

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

*Paix – Travail – Patrie*

\*\*\*\*\*

UNIVERSITE DE YAOUNDE I  
ECOLE NORMALE SUPERIEUR  
D'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE  
D'EBOLOWA  
DEPARTEMENT DE DE GENIE  
MECANIQUE

\*\*\*\*\*



REPUBLIC OF CAMEROUN

*Peace – Work – Fatherland*

\*\*\*\*\*

UNIVERSITY OF YAOUNDE I  
HIGHER TECHNICAL TEACHER  
TRAINING COLLEGE OF  
EBOLOWA  
DEPARTMENT OF OF  
MECHANICAL  
ENGINEERING

\*\*\*\*\*

**Filière  
Fabrication Mécanique**

**ETUDE ET REALISATION D'UNE MACHINE  
D'ESSAI DE FLEXION TROIS POINTS AVEC  
ACQUISITION DE DONNEES**

Mémoire de fin d'étude  
En vue de l'obtention du Diplôme de Professeur d'Enseignement  
Technique et  
Professionnel de 2e grade (DIPET II)

Par : **EMVUTOU Jeanne Varenne**

Sous la direction de  
**Pr. ATANGANA ATEBA**  
**Professeur titulaire des universités**  
**M. NDOUMOU BELINGA**  
**Enseignant PLET**

**Année Académique : 2019 - 2020**



## DEDICACE

*A ma famille, tout spécialement  
à mon mari.*

## REMERCIEMENTS

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner ma gratitude. Il nous est extrêmement difficile d'écrire cette page par souci d'omettre de nombreuses personnes qui nous ont soutenu en vue de l'élaboration de ce travail. Toutefois, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance aux personnes suivantes pour leur aide dans la rédaction de se mémoire :

- Au **Pr KANAA Thomas**, Chef De Département Génie Mécanique pour la supervision de nos travaux, sa disponibilité, son écoute et surtout sa grande rigueur en ce qui concerne le travail bien fait ;
- A mon encadreur **M. NDOUMOU BELINGA** pour le suivi et l'encadrement mais surtout pour son sens du travail, son enthousiasme et l'esprit de recherche qui l'anime ;
- A Mme le Directeur de L'ENSET d'Ebolowa, **Pr DJAKOMO ESSIANE Salome** de nous avoir accueilli dans un cadre convivial qui participe à une formation de qualité ;
- A tous les enseignants de L'ENSET D'Ebolowa pour les enseignements, les conseils et les encouragements à travers lesquels nous avons beaucoup appris tout au long de notre formation, et particulièrement ceux du département Génie Mécanique sans oublier tout le personnel administratif ;
- A **tous mes camarades**, particulièrement ceux du **génie mécanique**, pour leur sens élevé du respect, d'esprit d'équipe, d'entraide et auprès de qui j'ai beaucoup appris durant cette formation ;
- A **TOUTE MA FAMILLE**, pour tout le soutien, qu'elle m'a toujours apporté, pour la compréhension dont elle a fait preuve et la disponibilité qu'elle m'a accordée,
- A **mes amis**, particulièrement à **CARLOS MOZER**, pour leur investissement, leur disponibilité, leur esprit d'entraide et leur sens du partage
- A tous ceux qui de près ou de loin ont su participer à l'élaboration de ce travail ;
- Et enfin, je désire remercier particulièrement mon mari, **M. ETENDE Vivien** pour son amour, ses encouragements, son investissement et toute la compréhension dont il a fait preuve durant ces deux années
- A toutes ces personnes, je vous remercie sincèrement.

## Avant-propos

L'Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technique (ENSET) D'Ebolowa est une sous partie de l'université de Yaoundé I ayant pour principal objectif la formation des professeurs de lycées et collèges d'enseignement technique. Cet établissement comprend deux cycles à savoir :

- Le 1<sup>er</sup> cycle dont la formation prépare au DIPET 1
- Le 2<sup>nd</sup> cycle dont la formation prépare au DIPET 2

Conformément à l'arrêté ministériel N°042/MESIRES du 09 Septembre 1991 dans son article 30 qui stipule que tout étudiant parvenu au terme de sa formation réalise soit un projet de fin d'étude pour l'obtention du DIPET I, soit un mémoire de fin d'étude pour l'obtention du DIPET II, il nous a été soumis un projet de fin d'étude portant sur l'étude et la réalisation d'une machine d'essai de flexion trois points avec acquisition données. L'idée de ce mémoire vient du constat d'un manque de dispositif expérimental pour la caractérisation des matériaux, notamment avec l'apparition de nouveaux matériaux appelés matériaux composites.

En effet, depuis quelques années, de plus en plus d'utilisateurs orientent leur choix vers des matériaux écologiques, sains et naturels, disponibles et respectueux de l'environnement, et pour cela l'on effectue très souvent des combinaisons de matériaux disponibles dans la nature pour élaborer d'autres types de matériaux devant répondre aux contraintes attendues. Il est donc primordial de disposer d'un outil expérimental pouvant assurer la détermination des caractéristiques mécaniques de ces matériaux.

Cette étude se veut être une contribution devant permettre de concilier l'ensemble des connaissances théoriques acquises en vue de l'élaboration d'un outil pratique et participer de manière significative à l'édification non seulement de notre jeune école mais aussi de notre pays. Des difficultés n'ont pas manqué. Elles concernent particulièrement la disponibilité des informations fiables et actuelles (normes). Elles concernent également la disponibilité d'ateliers de fabrication équipés, et de certains matériaux. Cette dernière situation nous a obligé à opter pour un modèle réduit de la machine à fabriquer.

## RESUME

L'étude du comportement mécanique des matériaux soumis à diverses sollicitations constitue une étape clé en ingénierie, en vue de définir ses conditions d'utilisation. Considérés comme des matériaux complexes, à cause de leur hétérogénéité et leur anisotropie, les matériaux composites, de par leurs atouts par rapport aux matériaux traditionnels sont de plus en plus sollicités. L'étude des caractéristiques mécaniques des matériaux se fait dans la pratique par des essais divers. Ce travail porte sur la conception et la réalisation d'une machine d'essai de flexion trois points prenant en compte la caractérisation des matériaux composites. Grâce à une étude fonctionnelle (analyse fonctionnelle interne et externe), une modélisation cinématique du système a été effectuée. L'effort maximal admissible a été fixé à 2500 N et la vitesse de réalisation à 2mm/min. Le dimensionnement des différents éléments constitutifs a ainsi pu être effectué. La confrontation des résultats de calculs aux normes a permis de choisir les éléments constitutifs entrant dans la réalisation de la machine ; puis les dessins de définition aidant à la conception ont été réalisés. Une estimation du coût du matériel a été effectuée, ce qui a permis d'acquiescer la matière d'œuvre nécessaire à la réalisation. La machine réalisée possède un encombrement de 900 x 400 x 300 mm et est actionnée par un moteur de 80W.

**Mots clés :** matériaux composites, essai de flexion, acquisition des données.

## ABSTRACT

The study of the mechanical behaviour of materials subjected to various stresses constitutes a key stage in engineering, with a view to defining its conditions of use. Considered as complex materials, because of their heterogeneity and their anisotropy, composite materials, due to their advantages compared to traditional materials, are increasingly in demand. The study of the mechanical characteristics of materials is done in practice by various tests. This work concerns the design and manufacturing of a three-point bending test machine taking into account the characterization of composite materials. Thanks to a functional study (internal and external functional analysis), a kinematic modelling of the system has been carried out. The maximum admissible force has been set at 2500 N and the production speed at 2mm / min. It was therefore possible to dimension the various constituent elements. The comparison of the calculation results with the standards made it possible to choose the constituent elements entering into the realization of the machine; then the definition drawings helping with the design were carried out. An estimate of the cost of the material has been made, which made it possible to acquire the material necessary for the realization. The machine produced has a footprint of 900 x 400 x 300 mm and is powered by an 80W motor.

**Keywords:** composite materials, trial flexion, data acquisition

## Table des matières

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS .....	ii
Avant-propos .....	iii
RESUME.....	iv
ABSTRACT .....	v
Table des matières.....	vi
Liste des figures .....	x
Liste des tableaux .....	xii
Liste des abréviations .....	xiii
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	14
CONTEXTE.....	14
PROBLÉMATIQUE .....	14
OBJECTIF.....	14
PLAN DU MÉMOIRE.....	15
Chapitre 1: GENERALITES SUR LA THEMATIQUE .....	16
1.1. Généralités sur les matériaux composites.....	17
1.1.1. Définition .....	17
1.1.2. Description et constitution .....	18
1.1.3. Classification des composites.....	18
1.1.4. Propriétés.....	20
1.1.5. Procédé de mise en forme des matériaux composites .....	21
1.2. Généralités sur les essais mécaniques .....	22
1.2.1. Définition .....	22

1.2.2.	Facteurs dont dépendent les essais mécaniques .....	22
1.2.3.	Quelques essais mécaniques courants .....	23
1.3.	Essai de flexion : essai de flexion trois points .....	32
1.3.1.	Définition .....	32
1.3.2.	Protocole expérimental.....	33
1.4.	Les techniques de mesure des champs cinématiques .....	35
1.4.1.	Techniques traditionnelles de mesure des champs 1D.....	35
1.4.2.	Techniques de mesure des champs 2D.....	36
Chapitre 2:	REVUE DE LA LITTERATURE.....	39
2.1.	Introduction .....	40
2.2.	Problématique.....	40
2.3.	Quelques machines d'essais de flexion 3 points .....	40
2.3.1.	Constitution générale d'un système d'essai de flexion trois points .....	41
2.3.2.	Machines traditionnelles d'essai de flexion .....	42
2.3.3.	Quelques équipements de technologie de pointe .....	43
2.4.	Etude comparative des différents modèles de machine.....	45
Chapitre 3:	ETUDE DE CONCEPTION DE LA MACHINE D'ESSAI DE FLEXION TROIS POINTS AVEC ACQUISITEUR DE DONNEES .....	47
3.1.	Méthodologie de conception .....	48
3.2.	Description du système.....	48
3.3.	Analyse fonctionnelle externe .....	49
3.3.1.	Analyse du besoin .....	49
3.3.2.	Analyse fonctionnelle du besoin .....	50
3.3.3.	Hierarchisation des fonctions .....	54
3.4.	Analyse fonctionnelle interne.....	56

3.4.1.	Analyse fonctionnelle technique : méthode FAST .....	56
3.4.2.	Analyse fonctionnelle technique : outil SADT .....	58
3.5.	Choix de la solution.....	60
3.5.1.	Schéma cinématique.....	61
3.5.2.	Description du fonctionnement .....	62
Chapitre 4:	DIMENSIONNEMENT DES ELEMENT DU SYSTEME.....	63
4.1.	Méthodologie de dimensionnement.....	64
4.2.	Hypothèse de dimensionnement.....	64
4.3.	Choix du moteur .....	64
4.4.	Dimensionnement du système vis-écrou .....	65
4.5.	Dimensionnement de la clavette.....	68
4.6.	Choix des roulements .....	69
4.7.	Dimensionnement de la transmission .....	69
4.8.	Choix du capteur force et de l'extensomètre .....	70
4.9.	Dessin d'ensemble et de définition.....	70
Chapitre 5:	ETUDE DE FABRICATION.....	71
5.1.	Analyse de fabrication .....	72
5.1.1.	Dessin de définition.....	73
5.1.2.	Dessin de fabrication.....	74
5.1.3.	Graphes de liaison fonctionnel.....	75
5.2.	REALISATION DU PROTOTYPE.....	86
5.2.1.	Étapes de fabrication .....	86
5.2.2.	Presentation du prototype.....	86
5.3.	NOTICES D'UTILISATION ET DE MAINTENANCE .....	87
5.3.1.	Notice d'utilisation.....	87

5.3.2. Maintenance .....	88
5.3.3. Description des modes de défaillances possibles .....	89
5.4. ESTIMATION DU COUT DE LA MATIERE D'ŒUVRE .....	91
CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES .....	93
RÉFÉRENCES .....	94
ANNEXES .....	96
A Choix du moteur .....	96
B Choix de la clavette .....	97
C Choix des roulements .....	98

## Liste des figures

Figure 1.1: composition d'un matériau composite [3].....	17
Figure 1.2: exemple de matériau composite [6].....	18
Figure 1.3: constituants d'un matériau composite [7] .....	18
Figure 1.4: exemple de représentation schématique d'un composite de type particules-matrice, fibres courtes-matrice et fibres continues-matrice [8].....	19
Figure 1.5: différentes familles de matrices [9] .....	19
Figure 1.6: différentes familles de renforts [9] .....	20
Figure 1.7: les différents essais de dureté [6].....	23
Figure 1.8: principes des essais de dureté Brinell, Vickers et Rockwell [4].....	24
Figure 1.9: éprouvette de traction d'un (a) matériau métallique, (b) matériau polymère ou composite [4].....	25
Figure 1.10: éprouvette en cours d'essai [12] .....	25
Figure 1.11: courbe typique de traction (Matériau ductile) avec grandeurs fondamentales de l'essai [4] .....	26
Figure 1.12: éprouvette en cours d'essai (a) essai normal, (b) essai avec observation d'un flambage [14] .....	27
Figure 1.13 : modélisation d'une éprouvette sollicitée au cisaillement.[17]. .....	28
Figure 1.14 : moments des actions extérieures appliquées à la poutre [17].....	28
Figure 1.15: le mouton de Charpy, appui de l'éprouvette en vue de dessus [4].....	29
Figure 1.16: caractéristiques dimensionnelles des éprouvettes de résilience [14].....	29
Figure 1.17: schématisation s'un essai de flexion trois points [19].....	31
Figure 1.18: schématisation d'un essai de flexion quatre points [19].....	31
Figure 1.19:dimensions de l'éprouvette de l'essai de flexion [19]. .....	33
Figure 1.20: dispositif expérimental traditionnel d'essai de flexion [19].....	34
Figure 1.21: (a) principe de fonctionnement d'une jauge de déformation, (b) jauge collée sur une éprouvette [10]. .....	35
Figure 1.22:Extensomètre diamétral et longitudinal sur une éprouvette de traction [10].....	36
Figure 1.23:franges isochrome et isocline d'une expérience de photoélasticimétrie [22].....	37
Figure 2.1: matérialisation de différents montages d'essai de flexion .....	41
Figure 2.2: dispositif WP100 d'essai de flexion.....	42

Figure 2.3: dispositif deltalab de réalisation traditionnelle de l'essai de flexion trois points.....	43
Figure 2.4: Machine automatique de réalisation de l'essai de flexion trois points.....	44
Figure 2.5: Machine INSTRON de technologie de pointe pour l'essai de flexion trois points.....	45
Figure 3.1: Etapes de la méthodologie de conception.....	48
Figure 3.2: Schéma du besoin (diagramme Bête à Cornes) .....	50
Figure 3.3: Diagramme Pieuvre .....	51
Figure 3.4: Tri croisé du système .....	54
Figure 3.5: Histogramme, diagramme de PARETO .....	55
Figure 3.6: Diagramme FAST du système.....	57
Figure 3.7: modèle de construction d'un actigramme .....	58
Figure 3.8: Diagramme SADT de niveau A-0 .....	59
Figure 3.9: Diagramme SADT de niveau A0.....	59
Figure 3.10: Schéma cinématique de la machine de flexion à concevoir .....	62
Figure 4.1: méthodologie de dimensionnement. ....	64
Figure 4.2: schéma de nomenclature d'une vis.....	66
Figure 4.3: distribution des efforts sur une vis de profilé. ....	66
Figure 4.4: schématisation d'une clavette montée.....	68
Figure 5.1 : étapes de fabrication .....	86
Figure 5.2: partie moteur du prototype.....	86

## Liste des tableaux

Tableau 1-1: tableau comparatif des essais de flexion trois et quatre points. ....	32
Tableau 1-2: tableau comparatif des différentes techniques d'acquisition. ....	38
Tableau 2-1: tableau comparatif des différentes machines d'essai de flexion. ....	46
Tableau 3-1: tableau d'analyse du besoin. ....	49
Tableau 3-2: caractérisation des fonctions de service. ....	52
Tableau 3-3: Tableau des cumuls. ....	55
Tableau 3-4 : Choix des éléments de solution du système. ....	60
Tableau 4-1: Paramètres géométrie de la vis. ....	68
Tableau 5-1 : les composants et leurs défaillances. ....	89
Tableau 5-2 : Cahier de maintenance. ....	90
Tableau 5-3 : estimation du cout de la matière d'œuvre. ....	91

### Liste des abréviations

RTM	Resine Transfert Molding
BMC	Bulk Molding Compound
SMC	Sheet Moulding Compound
V	Dureté de Vickers
HB	Dureté de Brinell
HR	Dureté de Rockwell
ISO	International Standard Organisation
EN	Normes Européennes
ASTM	American Standard Tests Methods
CEN	Comité Européenne de Normalisation
NF	Norme Française
AFNOR	Association Française de Normalisation
K	Résilience

## **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

### **CONTEXTE**

Les pièces et structures mécaniques, que nous utilisons et manipulons quotidiennement, sont toutes constituées d'une matière donnée, choisie pour sa bonne adaptation à la fonction de l'objet en question et au procédé utilisé pour lui conférer la forme souhaitée. De plus, le choix d'un matériau de construction est très influencé par différentes contraintes, liées à son utilisation. En outre, de plus en plus d'utilisateurs orientent leur choix vers des matériaux écologiques, sains et naturels, disponibles et respectueux de l'environnement, et pour arriver à leurs fins on effectue très souvent des combinaisons de matériaux disponibles dans la nature en vue d'élaborer d'autres types de matériaux : les matériaux composites.

L'utilisation des matériaux nécessite la connaissance de leurs caractéristiques. De ce fait, plusieurs techniques d'essai sont utilisées dont : les essais de traction/compression, les essais de flexion (quatre points, trois points), l'essai de résilience, etc... Dans le cadre de notre étude, nous avons retenu la flexion à trois points parce qu'elle est simplifiée et classique [1]. Les techniques d'acquisitions des données associées incluent : la tomographie optique de cohérence, l'imagerie par résonance magnétique, la tomographie tétra hertz, la tomographie par rayons X [2].

### **PROBLÉMATIQUE**

Force est de constater la non disponibilité d'un outil expérimental efficace, adapté à de tels essais au sein de nos laboratoires dont les techniques d'acquisition des données sont toujours traditionnelles et pas toujours fiables. De ce fait il se pose la problématique de savoir s'il serait possible de mettre sur pied une machine d'essai de flexion trois points utilisant les techniques modernes d'acquisition des données ?

### **OBJECTIF**

L'objectif de ce travail est la mise sur pied d'une machine d'essai de flexion trois points pour les matériaux composites. L'acquisition des données se faisant à l'aide d'un capteur d'effort pour la mesure de l'effort, et l'extensomètre de contact pour la mesure de la déformation. Pour ce faire, en prenant en compte l'effort maximal admissible à notre éprouvette dans le cas des matériaux composites, nous définissons les caractéristiques du moteur. Ce qui nous permet de dimensionner ainsi les éléments de puissance, les éléments critiques et les éléments de

transmission. Le choix des éléments de d'acquisition que sont : le capteur de force et l'extensomètre

## **PLAN DU MÉMOIRE**

Ce document se subdivise en 5 chapitres que sont :

Chapitre 1 : GENERALITES SUR LA THEMATIQUE : nous y présentons les notions sur les matériaux composites, les essais mécaniques et les techniques d'acquisition des données.

Chapitre 2 : REVUE DE LA LITTÉRATURE : Il est question pour nous dans cette partie de présenter les différentes technologies de machines d'essai de flexion trois points qui existent dans le monde, en spécifiant leur méthode d'acquisition des données.

