

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté de génie de la construction

Département de Génie Mécanique



Mémoire de fin d'étude

OPTION : *Génie Mécanique*

SPECIALITE : *Construction Mécanique.*

Thème:

*Conception et réalisation d'un dispositif de
compression à chaud pour l'élaboration des
composites*

*Proposé et dirigé par:
M^{lle} Hannachi Manel*

*Réalisé par:
Delci Fatah*

Messas Hacène

promotion 2018

SOMMAIRE

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur la conception.....	4
1. Introduction :.....	4
2. Définition de la conception d'un produit:	4
2.1 Phase de détection de problèmes :.....	5
2.2 Phase de conception :	5
2.3 Phase de choix :.....	5
3.1 Etape de conception:.....	6
3.2 Etape de production:.....	6
3.3 Etape de mise sur le marché :	6
4. Méthodes de conception et réalisation d'un système mécanique :	6
4.1 La méthode simple en conception mécanique :	6
4.2 La méthode d'améliorations:	7
5. L'analyse fonctionnelle:.....	8
5.1 Concepts de base pour la réussite de l'analyse fonctionnelle :	11
5.1.1 L'état d'esprit :.....	11
5.1.2 Le travail en groupe :.....	11
5.1.3 La logique de réflexion:	12
5.2 Condition d'existence d'un produit:.....	12
5.3 Environnement de produit :	12
5.4 Construction des fonctionnalités (fonction /contrainte) :	13
5.5 Avantage de l'analyse fonctionnelle:	13
5.6 Inconvénients:	14
6. Cahier des charges fonctionnelles :.....	14
6.1 Définition :.....	14
6.2 Qui rédige le cahier des charges:	14
6.3 Le critère d'appréciation :	14
6.4 Elément constitutifs d'un CdCF :	15
6.4.1 Présentation générale du besoin:	15
6.4.2 Expression fonctionnelle du besoin :.....	15
6.4.3 Appel à variantes :.....	15
6.5 Elaboration du CdCF:.....	15
Chapitre II : Généralités sur les matériaux composites biodégradables	17

1. Introduction.....	17
2. Généralités sur les composites.....	17
2.1 Définition.....	17
2.2 Caractéristiques générales :.....	18
2.3 Classification des composites :.....	18
2.3.1 Selon la géométrie :.....	19
2.3.1.1 Composite à fibre :.....	19
2.3.1.2 Composites à particules :.....	19
2.3.1.3 Composites structuraux :.....	19
2.3.2 Selon la nature des constituants :.....	20
2.4 Les matrices :.....	21
2.4.1 Matrices thermoplastiques :.....	21
2.4.2 Matrices thermodurcissables :.....	21
2.4.3 Les céramiques :.....	21
2.4.4 Les matrices métalliques :.....	21
2.5 Les renforts :.....	21
2.5.1 Les fibres de verre :.....	22
2.5.2 Les fibres de carbone :.....	22
2.5.3 Fibres d'aramides :.....	22
2.5.4 Fibres céramiques :.....	22
2.5.5 Autres types de fibres :.....	23
2.6 Les charges et additifs :.....	23
3. Mise en forme des matériaux composites :.....	23
3.1 Le formage par moulage : il s'effectue sous les différentes formes suivantes :.....	23
3.2 Autres procédés de formage :.....	24
4. Composite à matrice polymère et renforts végétaux.....	24
4.1 Dégradation, biodégradation et bio assimilation :.....	25
4.1.1 Dégradation :.....	25
4.1.2 Biodégradation :.....	25
4.2 Principaux polymères biodégradables :.....	26
4.3 Le PLA :.....	26
4.3.1 Définition :.....	26
4.3.2 Propriétés physico mécanique du PLA :.....	26
4.4 Les renforts végétaux :.....	27
4.4.1 Classification des fibres végétales :.....	27
4.4.2 Avantages et inconvénients des fibres végétales :.....	27

4.4.3 Présentation de quelques fibres végétales :	28
4.5 Présentation de la fibre végétale locale l'Alfa :	28
4.5.1 Extraction des fibres Alfa :	29
4.5.2 Propriétés mécaniques des fibres de l'Alfa :	29
Chapitre III : Conception du dispositif de compression à chaud.	31
1. Problématique	31
2. Objet	31
2.1 Cahier de charges fonctionnelles	32
2.2 Conditions de fonctionnement.....	32
2.3 Choix des solutions	33
3. Conception du dispositif.....	34
3.1. Choix des matériaux	35
3.2 Propriétés physiques et mécaniques de l'alliage utilisé.....	35
3.2 La presse TRITEST 50 :	36
Figure III. 1: La presse TRITEST 50	36
3.3 Les plaques chauffantes	37
3.4 Conception des éléments du dispositif :	37
3.4.1 Le piston :	38
3.4.2 Les deux parties du cylindre :	38
3.4.3. Système de refroidissement :	39
3.5. Adaptation du dispositif sur la presse Tritest 50.....	39
3.5.1. Plaque-support	40
3.5.2. Bagues de fixation	40
3.5.3. Crochet	41
3.5.4. Corps de fixation du piston supérieur	41
3.5.5. Corps de fixation du piston inférieur.....	42
4. Assemblage et mise en place du dispositif.....	42
4.1. Assemblage piston inférieur- corps du piston (inférieur)	42
4.2. Assemblage piston supérieur – traverse de la presse	43
4.3 Assemblage de la chambre de compression à chaud.....	44
4.4 Assemblage du piston-plaque chauffante :	44
4.5. Assemblage du système de refroidissement.....	45
4.6. Fixation de la plaque support sur la presse.....	46
4.7. Fixation de la chambre de compression sur la plaque-support	46
4.8. Régulation électronique de la température.....	47

4.9 Assemblage et mise en place du dispositif sur la presse.....	48
5. Fonctionnement du système conçu	49
6. Conclusion :	50
Chapitre IV : Gamme d'usinage	52
1. Introduction :.....	52
2. Conception générale d'une gamme d'usinage :.....	52
3. Etablissement d'un processus d'usinage :.....	55
4. Principe de la méthode d'analyse :	55
4.1 Inventaire des surfaces :.....	55
4.2 Contraintes d'usinage :.....	55
4.2.1 Contraintes de cotations :	55
4.2.2 Contraintes de spécification :.....	56
4.2.3 Contraintes technologiques :	56
4.2.4 Contraintes économiques :	56
4.3 Tableau des opérations élémentaires :	56
4.3.1 Choix de nombre d'opérations élémentaires :.....	56
4.3.2 Définition des opérations élémentaires :.....	57
4.4 Tableau de regroupement de surfaces :	59
4.5 Tableau des contraintes d'antériorités :	59
4.6 Tableau des niveaux :	59
4.7 Tableau des groupements en phase :	59
4.8 Description des opérations de gamme optimale :.....	60
5. Le choix des machines :	60
6. Choix des outils :.....	61
7. Fabrication du dispositif de compression à chaud :.....	61
7.1 Appareillage :.....	61
7.2 Feuilles d'analyses du cylindre	63
7.3 Feuilles d'analyses du piston	75
Conclusion générale	90

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure I. 1: Méthode simple en conception mécanique.....	7
Figure I. 2: la méthode de conception par amélioration	8
Figure I. 3: schéma d'analyse fonctionnelle	10
Figure I. 4: Diagramme des activités associées au diagramme de données	11
Figure I. 5: Environnement du produit	12
Figure I. 6: Lien entre le produit et l'environnement.....	13

Chapitre II

Figure II. 1: schéma d'un matériau composite [3].....	17
Figure II. 2: classification schématique des différents types de composites [3].....	19
Figure II. 3: Schéma d'un matériau composite [3].	20
Figure II. 4: types de matrices [3].	21
Figure II. 5: type de renforts [3].	22
Figure II. 6: Classification des bioplastiques basés sur leurs gammes de production [5].	25
Figure II. 7: Image de la plante d'Alfa [7].	28

Chapitre III

Figure III. 1: La presse TRITEST 50	36
Figure III. 2: plaque chauffante.	37
Figure III. 3: Vue en perspective du dispositif de compression à chaud.	37
Figure III. 4: Corps du piston.....	38
Figure III. 5: vue en perspective des deux demi-cylindres.	39
Figure III. 6: Schéma du système de refroidissement.	39
Figure III. 7: Plaque-support du dispositif.	40
Figure III. 8: Bague de fixation de la plaque-support.	41
Figure III. 9: Crochet.	41
Figure III. 10: Support piston	42
Figure III. 11: vue en perspective de la pièce. Figure III. 12: vue en coupe.	42
Figure III. 13: piston-vérin et vis M10.....	43
Figure III. 14: traverse-porte piston-piston plaque assemblés.....	43
Figure III. 16: vis CHC M10.....	44
Figure III. 15: cylindre assemblé.....	44
Figure III. 17: piston-plaque chauffante	45
Figure III. 18: Assemblage du système de refroidissement sur les deux demi-cylindres.....	45
Figure III. 19: plaque-support fixée sur les tiges de la presse.	46
Figure III. 20: fixation du cylindre sur la plaque support.....	46
Figure III. 21: Schéma de régulation électronique	47

Figure III. 22: assemblage final du système.....	48
--	----

Chapitre IV

Figure IV. 1: conception générale d'une gamme d'usinage.	54
Figure IV. 2: schéma directeur de la gamme d'usinage.	55
Figure IV. 3: Organigramme de la méthode.....	58
Figure IV. 4: Scie mécanique.	61
Figure IV. 5: tour universel	62
Figure IV. 6: fraiseuse verticale	62

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II. 1: comparaison des propriétés mécaniques du PLA avec d'autres plastiques traditionnels.	27
Tableau II. 2: performances mécaniques en traction de l'Alfa et autres fibres naturels utilisées comme renforts des polymères [8].	29

Introduction générale

De nos jours, les matériaux composites à matrices polymères sont très utilisés dans plusieurs applications et il serait très difficile de s'en passer. Cependant, au-delà de leurs nombreux atouts, ils génèrent des déchets volumineux qui posent d'énormes problèmes liés à leur traitement en fin de vie.

Ces dernières années, la prise de conscience des populations et des autorités vis-à-vis de ces problèmes environnementaux a fortement encouragé le développement de nouveaux matériaux biodégradables. Ces derniers permettent de mieux préserver l'environnement et de gérer, de manière plus rationnelle, les ressources naturelles. Faisant partie de ces matériaux, les composites à matrice biodégradables se présentent comme une solution qui peut résoudre partiellement les problèmes de déchets plastiques, notamment par leur aptitude à la dégradation naturelle sous l'action des organismes vivants et leurs faibles taux d'émissions de gaz à effet de serre. Le développement de ces matériaux repose essentiellement sur l'utilisation des polymères bio-sourcés comme l'acide poly-lactique (PLA). Ce dernier, ayant de faibles propriétés mécaniques, peut être renforcé par des fibres/particules d'origine végétale.

Pour pouvoir procéder à l'élaboration de ce type de matériaux, il est nécessaire de disposer d'une machine de mise en forme de ces composites. Les renforts envisagés pour ce type de matériaux étant d'origine végétale, le dispositif de mise en forme choisi est une machine de compression à chaud.

Ainsi, dans le cadre de notre projet de fin d'études, il nous a été proposé de concevoir et de fabriquer un dispositif de compression à chaud adapté sur une machine de compression déjà disponible au département de Génie mécanique.

Ayant connaissance des caractéristiques de la presse disponible (type, dimensions, performances) et des exigences techniques relatives au dispositif à concevoir (dimensions des échantillons à élaborer, températures et pressions de traitement, performances et fiabilité du dispositif), nous tracerons et suivrons

une méthode de conception à même d'atteindre l'objectif assigné à la présente étude.

Ce mémoire est subdivisé en deux parties, l'une consacrée à l'étude bibliographique et l'autre au travail réalisé à savoir la conception et la fabrication du dispositif de compression à chaud.

Ainsi le premier chapitre porte sur des généralités sur la conception mécanique. Les principales méthodes de conception y sont rapportées.

Pour mieux cerner la fonction de la machine à réaliser, nous consacrons le deuxième chapitre à une étude sur les matériaux composites.

Dans le troisième chapitre nous décrivons la conception du dispositif en y détaillant les pièces constitutives, leurs dimensions ainsi que leurs rôles.

Le quatrième et dernier chapitre est dédié à la réalisation du dispositif conçu. Nous terminerons notre mémoire par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I

**Généralités sur la
conception**

Chapitre I : Généralités sur la conception

1. Introduction :

C'est à la nuit des temps que remonte la conception des premiers produits, selon le besoin matériel et le confort de l'Homme. De nos jours, les produits ont une priorité absolue pour l'évolution sociale et technique de toute civilisation, il est donc nécessaire d'essayer de savoir et de comprendre comment sont conçus et consommés, ou encore gardés et stockés ces produits.

Avant de s'attaquer à la conception, plusieurs critères sont à prendre en considération:

- L'étude de la nature du produit;
- Le choix des matériaux;
- Le choix de la technologie ;
- La définition de la forme et des cotes précises de l'objet;
- Les contraintes économiques et sociales.

Dans le domaine industriel en particulier, la conception d'un produit se déroule selon les différents besoins et buts visés :

Une création : un nouvel objet fabriqué à partir d'une idée originale

Une machine à compression à chaud pour les matériaux composites à partir des techniques utilisées dans le domaine de la métallurgie.

Une amélioration : optimiser quelques caractéristiques d'objet sans modifier les principes de fonctionnement.

Une variation : le principe de fonctionnement est conservé, mais le changement des dimensions ou une modification de détail impose une conception nouvelle. [1]

2. Définition de la conception d'un produit:

La définition la plus appropriée de la conception est la suivante: "étude fonctionnelle du produit ou système à concevoir et des relations avec les

utilisateurs dans son environnement d'usage. Elle dépend de l'échelle de réalisations des dispositifs conçus".

En d'autres termes, la conception consiste à réaliser ou concevoir de nouveaux produits pour satisfaire les besoins du demandeur ou de l'utilisateur selon des critères de coûts, de qualité et de délais. [2]

La conception d'un produit est constituée de trois phases essentielles:

2.1 Phase de détection de problèmes :

C'est une phase qui consiste à bien comprendre le problème<<quoi ? >>Et comment accéder à sa résolution. Pour cela, il faut être très perspicace et connaisseur des choix techniques possibles de la conception, pour éviter les erreurs (Confusion entre les choix techniques).

2.2 Phase de conception :

C'est la phase la plus importante. Le concepteur doit inventer et modéliser toutes les idées. On peut la deviser en quatre étapes:

- Le concepteur imagine et développer un premier concept préliminaire basé sur des calculs;
- Augmenter la précision des détails de travail pour bien étudier les possibilités de fabrication, de montage et de fonctionnement;
- La finalité de la conception est généralement illustrée par un plan. Elle doit être plus proche du modèle réel afin de satisfaire davantage le client.
- Etape de la mise sur marché.

2.3 Phase de choix :

La prise de décision: C'est à dire sélectionner une action parmi celles qui sont envisageables. Ce choix doit satisfaire les objectifs qui ont été préalablement définis. Il est à noter que lors de la prise de décision, le temps de réalisation et les moyens disponibles sont à prendre en compte. [3]

3. Les étapes d'élaboration du produit:

La conception est une étape importante car c'est elle qui donne naissance au produit, de façon à ce qu'il puisse devenir une réalité physique. On distingue trois étapes essentielles.

3.1 Etape de conception:

Elle correspond à un ensemble d'études et d'informations qui permettent de décrire le produit demandé et d'exprimer les besoins du client à l'aide d'un cahier des charges.

3.2 Etape de production:

Elle correspond à un ensemble d'activités de planification de la production, autrement dit c'est l'étape de la réalisation qui consiste à transformer la matière première en produit fini destiné pour le marché.

3.3 Etape de mise sur le marché :

C'est l'étape où le produit sort de la production vers l'étape de commercialisation, là où on peut juger la valeur du produit, et là où les besoins du client sont satisfaits, que ce soit un nouveau produit ou une amélioration d'un produit existant. [3]

4. Méthodes de conception et réalisation d'un système mécanique :

Pour concevoir et réaliser un système mécanique d'une façon méthodique, efficace et rentable, on privilégie les solutions courtes et simples sans pour autant diminuer la qualité du produit.

