياسة وقائية تتناسب مع متطلبات الصيانة الصناعية الوقائية الخاص ب بالألية الصناعية

الكلمات المفتاحية: الذكاء الاصطناعي، الصيانة التنبؤية، AMDEC، تكاليف الصيانة.....

Abstract

Predictive maintenance is an advanced form of conditional and systematic preventive maintenance, in order to adapt a predictive maintenance policy within the 4.0 IRIS TIRES industry in Setif we have based on Artificial intelligence. It aimed to reduce maintenance costs (direct or indirect) by associating AI clusters with the causes of system failure we chose to study classified in the FMECA table. This approach allows us to know the main causes of failure for proposing the appropriate policy, which allows us to propose the maintenance policy that the system requires.

Keywords: AI, Predictive Maintenance, AFMEC, maintenance costs