Chapitre 3 : ETUDE DE CONCEPTION DE LA MACHINE D'ESSAI DE FLEXION TROIS POINTS AVEC ACQUISITEUR DE DONNEES : il y est décrit de façon non ambiguë le fonctionnement futur du système afin d'en faciliter la réalisation.

Chapitre 4 : DIMENSIONNEMENT DES ELEMENT DU SYSTÈME : dans cette partie nous dimensionnons les pièces du système.

Chapitre 5 : ETUDE DE FABRICATION : on met en évidence les étapes liées à l'analyse de fabrication de notre model, puis on ressort une présentation de la machine fabriquée en décrivant sa notice d'utilisation ; puis s'en suivra méthodologie de maintenance à adopter pour l'équipement et une évaluation des différents coûts liés à l'acquisition de la machine.

## Chapitre 1: GENERALITES SUR LA THEMATIQUE

---

---

Ce chapitre introduit les généralités sur les matériaux composites, les essais mécaniques et les techniques d'acquisition des données afin de faciliter la compréhension de l'ensemble des notions intervenants autour du thème.

---

1.1. Généralités sur les matériaux composites.....	17
1.1.1. Définition .....	17
1.1.2. Description et constitution .....	18
1.1.3. Classification des composites.....	18
1.1.4. Propriétés.....	20
1.1.5. Procédé de mise en forme des matériaux composites .....	21
1.2. Généralités sur les essais mécaniques .....	22
1.2.1. Définition .....	22
1.2.2. Facteurs dont dépendent les essais mécaniques .....	22
1.2.3. Quelques essais mécaniques courants .....	23
1.3. Essai de flexion : essai de flexion trois points.....	32
1.3.1. Définition .....	32
1.3.2. Protocole expérimental.....	33
1.4. Les techniques de mesure des champs cinématiques .....	35
1.4.1. Techniques traditionnelles de mesure des champs 1D.....	35
1.4.2. Techniques de mesure des champs 2D.....	36

---

## 1.1. Généralités sur les matériaux composites

Présent dans quasiment tous les secteurs industriels, les matériaux composites sont largement utilisés de nos jours et leur développement est sans cesse croissant. Depuis leur avènement, ils ont fortement participé au développement technologique grâce à leurs caractéristiques remarquables [3].

Bien qu'il existe plusieurs sortes de matériaux composites (comme par exemple le béton, la boue, le contreplaqué...), ce terme s'adresse plus particulièrement aux pièces plastiques constitués d'une matrice polymère et d'un élément renforçant de type fibreux tel que défini dans la figure ci-dessous [3].

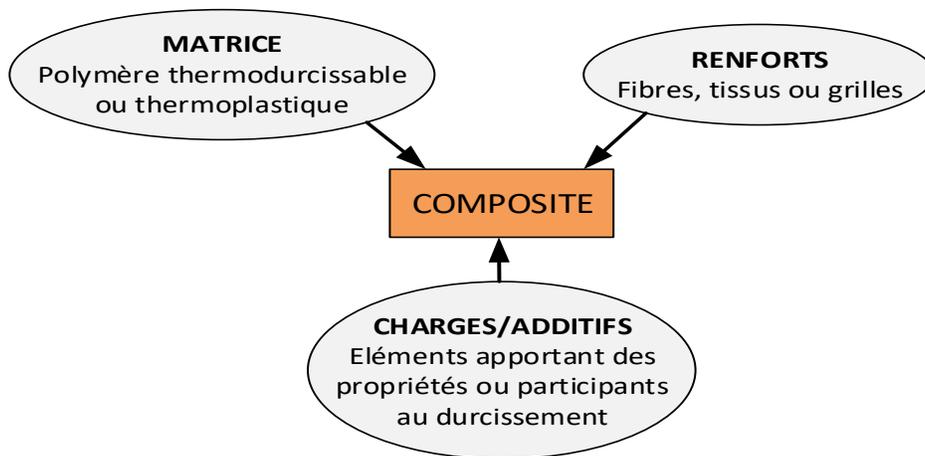


Figure 1.1: composition d'un matériau composite [3]

Une vision plus généralisée pouvant être abordée, nous nous limiterons dans cette partie à apporter une meilleure description des matériaux composites, leurs constitutions, leurs propriétés, leurs structures.

### 1.1.1. Définition

Un matériau composite est un matériau issu de l'association ou encore de l'union de deux ou plusieurs matières différentes, appartenant parfois à deux classes distinctes, pour obtenir une combinaison de propriétés qui tire avantage de chacun. C'est aussi un mélange de deux matériaux (ou plus) de base, distincts à l'échelle macroscopique, ayant des propriétés physiques et mécaniques différentes. Ce mélange est effectué de manière à avoir des propriétés optimales, différentes et en général supérieures à celles de chacun des constituants [4]. Le matériau qui résulte est en pratique homogène macroscopiquement, et ces composants ne peuvent être considérés qu'un seul élément

[5]. Notons aussi que le type d'association des éléments du matériau dépend des contraintes imposées par le concepteur.

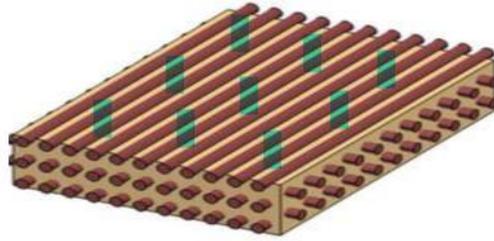


Figure 1.2: exemple de matériau composite [6]

### 1.1.2. Description et constitution

Dans la constitution d'un matériau composite, l'un des composants remplit la fonction de matrice tandis que l'autre, noyé dans le premier joue le rôle de renfort, et optionnellement nous pourrions avoir des charges et additifs.

- Le renfort encore appelé **fibres**, apportent la tenue mécanique et supportent les sollicitations. Le renfort est généralement imbibé d'une couche interface qui permet d'assurer la compatibilité entre celui-ci et la matrice.
- La matrice est un **liant** qui assure la cohésion de la structure, protège les fibres et transmet également les sollicitations aux fibres.
- Les **charges** et **additifs** améliorent les caractéristiques du matériau. Les charges abaissent souvent le coût de la matière (effet de dilution) [4].

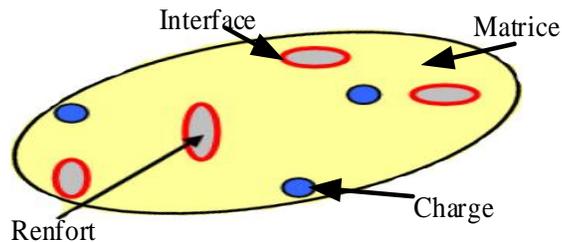


Figure 1.3: constituants d'un matériau composite [7]

### 1.1.3. Classification des composites

Différentes représentations des composites sont possibles. Ainsi, on classe les matériaux composites selon la nature, la forme et la disposition des éléments constitutifs (matrice et renfort).

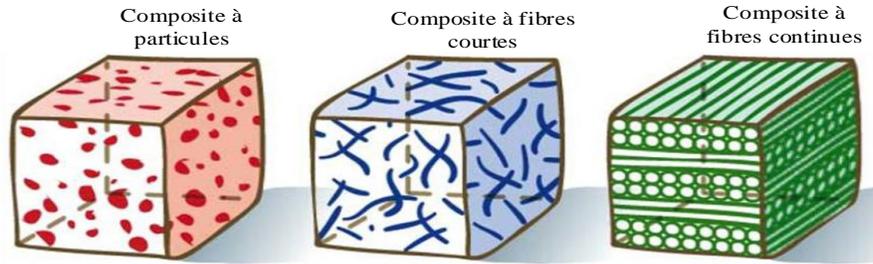


Figure 1.4: exemple de représentation schématique d'un composite de type particules-matrice, fibres courtes-matrice et fibres continues-matrice [8].

#### a. Classification des matrices

La matrice (aussi dite liant) a pour rôle de lier les fibres renforts, de les protéger contre les agressions extérieures [3], de répartir les contraintes encaissées, apporter la tenue chimique de la structure et donner la forme désirée au produit. Elle doit être en outre assez déformable et présenter une certaine compatibilité avec le renfort. Ainsi, pour pouvoir apporter aux matériaux composites des propriétés mécaniques élevées, elle doit posséder des masses volumiques faibles [3]. Dans un grand nombre de cas (voir figure 1.5), la matrice constituant le matériau composite est une résine polymère (matières plastiques). Les résines polymères existent en grand nombre et chacune a un domaine particulier d'utilisation.

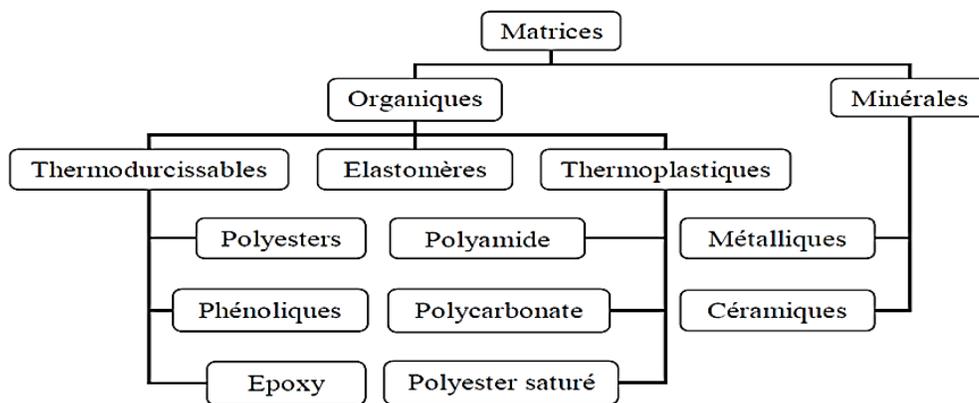


Figure 1.5: différentes familles de matrices [9]

#### b. Classification des renforts

Le renfort est le squelette supportant les efforts mécaniques. Le but des renforts dans les matériaux composites est essentiellement d'accroître leurs propriétés mécaniques (rigidité, résistance à la rupture, dureté, etc.) et d'améliorer des propriétés physiques, tels que les comportements au feu, la tenue en température (conservation des caractéristiques mécaniques à

haute température) ou les propriétés électriques. Outre les propriétés mécaniques élevées qu'ils procurent, les caractéristiques recherchées dans les renforts sont une masse volumique faible, une compatibilité avec les matrices et une facilité de mise en œuvre [3].

En fonction de leur utilisation, les renforts peuvent provenir d'origines diverses : animale, végétale, synthétique, etc. Un grand nombre de fibres sont disponibles sur le marché en fonction des coûts de revient recherchés pour la structure réalisée. Les renforts de fibres ou formes dérivées sont les plus utilisés, et constituent une fraction volumique du matériau composite généralement comprise entre 0,3 et 0,7 [9]. Ils se présentent sous les formes commerciales :

- Sous forme linéique (fils, mèches) ;
- Sous forme de tissus surfaciques (tissus, mats),
- Sous forme multidirectionnelle (tresse, tissus complexes, tissage tri directionnel ou plus).

La classification des types de renforts couramment rencontrés est ainsi indiquée par la figure ci-dessous :

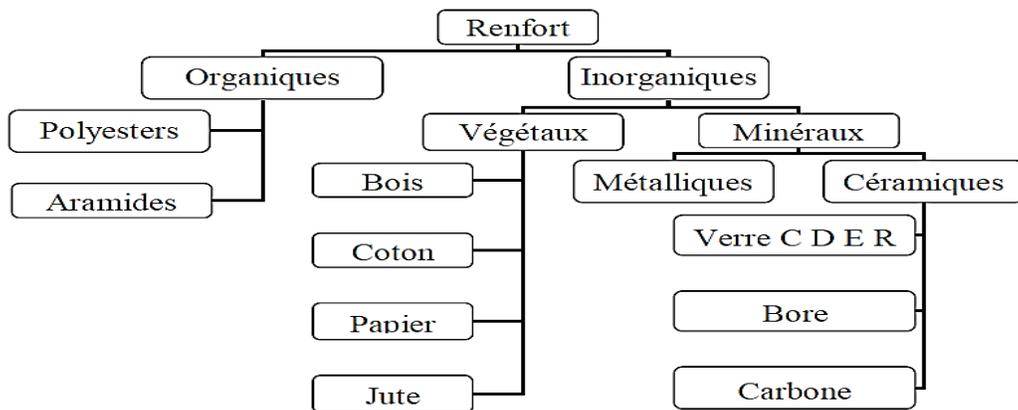


Figure 1.6: différentes familles de renforts [9]

#### 1.1.4. Propriétés

Les matériaux composites, en fonction de leurs constituants, présentent un grand nombre d'intérêts [3]. Schématiquement, les propriétés physiques et mécaniques d'un matériau composite dépendent essentiellement :

- Des propriétés des constituants élémentaires (nature de la matrice, nature du renfort) ;
- De la distribution géométrique des renforts ; par exemple s'ils sont constitués de fibres, de leur orientation ;

- Des interactions éventuelles entre les constituants : qualité de l'adhésion entre la matrice et les renforts [9].

Les éléments ainsi sélectionnés (certains étant multifonctions) permettront d'améliorer les propriétés du matériau. Les matériaux composites disposent donc d'éventualités importantes par rapport aux matériaux traditionnels. Ils possèdent de nombreux avantages fonctionnels : légèreté, résistance mécanique et chimique, maintenance réduite et liberté de forme. Ils permettent d'augmenter la durée de vie de certains équipements grâce à leurs propriétés mécaniques et chimiques. Ils offrent une meilleure isolation thermique ou phonique, et pour certains d'entre eux, une bonne isolation électrique [10].

### **1.1.5. Procédé de mise en forme des matériaux composites**

Les techniques de fabrication jouent un rôle considérable dans les composites car chacune des opérations influe de manière irréversible sur le produit final. De nombreuses méthodes de fabrication ont été développées pour répondre aux besoins, et leurs choix dépend surtout des caractéristiques mécaniques dérivées et de la géométrie du produit [7]. On observe ainsi deux technologies principales pour la mise en œuvre des matériaux composites :

#### a. La technologie dite à moule ouverte

Dans cette catégorie, on retrouve :

- Le moulage au contact, procédé entièrement manuel permet la réalisation de pièces de toutes dimensions aux formes simples ou complexes. Il consiste à imprégner manuellement des renforts disposés dans un moule préalablement enduit d'un agent démoulant et recouvert d'une couche de surface appelé gelcoat.
- Le moulage par projection simultanée, procédé semi-mécanisé qui permet la réalisation de pièces de grandes dimensions aux formes simples ou complexes. Il est effectué par projection simultanée de fibres coupées et résine catalysée sur un moule.

#### b. La technologie dite à moule fermé

Ici, on retrouve généralement :

- Le moulage sous vide, il s'effectue en utilisant un moule ouvert sur lequel on dispose les couches de renfort imprégné.

- Le moulage par injection basse pression de résine (RTM : Résine Transfert Molding) s'effectue entre moule et contre-moule rigides.
- Le moulage à froid, le moulage par injection thermodurcissable (BMC : Bulk Molding Compound), il est réalisé entre moule et contre moule chauffé à température entre 140 à 170°C sous une pression de 50 à 100 bars. Le compound : c'est de la résine, du fibre coupé et de la charge
- Le moulage par injection de mat pré imprégné (SMC : Sheet Moulding Compound), il consiste à déposer des feuilles de pré imprégnés dans un contre moule chauffé, de comprimer le matériau avec un moule chauffé, polymérisation puis éjection de la pièce.
- Le moulage par enroulement filamentaire, Le principe consiste en un enroulement sous tension sur un mandrin tournant autour de son axe de fibres continues préalablement imprégnées d'un liant.

## **1.2. Généralités sur les essais mécaniques**

La mise en forme et l'utilisation d'un matériau pour la réalisation de diverses structures requièrent la connaissance de ses propriétés et de son comportement mécanique par l'ingénieur mécanicien. Ces propriétés et ce comportement sont déterminés par les essais mécaniques.

### **1.2.1. Définition**

Les essais mécaniques sont des expériences dont le but est de caractériser les lois de comportement des matériaux (mécanique des milieux continus).

La loi de comportement établit une relation entre les contraintes (pression = force/surface) et les déformations (allongement unitaire adimensionnel) [4].

### **1.2.2. Facteurs dont dépendent les essais mécaniques**

Les essais mécaniques reproduisent les conditions d'emploi d'un matériau sous une forme simplifiée et normalisée ; les résultats obtenus aident donc à la mise au point de matériaux nouveaux et d'applications plus vastes. Les déformations induites dans un matériau lors des essais mécaniques dépendent donc de la géométrie du matériau (ou de la pièce) et de la manière dont les efforts extérieurs y sont appliqués. Il faut donc normaliser les essais. Des normes définissent ainsi :

- La forme de la pièce d'essai dont on teste le matériau, on parle alors d'éprouvette normalisée ;

- Comment sont exercés les efforts sur l'éprouvette, on parle alors d'essai normalisé. [4]

### 1.2.3. Quelques essais mécaniques courants

#### a. Essai d'indentation

L'usinabilité d'un matériau et sa résistance aux rayures et/ou à la pénétration sont déterminées par sa « dureté ». Les essais d'indentation évaluent la "dureté" du matériau en mesurant la pression de contact pendant l'enfoncement d'un indenteur (pyramidal, conique ou sphérique). La dureté est calculée soit après l'essai, par mesure de la surface de l'empreinte ; soit pendant l'essai, par mesure de l'enfoncement de l'indenteur ; dans les deux cas en fonction de la charge appliquée [10].

#### Définition

La dureté, de symbole général H, caractérise la résistance qu'oppose le matériau à la pénétration d'un autre corps plus dur que lui. Ainsi, pour des conditions expérimentales données, la dureté du matériau sera d'autant plus grande que la pénétration du corps sera faible [11].

#### Typologie

Facile à mettre en œuvre, les essais de dureté sont d'une interprétation délicate et ne permettent pas d'accéder directement aux paramètres de la loi de comportement d'un matériau mais nécessitent cependant une analyse inverse. En fonction de la nature des matériaux la dureté prend différentes appellations

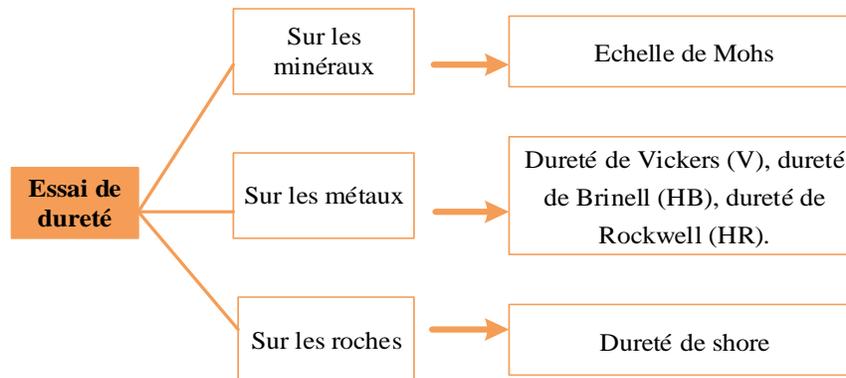


Figure 1.7: les différents essais de dureté [6]

#### Normes [12]

Différentes normes Internationales (ISO) et européennes (CEN), et Américaines (ASTM) régissent cet essai, parmi lesquels :

Internationales (ISO) et européennes (CEN)

- EN ISO 2039-2 : Plastiques -Détermination de la dureté -Partie 2 : dureté Rockwell.
- EN ISO 6506-1 : Matériaux métalliques : essai de dureté Brinell - Partie 1 : méthode d'essai.
- EN ISO 6507-1 : Matériaux métalliques - Essai de dureté Vickers - Partie 1 : méthode d'essai.
- EN ISO 6508-1 : Matériaux métalliques : essai de dureté Rockwell - Partie 1 : méthode d'essai (échelles A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T).