4.1 La méthode simple en conception mécanique :

Pour faire face aux demandes du client, on cerne d'abord les besoins, puis on procède à la spécification et l'identification des problèmes, ensuite envisager des solutions préventives aux problèmes soulignés. Cette étape est appelée conception fonctionnelle. Elle est suivie et complétée par la conception détaillée qui consiste à faire le choix des solutions finales de conception. Le processus est achevé par la réalisation du produit demandé. [2]

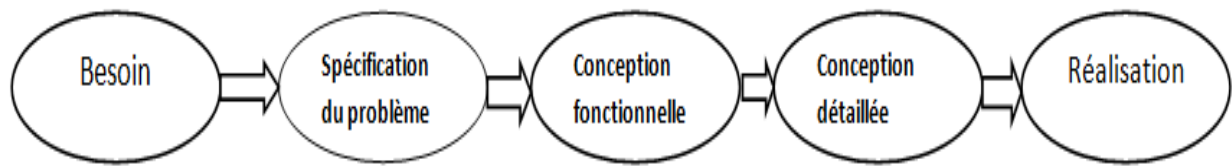


Figure I. 1: Méthode simple en conception mécanique.

4.2La méthode d'améliorations:

L'amélioration vise à optimiser une ou plusieurs caractéristiques de l'objet et qui ne modifient pas son principe de fonctionnement. Par exemple, une bouteille de boisson gazeuse qui était précédemment fabriquée en verre et que l'on veut réaliser en plastique pour en diminuer la masse, et/ou la fragilité.

Dans cette méthode on peut remettre en cause une ou plusieurs étapes. Elle permet d'affiner la description du produit.[2]

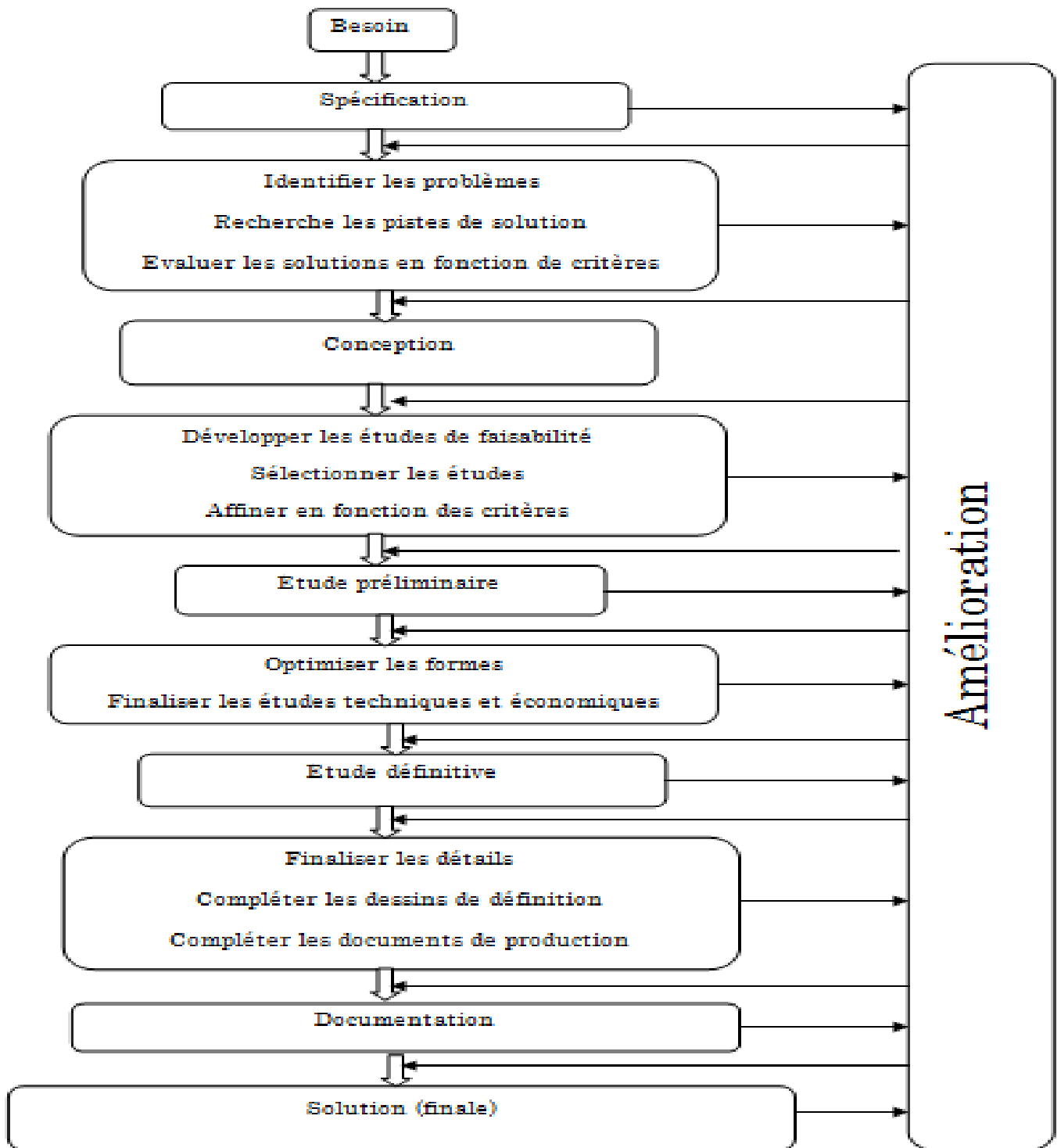


Figure I. 2:la méthode de conception par amélioration

5. L'analyse fonctionnelle:

Il s'agit d'une démarche qui consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un produit. Cette démarche est généralement conduite en

mode projet et peut être utilisée pour créer (conception) ou améliorer (re-conception) un produit.[1]

- Objet visé par la démarche peut être: Un matériel, un processus matériel, une organisation, un logiciel, etc.
- Là où les fonctions étudiées sont également diverses: fonction de service, fonctions d'évaluation, fonctions de traitement.
- Cadre de l'étude doit être aussi pris en compte: contraintes ou variable déduites de l'environnement, la réglementation, des usages, etc.
- Dans le cas général, l'analyse fonctionnelle consiste à répondre aux

Questions suivantes :

- qu'est-ce que c'est ?
- quel en est l'usage ?
- quelle est la fonction principale ?
- quelles sont les fonctions secondaires ?
- combien en faut-il ?
- quel prix maximal l'objet peut-il coûter ?...

L'objectif est aussi de définir un produit à l'aide d'un inventaire de besoins en terme des résultats et les données finales acquises comme représenté sur la figure suivante.

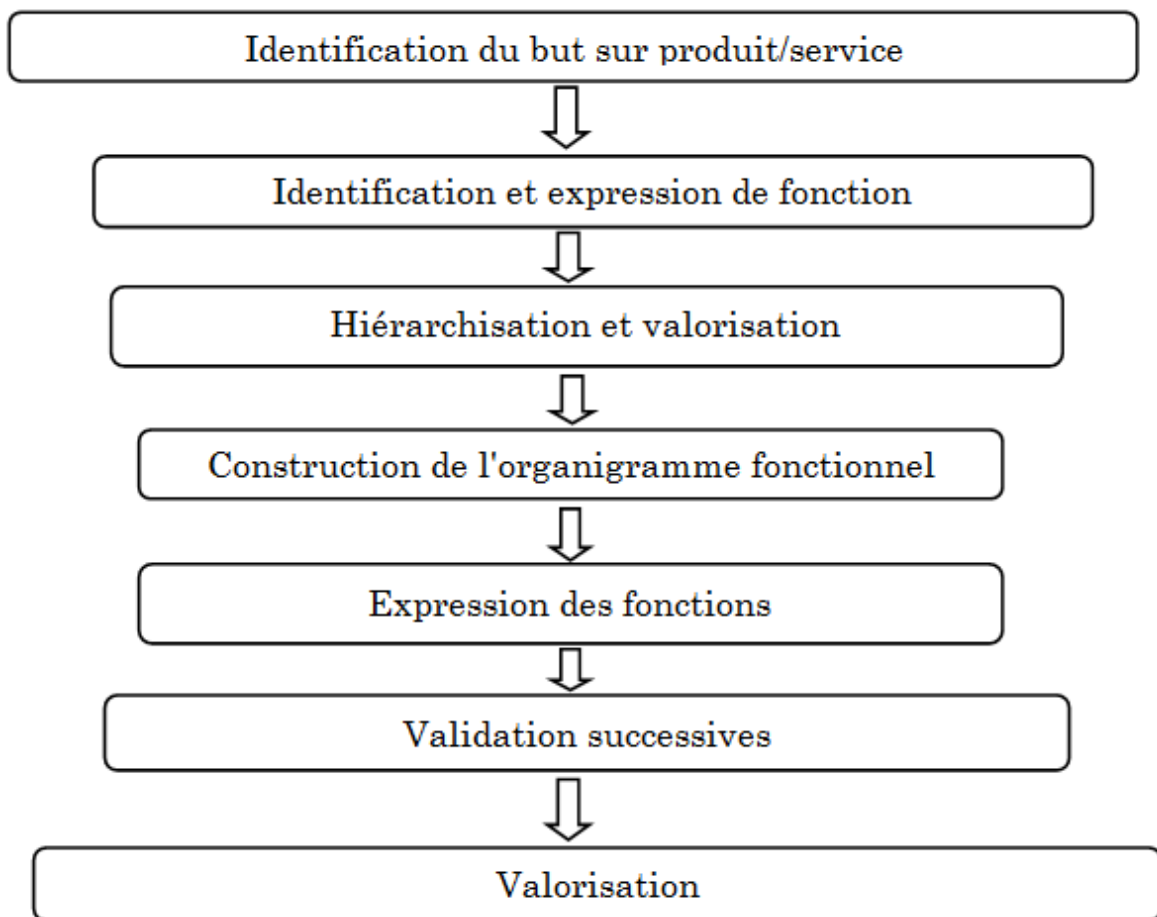


Figure I. 3: schéma d'analyse fonctionnelle.

On distingue deux méthodes d'analyse fonctionnelle :

La méthode de QFD (quality function deployment):

Cette méthode est appliquée principalement pour la re-conception d'un produit lorsqu'on dispose d'un produit de référence. Elle permet de faire le lien entre les <<quoi>>et les<< comment>> cela facilite l'évaluation de la satisfaction apporter par les solutions retenues aux fonctions à remplir.

La méthode SADT (structured analysis and design technique):

C'est une représentation structurée d'un système formé d'un ensemble d'activités et des d'entrée et de sortie. Ces activités représentent une transformation de la connaissance du produit: les données d'enter représentent des besoins de client sous forme d'un cahier de charge et les données de sortie caractérisent le produit par la connaissance de ses formes, ses dimension, des

matériaux employer et le procédé de son élaboration. La figure suivante représente le diagramme des activités associées au diagramme de données.[2]

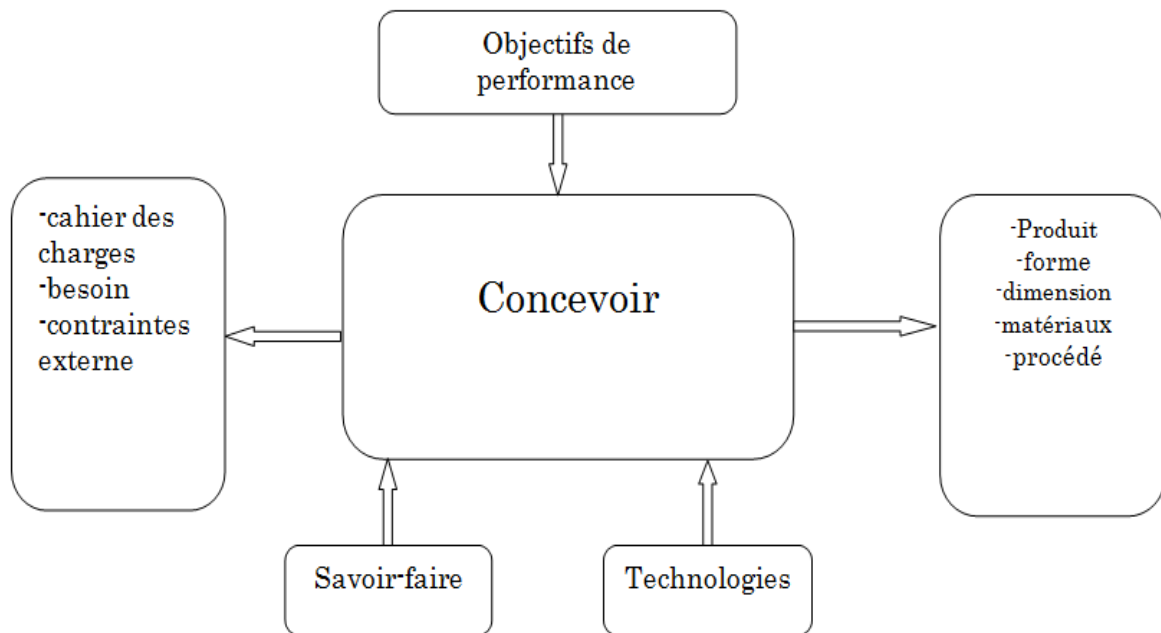


Figure I. 4: Diagramme des activités associées au diagramme de données

5.1 Concepts de base pour la réussite de l'analyse fonctionnelle :

5.1.1 L'état d'esprit :

- s'adapter à la méthode de la réflexion collective pour mieux agir ;
- être à jour pour l'amélioration du produit sur le marché ;
- bien assimiler le problème posé ;
- être constamment à l'écoute de client ;
- être créatif.

5.1.2 Le travail en groupe :

- consiste à l'écoute de toutes les propositions sans critiquer l'autre et faire en sorte que tout le monde travaille en collaboration pour la bonne élaboration de produit ;
- utiliser une méthode de travail précise a utilisant une longue commune.

5.1.3 La logique de réflexion:

- maintenir la relation entre les besoin et les solutions possibles ;
- utiliser la puissance intellectuelle ;
- faire en sort de bien étudier l'environnement.

5.2 Condition d'existence d'un produit:

- un produit existant quel qu'il soit : matériel, logiciel, organisation, service doit être utile ;
- faire partie d'un milieu composé de différents éléments interactifs, Ces différents éléments constituent l'environnement du produit.[1]

5.3 Environnement de produit :

Les interactions entre le produit et les éléments sont les liens qui assurent l'équilibre entre produit et environnement. Ces éléments sont définit par l'utilisation de ce produit << a quoi sert-il ?>>.Sa finalité<<quel est son but >>et son indice<<sur quoi agit-il ?>>. Les liens sont les relations réunissant les différents éléments entre eux au travers du produit. Cet environnement est schématisé sur la figure ci-dessous.[4]

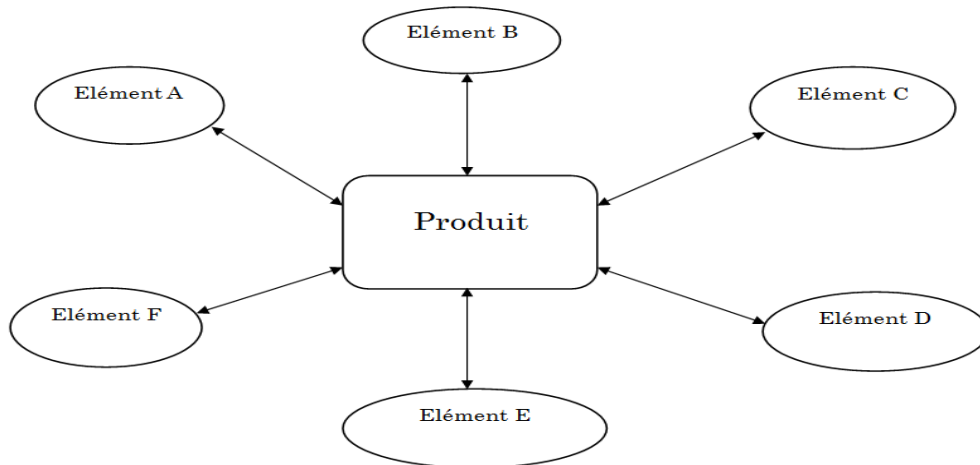


Figure I. 5: Environnement du produit

5.4 Construction des fonctionnalités (fonction /contrainte) :

On peut facilement déduire par réflexion les contraintes ou les actions entre produit et un élément où un service rendu par cette action. Tous les éléments et les liens se rassemblent pour construire l'environnement, et donner naissance à plusieurs fonctionnalités. Chacun de ces liens précise l'action qu'exerce le produit sur l'élément pour rendre le service de l'autre élément dépendant du lien. Cette expression sera la fonction à remplir par le produit et la contrainte doit être imaginée et exprimée comme action directe du produit.