Américaines

- ASTM E10: Standard method for Brinell hardness of metallic materials.
- ASTM E18: Standard methods for Rockwell hardness and Rockwell superficial hardness of metallic materials.
- ASTM E140: Standard hardness conversion tables for metal.

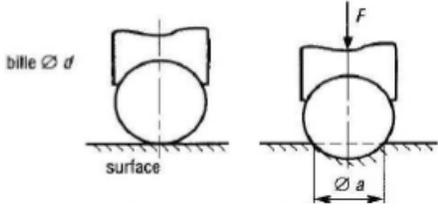
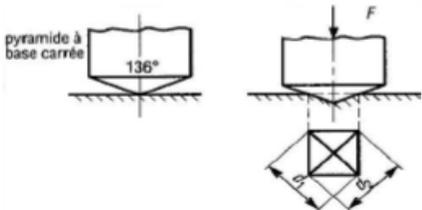
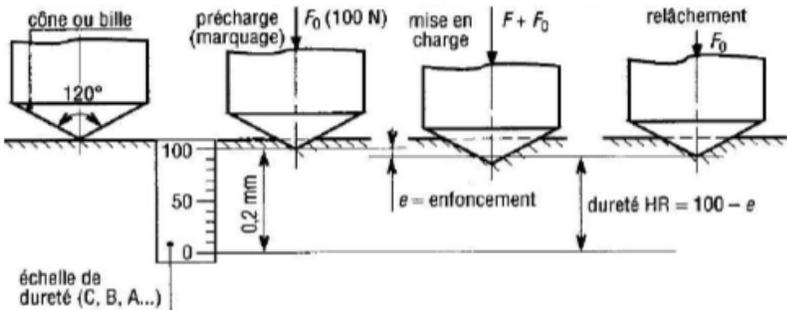
Principaux essais de dureté		
Essai	Symbole	Principe et conduite de l'essai
Brinell	HB	 <p>bille <math>\varnothing d</math> surface <math>\varnothing a</math></p> $HB = \frac{0,102 \cdot F}{S}$ $S = \frac{\pi d}{2} (d - \sqrt{d^2 - a^2})$ <p>(F en N, a et d en mm)</p>
Vickers	HV	 <p>pyramide à base carrée 136° F d1 d2</p> $HV = 0,189 \frac{F}{d^2}$ $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$ <p>(F en N, d1 et d2 en mm)</p>
Rockwell	HR (HRC, HRB...)	 <p>cône ou bille 120° précharge (marquage) <math>F_0</math> (100 N) mise en charge <math>F + F_0</math> relâchement <math>F_0</math> 100 50 0,2 mm 0 e = enfoncement dureté HR = 100 - e échelle de dureté (C, B, A...)</p>

Figure 1.8: principes des essais de dureté Brinell, Vickers et Rockwell [4].

b. Essai de traction unidirectionnel

L'essai de traction est le moyen le plus couramment employé pour caractériser le comportement mécanique d'un matériau sous une sollicitation progressive. Il s'agit d'une expérience qui permet de mesurer le degré de résistance à la rupture d'un matériau.

Il consiste à exercer sur une éprouvette normalisée (forme et dimensions selon le type de matériau), cylindrique ou parallélépipédique (plate) deux forces égales et opposées qui vont la déformer progressivement puis la rompre [12]. En effet, l'éprouvette à étudier est placée entre les mâchoires d'une machine de traction qui tire sur cette éprouvette à vitesse constante jusqu'à sa rupture. On enregistre ainsi l'allongement et la force appliquée, que l'on convertit ensuite en déformation et contrainte.

**Eprouvettes**

Les éprouvettes de l'essai de traction uniaxiale ordinaires sont de forme généralement cylindrique ou plate, elles sont soigneusement polies et calibrées. La longueur de la partie calibrée  $L_0$  doit être proportionnelle à la section selon l'expression empirique suivante [13] :

$$L_0 = 5,65 \times \sqrt{S_0}$$

Avec ( $D_0=20$  mm,  $L_0=100$  mm), ou ( $D_0=10$  mm,  $L_0=50$  mm) ;  $D_0$  étant le diamètre initial ;  $L_0$  la longueur initiale et  $S_0$  la section initiale.

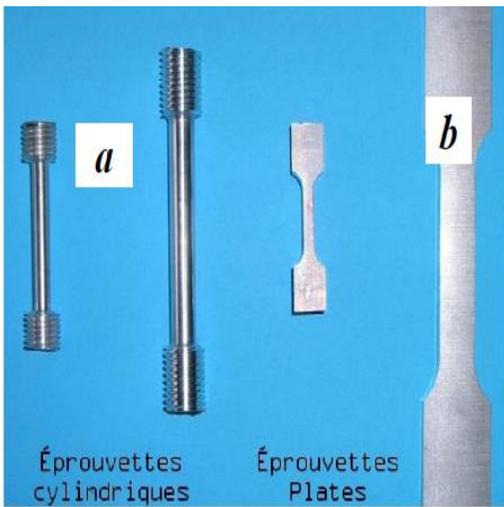


Figure 1.9: éprouvette de traction d'un (a) matériau métallique, (b) matériau polymère ou composite [4]

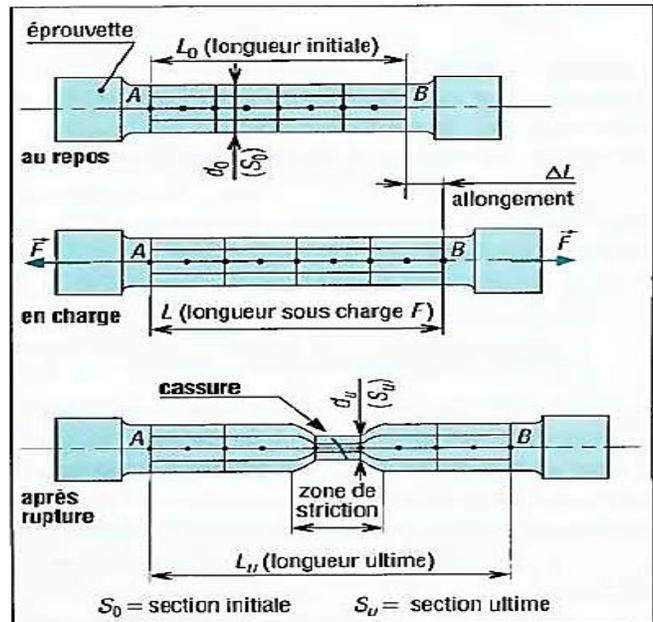


Figure 1.10: éprouvette en cours d'essai [12]

## Grandeurs mesurées

Cet essai permet de tracer une courbe dite de traction à partir de laquelle les caractéristiques suivantes peuvent être déduites :

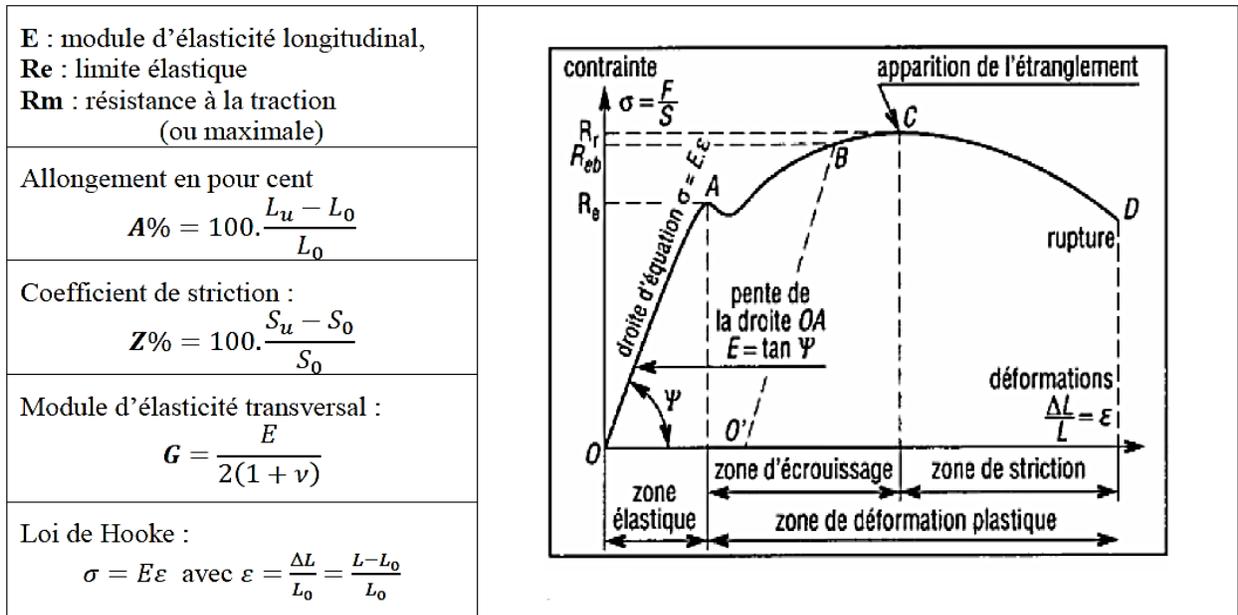


Figure 1.11: courbe typique de traction (Matériau ductile) avec grandeurs fondamentales de l'essai [4]

## Normes [13]

### Française (AFNOR)

- NF B51-010 : Bois - Essai de traction perpendiculaire aux fibres.
- NF B51-017 : Bois – Traction parallèle aux fibres -Détermination de la résistance à la rupture en traction parallèle au fil du bois de petites éprouvettes sans défaut.
- NF B51-018 : Bois – Traction parallèle aux fibres -Détermination du module d'élasticité en traction parallèle au fil du bois de petites éprouvettes sans défaut.

### Européennes (CEN)

- EN 10002-1 : Matériaux métalliques - Essai de traction -Partie 1 : méthode d'essai à température ambiante (remplacée par la norme EN ISO 6892-1).
- EN 10002-5 : Matériaux métalliques - Essai de traction -Partie 5 : méthode d'essai à température élevée.

### Internationales (ISO)

- ISO 6892-1 : Matériaux métalliques - Essai de traction à température ambiante.

- ISO 10618 : Fibres de carbone -Détermination des propriétés en traction sur fils imprégnés de résine.
- ISO 527-1 : Plastiques -Détermination des propriétés en traction.

c. Essai de compression uniaxial

L'essai de compression est un essai complémentaire de l'essai de traction, utilisé plus précisément pour la caractérisation de certains matériaux dits fragiles [15] et qui se prêtent mal à l'essai de traction. Il reste cependant, moins intéressant pour la caractérisation d'un matériau ductile, car ne permettant pas d'atteindre la rupture de ce dernier.

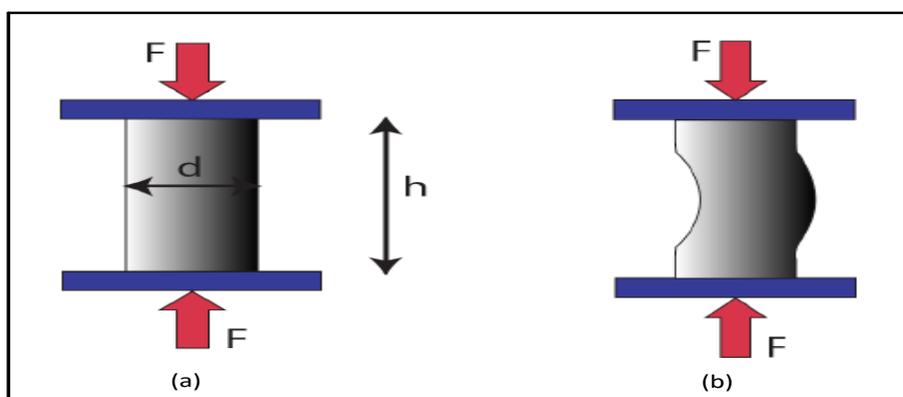


Figure 1.12: éprouvette en cours d'essai (a) essai normal, (b) essai avec observation d'un flambage [14]

**Normes** [13]

Française (AFNOR)

- NF B51-007 : Bois - Essai de compression axiale.

Américaines (ASTM)

- ASTM D143: Standard test methods for small clear specimens of timber.
- ASTM E9: Standard test methods of compression testing of metallic materials at room temperature

Internationale (ISO)

- ISO 604 : Plastiques -Détermination des propriétés en compression

d. Essai de cisaillement

C'est un essai très intéressant pour évaluer les assemblages des éléments de construction. En effet, l'étude du cisaillement ressemble à celle de la traction (formules analogues, etc ) [16]. Il y a

**cisaillement** lorsqu'une pièce est sollicitée par deux forces égales, de même droite d'action mais de sens contraires qui tendent à faire **glisser** l'une sur l'autre les deux parties de la pièce (voir figure 1.13 ci-dessous)

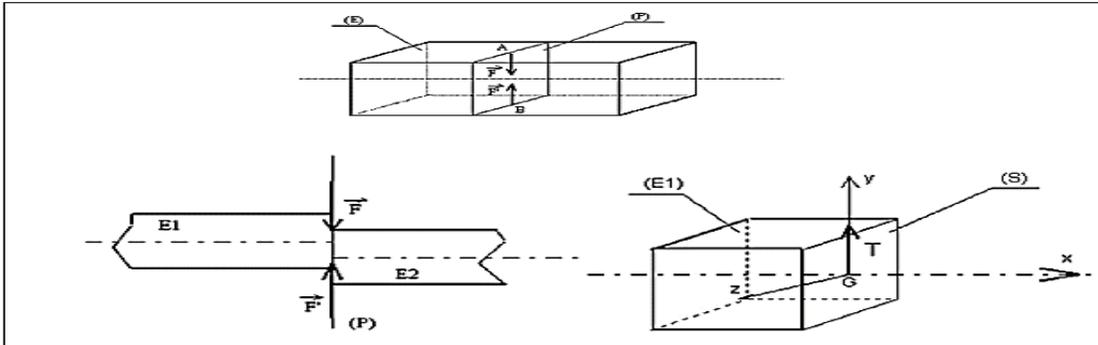


Figure 1.13 : modélisation d'une éprouvette sollicitée au cisaillement.[17].

#### e. Essai de torsion

L'essai de torsion est l'un des essais les plus stables pour atteindre de très grandes déformations plastiques sans localisation de la déformation. La torsion peut être conduite dans des conditions d'extrémités libres ou fixes. Dans les deux cas des effets axiaux surgissent : en extrémités fixes des contraintes axiales apparaissent, tandis qu'en extrémités libres, il y a changement de longueur.

Une poutre est sollicitée à la torsion simple si elle est soumise à deux couples de moments opposés portés par la ligne moyenne. La poutre est supposée à section circulaire constante et de poids négligé [17]

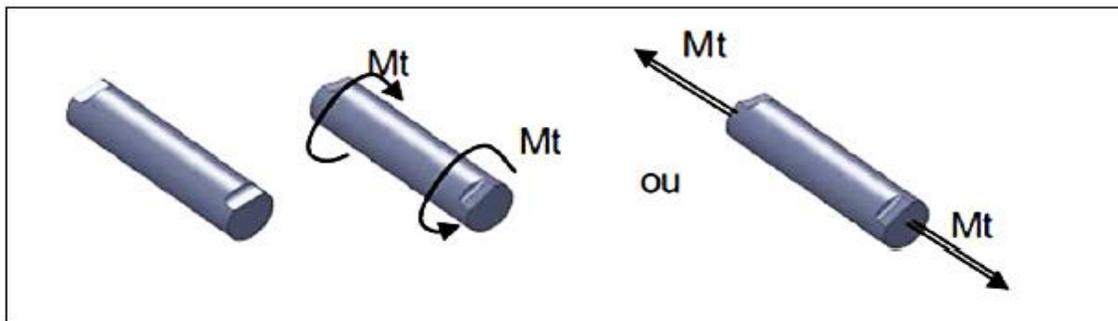


Figure 1.14 : moments des actions extérieures appliquées à la poutre [17]

#### f. Essai de résilience

La résilience, de symbole général K, caractérise la capacité d'un matériau à absorber les chocs sans se rompre autrement dit, c'est la propriété d'un matériau à résister aux chocs [12].

Elle est réalisée sur des machines de types Charpy et Izod. On observe donc principalement deux formes d'essai connues que sont :

- Essai de flexion par choc sur éprouvette entaillée Charpy (voir figure 1.15) ;
- Essai de flexion par choc Izod.

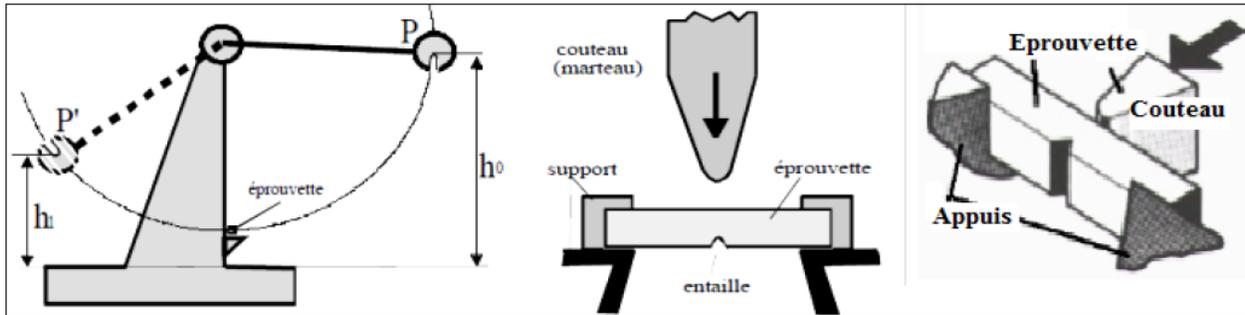


Figure 1.15: le mouton de Charpy, appui de l'éprouvette en vue de dessus [4].

### Eprouvette

On distingue généralement deux types d'éprouvettes (voir figure 1.16) :

- Eprouvette à entaille en U ;
- Eprouvette à entaille en V.

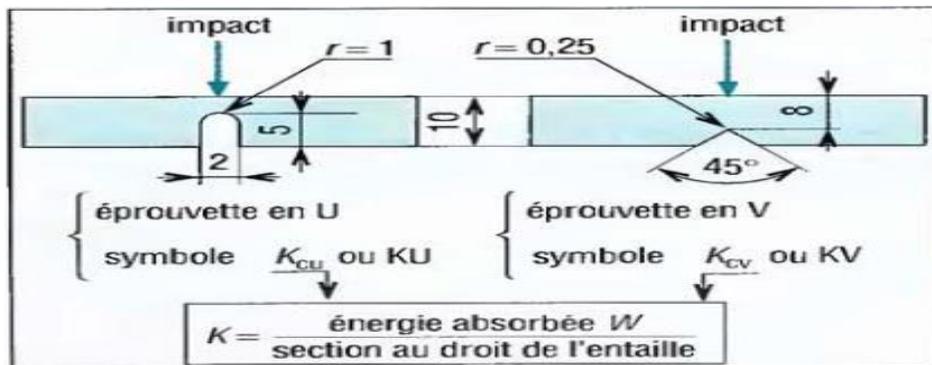


Figure 1.16: caractéristiques dimensionnelles des éprouvettes de résilience [14]

### Normes [13]

#### Américaine

- ASTM E23: Standard test methods for notched bar impact testing of metallic materials.

#### Européennes

- EN 10045-1 : Matériaux métalliques - Essai de flexion par choc sur éprouvette Charpy - Partie 1 : méthode d'essai.

- EN 10045-2 : Matériaux métalliques - Essai de flexion par choc sur éprouvette Charpy - Partie 2 : vérification de la machine d'essai (mouton pendule).

#### g. Essai de fatigue

L'expérience montre que la seule connaissance de la manière dont résiste une structure pour une sollicitation appliquée une seule fois ou pour un choc ne suffit pas à dimensionner cette structure lors de chargements répétés d'où l'intérêt de l'essai de fatigue. Le comportement en fatigue des matériaux est donc une donnée importante pour le mécanicien.

#### h. Essai de flexion

### **Intérêt**

En mécanique, pour tester la résistance en flexion d'une poutre, on utilise généralement des essais de flexion [15]. Ce sont des essais faciles à mettre à mettre en œuvre, et souvent utilisés pour la caractérisation des matériaux fragiles qui se prêtent mal à l'essai de traction directe. Ces essais permettent également :

- La détermination du module de Young de différents matériaux (acier, aluminium, cuivre) ;
- La détermination des flèches des poutres droites, isostatiques et hyperstatiques, de sections droites constantes sous différents modes de fixation ;
- La vérification du principe de superposition ;
- La vérification du théorème de réciprocité des travaux et déplacements virtuels [18].

### **Définition**

La flexion est l'état d'un matériau soumis à des forces appliquées perpendiculairement à sa longueur. Il y apparaît alors deux types de contraintes :

- D'une part les contraintes de compression, dans la partie au-dessus de la fibre neutre ;
- D'autre part les contraintes de traction dans la partie inférieure à ladite fibre.

Cette fibre neutre (ou n'apparaît donc ni compression, ni traction), est la ligne qui passent par le centre de gravité de chaque section droite du corps.

### **Typologie**

On peut identifier plusieurs types de flexion notamment la flexion pure, la flexion simple, la flexion composée, la flexion déviée. Expérimentalement pour matérialiser certaines de ses types de flexion en vue de tester un matériau, on utilise très souvent la flexion dite "trois points" soit "quatre points".

## Principe

Il s'agit de soumettre une éprouvette (du matériau à tester), reposant sur deux appuis simples à l'action de charges croissantes, agissant perpendiculairement à sa longueur et à vitesse constante. Sous l'action de ses forces, l'éprouvette tend à se déformer par un fléchissement de la ligne moyenne [15] jusqu'à la rupture de celle-ci. Ainsi, nous aurons, dans le cas :

- De la flexion trois points, nous aurons, une éprouvette sur deux appuis simples avec une charge qui s'applique à égale distance des deux appuis ;
- De la flexion quatre points, nous avons, une éprouvette sur deux appuis simples avec deux charges équidistantes chacune par rapport à un appui.

Les figures ci-dessus matérialisent de façon simples les deux essais.

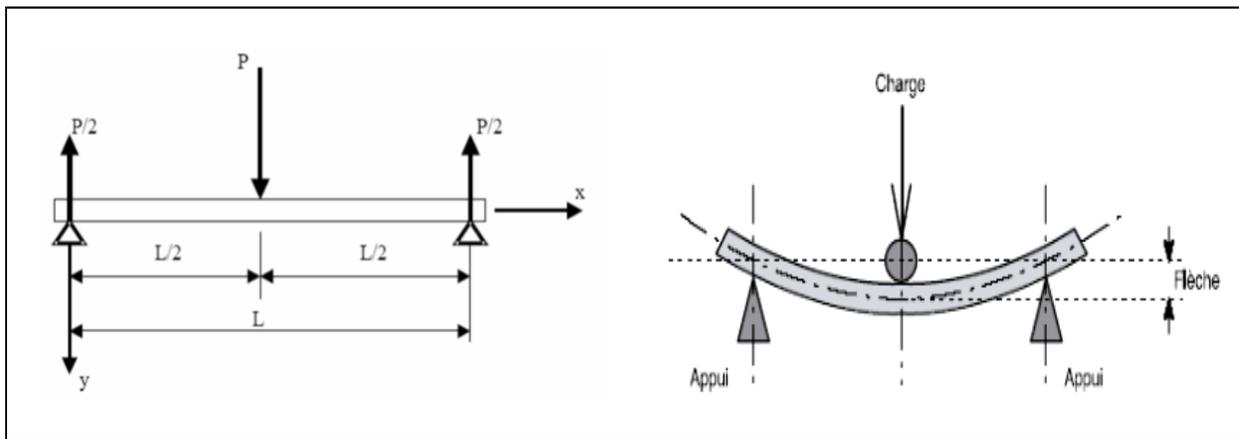


Figure 1.17: schématisation s'un essai de flexion trois points [19].

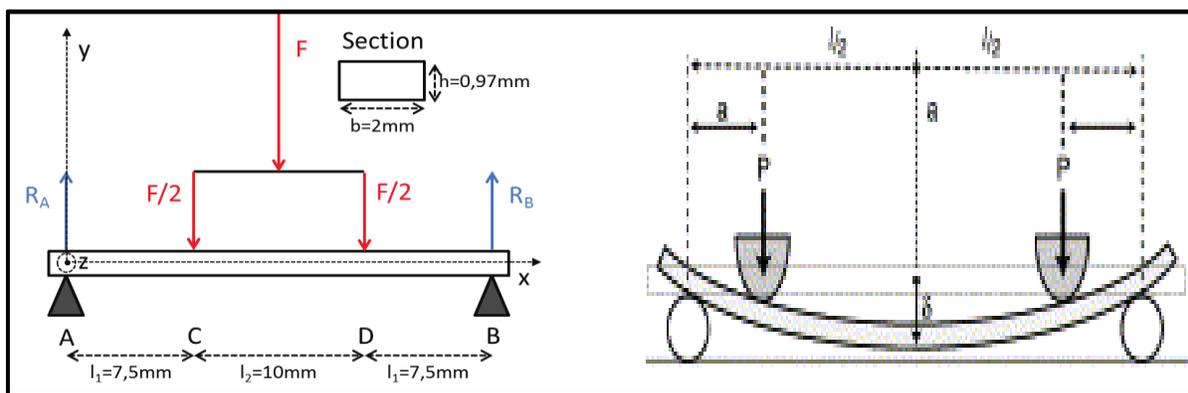


Figure 1.18: schématisation d'un essai de flexion quatre points [19]

On ressort ainsi le tableau comparatif des deux essais :

Tableau 1-1: tableau comparatif des essais de flexion trois et quatre points.

Essais de flexion	Avantages	Limites
<b>Flexion trois points</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adapté pour la caractérisation des matériaux composites et des matériaux fragiles</li> <li>• Essai très répandu car facile à mettre en œuvre à cause de la simplicité du montage expérimentale</li> <li>• Peut être utilisé pour le contrôle qualité des pièces</li> <li>• Peut être utilisé sur des éprouvettes brutes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne permet pas d'atteindre la rupture des matériaux ductiles</li> </ul>
<b>Flexion quatre points</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adapté pour la caractérisation des matériaux composites et des matériaux fragiles</li> <li>• Peut être utilisé pour le contrôle qualité des pièces</li> <li>• Absence de cisaillement sur la section critique</li> <li>• Peut être utilisé sur des éprouvettes brutes</li> <li>• Meilleure visibilité de la résistance du matériau car les appuis ne se positionnent pas directement sur la zone de rupture</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ne permet pas d'atteindre la rupture des matériaux ductiles</li> </ul>

### 1.3. Essai de flexion : essai de flexion trois points

#### 1.3.1. Définition

La flexion trois points est un essai mécanique classique. Il représente le cas d'une poutre posée sur deux appuis simples (appuis linéaires rectilignes qui, dans un problème plan équivalent à une

liaison ponctuelle) et soumise à une charge concentrée, appliquée au milieu de la poutre avec elle aussi un contact simple. On modélise souvent un des appuis comme un pivot afin d'avoir une poutre qui ne se déplace pas horizontalement.

### 1.3.2. Protocole expérimental

#### Suivant la norme ASTM D790 [20]

- Eprouvette

Les éprouvettes sont :

- 127 mm de longueur ;
- 3,2 mm d'épaisseur ;
- 12,7 mm de largeur.
- La distance entre les deux supports est déterminée en assurant un ratio de 16:1 entre les portées du support et l'épaisseur de l'échantillon. Ce qui fait que la distance entre les deux supports est égale à 52 mm. (Figure 1.25).
- Le test doit être arrêté lorsque l'éprouvette subit une déformation égale à 5% ou l'éprouvette se brise avant que la déformation atteigne 5%.

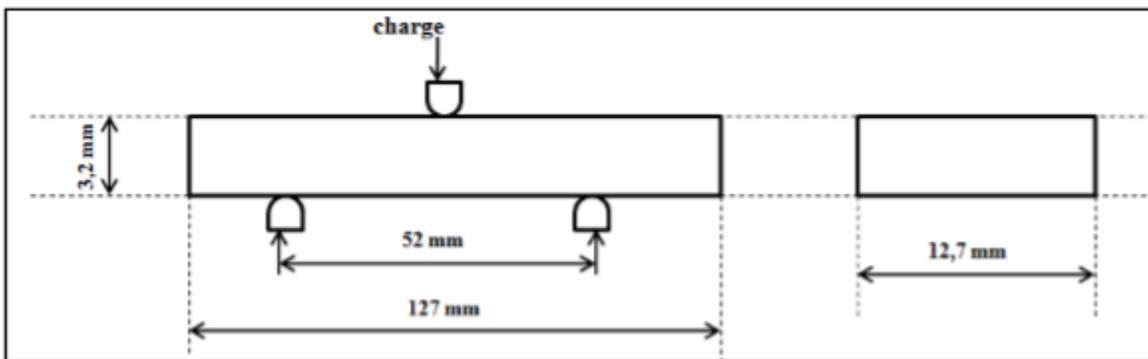


Figure 1.19: dimensions de l'éprouvette de l'essai de flexion [19].

- La machine est réglée à une vitesse calculée avec l'expression suivante :

$$R = \frac{Z_d L^2}{6e}$$

Avec R : vitesse de déformation en mm/min ;

L : la distance entre les deux appuis en mm ;

e : L'épaisseur de l'éprouvette en mm

$Z_d$  : Taux de déformation de la fibre externe, qui est égale à 0,1 mm/mm (Procédure B)

### **Suivant La norme EN 2562 [21]**

- La détermination du module de flexion s'effectue entre 10% et 50%  $F_{max}$  (EN 2562) ;
- Le rapport écartement entre appuis-épaisseur est 16:1 pour les GRFP.

### **Suivant La norme EN 2746 [21]**

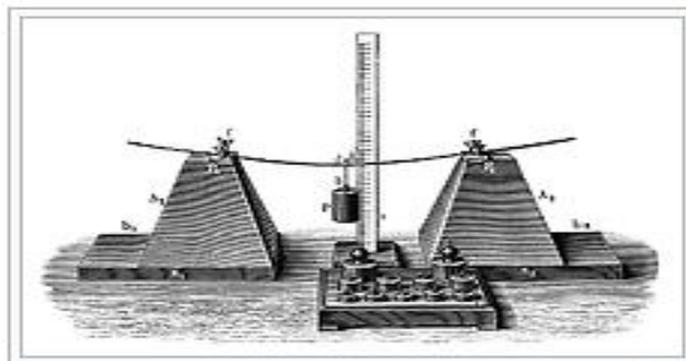
- La détermination du module de flexion s'effectue entre 10 et 25%  $F_{max}$  ;
- Le rapport écartement entre appuis-épaisseur est 16:1 pour les GRFP.

### **Suivant La norme ISO [21]**

- La détermination du module de flexion s'effectue deux limites d'élasticité ;
- Le rapport écartement entre appuis-épaisseur est 20:1 pour les GRFP et 40 :1 pour les CRFP.

### **Exemple de dispositif expérimental**

L'image ci-dessous présente un dispositif expérimental traditionnel permettant de réaliser un essai de flexion trois points sur une poutre.



*Figure 1.20: dispositif expérimental traditionnel d'essai de flexion [19].*

Ce dispositif très simplifié est constitué :

- D'un système permettant de varier la longueur de la poutre testée par des déplacements des appuis ;
- De différentes masses de chargement permettant d'appliquer une force ponctuelle (ayant une intensité donnée) à la poutre ;
- Un régal métallique fixé sur un support, disposé verticalement et au milieu de l'éprouvette afin de permettre la mesure de la flèche.

## 1.4. Les techniques de mesure des champs cinématiques

Il existe actuellement plusieurs méthodes permettant de mesurer des comportements mécaniques. Dans cette partie nous nous limiterons aux techniques de mesure unidirectionnelles et bidirectionnelles du champ de déformation.

### 1.4.1. Techniques traditionnelles de mesure des champs 1D

Les techniques traditionnelles de mesure de champs 1D sont celles qui fournissent des mesures moyennes locales unidirectionnelle à l'échelle macroscopique (quelques mm, voir cm). On distingue ici :

#### a. Les jauges de déformation

Les Jauges de déformation sont un premier type d'extensomètres avec contact. Elles sont des dispositifs traduisant en variation de résistance électrique leur propre déformation, en principe égale à celle de la structure à l'endroit où ils sont collés. Ils permettent typiquement de mesurer des déformations de  $\pm 1\mu\text{m/m}$  [10] La relation qui lie déformation de l'extensomètre et résistance est donnée par :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{K} \frac{\Delta R}{R}$$

Où R est la résistance électrique et K le facteur de jauge, qui dépend très fortement du coefficient de Poisson ( $K = C(1-2\nu) + 1+2\nu$ , où C dépend du matériau -il varie d'environ 2 pour les métaux à plus de 100 pour les semiconducteurs)

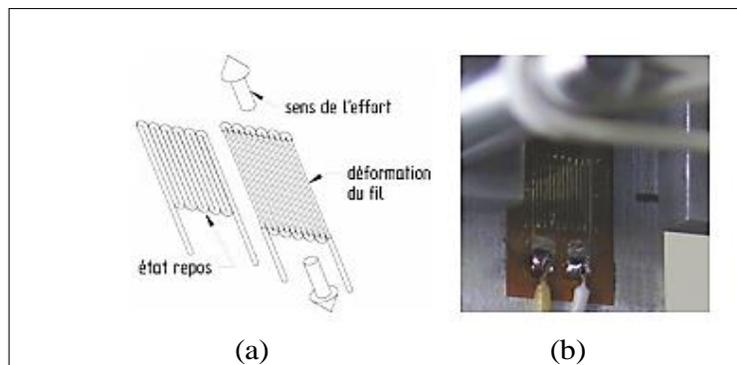


Figure 1.21: (a) principe de fonctionnement d'une jauge de déformation, (b) jauge collée sur une éprouvette [10].

### b. Extensomètre à pinces

Le deuxième type d'extensomètres avec contact sont les extensomètres à pinces. Il en existe deux types :

- Extensomètres à LVDT (Linear variable differential transformer) : la valeur du déplacement est obtenue ici par comparaison des valeurs crêtes de chaque signal. La résolution est de l'ordre de 0,1 % de la plage de mesure qui peut varier de 1 à 100mm environ. On peut donc espérer mesurer des déplacements, dans des conditions optimales, de l'ordre de 1  $\mu$ m. La résolution en déformation est d'environ 0,5%.

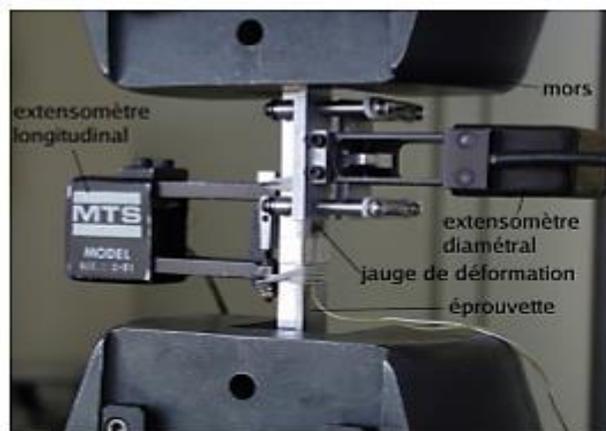


Figure 1.22: Extensomètre diamétral et longitudinal sur une éprouvette de traction [10].

- Le deuxième type d'extensomètre à pince repose sur la mesure de la déflexion d'une barre par des jauges de déformation. Cette barre, située dans le corps de l'extensomètre, fléchit sous le déplacement des couteaux suite à la déformation de l'échantillon.

### 1.4.2. Techniques de mesure des champs 2D

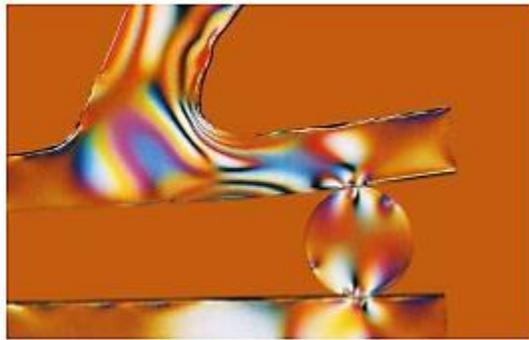
On distingue deux grandes familles de techniques de mesure de champs 2D : les techniques issues des lois de l'optique et les techniques d'analyse d'images.

a. Les techniques issues des lois de l'optique

Parmi les méthodes actuelles, les plus connues sont la photoélasticimétrie et les méthodes interférométriques. Elles nécessitent un montage complexe de systèmes optiques, ce qui les rend plus coûteuses que les techniques d'analyse d'images.

- **La photoélasticimétrie**

La photoélasticimétrie est une technique de champ qui mesure de façon quantitative le niveau et la direction des surfaces étudiées, ayant une taille relativement grande (entre quelques mm<sup>2</sup> et quelques cm<sup>2</sup>).[22]



*Figure 1.23:franges isochrome et isocline d'une expérience de photoélasticimétrie [22].*

- **Méthodes interférométriques** : on distingue ici, l'interférométrie holographique, le Moiré interférométrique et l'interférométrie de Speckle.

b. Les techniques d'analyse d'images

Les techniques d'analyse d'images sont basées sur la comparaison de deux images successivement enregistrées au cours d'une sollicitation mécanique. Le champ de déplacements est déterminé en mesurant le mouvement des marqueurs déposés à la surface de l'objet [23].

c. Comparaison des différentes techniques

Nous ressortons ici un tableau récapitulatif des différentes techniques de mesure des champs cinématiques qui nous guidera vers le choix d'une technique adaptée à notre futur système.

Tableau 1-2: tableau comparatif des différentes techniques d'acquisition.

<b>Techniques</b>	<b>Mesure du champ de déformation</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Jauges de déformation</b>	Unidirectionnelle	-montage aisé ; -tout type de matériaux	-nécessite le contact -unidirectionnelle -se limite au mesure macroscopique
<b>Extensomètres à pinces</b>			
<b>Photoélasticimétrie</b>	Bidirectionnelle	-mesure nanoscopique ; -mesure bidirectionnelle ;	-Couteuse ; -Montage complexe ; -matériau transparents
<b>Méthodes Interférométrie</b>			
<b>Méthode de suivi de marqueur ou grille</b>	Bidirectionnelle	-mesure nanoscopique ; -mesure bidirectionnelle ; -Peu couteuse ;	-peu fiable ; -imprécise ; -préparation de la surface est complexe
<b>Corrélation d'images numériques</b>	Bidirectionnelle	-mesure nanoscopique ; -mesure bidirectionnelle ; -rapide ; -tout type de matériaux	-préparation de la surface

## Chapitre 2: REVUE DE LA LITTERATURE

---

---

Les machines d'essai de flexion sont essentiellement conçues pour tester la résistance à la rupture d'un matériau sous un chargement donné dans des conditions bien établies. Dans le souci d'effectuer un choix judicieux du modèle de la machine à concevoir, il est important de connaître l'existant, à travers un bref recensement des technologies rencontrées dans le domaine.