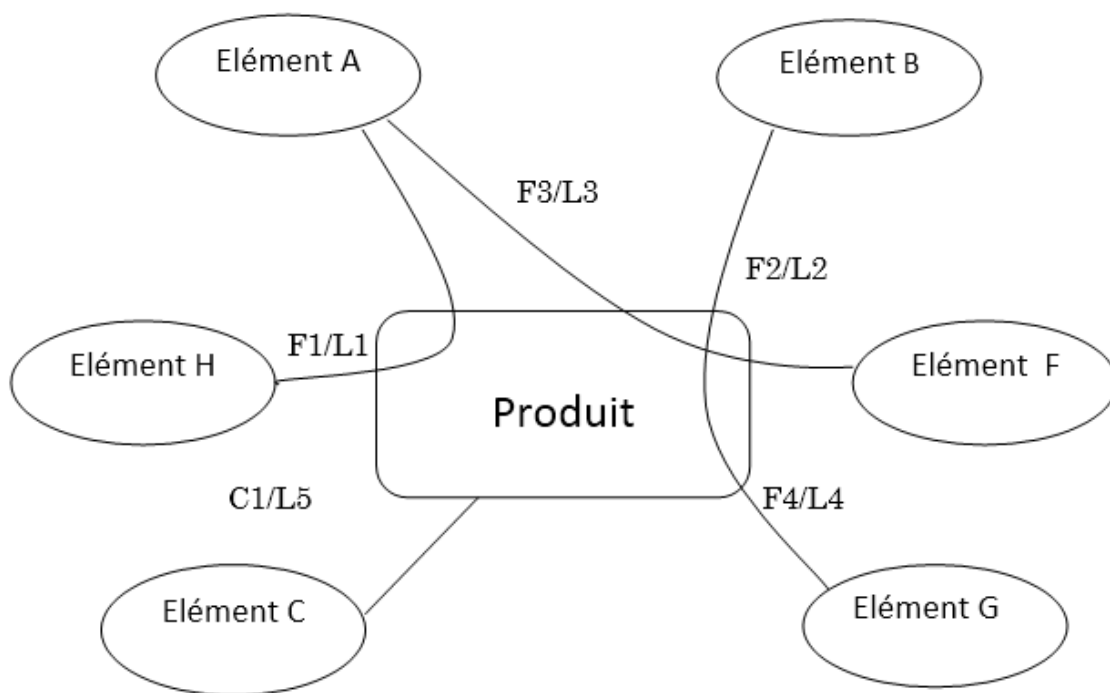


Figure I. 6: Lien entre le produit et l'environnement

(L1, L2, L3, L4, L5) environnement (A B C G H F) fonction que le produit doit satisfaire (F1 F2 F3 F4 C1).L5 a donné naissance à une contrainte C1.

5.5 Avantage de l'analyse fonctionnelle:

- Elle peut être utilisée à tous les niveaux de la conception d'un produit ;
- Favorise la création des niveaux du produit ;
- Favorise le travail en groupe et la communication ;

- Réalisation du cahier des charges de n'importe quel produit ;
- Définition des fonctions d'un service dans une entreprise.

5.6 Inconvénients:

L'analyse fonctionnelle est une démarche ou une méthode à suivre, qui ne peut pas remplacer la compétence et le bon sens de ses utilisations. [5]

6. Cahier des charges fonctionnelles :

6.1 Définition :

Le cahier des charges fonctionnel CdCF (NF X 50 151) est un document formalisant un besoin métier et les contraintes auxquelles il est soumis, les contraintes sont indiquées soit dans le cahier de charge soit dans l'expression fonctionnelle de besoin, ce qui permet de réduire le temps de création, et de augmenter la pertinence de la solution.[6]

6.2 Qui rédige le cahier des charges:

Le demandeur peut être une entreprise qui s'adresse au marché ou une Person, il est rédigé par le responsable du projet.

6.3 Le critère d'appréciation :

Le critère d'appréciation d'une fonction est le caractère retenu pour apprécier la manière dont une fonction est remplie ou une contrainte respectée.

Le niveau d'un critère d'appréciation est la grandeur repérée dans une échelle adoptée pour un critère d'appréciation et la grandeur peut être celle recherchée en tant qu'objectif ou celle atteinte pour une solution proposée.

La flexibilité du niveau d'un critère d'appréciation est l'ensemble des indications exprimées par le demandeur sur les possibilités de moduler le niveau de la recherche pour un critère d'appréciation.[7]

6.4 Elément constitutifs d'un CdCF :

6.4.1 Présentation générale du besoin:

Cette partie a pour objectif de bien faire comprendre au constructeur-réalisateur la nature exacte du besoin. On y présentera le produit et son marché, le contexte du projet, les objectifs et les besoins.

6.4.2 Expression fonctionnelle du besoin :

Cette partie est essentielle dans le CdCF (Cahier des charges fonctionnel). On y indique les fonctions de service demandées avec les éléments qui les caractérisent: contraintes, critères d'appréciation ainsi que leurs niveaux de flexibilité. La représentation du produit doit se faire d'une manière à rechercher un regroupement logique des fonctions.

6.4.3 Appel à variantes :

Le concepteur-réalisateur ayant compris le besoin du client peut donc faire des propositions pertinentes pour compléter et amender l'expression fonctionnelle qui lui a été remise. Il est le mieux placé pour faire des propositions à la fois innovantes et réalistes.

6.5 Elaboration du CdCF:

Le cahier des charges fonctionnel (CdCF) est défini par la norme NF X 50-151. Il constitue le moyen par lequel le demandeur exprime ses exigences en fonction des services demandés et des contraintes prévues. [1]

Chapitre II

**Généralités sur les matériaux
composites biodégradables**

Chapitre II : Généralités sur les matériaux composites biodégradables

1. Introduction

L'utilisation des matériaux composites a connu une importante progression ces dernières années ; dans de nombreux secteurs d'activités tels que le bâtiment, l'automobile, etc. L'évolution de ces derniers vers des matériaux plus performants et moins coûteux d'une part, et face aux exigences réglementaires et environnementales d'autre part, a poussé les industries à développer de nouveaux matériaux issus de ressources naturelles. D'où la mise en œuvre de composites à matrices biodégradables et renforts végétaux .

2. Généralités sur les composites

2.1 Définition

Un matériau composite est composé de deux ou plusieurs matériaux, constitué de renforts sous forme de fibres arrangées d'une façon continues ou non ; noyées dans une matrice de faible résistance mécanique. La matrice conserve la disposition des fibres et leurs transmet les sollicitations auxquelles est soumise la pièce .

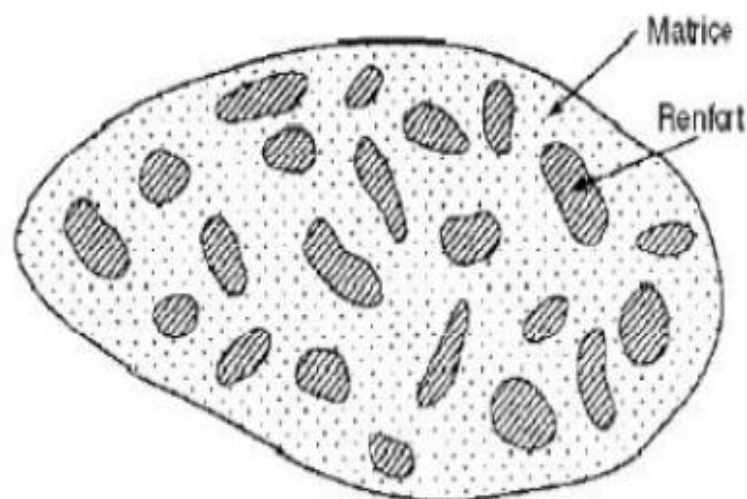


Figure II. 1: schéma d'un matériau composite

2.2 Caractéristiques générales :

Selon la diversité des matériaux composites, leurs propriétés dépendent de plusieurs paramètres mais essentiellement de :

- La nature, quantité et propriétés des constituants ;
- La géométrie et distribution du renfort ;
- L'interaction et interface fibre/ matrice.

Les caractéristiques des pièces fabriquées en matériaux composites sont :

- Gain de masse, bonne tenue en fatigue ;
- Ils sont non corrosif et leur limite élastique très élevée.

Avec la présence de certains inconvénients comme :

- Anisotropie et tenue aux impacts très moyenne ;
- Sensibilité à la chaleur et l'humidité.

On distingue deux grandes familles de composites :

a- Les composites de grande diffusion(GD) : ils représentent (95%) des composites utilisés, avec un taux de renforts de (30%) ; les fibres de verre représentent (99%) des renforts pour ces matériaux, les résines polyesters sont utilisées à (95%).

b- Les composites à haute performances (HP) : utilisés principalement dans l'aéronautique, les fibres longues comme renfort représentent (50%) du volume de ces composites .

2.3 Classification des composites :

Les composites sont classés soit selon la forme ou suivant la nature des constituants.

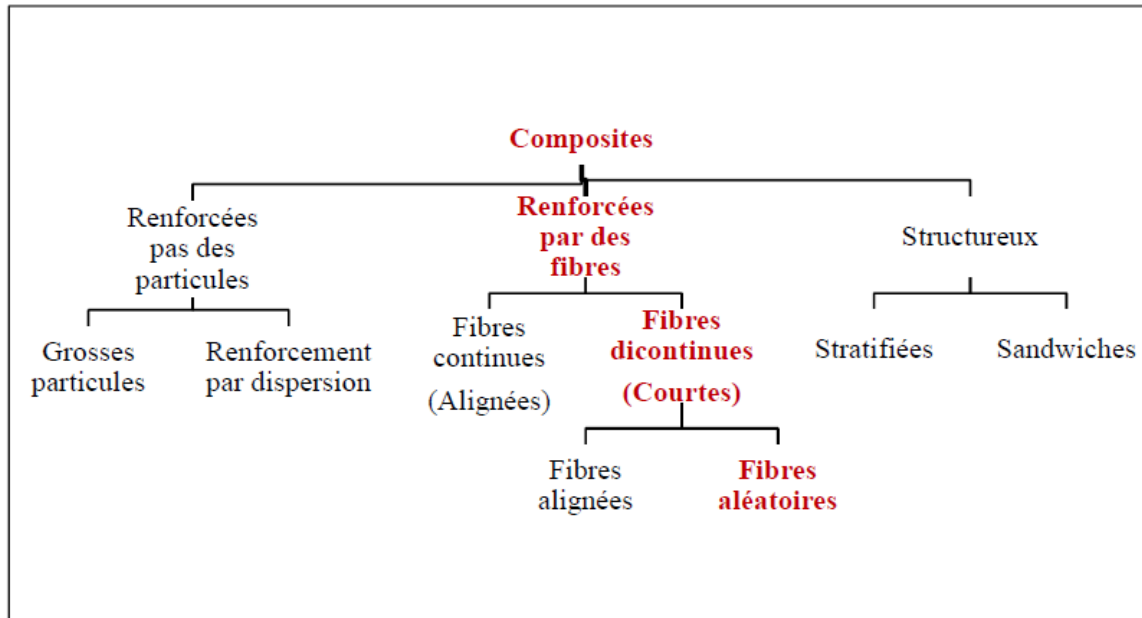


Figure II. 2: classification schématique des différents types de composites

2.3.1 Selon la géométrie :

2.3.1.1 Composite à fibre :

Le renfort est sous forme de fibres continues ou discontinues.

2.3.1.2 Composites à particules :

Le renfort est sous forme de particules utilisées pour améliorer les propriétés du matériau et dans de nombreux cas elles sont utilisées comme charges afin de réduire le cout du matériau.

2.3.1.3 Composites structuraux :

Les fibres sont dispersées d'une manière contrôlées ou non, on peut distinguer les structures suivantes :

- **Les stratifiés :** C'est un empilement de monocouches orientées d'une façon à optimiser les propriétés mécaniques du matériau.
- **Composites tissés :** Les fibres sont alignées en fils, elles sont ensuite tissées suivant des motifs, leurs variations dépend des caractéristiques voulues pour le matériau.

- **Les sandwichs** : Constitués essentiellement de deux couches de faible épaisseur qui enveloppent une autre couche de grande épaisseur, c'est un matériau de grande légèreté et bonne isolation thermique.

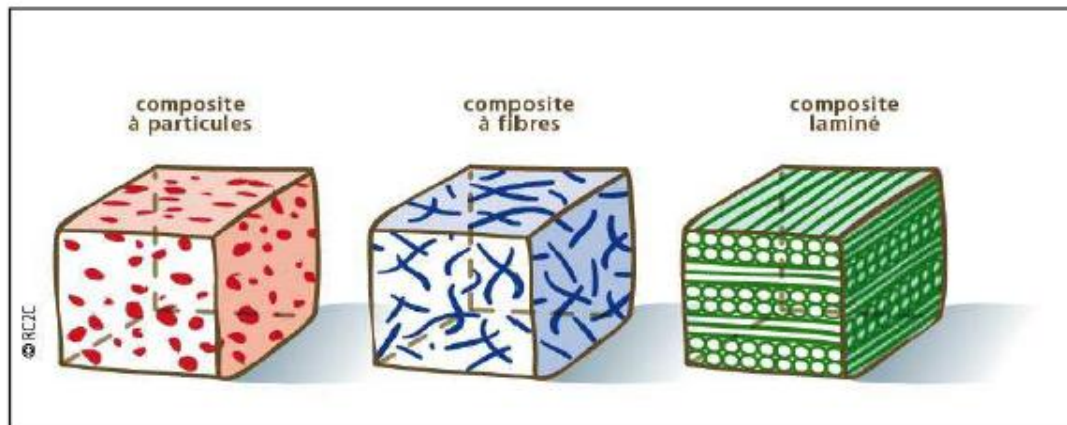


Figure II. 3: Schéma d'un matériau composite

2.3.2 Selon la nature des constituants :

Selon la nature de la matrice, les composites sont classés et divers renforts sont associés à ces matrices.

-**Composites à matrices organiques (CMO)** : ce sont des volumes importants à l'échelle industrielle.

-**Composites à matrices céramiques** : réservés aux applications de haute technicité et travaillant à haute température.

- **Composites à matrices métalliques** : ils sont à base de renforts céramiques ou intermétalliques. Ils sont utilisés dans le secteur de l'industrie automobile et dans l'aéronautique.

- **Composites à matrices biodégradables** : ce sont des matériaux dont la matrice est un matériau biodégradable (généralement des polymères bio-sourcés).

2.4 Les matrices :

La classification des matrices est donnée par la figure II.4.

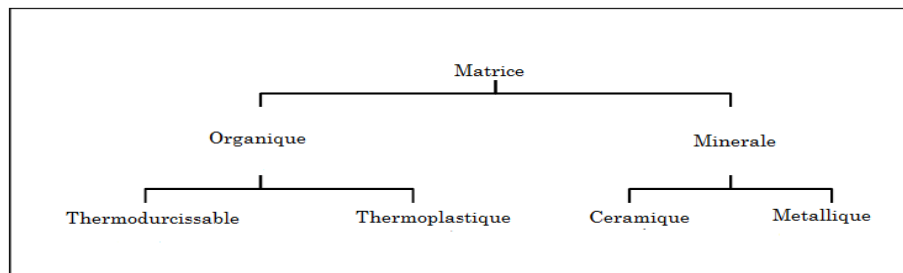


Figure II. 4: types de matrices .

2.4.1 Matrices thermoplastiques :

Elles se présentent sous forme de chaînes de polymères de faibles liaisons, sous forme solide et mises en forme par ramollissement à chaud. Les plus courantes sont le polyéthylène, le polypropylène et le polystyrène. Ils sont recyclables et ont une bonne thermo-réversibilité.

2.4.2 Matrices thermodurcissables :

Elles se trouvent sous forme liquide visqueux, mise en forme par polymérisation avec ajout d'un durcisseur ; les plus connues sont : le polyester insaturé, condensé et les résines époxydes.

2.4.3 Les céramiques :

Ce sont des combinaisons de métaux et d'oxygène, leur coût est très élevé et ils sont réservés aux applications de hautes températures, par exemples : le Al_2O_3 , SiO_2 et MgO .

2.4.4 Les matrices métalliques :

Elles ont de bonnes propriétés spécifiques et une bonne tenue à la température, destinées aux applications de pointe. Les plus utilisées sont : les alliages d'aluminium, les fibres de carbone, etc.

2.5 Les renforts :

Ils se présentent sous forme de fibres pour matériaux composites, ayant des propriétés mécaniques, physiques et électriques importantes. Elles sont

caractérisées par une faible masse volumique et une facilité de mise en œuvre. La figure suivante illustre les différents types de renforts.

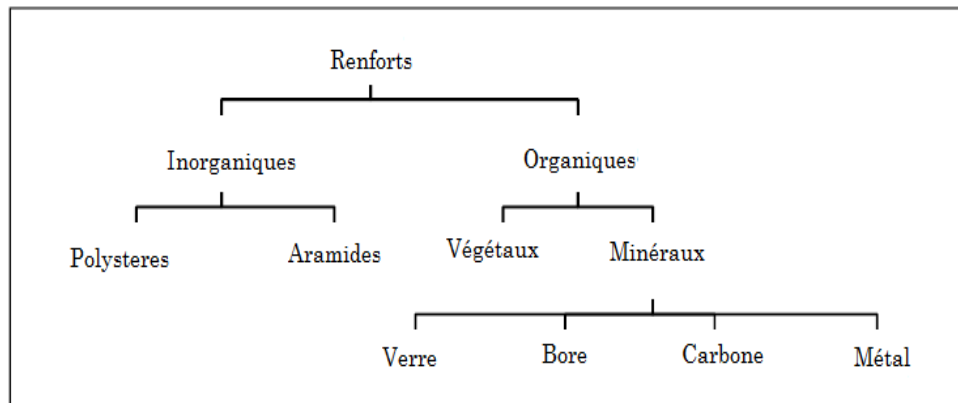


Figure II. 5: type de renforts .

2.5.1 Les fibres de verre :

Composées de silicates, anisotropes ayant de bonnes performances-prix ; elles sont caractérisées par une bonne résistance à la traction et un faible module de traction

2.5.2 Les fibres de carbone :

Ce sont des filaments minces de carbone, et se trouvent sous différentes structures ; graphite et amorphe. Elaborés à partir de polymère précurseur ses propriétés dépendent de ce dernier. Avec une résistance de 200 à 300 Gpa, elles sont utilisées pour les composites polymères rigides.

2.5.3 Fibres d'aramides :

Il s'agit de polyamides aromatiques ayant des propriétés mécaniques très élevées, avec une faible tenue en compression causée par la mauvaise adhérence fibres matrices, connue sous nom du Kevlar.

2.5.4 Fibres céramiques :

Elles sont élaborées par dépôt chimique en phase vapeur sur un fil support, supportant des températures élevées allant de 500°C à 2000°C ; utilisées dans les parties chaudes des moteurs d'avions. Les plus employées sont : le carbure de silicium, le bore et le bore carbure de silicium.

2.5.5 Autres types de fibres :

Ce sont des fibres d'origines végétales (cellulose, lit, chanvre...etc.), d'origine minérales (amiante, silice...etc.), des fibres synthétiques (tergale, nylon...etc.) ou métalliques (acier, cuivre, aluminium...etc.).Elles sont avantageuses par leur isolation thermique, acoustique et un prix de revient assez bas.

2.6 Les charges et additifs :

Ce sont des charges sous forme d'éléments fragmentaires liquides ou poudres, de nature minérale ou organique ajoutées à la résine pour améliorer les propriétés mécaniques du matériau composite diminuer le coût des matrices. Les additifs quant à eux peuvent être des colorants ou agents de démoulage de composites [8].

3. Mise en forme des matériaux composites :

Les principaux procédés de mise en forme des matériaux composites sont illustrés comme suit :

3.1 Le formage par moulage : il s'effectue sous les différentes formes suivantes :

- Au contact ;
- Poinçon-matrice ;
- Sous vide ;
- Par injection de résine ;
- Par injection de pré-imprégnée ;
- Par injection de mousse ;
- Moulage de pièces de révolution ; (centrifugation et enroulement filamentaire).

3.2 Autres procédés de formage :

- Formage de plaques ;
- Formage par estompage ;
- Préformage par assemblage tridimensionnel ;
- Découpe des tissus et détourage des stratifiés [9].

4. Composite à matrice polymère et renforts végétaux

Les matériaux composites biodégradables ont vu leurs applications se développer ces dernières années grâce à leurs propriétés spécifiques, et aux avantages qu'ils offrent dans le cadre du développement durable. Dans cette partie du chapitre nous donnerons quelques aspects théoriques sur les différentes matrices biodégradables et les renforts végétaux associés .Notamment le PLA et les fibres de l'Alfa seront détaillées comme étant les deux constituants du matériau biodégradable à élaborer avec le dispositif de compression à chaud, qui représente l'intitulé du thème de notre projet de fin d'études.

D'une manière générale les bio-polymères peuvent être classés selon les deux principales familles suivantes :

- Bio-polymères provenant de ressources renouvelables :

Ils sont synthétisés naturellement à partir de ressources végétales et grâce aux animaux, ou bien à partir de ressources renouvelables. Quelques exemples ; PLA, PHA, PHB, l'amidon...etc.

- Bio polymères issues de ressources fossiles :

A partir de ressources pétrolière, biodégradables en fin de vie. A titre d'exemple on trouve le PCL, PBAT.

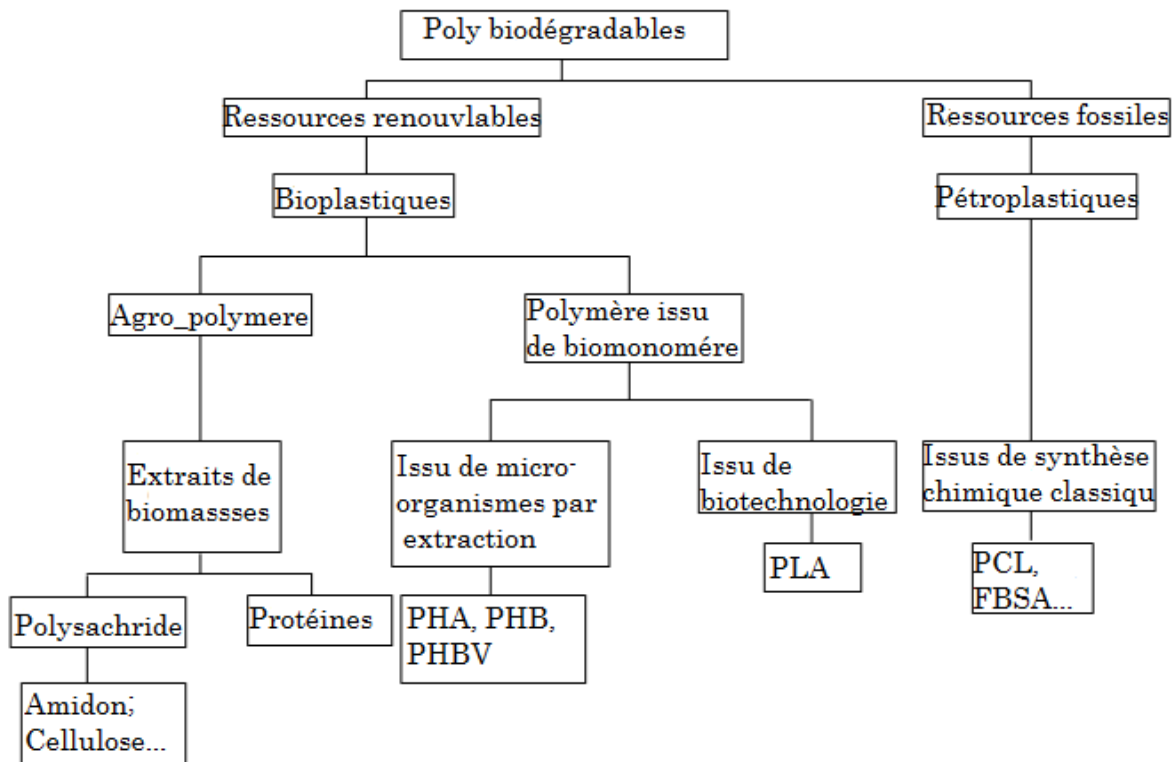


Figure II. 6: Classification des bioplastiques basés sur leurs gammes de production [10].

4.1 Dégradation, biodégradation et bio assimilation :

4.1.1 Dégradation :

Elle désigne de manière générale toutes les altérations d'origine chimique ou physique que le matériau est susceptible de subir. On peut l'assimiler à un phénomène de vieillissement caractérisé par des pertes des propriétés initiales (poids et structure moléculaire, résistance à la traction...etc.).

Le terme dégradation rassemble l'ensemble des phénomènes biotiques et abiotiques que peut subir le matériau en fin de vie.

4.1.2 Biodégradation :

C'est un processus dû à des activités biologiques qui entraînent des modifications de la structure chimique du matériau. Un plastique biodégradable subit une dégradation causée par les micro-organismes, dont les produits sont l'eau, le dioxyde de carbone et/ou le méthane et de la biomasse [10].

4.2 Principaux polymères biodégradables :

- PET :

En remplaçant 75% des fonctions aromatiques, c'est un mélange d'acide téréphthalique et d'acide adipique ; le polyester est biodégradable.

- PCL : polycaprolactone

Polymère dégradabile utilisé seul ou en mélange avec un polymère naturel comme l'amidon. Sa résistance à la chaleur arrive à (150°C au lieu de 60°C) en procédant à une irradiation par rayon gamma, il est dégradabile en milieu bactériens.

- PHA: poly (β -hydroxyalcanoates)

Famille de polymères poly (β -hydroxyalcanoates), obtenus à partir d'organismes vivants comme les plantes. Cette obtention passe par une étape d'extraction et de purification après broyage de la partie de la plante comportant le polymère [10].

4.3 Le PLA :

4.3.1 Définition :

Le PLA est un polymère biodégradable dérivé de ressources végétales renouvelables telles que le maïs, la pomme de terre, le sucre...etc. Il est transparent, brillant et présente une structure semi cristalline.

4.3.2 Propriétés physico mécanique du PLA :

- une bonne rigidité et résistance mécanique ;
- module d'Young relativement élevé ;
- contrainte à la rupture élevée ;
- bonne plasticité thermique et bon effet barrières aux arômes ;
- possibilité de mise en œuvre par de nombreux procédés.

Polymères	Module de traction (Mpa)	Module de flexion (Mpa)	Elongation à la rupture (%)
PLA	3834	3689	4
PS	3400	3303	2
PP	1400	1503	400
PEHD	1000	800	600

Tableau II. 1: comparaison des propriétés mécaniques du PLA avec d'autres plastiques traditionnels [10].

Le PLA est caractérisé par un module élevé et une faible élongation, c'est-à-dire qu'il est fragile mais possède une bonne rigidité. Par ailleurs il présente d'autres inconvénients comme la tenue aux chocs et le cout élevé ; par conséquent l'utilisation des déchets végétaux de bonnes caractéristiques mécaniques comme agents de renforcements pour la matrice PLA a permis la mise au point de matériaux composites peu coûteux.

4.4 Les renforts végétaux :

Les fibres végétales sont de plus en plus utilisées en substitution des fibres de verre en tant que renforts pour les matériaux composites. En effet, celles-ci offrent une alternative judicieuse du point de vue environnemental et mécanique.

4.4.1 Classification des fibres végétales :

Les critères de différenciation des fibres végétales sont :

- Suivant l'organe de la plante dont elles sont issues ; fibres de tiges, de feuilles, de fruits ;
- Suivant leur longueur ; courtes et longues.

4.4.2 Avantages et inconvénients des fibres végétales :

Avantages remarquables :

- Faible cout et faible densité ;

- Fibres biodégradables et renouvelables ;
- Découpage et usinage facile.

Inconvénients associés :

- Hydrophiles ;
- Sensibilité thermique ;
- Gonflement des fibres .

4.4.3 Présentation de quelques fibres végétales :

- Le jute : fibre extraite de tige de plante d'origine asiatique utilisée pour revêtement de sol ;
- Le sisal : extrait de feuilles de plante d'origine du Mexique très résistante, fabrication de cordage et tissus ;
- Le lin : extrait de tige, faible élasticité et bonne conduction de la chaleur ;
- Le chanvre : extrait de tige de plante d'origine chine, retient (95%) de rayon UV.

4.5 Présentation de la fibre végétale locale l'Alfa :

Herbe vivace d'originaire d'Afrique du Nord particulièrement les hauts palataux d'Algérie et du Maroc, utilisée pour la fabrication de pâtes à papier, cordage et composites...etc.



Figure II. 7: Image de la plante d'Alfa .

4.5.1 Extraction des fibres Alfa :

Les plantes Alfa ont été collectées dans la région des hautes terres algériennes, séchées au soleil et stockées à l'abri de l'humidité. Les tiges ont été coupées et transformées en fibres courtes à l'aide d'un broyeur-hachoir .

4.5.2 Propriétés mécaniques des fibres de l'Alfa :

Le tableau II.1 résume les propriétés spécifiques des différentes fibres naturelles comme étant des renforts pour les composites.

Fibres	Masse volumique (g/cm ³)	Allongement à la rupture (%)	Contrainte à la rupture (Mpa)	Module de Young (Gpa)
Alfa	1.4	1.5-2.4	134-222	13-17.8
Jute	1.3	1.5-1.8	300-600	20
Sisal	1.5	2-2.5	340-423	6-14
Chanvre	1.5	1.6	460	17
Lin	1.5	2.7-3.2	230-690	18

Tableau II. 2: performances mécaniques en traction de l'Alfa et autres fibres naturels utilisées comme renforts des polymères [8].

Chapitre III

**Conception du dispositif de
compression à chaud.**

Chapitre III : Conception du dispositif de compression à chaud.

1. Problématique

Dans le cadre du développement de l'industrie et face aux exigences mondiales sur l'environnement, les industriels et les laboratoires de recherches ont envisagé la mise en place de nouveaux matériaux entièrement biodégradables. Les matériaux composites étant des matériaux constitués d'au moins deux phases immiscibles, un composite biodégradable est, de ce fait, constitué de phases biodégradables. L'idée émergente consiste donc à utiliser un polymère biodégradable comme matrice (phase continue) et des renforts (phase discontinue). Par ailleurs, le souci de protéger au mieux l'environnement tout en satisfaisant les besoins en termes de produits industriels nous amène à l'idée de d'utiliser les fibres végétales comme renforts d'autant plus qu'elles présentent des propriétés mécaniques intéressantes. Plusieurs méthodes d'élaboration de ces matériaux existent. Citons le cas du moulage, de l'extrusion, etc. Nous avons choisi d'utiliser la compression à chaud comme mode d'élaboration afin de tirer profit de ses principaux avantages, notamment l'économie de perte des matières premières, la possibilité d'élaborer des pièces finies sans reprise d'usinage.

L'objet de notre travail est de concevoir et de fabriquer un dispositif de compression uni axiale à chaud.

2. Objet

Les propriétés et les caractéristiques du matériau à élaborer dépendent fortement de la méthode et des conditions de sa mise en forme. L'objectif est de concevoir et réaliser un dispositif de compactage à chaud adapté sur une presse mécanique semi-automatique disponible au laboratoire du département de génie mécanique. Aussi, et vu la nature des matériaux à utiliser (polymères biodégradables, fibres végétales, renforts particuliers, argiles, etc.), matériaux sensibles à la chaleur, il est judicieux de concevoir un système à régulation électronique de la température. Cette machine permettra de chauffer et de comprimer le mélange matrice-renfort à des températures et pressions bien définies.