Il sera donc question pour nous dans cette partie de présenter les différentes technologies de machines d'essai de flexion trois points qui existent dans le monde, en spécifiant leur méthode d'acquisition des données.

---

2.1. Introduction .....	40
2.2. Problématique.....	40
2.3. Quelques machines d'essais de flexion 3 points .....	40
2.3.1. Constitution générale d'un système d'essai de flexion trois points .....	41
2.3.2. Machines traditionnelles d'essai de flexion .....	42
2.3.3. Quelques équipements de technologie de pointe .....	43
2.4. Etude comparative des différents modèles de machine.....	45

---

## **2.1. Introduction**

Du plus traditionnel au plus sophistiqué, on observe de nos jours, avec l'évolution technologique actuelle, une multitude de gammes de machines d'essai de flexion dotées de dispositif d'acquisition des données à la pointe. En effet, les essais sur les matériaux sont utilisés à fins diverses :

- En résistance des matériaux, pour mettre au point de nouveaux matériaux et les caractériser et promouvoir leur utilisation ;
- En industrie, pour effectuer des contrôles qualité sur ligne de fabrication ;

Ou bien encore pour de l'expertise. Un intérêt particulier est donc accordé à la fonction de conception de ces machines qui doivent être aisée de manipulation et assurer l'acquisition de données fiables pour renseigner convenablement l'utilisateur. Tous ces éléments ont conduit les constructeurs à mettre sur pied de machines capables d'assurer automatiquement certaines fonctions, en limitant au mieux la présence d'un opérateur. On observe donc aujourd'hui la présence de machines d'essai de flexion trois points avec acquisition de données numérique et par imagerie.

## **2.2. Problématique**

La problématique ici est pouvoir concevoir une machine d'essai de flexion adapté à notre contexte en respectant les contraintes économiques d'acquisition. La machine à concevoir devra permettre l'acquisition des données exploitables et fiables dans le cadre de la caractérisation des matériaux composites. Pour cela, il serait convenable d'envisager une technologie réduisant au mieux l'intervention humaine afin de limiter les erreurs de manipulation. Or, comme nous le savons tous, il existe de nombreuses machines d'essai de flexion trois points : ce n'est donc pas une conception nouvelle. Cependant, leur accessibilité reste problématique d'où l'importance d'entrevoir une fabrication assez simplifiée d'une telle machine qui pourra être disponible dans notre environnement. Pour la nécessité de connaissance de l'existant serait un avantage.

## **2.3. Quelques machines d'essais de flexion 3 points**

Nous allons dans cette partie donner la constitution générale de machines d'essai de flexion. Ensuite nous allons vous rapporter suivant leur évolution, quelques machines d'essais de flexion trois points en explicitant leur méthode d'acquisition des données.

### 2.3.1. Constitution générale d'un système d'essai de flexion trois points

En fonction des matériaux à tester et des spécifications du constructeurs, on distingue différents modèles de machine utilisés pour la réalisation de l'essai de flexion trois points. Cependant, toutes ces machines présentent une caractéristique commune au niveau du montage dont les éléments constitutifs sont presque toujours les mêmes comme le montre les figures ci-dessous.

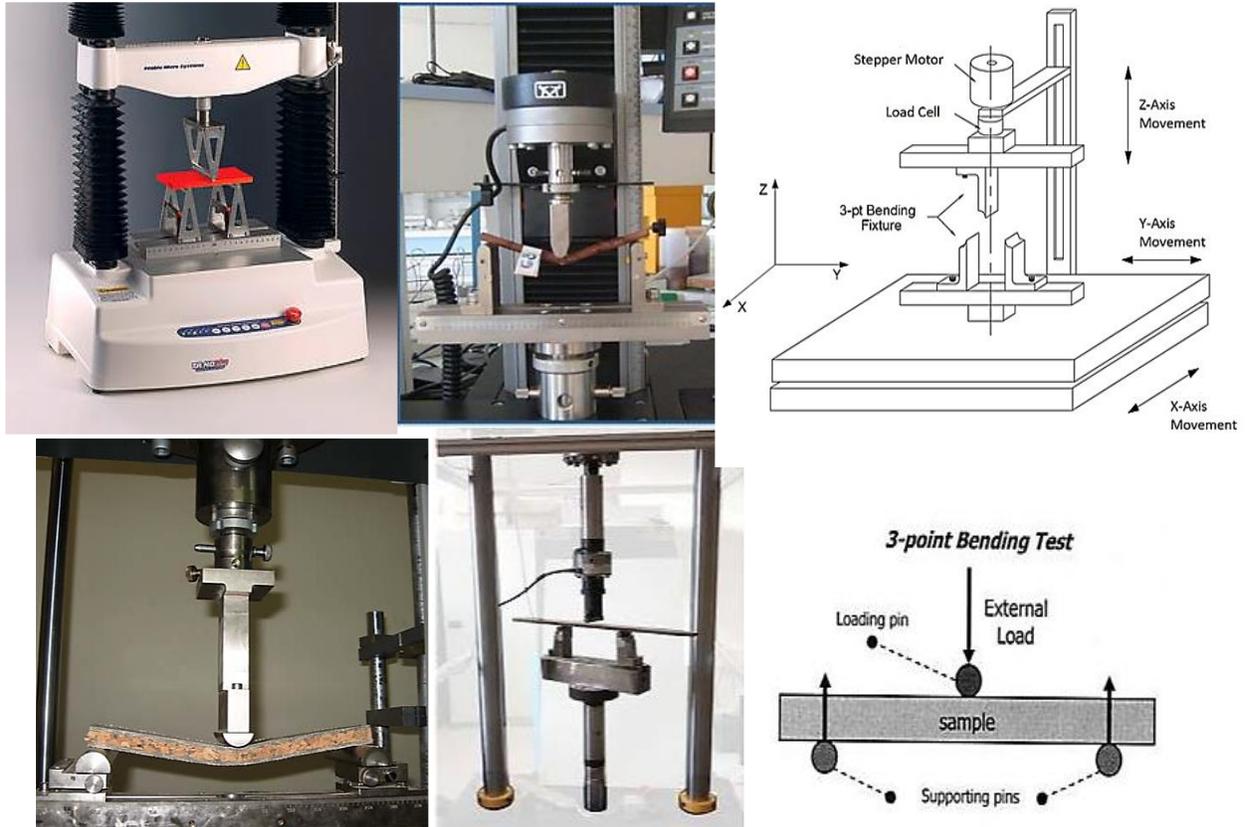


Figure 2.1: matérialisation de différents montages d'essai de flexion [19].

Notons ici qu'en fonction des contraintes de conception, et du model défini, le constructeur choisi une méthode d'acquisition des données bien adaptée à la machine. Cette méthode pourra être soit visuelle (directement liée à l'opérateur), soit numérique (affichage direct sur l'écran) ou encore par imagerie (séquence de photo à analyser).

### 2.3.2. Machines traditionnelles d'essai de flexion

Ce type de mécanisme utilise le système de masse en vue d'exercer des charges croissantes sur l'éprouvette à tester. Elle utilise également les instruments de mesure traditionnelle (comparateur, trusquin, réglet métallique, etc...) pour l'évaluation de l'allongement de l'éprouvette.

#### a. Exemple N°1 : Dispositif WP 100

- Image du dispositif



Figure 2.2: dispositif WP100 d'essai de flexion [19].

- **Description de l'appareillage**

Le dispositif permettant de réaliser un essai de flexion sur une poutre donné est constitué de :

Rail coulissante permettant de varier la longueur de la poutre testée.

- ❖ Deux appuis sortants permettant de fixer les limites de la poutre testée au choix, c'est-à-dire de réaliser des encastremets ou bien des appuis simples ;
- ❖ Différentes masses de chargement permettant d'appliquer une force ponctuelle (ayant une intensité donnée) à la poutre ;
- ❖ Un comparateur permettant de calculer les déplacements ou déflexions de la poutre testée ;
- ❖ Des poutres de différentes longueurs, dimensions et matériaux.

- **Mode opératoire**

Les opérations de configuration du banc pour les essais de flexion sont les suivantes :

- ❖ Mettre en place les deux supports de façon à obtenir une portée de longueur  $L$  souhaitée ;
- ❖ Poser l'éprouvette à tester sur les supports et monter le dispositif de chargement au centre ;
- ❖ Charger avec des poids allant de 0 à 2 Kg et relever la flèche ;
- ❖ Un tour complet de la grande aiguille du déflectomètre correspond à une flèche de 1mm.

b. Exemple N°2 : Dispositif dotalab

- **Image du dispositif**

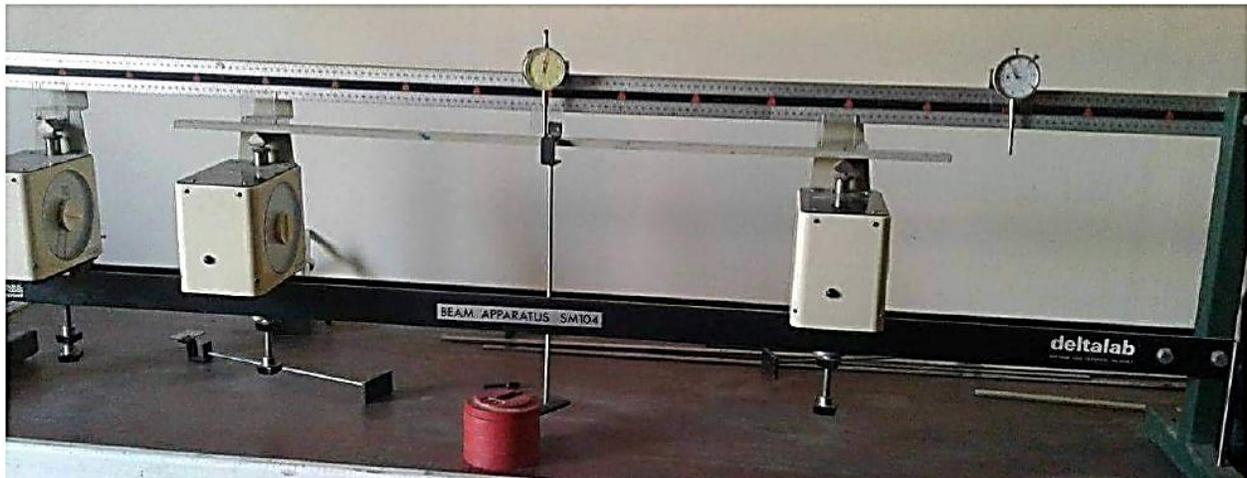


Figure 2.3: dispositif dotalab de réalisation traditionnelle de l'essai de flexion trois points [19].

- **Description et mode opératoire**

Le dispositif est similaire au précédent et dont le principe et le mode de fonctionnement sont également similaires.

### 2.3.3. Quelques équipements de technologie de pointe

Le développement technologique actuel a aussi participé d'une manière très positive à l'amélioration technologique des machines d'essai de flexion, en partant des systèmes traditionnels aux systèmes semi-automatique et enfin aux systèmes totalement automatiques.

a. Description d'un modèle automatique de machine de flexion

Le modèle automatique de la machine de flexion est constitué d'un bâti rigide qui comprend une traverse fixe à laquelle est fixée la base du montage de flexion sur laquelle repose l'éprouvette. La poutre du complément du montage qui va appuyer est fixée à une traverse mobile est mise en mouvement à l'aide du dispositif de commande des mouvements qui permet de contrôler la vitesse de réalisation de l'essai. Les données obtenues sont directement affichées au niveau du micro-ordinateur qui nous permet de lire les résultats.

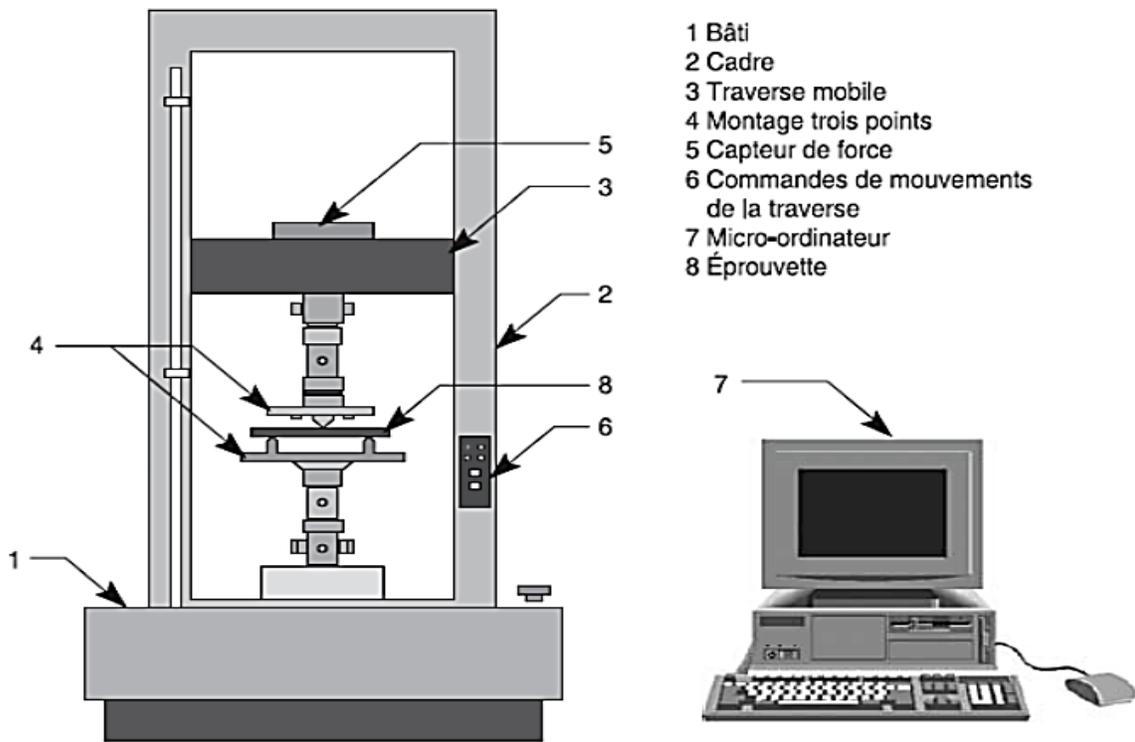


Figure 2.4: Machine automatique de réalisation de l'essai de flexion trois points [14].

b. Machine de technologie de pointe pour l'essai de flexion trois points

Ces machines utilisent la technologie de pointe pour la réalisation rapide de l'essai de flexion trois points. En effet ici, tous les paramètres de l'essai sont entrés dans la machine au niveau de la commande (écran tactile) qui est aussi l'écran d'affichage des résultats.

Une fois les données d'entrées enregistrées, l'opérateur donne l'ordre à la commande de lancer le processus de réalisation de l'essai qui s'effectuera selon les consignes d'entrées. Au fur et à mesure que l'essai se déroule, les résultats sont progressivement transmis au niveau de l'affichage jusqu'à la fin du déroulement du processus. Les données acquises sont enregistrées pour interprétation ; car directement exploitables. Notons ici que la présence d'un opérateur n'est pas forcément nécessaire durant le déroulement du processus. Cependant si une erreur survient durant le processus survient, l'opérateur est directement au courant à l'aide des signaux d'alertes qui seront émises par la machine.



Figure 2.5: Machine INSTRON de technologie de pointe pour l'essai de flexion trois points[21]

## 2.4. Etude comparative des différents modèles de machine

Nous allons regrouper l'ensemble de l'étude dans un tableau récapitulatif.

Tableau 2-1: tableau comparatif des différentes machines d'essai de flexion

<b>Technologie</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Traditionnelles</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De fabrication simplifiée</li> <li>• Adaptables à différents environnements</li> <li>• Facilement transportable</li> <li>• Faible encombrement</li> <li>• Faible coût</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Charges limites faibles</li> <li>• Engendre de nombreuses erreurs</li> <li>• Ne teste que des matériaux de faible densité</li> <li>• Résultats très peu exploitables</li> <li>• Présence d'un opérateur à plein temps</li> </ul>
<b>Automatiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabrication simplifiée</li> <li>• Adaptable à différents environnements</li> <li>• Lecture automatique des résultats</li> <li>• Résultats fiables</li> <li>• Charges limites élevées</li> <li>• Teste des matériaux de densité élevé</li> <li>• Gestion presque autonome du processus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cout assez élevé</li> <li>• Nécessité de maîtrise de la technologie</li> <li>• Encombrement moyen (en fonction des types de matériaux à tester)</li> <li>• Maintenance de la machine obligatoire</li> </ul>
<b>De pointes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adaptable à différents environnements</li> <li>• Lecture directe des résultats</li> <li>• Déroulement autonome du processus</li> <li>• Charges limites élevées</li> <li>• Résultats fiables et directement exploitables</li> <li>• Gestion autonome du processus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coûts très élevés</li> <li>• Encombrement moyen (fonction du type de matériau à tester)</li> <li>• Nécessité de la maîtrise parfaite de la technologie</li> <li>• Maintenance de la machine obligatoire</li> </ul>

## **Chapitre 3:           ETUDE DE CONCEPTION DE LA MACHINE D'ESSAI DE FLEXION TROIS POINTS AVEC ACQUISITEUR DE DONNEES**

---

---

Ce chapitre ressort les différentes étapes d'analyse de conception nécessaire à la mise en œuvre d'une solution correcte et efficace du mécanisme.

---

3.1. Méthodologie de conception .....	48
3.2. Description du système.....	48
3.3. Analyse fonctionnelle externe .....	49
3.3.1. Analyse du besoin .....	49
3.3.2. Analyse fonctionnelle du besoin .....	50
3.3.3. Hiérarchisation des fonctions .....	54
3.4. Analyse fonctionnelle interne .....	56
3.4.1. Analyse fonctionnelle technique : méthode FAST .....	56
3.4.2. Analyse fonctionnelle technique : outil SADT .....	58
3.5. Choix de la solution .....	60
3.5.1. Schéma cinématique.....	61
3.5.2. Description du fonctionnement .....	62

---

### 3.1. Méthodologie de conception

La démarche d'une étude de conception constitue une étape clé lors de la mise en œuvre d'un projet puisqu'elle conditionne la bonne marche du système, de manière efficace et durable. Elle permet de décrire de façon non ambiguë le fonctionnement futur du système afin d'en faciliter la réalisation. La méthodologie de conception vise donc à dégager un canevas des étapes et méthodes à suivre pour la conception du produit.