Le dispositif doit être facile à monter et à démonter sur la presse mécanique sans modification de cette dernière.

2.1 Cahier de charges fonctionnelles

- Le dispositif doit pouvoir assurer l'application simultanée d'un cycle thermique et de pression (T, P, t) sur l'échantillon à élaborer ;
- Le dispositif doit permettre une régulation électronique de la température pour réduire, au maximum, l'intervalle (**Tmin – Tmax**) réellement appliqué, et un contrôle adapté de la pression ;
- Le dispositif doit être de dimensions suffisantes à même de pouvoir élaborer des échantillons normalisés pour les essais mécaniques (traction, flexion, compression) ;
- Les matériaux à utiliser pour la fabrication du dispositif doivent rester stables et chimiquement inertes dans les domaines de température-pression d'utilisation ;
- Les dimensions du dispositif doivent permettre son adaptation à la machine de compression existante ;
- L'assemblage du dispositif doit permettre une utilisation facile (montage, introduction des matières premières, extraction de l'échantillon) ;
- Le dispositif doit être équipé d'un système de refroidissement à même d'éliminer l'effet inertie du four et permettre un refroidissement suivant le cycle imposé ;
- La conception du système doit prendre en compte l'aspect de stabilité et robustesse du dispositif et une bonne fixation pour minimiser les vibrations et éviter la perte de l'équilibre mécanique et l'endommagement du dispositif ;

2.2 Conditions de fonctionnement

La machine de compression à chaud à concevoir servira à élaborer des matériaux composites à base de polymères (PLA, PMMA, PEHD, etc.) et des renforts particuliers et/ou fibres. Le dispositif à concevoir doit s'adapter sur une machine de compression déjà existante sans la modifier vu qu'elle est utilisée

pour les essais de compression. Il est donc nécessaire de mener l'étude en ayant comme données de base les dimensions de la presse.

Certaines contraintes, liées au fonctionnement de la machine sont également à retenir. A titre d'exemple, puisque la presse est dotée de deux mors mobiles, la presse à chaud doit être équipée de deux pistons mobiles. La chaleur nécessaire pour le chauffage de l'échantillon doit provenir soit de la paroi soit des pistons. Or, la machine doit permettre l'élaboration d'échantillon de dimensions suffisantes pour les essais mécaniques (longueurs comprises entre 100 et 150 mm). Ce qui nous amène à choisir le chauffage par les pistons.

Par ailleurs, étant donné que le glissement des pistons dans le cylindre nécessite un jeu fonctionnel cylindre-piston, la compaction d'un polymère fondu peut le faire couler à travers le jeu et le coller, une fois solidifié, sur la paroi du cylindre. Ce qui engendrera d'importants frottements lors de l'extraction de l'échantillon.

L'élaboration de l'échantillon nécessite, après chauffage et maintien, une opération de refroidissement. Etant donné que les températures de chauffe seront de l'ordre de quelques centaines de °C (100 à 500°C), le mode de refroidissement peut être par conduction (contact métal + serpentin contenant un fluide de refroidissement) ou par convection (air ventilé sur la surface extérieure du cylindre).

2.3 Choix des solutions

Pour répondre à l'ensemble des contraintes citées, nous avons pensé aux solutions suivantes :

- Pistons chauffants : pour un gain de temps de fabrication des pistons chauffants et une économie d'efforts et de matériaux et vu que les températures à atteindre ne dépassent pas 500°C, nous avons opté pour l'utilisation de plaque chauffantes commercialisées. Pour faire un piston, ces plaques seront fixées sur des corps cylindriques dans lesquels un thermocouple est installé de sorte à détecter la température.

- **Chambre de compression :** Les deux pistons étant de forme cylindrique, l'enceinte de compression et de chauffage est un cylindre creux de diamètre permettant le déplacement vertical des deux pistons. Vu la contrainte relative à l'extraction de l'échantillon, la chambre de compression est coupée en deux parties parallèlement à son axe. Les deux demi-cylindres ainsi obtenus seront assemblés, avant l'introduction des matières premières à l'aide de 4 vis. Après compression à chaud, l'échantillon sera extrait en dévissant les 4 vis (desserrer les deux demi-cylindres) et permettre le déplacement vertical de l'échantillon en minimisant les frottements.
- **Système de compression :** la machine de compression sur laquelle nous avons adapté notre dispositif étant dotée d'un piston inférieur mobile actionné par un moteur pas à pas et régulateur de vitesse et d'un piston supérieur fixe, il n'est pas nécessaire d'opérer des modifications. Par ailleurs, le piston supérieur de la machine est doté d'un comparateur qui permet de mesurer le déplacement et déduire la pression.
- **Système de chauffage :** Comme signalé plus haut, les pistons chauffants sont des plaques chauffantes de cuisson. Elles sont constituées de plaques moulées sur lesquelles des résistances incrustées dans des tubes métalliques sont fixées. Un thermocouple K est placé dans l'un des pistons et branché à un régulateur de température de type Eurotherm (régulateur PID)
- **Système de refroidissement :** deux serpentins en cuivre dans lesquels circulera l'eau de refroidissement seront placés sur la partie externe des deux demi-cylindres. Etant donné que les températures de chauffe ne sont pas très élevées, l'eau de refroidissement, contenue dans un bac, est envoyée à l'aide d'une pompe hydraulique et fait un circuit fermé.

3. Conception du dispositif

Les formes des pièces à concevoir vont dépendre :

- De la fonction à remplir ;
- Des moyens de fabrication ;
- Du choix des matériaux à utiliser ;

Leur conception consiste à déterminer leurs caractéristiques géométriques de sorte à satisfaire les critères suivants :

- Un bon fonctionnement du dispositif
- Facilité de montage et de démontage

Pour la conception de nos pièces, nous avons utilisé les commandes du logiciel SolidWorks.

3.1. Choix des matériaux

Pour le choix du matériau à partir duquel seront usinés les deux demi-cylindres, nous avons pris en considération les caractéristiques thermiques (température de fusion et conductivité thermique), les caractéristiques mécaniques (résistance, durabilité), la résistance à l'oxydation à température, l'inertie chimique au contact des matériaux à élaborer, la disponibilité et prix de revient, l'usinabilité au vu des moyens de fabrication disponibles. La satisfaction de ces critères nous a amené à choisir un alliage d'aluminium disponible au hall de technologie.

3.2 Propriétés physiques et mécaniques de l'alliage utilisé

Les propriétés de l'alliage utilisé sont proches de celles de l'aluminium, constituant principal de l'alliage (94% en masse).

Les propriétés physiques de l'aluminium sont :

- température de fusion est de 660°C ; celle de l'alliage est au maximum de 580°C (alliages d'aluminium avec eutectique).
- bonne conductivité thermique.

Les propriétés mécaniques sont :

- module de Young 66,6 GPa ;
- module de torsion 25 GPa ;
- coefficient de poisson (0.33-0.35).

De plus, l'aluminium présente un bon rapport rigidité/densité. D'un point de vue résistance à l'oxydation, l'aluminium, très avide d'oxygène, s'oxyde rapidement mais développe une fine couche protectrice compacte qui le protège de l'oxydation.

3.2 La presse TRITEST 50 :

Notre dispositif est adapté sur une presse hydraulique TRITEST 50 disponible au laboratoire. Comme le montre la figure III.1, cette presse est constituée de deux blocs reliés par des tiges verticales ayant pour rôle de guider la partie supérieure mobile et sa fixation après avoir placé l'éprouvette. Le piston inférieur mobile applique l'effort de compression sur l'éprouvette à tester.

La presse est équipée d'une cellule de charge pouvant appliquer des efforts dans la gamme de 2 à 30 N. Elle est munie d'un système électrique permettant de régler la vitesse de déplacement automatique. Elle peut également être actionnée manuellement.

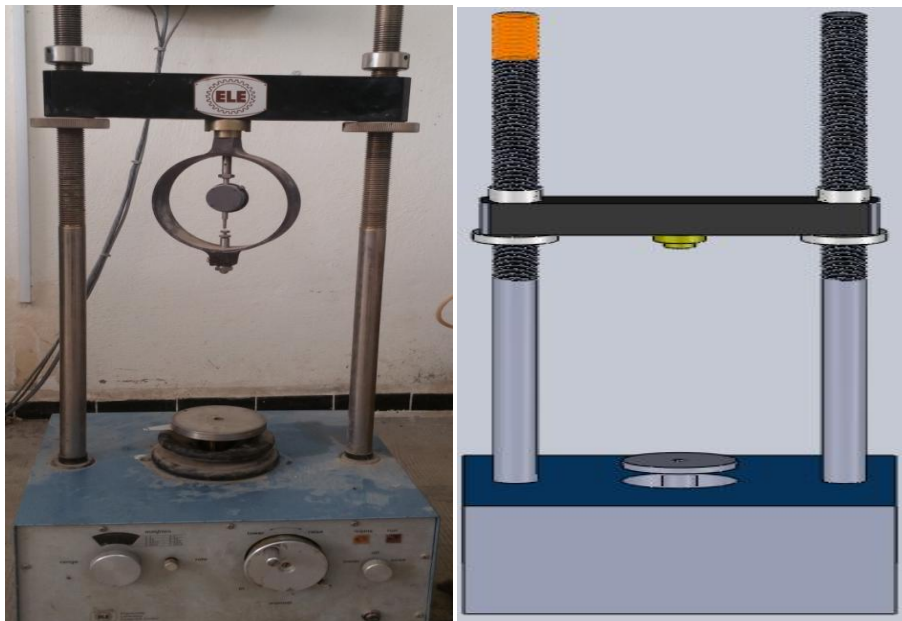


Figure III. 1: La presse TRITEST 50

3.3 Les plaques chauffantes

Constituées d'un foyer en fonte et une résistance électrique chauffante de Puissance de 2000 W, alimentation à 220 V avec une chaleur pouvant atteindre 1000°C lorsque l'isolation thermique est assez bonne.

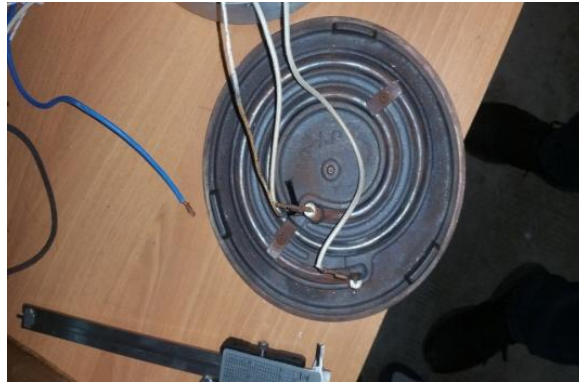


Figure III. 2: plaque chauffante.

3.4 Conception des éléments du dispositif :

La figure III.3 montre une vue en perspective du dispositif envisagé. Il est constitué d'une chambre cylindrique, deux pistons et deux plaques chauffantes associées.

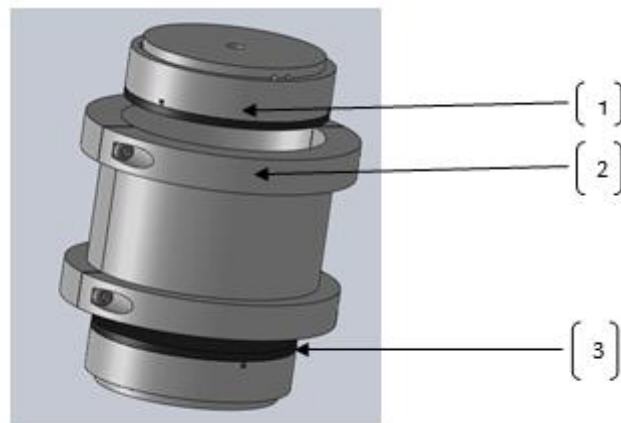


Figure III. 3: Vue en perspective du dispositif de compression à chaud.

(1) piston supérieur, (2) demi-cylindre et (3) plaque chauffante.

3.4.1 Le piston :

Le corps du piston est de forme cylindrique (Fig. III.4), de diamètre extérieur 186 mm de façon à avoir un ajustement glissant avec l'enceinte du cylindre. Un méplat de 16 mm d'épaisseur avec un perçage au milieu de 7mm Ø prévu pour les vis de fixation de la plaque chauffante. Sur sa surface latérale, ce corps présente trois trous taraudés M5 pour fixer la plaque au piston. Une gorge le long de la surface de base est prévue pour l'emboîtement de la plaque. Six trous de passage des fils d'alimentation électrique de la plaque et du thermocouple sont également prévus sur la surface plane supérieure.

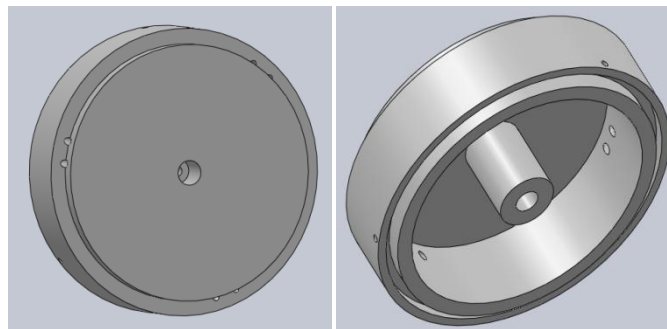


Figure III. 4: Corps du piston.

3.4.2 Les deux parties du cylindre :

Comme le montre la figure III.5, le corps de la presse est constitué de deux demi-cylindres de diamètre extérieur 250 mm et diamètre intérieur 186 mm (ajustement glissant avec les pistons). Sur la surface latérale une longueur de 110 mm, une gorge de ; une surface extérieure de diamètre 210 mm sur une longueur de 110 mm pour but d'accueillir le système de refroidissement ; quatre trous taraudés M10 sur les deux parties pour vis de fixation du cylindre lors d'assemblage et pour faciliter le démoulage, les pièces seront faites en alliage d'aluminium.

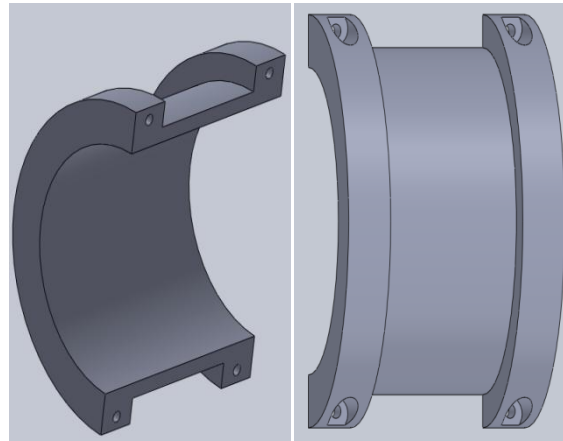


Figure III. 5: vue en perspective des deux demi-cylindres.

3.4.3. Système de refroidissement :

Le refroidissement du cylindre se fait par circulation d'eau dans deux serpentins en cuivre soudés sur les deux parois extérieures des demi-cylindres. La circulation de l'eau de refroidissement se fera en circuit fermé à partir d'un grand bac grâce à deux pompes hydrauliques comme schématisé sur la figure III.6.

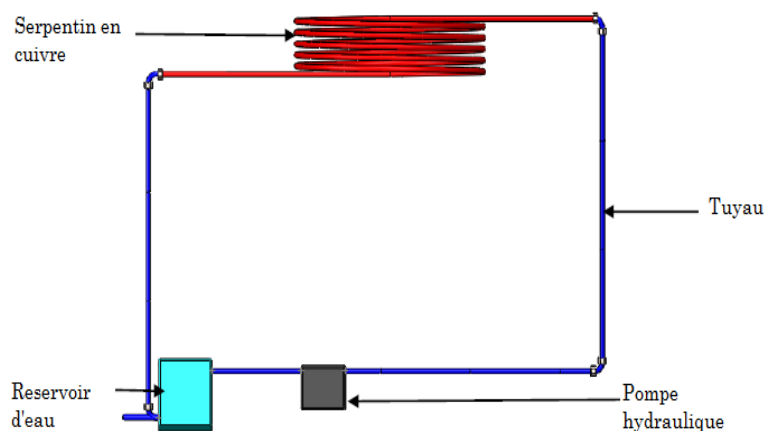


Figure III. 6: Schéma du système de refroidissement.