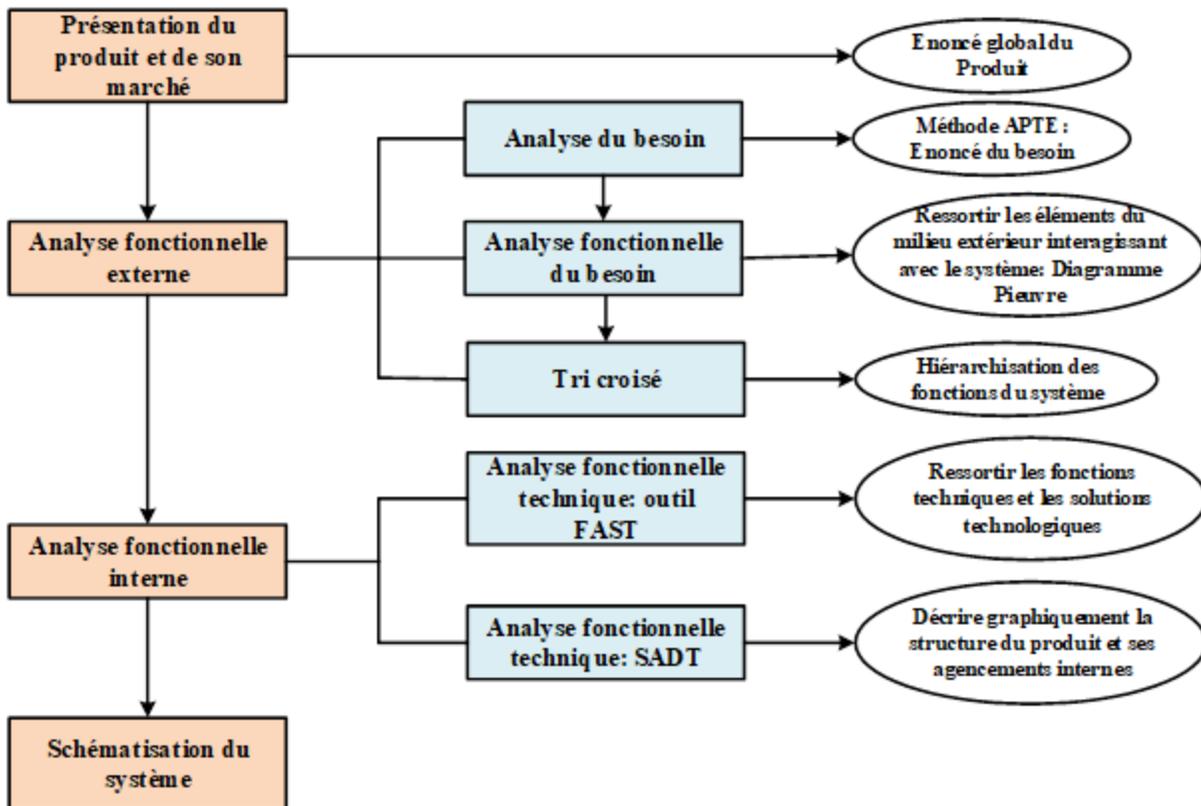


Figure 3.1: Etapes de la méthodologie de conception

### 3.2. Description du système

La machine d'essai de flexion trois points est un équipement utilisé dans les laboratoires en vue de la caractérisation mécanique des matériaux. C'est un système qui permet d'exercer des efforts progressifs au niveau du centre de gravité d'une éprouvette plate, dans le but de la rompre et acquérir les données tels, le module d'Young, la résistance à la rupture, le module d'élasticité, etc...

### **Présentation du produit et de son marché**

- Il s'agit de concevoir un système, adapté à notre contexte, permettant de réaliser l'essai de flexion trois points sur les matériaux composites disponibles en quantité dans notre environnement.
- Cette machine devra être dotée d'un dispositif fiable d'acquisition des données afin d'éliminer les éventuelles erreurs de lecture et d'interprétation liées à l'opérateur. Celui-ci devra donc être choisi délicatement au sortir de notre étude de conception.

### **Débouchés Prévus**

- Une fabrication sur commande pour un client potentiel, le marché visé étant les laboratoires d'essais mécaniques
- Une meilleure connaissance de nos matériaux (à travers l'élaboration d'une base de données fiables, disponibles et exploitables à des fins diverses) afin de promouvoir leur utilisation dans la construction de nos ouvrages

## **3.3. Analyse fonctionnelle externe**

### **3.3.1. Analyse du besoin**

Un besoin est un désir ou une nécessité exprimée par l'utilisateur d'un système. Une analyse du besoin s'appuie sur deux hypothèses à savoir :

Hypothèse 1 : *La satisfaction du besoin est réalisée par l'utilisation du produit à concevoir.*

Hypothèse 2 : *Le besoin est satisfait par le changement d'état d'une matière d'œuvre.*

Afin d'aboutir à la verbalisation de notre besoin, il est essentiel de répondre aux trois questions suivantes :

*Tableau 3-1: tableau d'analyse du besoin.*

<b>Questions</b>	<b>Réponses</b>
<b>A qui le produit rend-il service ?</b>	A l'opérateur (le manipulateur)
<b>Sur quoi le produit agit-il ?</b>	Une éprouvette en matériau composites
<b>Dans quel but ?</b>	Déterminer les caractéristiques mécaniques du matériau

A partir des réponses du tableau ci-dessus, nous ressortons, à l'aide de la méthode APTE, le schéma du besoin ou encore le diagramme Bête à Corne ci-dessous représenté. Ce diagramme montre et exprime clairement le besoin.

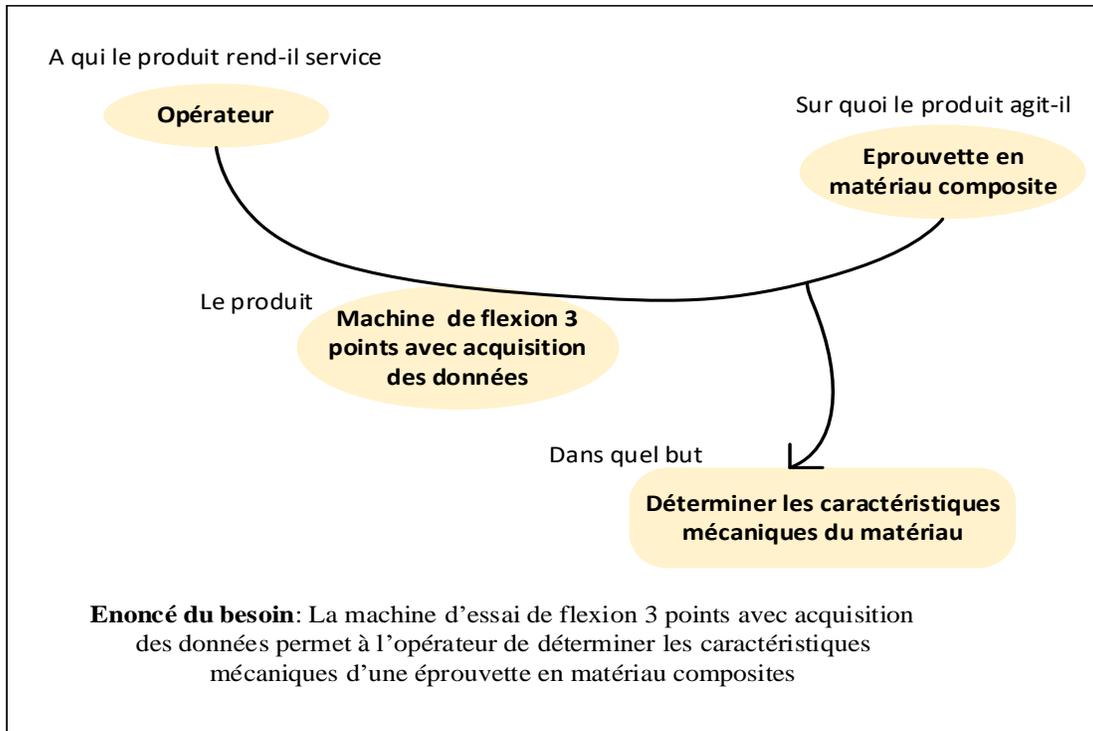


Figure 3.2: Schéma du besoin (diagramme Bête à Cornes)

### 3.3.2. Analyse fonctionnelle du besoin

Elle va permettre de traduire le besoin par des fonctions à réaliser : les Fonctions de Service. Elle se base également sur deux hypothèses, à savoir :

Hypothèse 1 : Le besoin est satisfait par l'utilisation d'un produit.

Hypothèse 2 : Le produit est un générateur de services (ou « prestations client »).

#### a. Identification des fonctions de service

Il est important de noter que la norme **AFNOR X50-151**, définit une fonction comme étant : « Action d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimée exclusivement en termes de finalité ». Nous pouvons donc dire qu'une fonction de service désigne : l'Action du produit avec son milieu extérieur, qui contribue à la satisfaction du besoin. En conséquence, après avoir identifié les éléments du milieu extérieur interagissant avec notre produit, et en tenant compte de la phase de vie de notre produit (phase de conception), nous élaborons à l'aide de l'outil graphique, graphe des interacteurs ou encore graphe fonctionnel de la méthode APTE, le diagramme Pieuvre de notre système ci-dessous exprimant nos différentes fonctions.

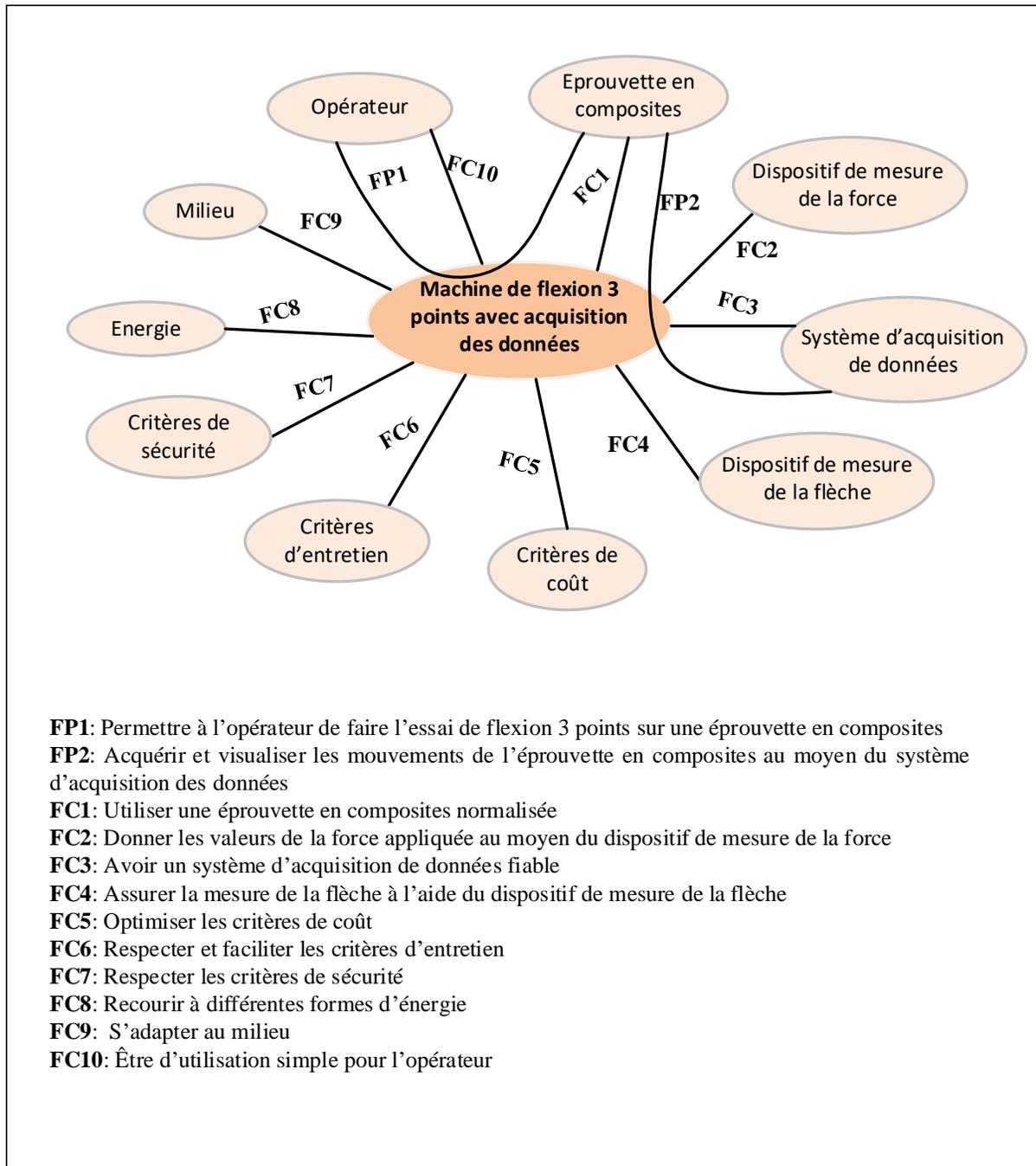


Figure 3.3: Diagramme Pieuvre

#### b. Caractérisation des fonctions de service

Il s'agit pour nous ici, de ressortir les critères d'appréciation des fonctions identifiées plus haut, de les quantifier (qualifier éventuellement) et de définir le niveau de rigueur avec lequel elles devront être prise en compte lors de la conception du produit.

Tableau 3-2: caractérisation des fonctions de service

Repères	Fonctions	Critères d'appréciation	Niveau	Flexibilité
<b>FP1</b>	Permettre à l'opérateur de réaliser l'essai de flexion 3 points sur une éprouvette en composites	Stabilité de positionnement de l'éprouvette sur la machine	Contact linéaire de l'éprouvette sur les mors Centre de gravité de l'éprouvette le plus bas possible	F0
<b>FP2</b>	Acquérir et visualiser les mouvements de l'éprouvette en composites au moyen du système d'acquisition des données	Fiabilité des données (écart des données)	$e \leq 5\text{mm}$	F0
<b>FC1</b>	Utiliser une éprouvette en composites normalisée	Dimensions de l'éprouvette en composites normalisées	Norme ISO Norme AFNOR	F0
<b>FC2</b>	Donner les valeurs de la force appliquée au moyen du dispositif de mesure de la force	Pression générée par le système hydraulique	Pression de variation ascendante (lecture manomètre)	F0
<b>FC3</b>	Avoir un système d'acquisition des données fiable	Valeurs des caractéristiques mécaniques proches de celles des matériaux composites de référence	Normes ISO Normes AFNOR	F0

<b>FC4</b>	Assurer la mesure de la flèche à l'aide du dispositif de mesure de la flèche	Variation de la flèche	Rupture de l'éprouvette	F0
<b>FC5</b>	Optimiser les critères de coût	Coût d'acquisition minimal Coût d'entretien minimal	$\leq 1\ 000\ 000$ $\leq 40\ 000 / \text{mois}$	F1
<b>FC6</b>	Respecter et faciliter les critères d'entretien	Maintenabilité Durabilité	Maintenance aisée Pas de corrosion ni de rouille tolérées	F1
<b>FC7</b>	Respecter les critères de sécurité	Respect des normes environnementales Respect des normes de sécurité pour l'utilisateur	Normes ISO Normes de sécurité	F1
<b>FC8</b>	Disposer de différentes formes d'énergie	Energie hydraulique Energie électrique du secteur	Déplacement des éléments mobiles du système Visualisation des caractéristiques mécaniques du matériau	F2
<b>FC9</b>	S'adapter au milieu	Respect de l'espace de travail (encombrement)  Masse	$200 \leq L \leq 500$ $150 \leq l \leq 300$ $1000 \leq H \leq 1500$ $\leq 20 \text{ kg}$	F1
<b>FC10</b>	Être d'utilisation simple pour l'opérateur	Durée de réalisation de l'essai	$< 1$ heure par éprouvette	F1

**Légende des flexibilités :**

- F0** : Flexibilité nulle
- F1** : Peu négociable
- F2** : Négociable
- F3** : Très négociable

**3.3.3. Hiérarchisation des fonctions**

Les fonctions étant maintenant connues et caractérisées, il est question de les confrontées afin de dégager leurs apports respectifs dans réalisation du produit final (solution de l'étude). Ceci se fera à l'aide de la méthode du tri croisé.

a. Méthode du Tri Croisé

L'outil TRI CROISE est une méthode d'analyse comparative des fonctions. Elle repose sur la quantification de l'importance relative d'une fonction par rapport à une autre et se présente sous forme de tableau. En utilisant ici un code de notation allant de 0 à 3, nous ressortons le tableau de pondération suivant :

	FP2	FC1	FC2	FC3	FC4	FC5	FC6	FC7	FC8	FC9	FC10	Poids	%
FP1	FP1 /0	FP1 /1	FP1 /1	FP1 /1	FP1 /1	FP1 /3	FP1 /2	21	19.27				
	FP2	FP2 /1	FP2 /1	FP2 /1	FP2 /1	FP2 /3	FP2 /3	FP2 /3	FP2 /2	FP2 /3	FP2 /2	19	17.43
		FC1	FC1 /1	FC1 /1	FC1 /1	FC1 /2	FC1 /2	FC1 /2	FC1 /3	FC1 /3	FC1 /2	15	13.76
			FC2	FC2 /0	FC2 /0	FC2 /2	FC2 /2	FC2 /2	FC2 /1	FC2 /2	FC2 /2	11	10.09
				FC3	FC3 /0	FC3 /2	FC3 /2	FC3 /2	FC3 /1	FC3 /2	FC3 /1	10	09.17
					FC4	FC4 /2	FC4 /2	FC4 /2	FC4 /1	FC4 /2	FC4 /1	10	09.17
						FC5	FC5 /2	FC5 /1	FC5 /1	FC5 /2	FC5 /1	07	06.42
							FC6	FC6 /1	FC6 /1	FC6 /2	FC6 /2	06	05.50
								FC7	FC7 /1	FC7 /2	FC7 /2	05	04.59
									FC8	FC8 /1	FC8 /1	02	01.84
										FC9	FC9 /1	01	00.92
											FC10	02	01.84
											Total	109	100%

**Légende**  
**0:** Pas de supériorité  
**1:** Légèrement supérieur  
**2:** Moyennement supérieure  
**3:** Nettement supérieur

Figure 3.4: Tri croisé du système

En se servant des données obtenues dans ce tableau, nous procédons au tracé du diagramme de PARETO de notre système.

b. Histogramme des fonctions : Diagramme de PARETO

A l'aide des pourcentages cumulés, nous traçons la courbe de PARETO en vue de ressortir graphiquement les fonctions prioritaires de notre système. Celles-ci seront lues grâce à la règle des 80/20 ; c'est-à-dire les fonctions qui contribuent à près de 80% du poids total. Pour cela, nous élaborons le tableau des cumuls ci-dessous :

Tableau 3-3: Tableau des cumuls

Fonctions	Poids (%)	Cumul (%)
<b>FP1</b>	19,27	19,27
<b>FP2</b>	17,42	36,69
<b>FC1</b>	13,76	50,45
<b>FC2</b>	10,09	60,54
<b>FC3</b>	09,17	69,71
<b>FC4</b>	09,17	78,88
<b>FC5</b>	06,42	85,30
<b>FC6</b>	05,50	90,80
<b>FC7</b>	04,59	95,39
<b>FC8</b>	01,84	97,23
<b>FC9</b>	00,92	98,15
<b>FC10</b>	01,84	99,99
<b>Total</b>	100%	

Ce tableau donne lieu au tracé de la courbe ci-dessous :

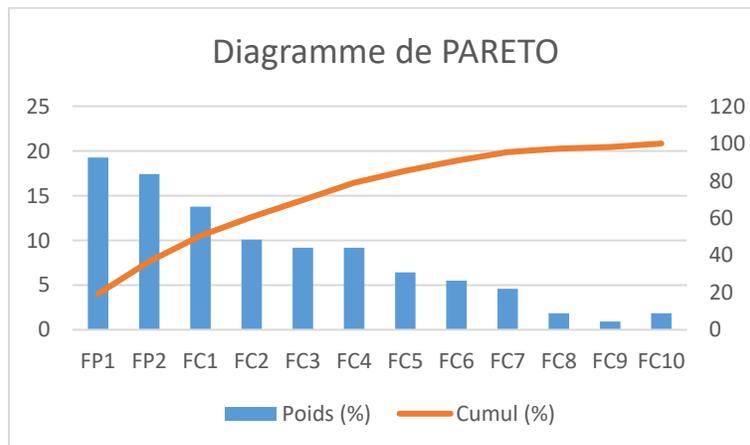


Figure 3.5: Histogramme, diagramme de PARETO

Nous concluons donc d'après ces deux éléments que les fonctions prioritaires sont : FP1, FP2, FC1, FC2, FC3 et FC4 qui globalisent 78,8% des contraintes associées à la solution de notre système.

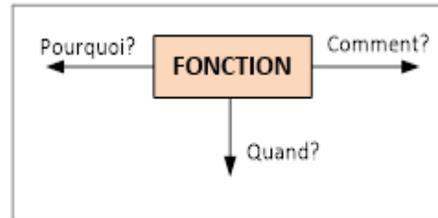
### 3.4. Analyse fonctionnelle interne

Aussi appelé analyse fonctionnelle technique (analyse point de vue du concepteur), elle permet de dégager les fonctions techniques, les solutions optimales et les composants qui doivent satisfaire une fonction de service.

#### 3.4.1. Analyse fonctionnelle technique : méthode FAST

Le FAST est un outil graphique permettant de détailler les fonctions techniques et les solutions technologiques associées. Il se base sur une méthode interrogative : pour chaque fonction technique indiquée dans un rectangle on doit pouvoir trouver autour les réponses aux questions définies ci-dessous.

- **Pourquoi** une fonction doit-elle être assurée ?
- **Comment** cette fonction doit-elle être assurée ?
- **Quand** cette fonction doit-elle être assurée ?



En se servant de ses éléments d'élaboration ci-dessus, nous ressortons ainsi le diagramme FAST de notre système

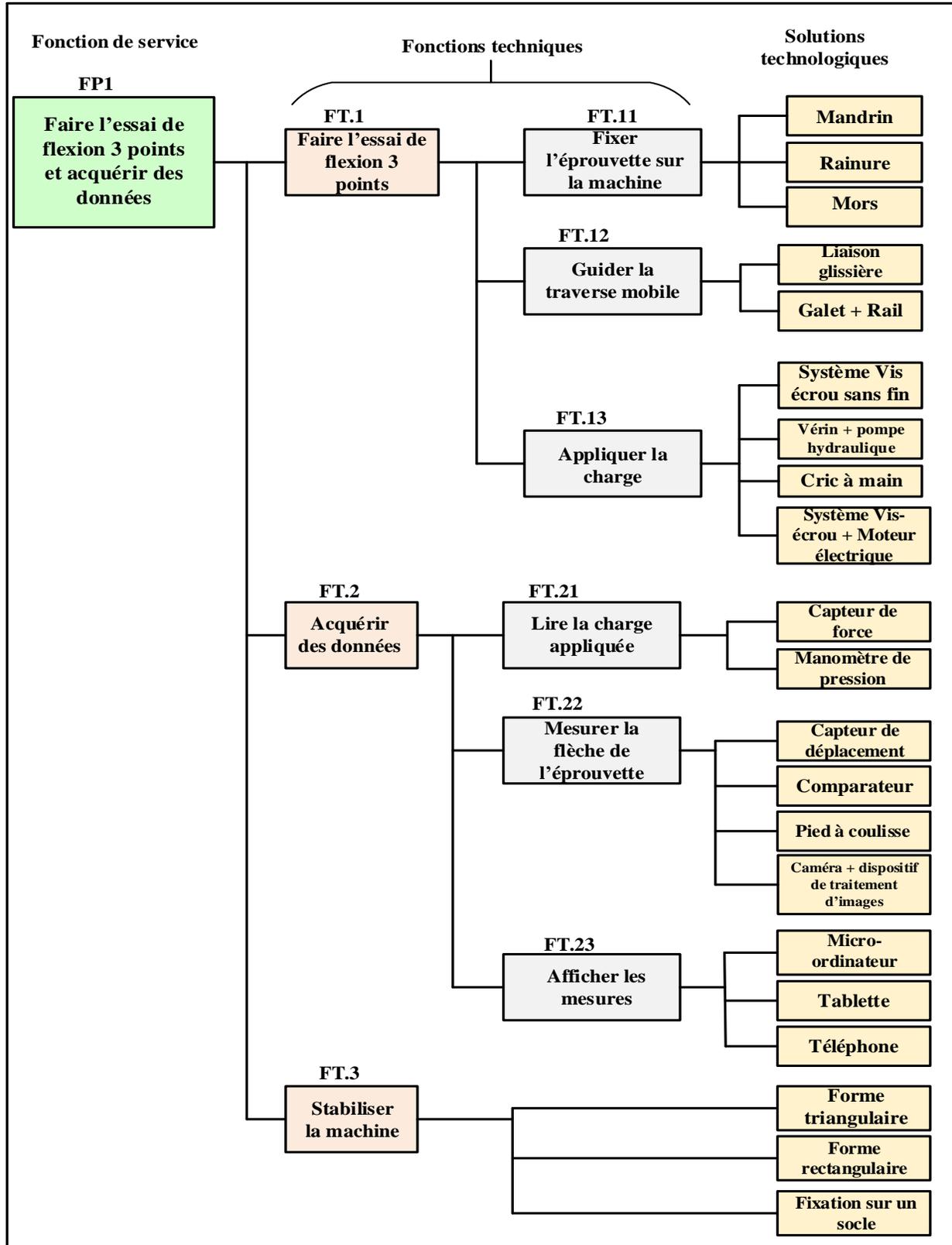


Figure 3.6: Diagramme FAST du système

### 3.4.2. Analyse fonctionnelle technique : outil SADT

Le modèle SADT est une technique d'analyse successive descendantes (on part du général au particulier). La description du système s'effectue sous forme d'une suite cohérente d'actigrammes ou diagrammes d'activités dont la construction rigoureuse tient en compte cinq questions respectant la logique de la figure suivante :

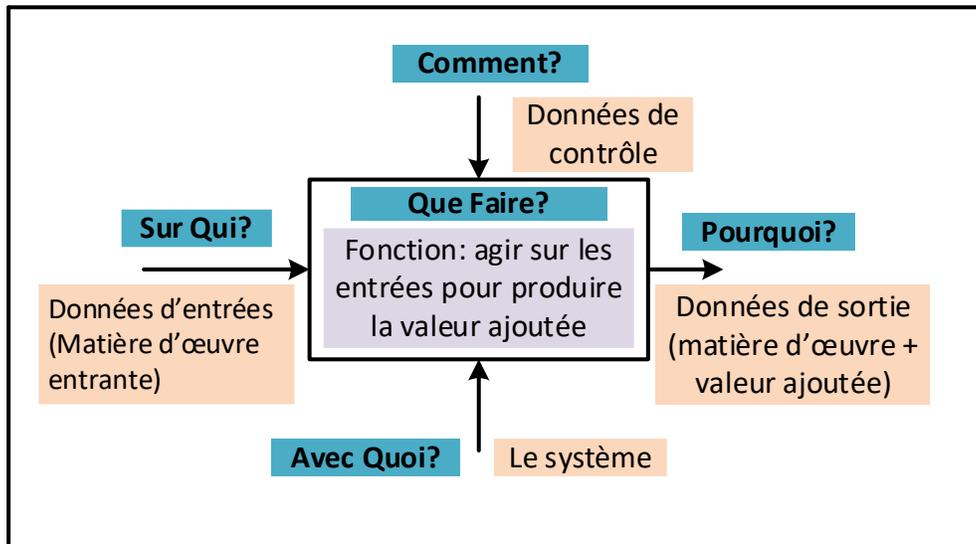


Figure 3.7: modèle de construction d'un actigramme

A partir de ce modèle, nous représentons l'actigramme de niveau A-0 (actigramme global) de notre système en ressortant clairement l'entrée (Eprouvette normalisée) et les sorties (Caractéristiques mécaniques, Eprouvette brisée).

Nous élaborons ensuite l'actigramme de niveau A0, qui présente le système dans son ensemble, en ressortant, ses éléments constitutifs et leur ordre d'intervention dans le processus global ainsi que leurs liens à travers l'évolution des flux, des intrants au produit.

Les illustrations de ces deux diagrammes sont données par les figures suivantes :

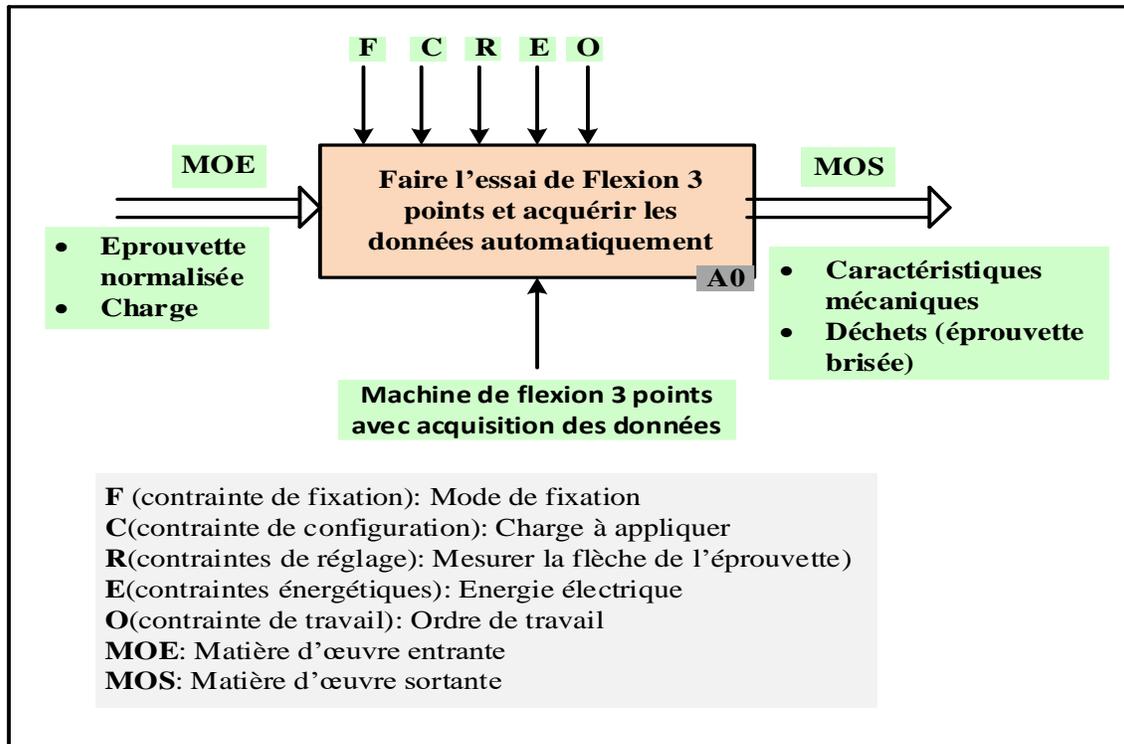


Figure 3.8: Diagramme SADT de niveau A-0

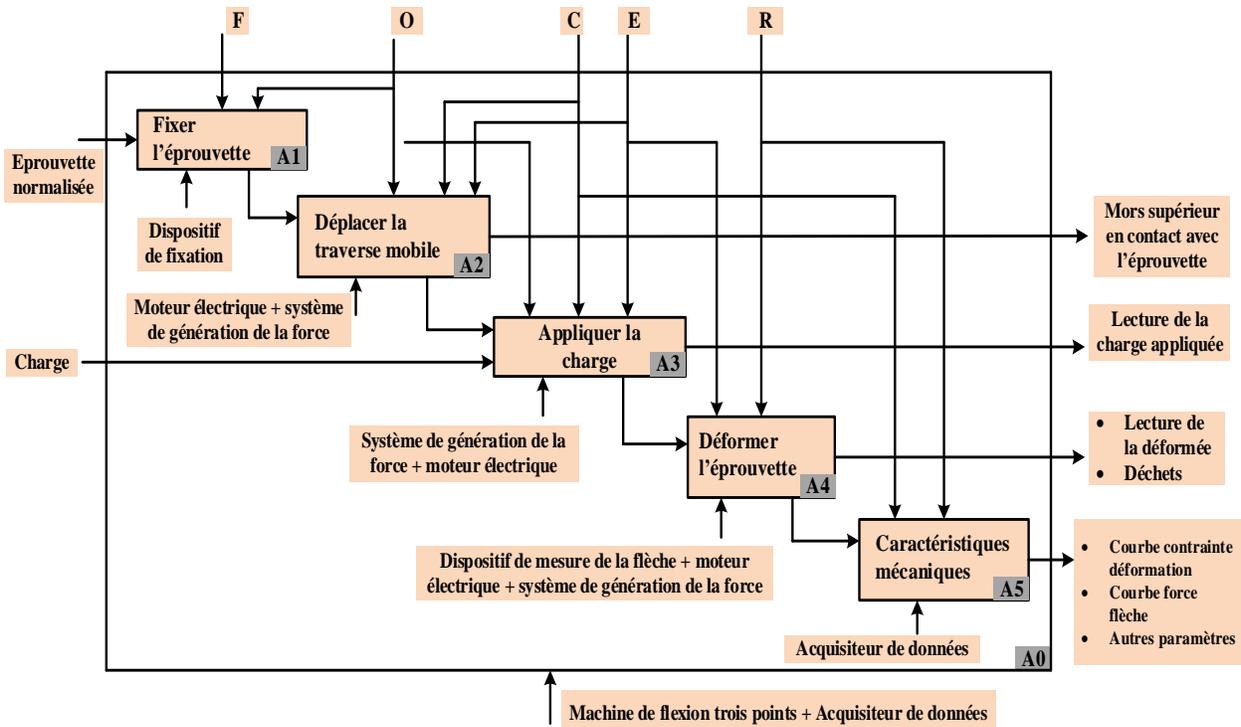


Figure 3.9: Diagramme SADT de niveau A0

### 3.5. Choix de la solution

Il s'agit pour nous d'effectuer un choix adéquat des éléments solution de notre système, en se basant sur le FAST élaboré plus haut. En effet, parmi les différentes solutions technologiques proposées dans ce diagramme, à chaque ensemble de solution ressorti pour une fonction technique donnée, une seule solution sera retenue pour accomplir ladite fonction. L'association de toutes ces solutions constituera notre système. Ces solutions sont représentées dans le tableau ci-dessous avec leurs avantages et inconvénients.

Tableau 3-4 : Choix des éléments de solution du système

Elément de solution		Technologie accessible	Matériaux disponibles	Faible encombrement	Coût optimal	Impact sur l'environnement	Consommation énergétique	Productivité	Choix
Fixer l'éprouvette sur	Appui	1	1	1	1	1	1	1	☹️
	Mandrin	0	1	0	1	1	1	1	
	Rainure	1	1	1	1	1	1	0	
Guider la traverse mobile	Liaison glissière	1	1	1	0	1	1	1	
	Galet + Rail			0				0	
	Vérin + pompe hydraulique	1	1	0	0	0	0	1	
	Cric à main	1	1	1	1	0	1	0	
	Vis-écrou + moteur	1	1	1	0	0	0	1	☺️

Lire la charge appliquée	Capteur de force	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Manomètre de pression	1	1	1	1	1	1	1	0	
de flèche	Capteur de déplacement	1	1	1	0	1	1	1	1	
	Comparateur	1	1	1	1	1	1	1	0	
	Extensomètre	1	1	1	1	1	1	1	1	
Mesurer la poutre	Caméra + dispositif de traitement d'image	0	1	1	1	1	1	1	1	
Afficher les mesures	Micro-ordinateur	1	1	0	1	1	1	1	1	
	Tablette	1	1	1	1	1	1	1	0	
	Téléphone	1	1	1	1	1	1	1	0	
Stabiliser la machine	Forme triangulaire	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Forme rectangulaire	1	1	1	1	1	1	1	0	
	Fixation sur un socle	1	1	1	1	1	1	1	0	

### 3.5.1. Schéma cinématique

Après cette analyse fonctionnelle, nous connaissons les différents constituants de notre plumeuse, les relations qui les lient, leurs intrants et leurs produits. Nous pouvons ainsi dégager une solution conforme à notre analyse, que nous présentons dans la partie ci-dessous :

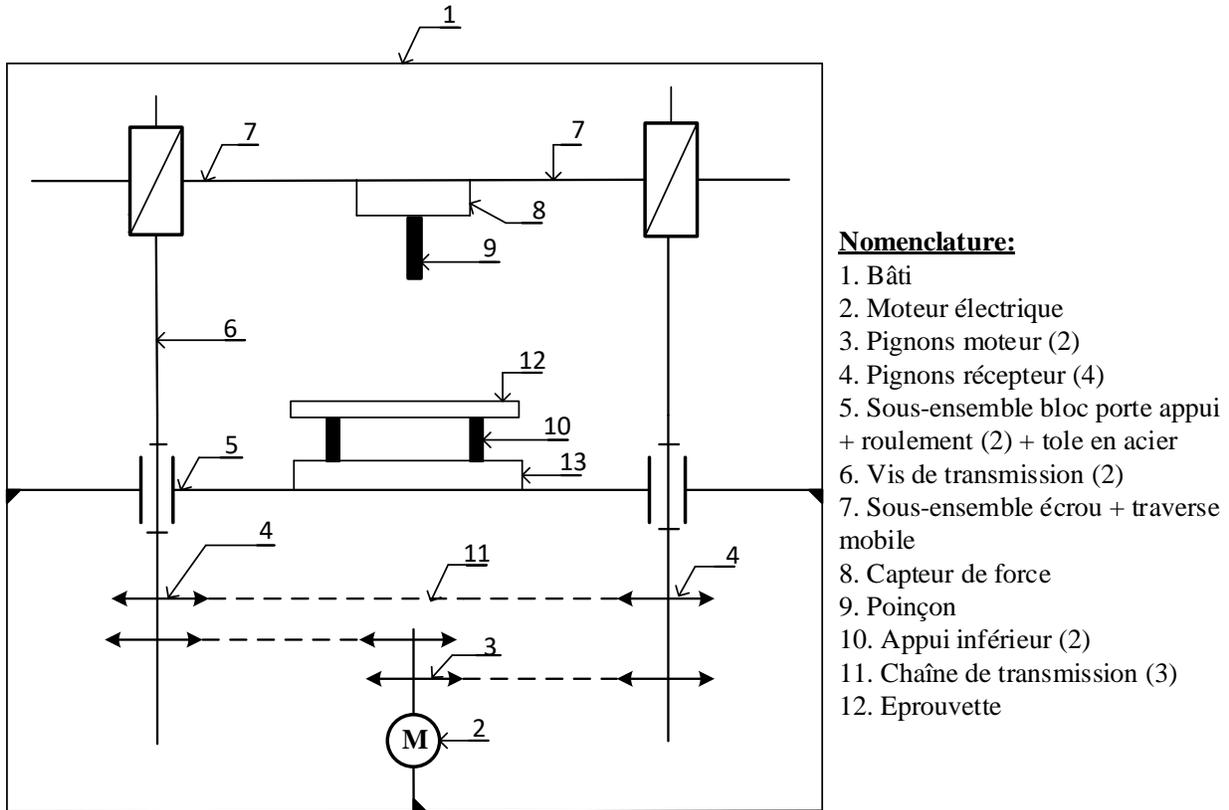


Figure 3.10: Schéma cinématique de la machine de flexion à concevoir

### 3.5.2. Description du fonctionnement

Fixée sur le bâti **1**, la machine est constituée de l'ensemble des éléments cités à la nomenclature. Lorsque la machine est mise en marche, le moteur **2** transmet le mouvement de rotation aux tiges filetées **6** par l'intermédiaire du système pignon-chaîne {**3**, **4**}. Le déplacement du poinçon **9** liée à la traverse **7**, s'effectue grâce à la liaison hélicoïdale existante entre **7** et **6**. Lors de l'essai, le déplacement de l'éprouvette et l'effort jusqu'à la rupture sont obtenus en utilisant respectivement un extensomètre et un capteur de force **8**.