3.5. Adaptation du dispositif sur la presse Tritest 50

La mise en place et la bonne fixation du dispositif de compression sur la presse doit permettre une stabilité du système et son efficacité lors du fonctionnement. Cela nous a amené à concevoir quelques pièces qui répondent aux conditions citées précédemment.

3.5.1. Plaque-support

Servant de support pour le dispositif de compression à chaud, cette plaque est de forme rectangulaire de dimensions 20×500×244 mm, munie de deux perçages de 50 mm de diamètre pour le passage des deux tiges de la presse et le guidage du dispositif. Pour pouvoir déposer le dispositif de compression et le fixer solidement, quatre trous pour le passage de boulons M20 y sont prévus. Pour permettre le déplacement vertical du piston inférieur sous l'action du vérin de la presse, cette plaque présente un alésage de diamètre 192 mm au milieu (Fig.III.7). Cette plaque est conçue à la fois pour accueillir le dispositif et pour offrir au système la stabilité lors de sa mise en marche. Elle est en alliage d'aluminium.

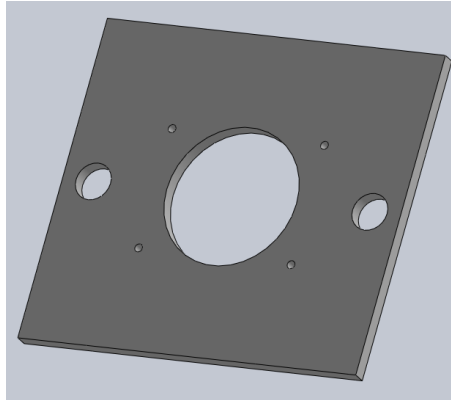


Figure III. 7: Plaque-support du dispositif.

3.5.2. Bagues de fixation

Ces bagues servent pour le guidage en translation de la plaque-support sur les tiges. Elles sont sous forme cylindrique de diamètre intérieur 51 mm avec un jeu de 0.5 mm pour le glissement sur les tiges de la presse (Fig. III.8). Deux trous taraudés M8 dans le sens transversal sont prévus pour le passage des vis de pression servant à les fixer une fois la position de la plaque réglée. Ces bagues sont au nombre de 4 : 2 sur chaque tiges de part et d'autre de la plaque. Elles sont en acier faiblement allié.

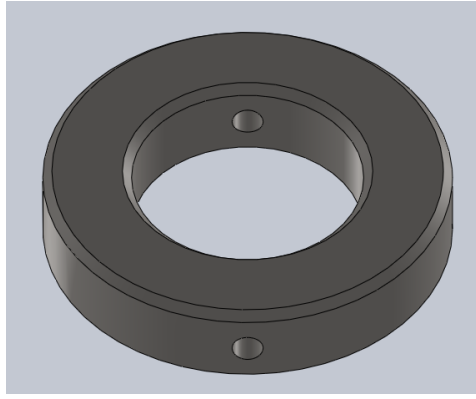


Figure III. 8: Bague de fixation de la plaque-support.

3.5.3. Crochet

Pour fixer le cylindre sur la plaque, un crochet en acier inoxydable (Fig.III.9) permettra son serrage au moyen des vis M10 avec écrou pour le garder dans sa position.

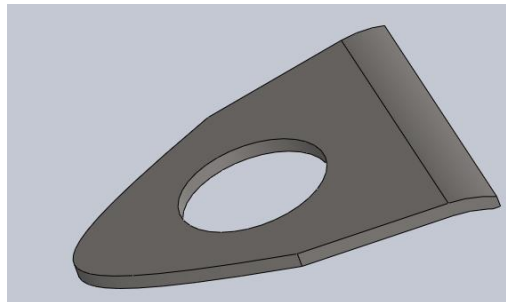


Figure III. 9: Crochet.

3.5.4. Corps de fixation du piston supérieur

Cette pièce sert à fixer le piston supérieur sur la traverse de la machine de compression. Elle est de forme cylindrique, sa partie inférieure comporte six trous de passage des vis M12 pour la fixation du piston. Sa partie supérieure est filetée afin de fixer l'ensemble piston-porte piston à la traverse de la presse. Cette pièce est en alliage d'aluminium.

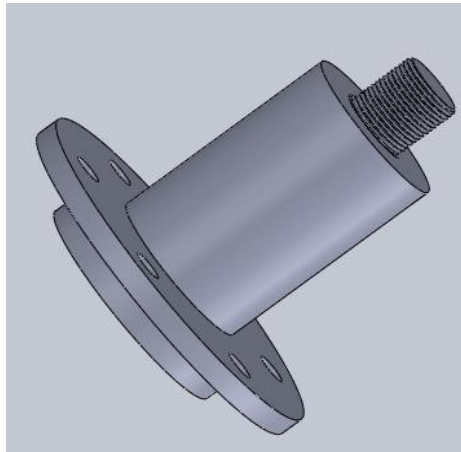


Figure III. 10: Support piston

3.5.5. Corps de fixation du piston inférieur

Il s'agit d'un élément intermédiaire (Fig. III.11 et III.12) qui permet à la fois de transmettre l'effort de compression du vérin de la presse vers le piston et éviter la propagation de la chaleur émise par l'élément chauffant vers les organes de la presse (vérin...etc.). Par ailleurs, grâce une circulation d'eau de refroidissement à l'intérieur de la cavité de cette pièce, l'ensemble peut-être refroidi ; ce qui permet ainsi d'éviter les transferts de chaleur vers la partie inférieure du dispositif.

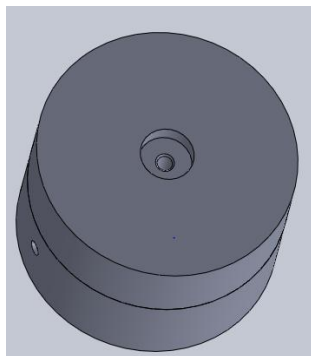


Figure III. 11: vue en perspective de la pièce.

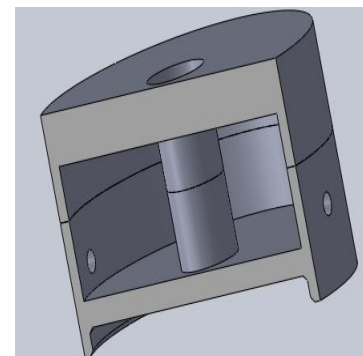


Figure III. 12: vue en coupe.

4. Assemblage et mise en place du dispositif

4.1. Assemblage piston inférieur- corps du piston (inférieur)

La fixation du corps du piston inférieur sur le vérin de la presse est assurée au moyen d'une vis M10. La figure III.13 montre les deux pièces en

perspective. Pour permettre les réglages en co-axialité entre le piston inférieur et le corps de la chambre de compression, le piston inférieur est simplement posé sur le corps solidaire de l'axe du vérin.

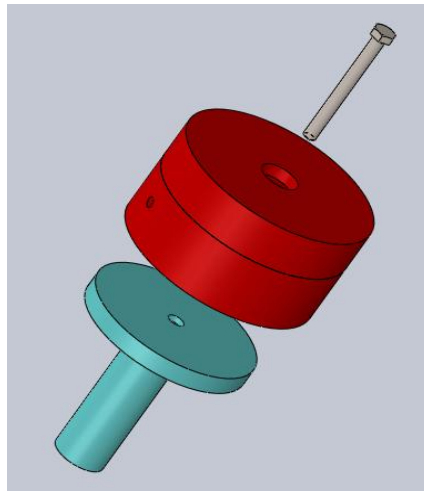


Figure III. 13: piston-vérin et vis M10

4.2. Assemblage piston supérieur – traverse de la presse

La fixation de l'ensemble piston supérieur - porte piston est assurée par six vis M12, écrous et contre écrous de serrage. Ensuite l'ensemble est fixé à la traverse de la presse par vissage de la partie filetée au trou taraudé de la traverse. La figure III.14 illustre l'ensemble des pièces solidaires.

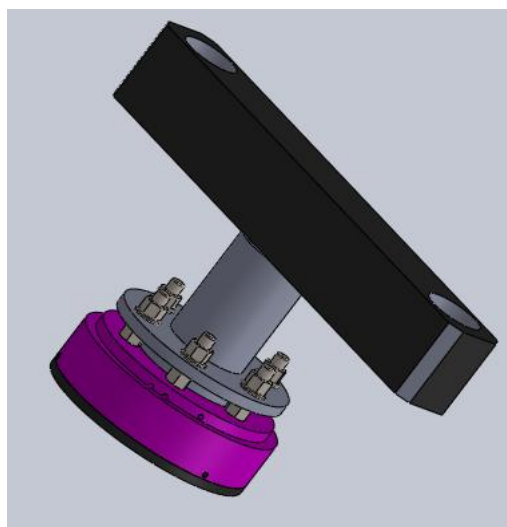


Figure III. 14: traverse-porte piston-piston plaque assemblés.

4.3 Assemblage de la chambre de compression à chaud

Les deux demi-cylindres sont assemblés au moyen de quatre vis CHC M10 en assurant la coaxialité pour former la chambre de compression. Les figures III.15 et III.16 montrent une vue en perspective de la pièce assemblée et des vis utilisées pour la fixation.

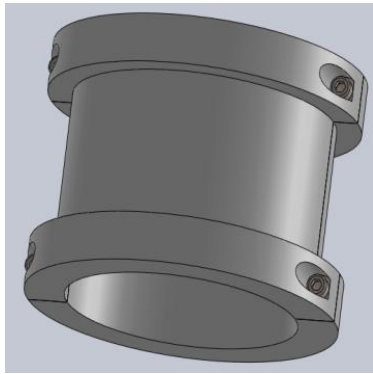


Figure III. 15: cylindre assemblé.



Figure III. 16: vis CHC M10.

4.4 Assemblage du piston-plaque chauffante :

La plaque chauffante est adaptée au corps cylindrique servant de piston à l'aide d'une vis M6 avec un écrou de serrage disposé en son milieu et dont le taraudage est prévu sur la plaque moulée. Trois autres vis M5 à tête cylindrique hexagonale creuse (CHC) ont été utilisées dans la partie latérale du piston pour mieux fixer l'assemblage.

La figure III.17 montre une vue en perspective d'un piston chauffant assemblé.

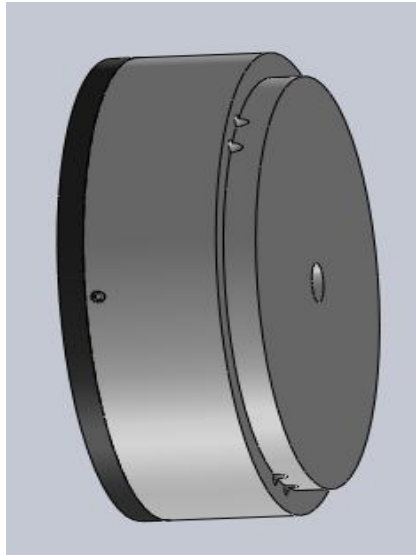


Figure III. 17: piston-
plaque chauffante

4.5. Assemblage du système de refroidissement

La figure III.18 montre l'assemblage des deux serpentins soudés sur la surface extérieure des deux demi-cylindres constituant la chambre chauffante. La fixation des deux serpentins sera assurée à l'aide de colliers cylindriques.

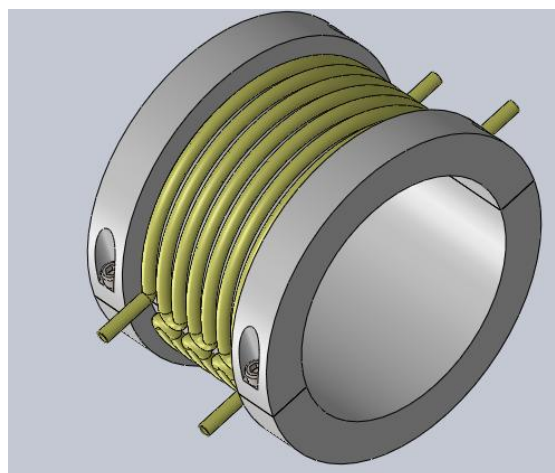


Figure III. 18: Assemblage du système de refroidissement sur les deux demi-cylindres.

4.6. Fixation de la plaque support sur la presse

La plaque est guidée en translation sur les tiges de la presse au moyen de deux bagues (Fig. III.8) translatant sur les tiges puis fixées par des vis de pression. La figure III.19 montre l'aperçu d'assemblage.

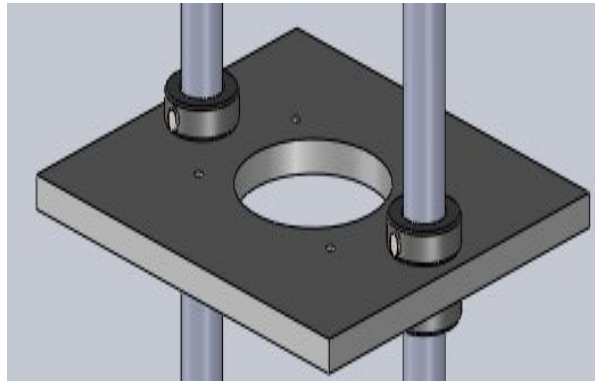


Figure III. 19: plaque-support fixée sur les tiges de la presse.

4.7. Fixation de la chambre de compression sur la plaque-support

La chambre de compression assemblée est fixée, après réglage de sa position, sur la plaque-support de la presse à l'aide de crochets et de quatre vis M10, des écrous et contre-écrous de serrage comme le montre la figure III.20.

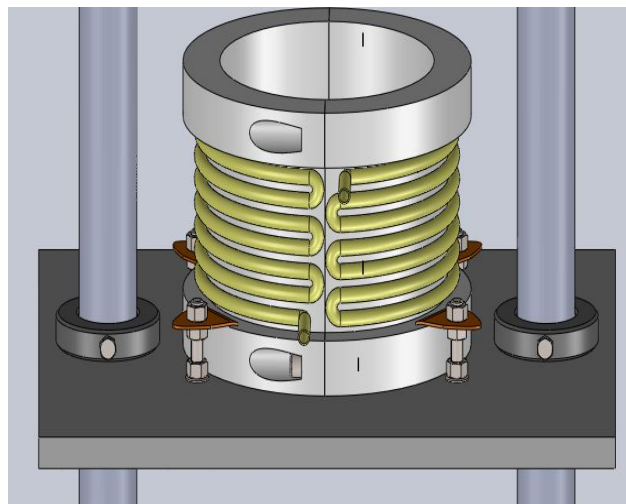


Figure III. 20: fixation du cylindre sur la plaque support

4.8. Régulation électronique de la température

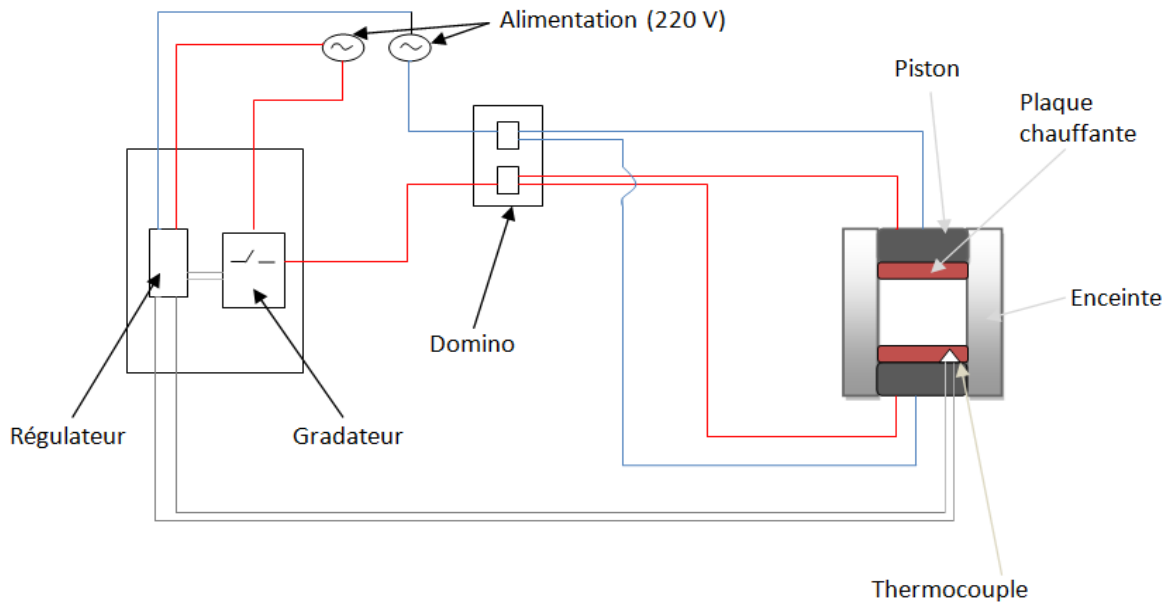


Figure III. 21: Schéma de régulation électronique

Le système d'alimentation électrique et de régulation électronique de la température permet d'alimenter les plaques chauffantes du four en énergie électrique et de réaliser le cycle compression à chaud (T, P, t). La figure III.23 montre le schéma de montage électrique et du système de régulation. Les éléments constitutifs sont :

- **Un thermocouple K**, à base de deux fils, à savoir le Chrome (alliage nickel-chrome) et l'alumel (alliage de nickel-aluminium-5% de silicium) ;
- **Gradateur** : dispositif électronique dont l'élément principal est thyristor et qui joue le rôle d'un interrupteur électronique ;
- **Régulateur de température** : Il s'agit d'un régulateur digital permettant l'introduction du cycle de température (P, t) et de son exécution (régulateur de marque Eurotherm).

En effet, lors du fonctionnement, le thermocouple disposé à l'intérieur des pistons émet un signal électrique sous forme d'une DDP et transmis au régulateur. Ce dernier la convertit en valeur de température et affiche la valeur. En même temps, la valeur affichée est comparée à la valeur consigne à chaque instant (en continu, selon le programme de chauffe) et le régulateur agit sur le gradateur

qui, à son tour, allume et éteint les résistances de sorte à ajuster la température réelle à celle de consigne.

4.9 Assemblage et mise en place du dispositif sur la presse

La figure III.22 montre une vue en perspective du système de compression à chaud assemblé et fixé sur la presse mécanique.

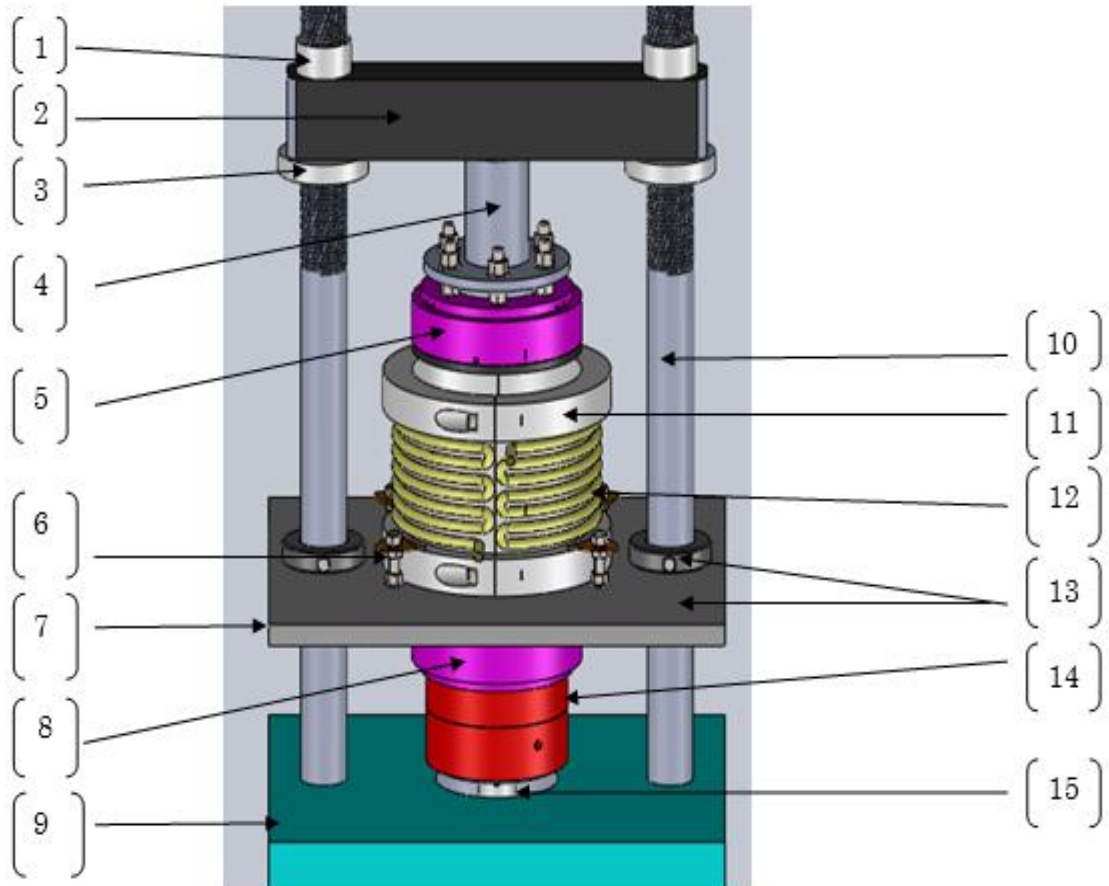


Figure III. 22: assemblage final du système.

(1) : bague supérieure ; (2) : traverse ; (3) : bague inférieure ; (4) : tige fileté ; (5) : piston chauffant supérieur ; (6) : crochet et vis de fixation de la chambre de compression sur la plaque-support ; (7) : plaque-support ; (8) : piston chauffant inférieure ; (9) : presse hydraulique Tritest 50 semi-automatique ; (10) : tiges de la presse ; (11) : corps de la chambre de compression ; (12) : serpentín de refroidissement en cuivre ; (13) : bague de fixation (une en dessous et l'autre au-

dessus) ; (14) : corps de fixation du piston chauffant inférieur sur le vérin de la presse ; (15) : vérin inférieur de la presse.

5. Fonctionnement du système conçu

La mise en place du système commence par la pose du corps de fixation (14) du piston chauffant inférieur (8), au milieu, sur le vérin inférieur (15). La plaque-support (7) étant préalablement posée, à la position la plus basse, sur le bâti de la presse (9), est ensuite remontée jusqu'à atteindre le piston chauffant inférieur (8) posé sur son corps de fixation (14). Après réglage du niveau de cette plaque (7), elle est solidement fixée dans cette position sur les tiges (10) à l'aide des bagues de fixation (13). La chambre de compression est par la suite posée sur la plaque-support puis serrée de sorte que le jeu entre sa paroi intérieure et les pistons chauffants permette le glissement des pistons à l'intérieur pendant le chauffage. Sa position sur la plaque (dans le plan OXY perpendiculaire à l'axe de compression) est réglée de sorte à la centrer (égaliser les jeux avec la paroi intérieure) puis fixée par serrage des crochets-vis de fixation (6).

Après avoir introduit les matières premières dans la chambre de compression (ou dans un moule adaptable), le piston chauffant supérieur (5) est ramené (en le descendant) dans la chambre de compression en tournant (dans le sens inverse à celui des aiguilles d'une montre) simultanément sur les bagues (3). Bien entendu, la surface chauffante du piston supérieur doit être parallèle à celle du piston inférieur.

Un léger effort de compression (à froid) est ensuite appliqué de sorte à avoir un effort de compression nul servant de référence. Le cycle thermique (T, t) est ensuite introduit dans le régulateur puis enclenché simultanément avec celui de la pression (P, t). A la fin de ce cycle (P, T, t), le système de refroidissement est actionné en allumant la pompe à eau déposée dans le bac d'eau de refroidissement (Fig. III. 7). Une fois le système complètement refroidi, le piston inférieur est relâché et le supérieur complètement remonté de sorte à pouvoir extraire l'échantillon. La chambre de compression est ensuite desserrée de manière à faciliter le déplacement de l'échantillon par remontée du piston inférieur. L'échantillon est ainsi extrait.

6. Conclusion :

La conception du dispositif de compression à chaud a été entamée par la détermination des exigences techniques, une sorte de cahier des charges, à même d'assurer un bon fonctionnement de la machine. Des solutions techniques ont été retenues pour la suite du travail. Ensuite, les formes et les dimensions des différentes pièces ont été précisées et ce de deux manières : 'manuellement' et en utilisant un logiciel d'aide au dessin technique et à la conception (SolidWorks) au moyen duquel nous avons établi les perspectives et les différents dessins. Les choix des dimensions des pièces avec les tolérances géométriques et de position, ainsi que les matériaux à utiliser pour leur fabrication ont été rapportés. Les dessins de définition des pièces conçues ainsi que des dessins d'ensemble pouvant servir de base pour une éventuelle amélioration du présent travail sont élaborés et rapportés en annexe. L'assemblage des différentes pièces constituant le dispositif de compression à chaud et les étapes de la procédure de son utilisation sont également décrites dans ce chapitre.

Chapitre IV

Gamme d'usinage

Chapitre IV : Gamme d'usinage

1. Introduction :

Le passage de l'idée à la réalisation effective d'une pièce mécanique ou d'un produit quelconque nécessite trois fonctions principales :

- la conception.
- l'étude et la préparation de la fabrication.
- la fabrication.

La réalisation de chaque fonction dépend de plusieurs critères dont les plus importants sont : le temps, les moyens fournis et le nombre d'exemplaires. Selon le type d'entreprise, la réalisation des fonctions peut être assurée par une seule personne (fabrication artisanale), ou par des services spécialisés (fabrication sérielle de produit de moyenne ou grande complexité technique).

Les principaux intervenants sont :

- Le bureau d'étude : il est chargé de la conception de nouveaux produits et des projets détaillés ;
- Les bureaux des méthodes : ils choisissent les techniques de production mécanique, comprenant les techniques de mise en forme, les techniques d'assemblage, le contrôle de qualité, et la finition ;
- Les ateliers de fabrication : ils sont chargés de la fabrication, du contrôle, du montage et des essais sur les pièces.

2. Conception générale d'une gamme d'usinage :

Avant de passer à l'analyse logique d'un processus d'usinage sur les pièces, il est utile d'énumérer brièvement la succession des actions à

entreprendre pour constituer un dossier de fabrication. La figure IV.1 donne le graphe des principales opérations à considérer.

-À partir d'un dessin de définition donnant toutes les conditions à respecter (tolérances, quantité, matières premières, etc.), on peut choisir les types d'opérations et les outils convenant aux différentes entités d'usinage (alésages, surface plane, filetage, etc.) et respectant les contraintes imposées.

-En fonction des quantités des pièces à produire et des contraintes technologiques, on peut ensuite choisir un ensemble de machines-outils pouvant convenir aux opérations à exécuter.

- Tenant compte des tolérances de précision, il est nécessaire d'ordonner les opérations individuelles suivant une séquence bien définie.

-Pour optimiser les temps d'usinage et respecter les tolérances de position (positions relatives des entités de la pièce), on groupe ensuite les opérations de façon optimale.

- On examine les possibilités de mise en position des pièces sur les montages, ainsi que leur bridage pour assurer leur stabilité sous l'effet des forces actives pendant l'usinage (effort de coupe notamment).

-Les différentes dimensions sur la pièce n'étant pas obligatoirement réalisées en côte directe, on doit procéder à un transfert de dimensions et de tolérances en côtes de fabrication satisfaisant aux conditions fonctionnelles et aux conditions de réglage sur site, notamment en fonction des capacités techniques des machines-outils.

- Des contrôles en cours de fabrication (*in-process*) ou, éventuellement, après finition de la pièce, doivent aussi être ajoutés dans le plan de fabrication.

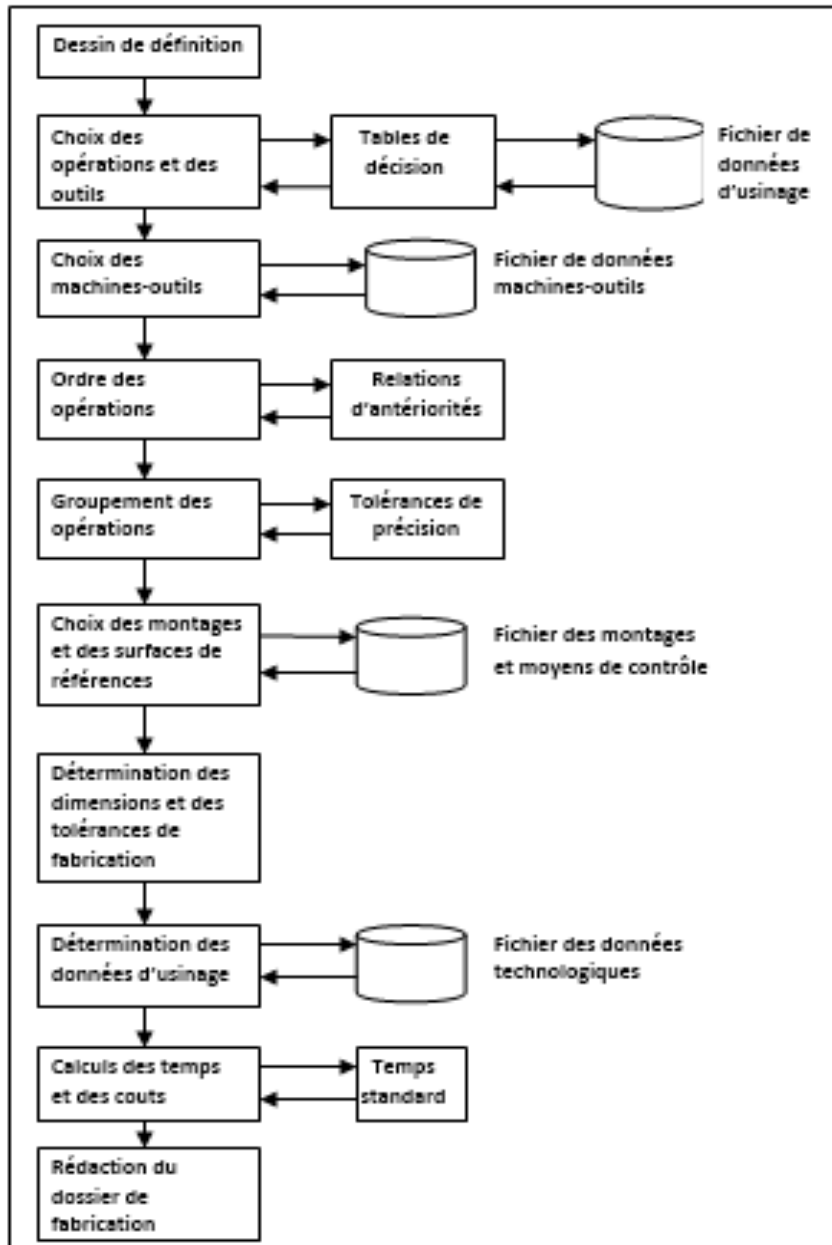


Figure IV. 1: conception générale d'une gamme d'usinage.

- Il est nécessaire ensuite que, pour chaque phase d'usinage, les conditions de travail (vitesse, avance, profondeur de passe) soient précisées et, de là, un calcul des temps et des coûts des opérations est possible en vue d'arriver à une appréciation économique.
- Enfin, un dossier de fabrication doit être rédigé suivant les données précédentes pour être transmis aux services de fabrication pour exécution.[11]

3. Établissement d'un processus d'usinage :

Le schéma de principe de la méthode d'analyse pour l'élaboration d'une gamme d'usinage des pièces est présenté sur la figure IV.2.

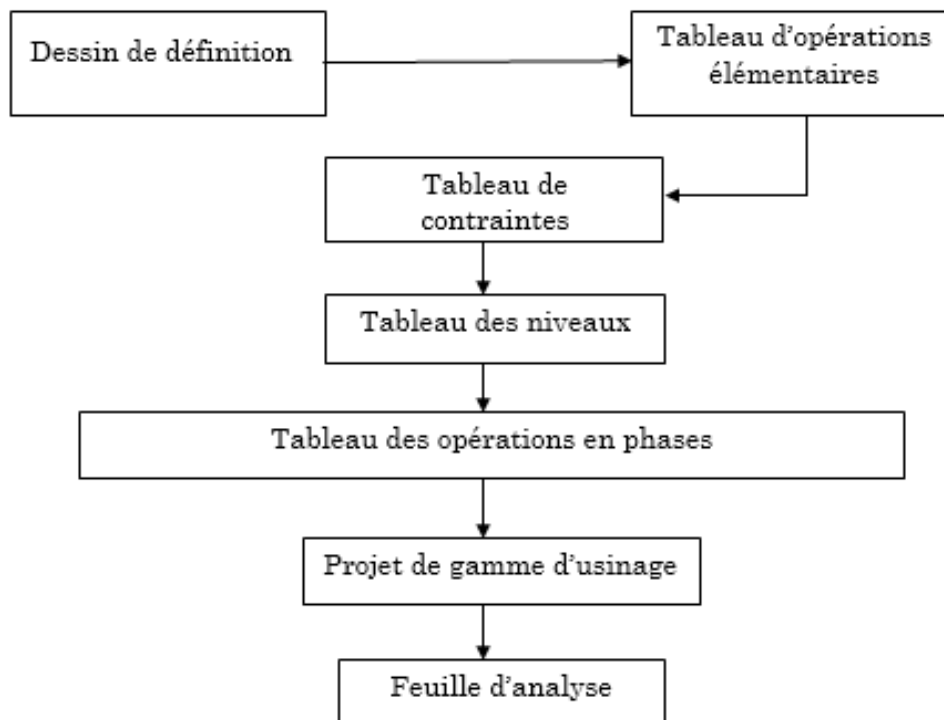


Figure IV. 2: schéma directeur de la gamme d'usinage. [12]

4. Principe de la méthode d'analyse :

Les étapes suivantes permettent d'établir une gamme d'usinage optimal :

4.1 Inventaire des surfaces :

Le repérage des surfaces (brutes et usinées) se fait après l'étude du dessin de définition. Le repérage des brutes se fait par des lettres suivies d'indices, les surfaces usinées par des chiffres.

4.2 Contraintes d'usinage :

4.2.1 Contraintes de cotations :

Elles permettent de mettre en évidence la cotation fonctionnelle entre les surfaces suivant les trois axes et déterminent le transfert de côtes, lorsque deux

surfaces ne possèdent pas des côtes de liaison et que l'une d'entre elles sert de référence.

4.2.2 Contraintes de spécification :

Il s'agit de Rechercher toutes les antériorités géométriques et dimensionnelles suivant les trois axes OX, OY, OZ. C'est à partir d'une surface quelconque sur l'axe et indiquer toutes les dimensions et spécifications géométriques avec toutes les surfaces suivant l'axe considéré.

4.2.3 Contraintes technologiques :

Elles font ressortir les contraintes en analysant toutes les surfaces devant subir l'usinage, en indiquant les raisons.

Les contraintes de bavures; permettent d'éviter sur la pièce finie, des bavures incompatible avec la fonction de la pièce. Il faut les éliminer en cour d'usinage

4.2.4 Contraintes économiques :

Le coût de fabrication, la durée de l'usinage et l'usure des outils, nous conditionnent à faire un choix précis sur la fabrication de façon à ce que le coût de revient soit minimisé et les outils protégés.

4.3 Tableau des opérations élémentaires :

C'est un tableau regroupant toutes les surfaces, les côtes de liaisons, les spécifications et les opérations élémentaires.

4.3.1 Choix de nombre d'opérations élémentaires :

Il se fait à partir de l'intervalle de tolérances, la qualité et état de surfaces.

a) En fonction de l'intervalle de tolérances :

Cotes de longueur <200 mm	IT >0,4	1 Opération
	0,15 < IT < 0,4	2 Opérations
	0,05 ≤ IT ≤ 0,15	2 à 3 Opérations
	IT ≤ 0,5	3 opérations

b) fonction de la qualité (Q) :

Côtes obtenues à l'outil d'enveloppe	Q : 12 ; 13	1 Opération
	Q : 9 ; 10 ; 11	2 Opérations
	Q : 7 ; 8	3 Opérations
	Q : 5 ; 6	4 Opérations

c) fonction de la rugosité (Ra et Rt) :

Ra > 8	Rt > 40	1 Opération
2 < Ra ≤ 8	10 < Rt ≤ 40	2 Opérations
Ra ≤ 2	Rt ≤ 10	3 Opérations

4.3.2 Définition des opérations élémentaires :

Les différentes opérations d'usinages sont :

- Ebauche(E) : permet d'approcher la côte en enlevant le maximum de matière;
- La demi-finition (1/2 F) : permet d'obtenir la forme et la précision géométrique;
- La finition (F) : permet d'obtenir la côte et l'état de surface ;
- La finition spéciale (2F) : permet de réaliser des états de surfaces particulières (rodage, pierrage, grattage...).
- Le schéma de la figure IV.3 illustre une méthode de détermination des opérations élémentaires :

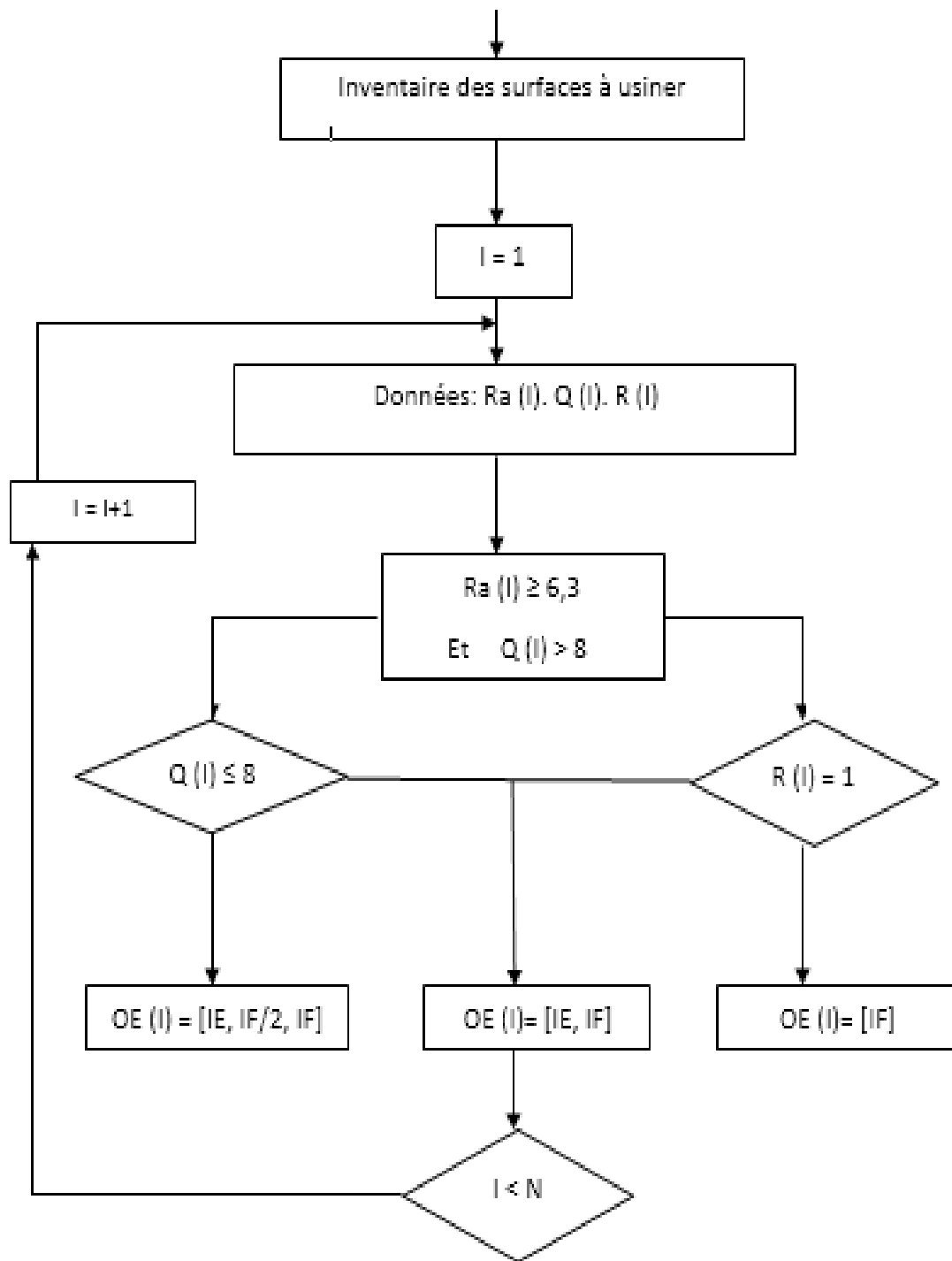


Figure IV. 3: Organigramme de la méthode [12]

Légende : I : indice des surfaces à usiner ; IE : surface I ébauche ;
 IF/2 : surface I semi-finie ; IF : surface I finie ;
 N : nombre de surfaces à usiner ; Q(I) : qualité de la surface ;
 OE(I) : opérations élémentaires sur surfaces (I) ; Ra : rugosité
 Arithmétique ; R(I) : surface rigide R(I)=1.

4.4 Tableau de regroupement de surfaces :

Il permet de faire l'inventaire de toutes les surfaces élémentaires associées (surfaces pouvant être réalisées en même temps).

4.5 Tableau des contraintes d'antériorités :

Pour faciliter l'analyse des contraintes d'usinage et la détermination de l'ordre chronologique des opérations, on établit la liste des contraintes à partir du tableau des opérations élémentaires et du graphe orienté des conditions du B.E.

L'orientation du graphe des conditions du B.E permet de faire l'inventaire des contraintes, des dimensions et de spécifications. Cette orientation se fait en sachant que :

Lors de la mise en cotation des côtes de liaisons entre surface brute et surface usinée, le brut est antérieur à la surface usinée ;

Les spécifications géométriques permettent l'orientation partielle des arcs correspondants.

4.6 Tableau des niveaux :

Le tableau des niveaux est une matrice carrée ou figure des entrées et des sorties. Il y a autant de lignes que de colonnes ; on porte toutes les surfaces usinées avec les surfaces brutes sur les premières lignes et colonnes.

4.7 Tableau des groupements en phase :

Une fois les niveaux déterminés, on passe au groupement en phase qui consiste à placer les niveaux verticalement. Sur les lignes de chaque niveau ; on place les opérations élémentaires de ce dernier.

En fonction des conditions économiques et du parc machine, on groupe les opérations élémentaires en phase d'usinage.

4.8 Description des opérations de gamme optimale :

A partir du tableau des groupements en phase, on procède à la rédaction du processus d'usinage envisagé. On peut distinguer toutes les opérations de phase et sous phase suivantes :

-La phase :

Est un ensemble d'opérations effectuées sur un même poste de travail avec les mêmes opérateurs et outillages ;

-La sous phase :

Est une fraction d'une phase déterminée par des changements d'outillages ou de prise de pièces différentes ;

-Opération :

Est un travail effectué sur la pièce sans changement de la prise de la pièce et d'outil. [12]

5. Le choix des machines :

Dans une gamme d'usinage, les machines doivent être choisies afin que les deux conditions suivantes soient satisfaites :

-Les tolérances de forme, de position, de dimension et d'état de surface doivent être respectées ;

-Le prix de revient de l'usinage doit être minimisé, surtout pour la production en séries.

Pour chaque machine utilisée, on doit connaître :

- Le mode d'utilisation ;
- Les équipements standards ;
- Les équipements spéciaux ;
- Les limites d'utilisation.

6. Choix des outils :

Une grande variété d'outils actuellement disponible pour la réalisation des usinages. Le choix des outils de coupe dépend de :

- La matière à usiner ;
- La productivité ;
- La forme (suivant l'opération à exécuter) ;
- Le sens(le déplacement de l'outil à droit ou à gauche) ;
- Le montage (à l'endroit dans le cas général ou à l'envers dans le cas de tronçonnage) ;
- La précision et l'état de surface à réaliser. [13]

7. Fabrication du dispositif de compression à chaud :

7.1 Appareillage :

L'usinage des pièces du dispositif a été fait au niveau du hall de technologie à Oued Aissi en utilisant les différentes machines suivantes :

-Scie mécanique :

Pour le découpage du brut du piston et cylindre, nous avons utilisé une scie mécanique (figure IV.4) avec les propriétés suivantes :

Tension : 380 V, Puissance : 1,5 KW, Poids : 600Kg.



Figure IV. 4: Scie mécanique.

-Tour universel :

Le tournage du piston et du cylindre a été fait sur un tour parallèle (figure IV.4), ayant les propriétés suivantes :

Tour universel de type SN 40 SN 50 C, Tension : 380 V, Puissance : 6,6 KW , Poids : 1620 Kg ,Fréquence : 50 Hz.



Figure IV. 5: tour universel

-Fraiseuse verticale :

Pour les opérations de fraisage, nous avons utilisé une fraiseuse de type FV1, 5 ALMO de propriétés:

Tension de service 380V, Puissance totale 5KW, Poids : 1520Kg.



Figure IV. 6: fraiseuse verticale

7.2 Feuilles d'analyses du cylindre

7.3 Feuilles d'analyses du piston

Conclusion générale

L'ajout des fibres végétales dans les polymères représente une voie prometteuse car elle permet l'amélioration des propriétés mécaniques du matériau composite ainsi élaboré. Plusieurs méthodes d'élaboration de ces matériaux existent : l'extrusion, l'injection plastique, etc. Dans ce travail, nous nous sommes fixés pour objectif de concevoir et fabriquer un dispositif de compression à chaud adaptable sur une presse hydraulique disponible au laboratoire.

La conception du dispositif a été entamée par la présentation des exigences techniques et la problématique a été posée. Plusieurs solutions ont été envisagées et discutées, celles jugées pertinentes ont été retenues. Par la suite, la conception a été menée en suivant une procédure qui détermine d'abord les formes et dimensions des pièces, répondant ainsi au mieux aux exigences techniques formulées auparavant à même de permettre la réalisation d'un dispositif fonctionnel et fiable. Le logiciel de Conception et de dessin assisté par ordinateur SolidWorks est mis à contribution dans le cadre de cette étude. Un système de régulation électronique de la température et d'alimentation électrique de l'ensemble du dispositif a été réalisé. Les différentes pièces mécaniques ont été fabriquées et assemblées pour aboutir au dispositif de compression à chaud adaptable sur la presse hydraulique du département de Génie Mécanique. Après essais préliminaires, le dispositif ainsi fabriqué est prêt à l'utilisation.

Le travail réalisé au cours de notre projet de fin d'études ayant suffisamment fait avancer le projet, nous suggérons, à titre de perspectives, d'améliorer le dispositif en intégrant la régulation de la compression (en utilisant, par exemple, des jauges de contraintes à placer sur un anneau disposé sur le piston supérieur).

Références bibliographiques

- [1] : Michel Chatain, revue technique d'ingénieur AM 3810.
- [3] : Stéphane Grès, Approche à la conception d'un système complexe, revue technique d'ingénieur 2007.
- [3] : Philippe Gérard, Analyse des décisions en conception, revue technique d'ingénieur.
- [4] : Jean-Pierre Zin, cahier des charges fonctionnelles, revue technique d'ingénieur.
- [5] : Moussoum Mouloud, conception d'une cellule chauffante adaptée sur la machine de traction, mémoire de fin d'étude.
- [6] : Cleade Jean, Analyse de la valeur, revue technique de l'ingénieur.
- [7] : Michel Baes, Max Bourcart, Christian Lagoutte, revue technique d'ingénieur, 2004.
- [8] : Harrache Rabia, élaboration et caractérisation des composites à matrice polymère et à renfort végétal.
- [9] : Jean-Marie Berthelot, Mécanique des matériaux et structures composites, Le Mans, 2010.
- [10] : Amour Sid Ali, étude de deux polymères biodégradables (PLA, PCL), mémoire de master.
- [11] : Roland D. Well, conception des gammes d'usinage, revue technique d'ingénieur B7025.
- [12] : cours des bureaux des méthodes, 2^{eme} année master.
- [13] : mémoire du réacteur de mécano fusion.