## Chapitre 4:      DIMENSIONNEMENT DES ELEMENT DU SYSTEME

---

---

Le dimensionnement des pièces mécanique permet de déterminer ou vérifier les caractéristiques minimales (géométriques et physico-chimique) à présenter par la pièce afin d'assurer la tenue en service des éléments du mécanisme.

---

4.1. Méthodologie de dimensionnement.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.2. Hypothèse de dimensionnement.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.3. Choix du moteur .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.4. Dimensionnement du système vis-écrou .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.5. Dimensionnement de la clavette.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.6. Choix des roulements .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.7. Dimensionnement de la transmission .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.8. Choix du capteur force et de l'extensomètre .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.9. Dessin d'ensemble et de définition.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

---

## 4.1. Méthodologie de dimensionnement

La méthodologie de dimensionnement que nous avons utilisée est résumée à travers le diagramme suivant :

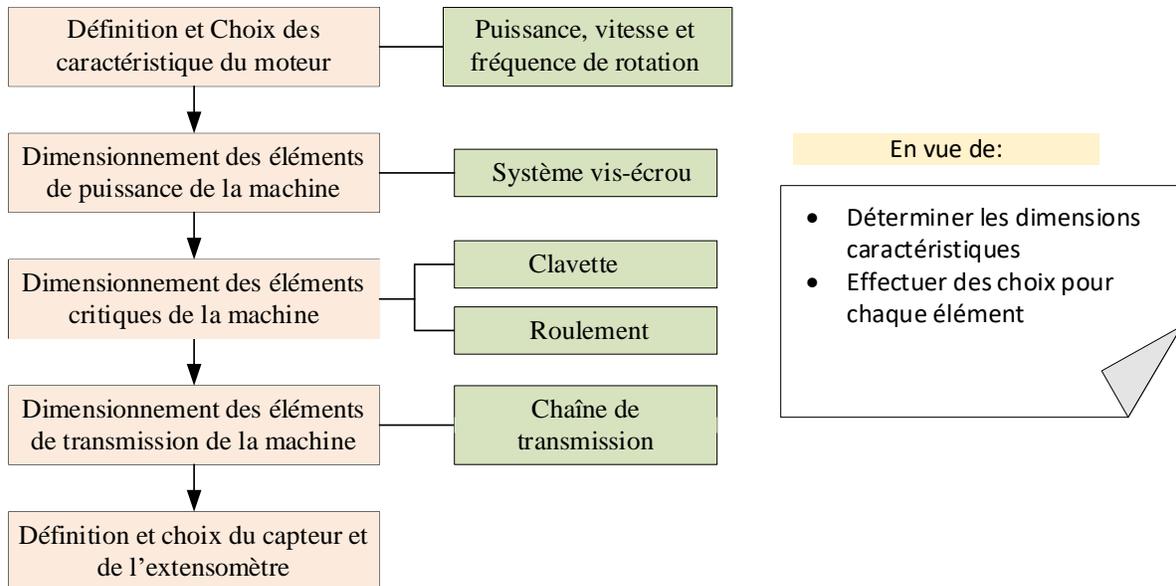


Figure 4.1: méthodologie de dimensionnement.

## 4.2. Hypothèse de dimensionnement

Les hypothèses suivantes sont prises en compte pour le dimensionnement de notre système :

- Matériau de la vis : Acier au carbone (S235)
- Matériau de l'écrou : Bronze
- Géométrie des filets : filets trapézoïdaux
- Force à soulever :  $F_v = 2,5$  kN
- Frottement entre Acier/Bronze :  $f = 0,16$
- Vitesse de translation de l'écrou :  $V = 2$  mm/mm
- Angle au sommet du filet  $\alpha = 60^\circ$

## 4.3. Choix du moteur

Le moteur est l'élément servant à convertir l'énergie électrique source d'alimentation de la machine en énergie mécanique nécessaire au fonctionnement du mécanisme en vue de déplacer la traverse mobile chargée, à l'aide de son poinçon d'appliquer la charge sur l'éprouvette. Il est caractérisé par un couple et une vitesse.

Le moteur devra apporter une puissance nécessaire pour réaliser l'essai de flexion trois points sur les matériaux composites.

En considérant la charge à soulever et la vitesse de translation de la vis, nous pouvons calculer la puissance utile nécessaire pour soulever notre charge, soit :

$$(1) \quad P_{th} = \frac{F_v \cdot V_z}{60} \quad P_{th} : \text{puissance théorique utile pour soulever la charge}$$

**Application numérique :**

$$P_{th} = \frac{2500 \times 0,12}{60} = 5 \text{ W} \quad \boxed{P_{th} = 5 \text{ W}}$$

- Choix du moteur

Le calcul précédent nous a permis de définir les conditions d'utilisations minimales du moteur. Toutefois, la puissance du moteur à choisir doit prendre en compte les rendements de transmission. Si nous posons  $\eta_v$  le rendement du système vis-écrou et  $\eta_t$  le rendement de transmission pignon-chaîne, la puissance réelle à fournir par le moteur est donnée par la relation :

$$(2) \quad P_M = \frac{P_{th}}{\eta_v \eta_t} \quad \eta_v = \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha + \varphi} \text{ le rendement du système vis-écrou, } (\varphi = \tan^{-1} f), f \text{ étant le frottement vis/écrou. } P_M : \text{ la puissance moteur. On prendra } \eta_t = 0,98$$

**Application numérique :**

$$\text{on aura, } \eta_v = \frac{\tan 60}{\tan 70,5} = 0,63 \Rightarrow P_M = \frac{5}{0,63 \times 0,98} = 8,1 \text{ W} \quad \boxed{P_M = 8,1 \text{ W}}$$

Le choix du moteur se fera donc en fonction de cette puissance moteur nécessaire qui vient d'être calculée. De plus nous notons que nous avons besoin d'un grand couple, donc le couple sera privilégié au détriment de la vitesse de rotation qui n'a pas besoin d'être significative. En nous penchant donc vers les catalogues, et pour les besoins de sécurité, nous choisirons donc : un moteur monophasé dont les caractéristiques sont les suivantes :  **$P_M=80 \text{ W}$** ,  **$N_M=50\text{trs/min}$** ,  **$F=50\text{Hz}$** , avec  **$V=230\text{V}$**

#### 4.4. Dimensionnement du système vis-écrou

La vis de transmission est un élément de machine utilisée pour transformer un mouvement de rotation en un mouvement de translation et, en général, pour transmettre de la puissance. En langage mécanique, on parle de liaison hélicoïdale ou système vis-écrou. Le principe de

fonctionnement d'une vis de transmission est que lorsqu'on applique un couple sur la vis (manuel ou mécanique) ce couple doit vaincre le frottement entre la vis et l'écrou et à déplacer la charge.

**Données :**

- Puissance du moteur  $P_M=80W$
- Nomenclature générale d'une vis :

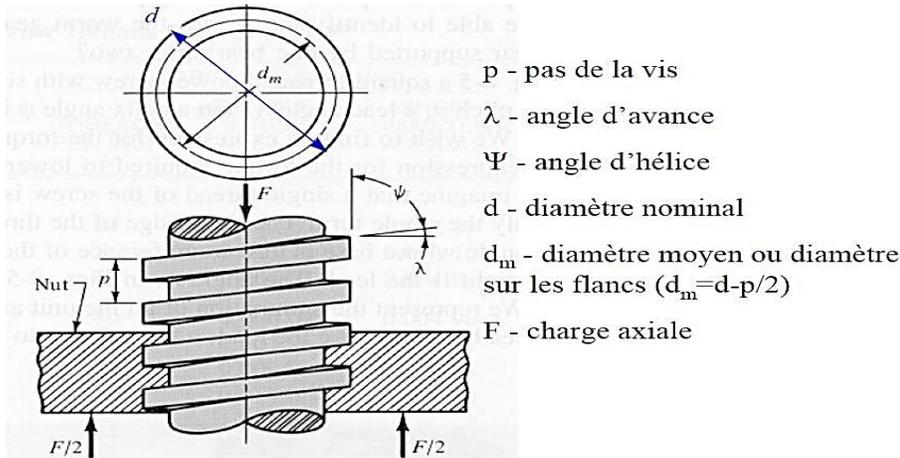


Figure 4.2: schéma de nomenclature d'une vis.

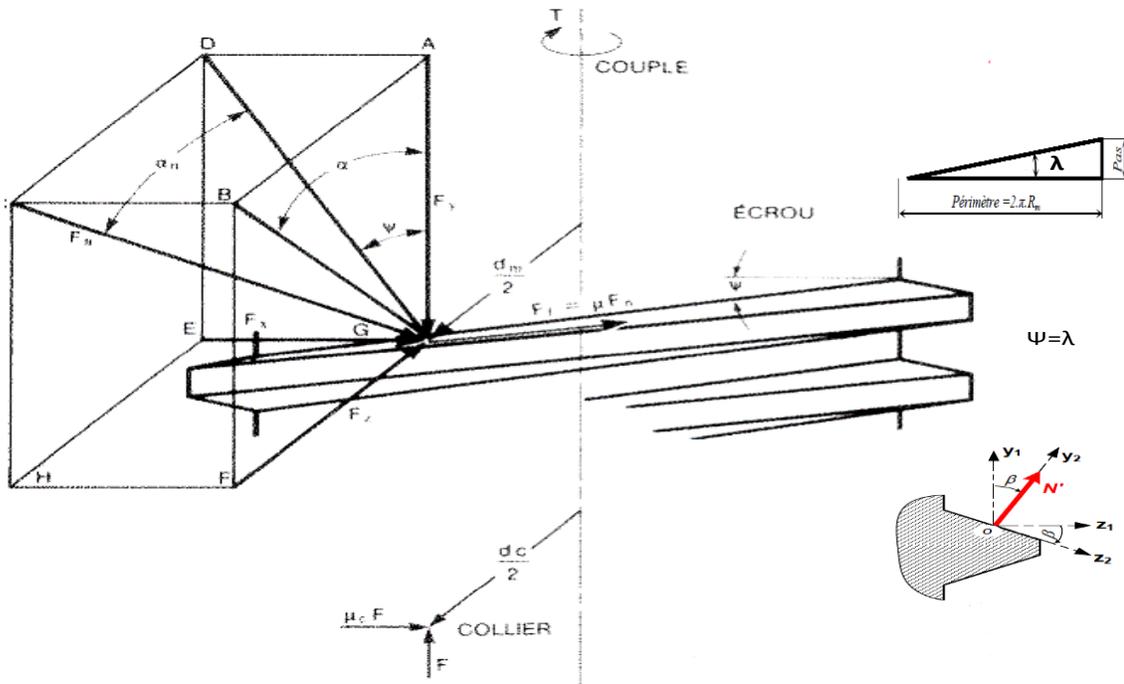


Figure 4.3: distribution des efforts sur une vis de profilé.

a. Conditions d'analyse 1 : Détermination du diamètre primitif de la vis

**Hypothèses :**

Nous supposons le diamètre de noyau de la vis est assimilable au diamètre primitif ;

Les filets sont trapézoïdaux ;

- La vitesse de rotation de la vis

$N = \frac{V}{p}$ , où  $p$  est le pas ;  $V$  la vitesse de translation de la table mobile,  $N$  la vitesse de rotation de la tige

De plus :  $\tan \alpha = \frac{p}{\pi d}$ , où  $\alpha$  est l'angle de l'hélice

On obtient ainsi :  $N = \frac{V}{\pi d \tan \alpha}$

- La puissance transmise

$P_u = P_m \times \eta$ , où  $\eta = 0,98^3$ ,

$P_m$ : est la puissance du moteur,  $P_m = 80W$

$P_u$ : a puissance reçue par la vis au travers des courroie,

Ainsi l'on obtient :  $P_u = 80 \times 0,98^3 \rightarrow P_u = 75,29W$

- Couple transmis

$$P_u = C \cdot N \rightarrow C = \frac{\pi d P_u \tan \alpha}{V}$$

Soit :  $C = 1\,917,25d$

- La condition de résistance

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{R_e}{s}$$

Or  $\sigma = \frac{4F}{\pi d^2}$  d'où  $\sigma = \frac{2 \times 1250}{\pi d^2} \rightarrow \sigma = \frac{795,775}{d^2}$

Et  $\tau = \frac{16C}{\pi d^3}$  d'où  $\tau = \frac{16 \times 1917,25d}{\pi d^3} \rightarrow \tau = \frac{9764,47}{d^2}$

Ainsi on obtient :  $\sqrt{\frac{s}{R_e} \sqrt{795,77^2 + 9764,47^2}} \leq d$

Soit  **$d \geq 11,18mm$**

b. Condition d'analyse 2 : Calcul de la longueur de la vis

La longueur de notre vis doit être prise de telle sorte que la vis supporte le flambement. Or d'après [16], pour S235, la valeur de l'élanement limite d'Euler  $\lambda_{limEuler}=94,91$ .

On a :  $\lambda = \frac{L}{r} > \lambda_{limEuler} \rightarrow L > r\lambda_{limEuler}$ ,

Avec r: le rayon giratoire  $r = \frac{d}{4}$ ,

Ainsi,  $L = \frac{\lambda_{limEuler} \times d}{4} \rightarrow L = 265,27\text{mm}$

c. Détermination des paramètres géométriques de la vis

Pour des raisons d'usinage, nous prendrons le diamètre primitif de la vis  $d=28\text{mm}$

Tableau 4-1: Paramètres géométrie de la vis

Eléments	Valeurs
Pas	3 mm
Diamètre de primitif	28 mm
Valeur du filet à vide	0,25 mm
Diamètre de pied	24,5 mm
Diamètre de tête	29,5mm

#### 4.5. Dimensionnement de la clavette

Les normes définissent les valeurs de la largeur **a** et de la hauteur **b** des clavettes en fonction du diamètre de l'arbre.

a. Détermination des éléments caractéristiques

La figure ci-dessous nous montre une clavette montée entre un arbre et un moyeu afin de les rendre solidaire

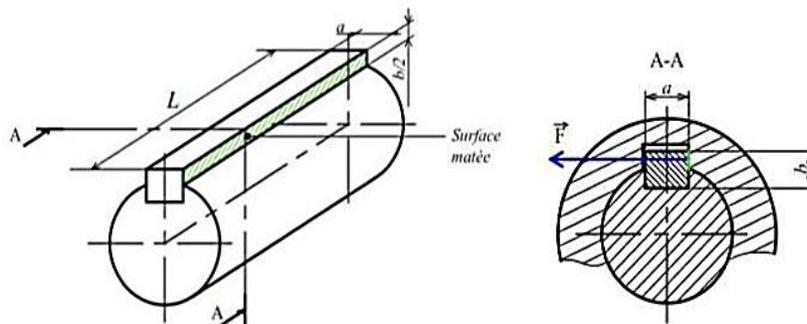


Figure 4.4: schématisation d'une clavette montée.

D'après le tableau présenté (Guide du dessinateur industriel page 246) en annexe, nous avons pour  $d=30\text{mm}$  les caractéristiques dimensionnelles suivantes :

<b>d=30mm</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>s</b>	<b>j</b>	<b>k</b>
	8 mm	7 mm	0,25 mm	26 mm	33,3mm

#### b. Détermination de la longueur de la clavette

- Dimensionnement au cisaillement

La surface cisailée de la clavette est :  $A_{cis} = a \times L$ , or nous savons que  $\sigma_{moy} = \frac{T}{A_{cis}} = \frac{T}{a \times L}$ . De

même, on a :  $T = \frac{M_t}{d/2} = \frac{2M_t}{d}$ , nous avons donc ainsi :  $\sigma_{moy} = \frac{2.M_t}{a \times d \times L}$ .

$$\text{Or, } \sigma_{moy} \leq \sigma_{adm} \Rightarrow \frac{2M_t}{a \times L \times d} \leq \sigma_{adm} \quad (1)$$

- Dimensionnement au matage

En ce qui concerne les clavettes, la pression admissible de matage doit être beaucoup plus faible.

En effet, il faut que l'on puisse facilement monter et démonter l'assemblage : Aucune déformation

n'est permise. Ainsi, pour s'assurer la condition de matage, il faut que :  $\frac{2 \times T}{b \times L} \leq \sigma_{adm}$ , avec  $T = \frac{2M_t}{d}$ ,

et  $M_t = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2\pi N}$ , soit  $L \geq \frac{4M_t}{b \times d \times \sigma_{adm}}$ , avec  $M_t = \frac{P}{2\pi N}$  et  $\sigma_{adm} = 80\text{N/mm}^2$ , on obtient après

calcul  $L \geq 17.96\text{ mm}$ . On prendra donc  $L=18\text{mm}$ .

### 4.6. Choix des roulements

Les efforts étant axiaux, notre choix s'est porté sur un Roulement à une rangée de billes **AA 25-SKF, 25x52x18mm [22]**

### 4.7. Dimensionnement de la transmission

On donne :

Puissance du moteur,  $P=80\text{ W}$

Vitesse de rotation, 50trs/min

Vitesse de rotation de l'arbre  $N=20\text{tr/min}$ , entraxe  $a=100\text{mm}$ .

- Rapport de transmission, on a  $\frac{d_p}{D_p} = \frac{N_D}{N_d} = \frac{Z_d}{Z_D} = \frac{2}{5}$
- Nombre de dents :  $Z_d = 11$  et  $Z_D = 28$

- Puissance de service et puissance corrigée :  $P_s = PK_s$  avec  $K_s = 1,4$  (confère tableau donné en annexe). L'application numérique permet d'obtenir  $P_s = 112 W$ .

On a  $P_c = K_V K_R P_s$  avec  $K_R = 1$  ,  $K_V = 1,8$  (voir tableau en annexe) ; l'application numérique permet d'obtenir  $P_c = 201,6 W$

En exploitant le graphe 7 donné en annexe on a la chaîne 06B, de pas 9,5mm et de largeur 23,8mm.

- Longueur de la chaîne, elle est calculée comme suit :  $L_p = 2a + p \frac{d_p + D_p}{2} + \frac{p^2}{a} \left( \frac{D_p - d_p}{2\pi} \right)^2$

L'application numérique nous permet d'obtenir  $L_p = 392mm$ .

#### **4.8. Choix du capteur force et de l'extensomètre**

La force maximale à exercer sur l'éprouvette étant de 2,5kN, nous avons pour un capteur de 3kN, et un extensomètre à éprouvette de 200mm.

#### **4.9. Dessin d'ensemble et de définition**

Nous allons présenter ici le dessin d'ensemble du système ainsi que les dessins de définition de certains de ses éléments constitutifs.

## Chapitre 5: ETUDE DE FABRICATION

---

---

Elle met en évidence les étapes liées à l'analyse de fabrication de notre model, puis elle ressort une présentation de la machine fabriquée en décrivant sa notice d'utilisation ; puis s'en suivra méthodologie de maintenance à adopter pour l'équipement et une évaluation des différents coûts liés à l'acquisition de la machine.

---

5.1. Analyse de fabrication .....	72
5.1.1. Dessin de definition.....	73
5.1.2. Dessin de fabrication.....	74
5.1.3. Graphes de liaison fonctionnel.....	75
5.2. REALISATION DU PROTOTYPE.....	86
5.2.1. Étapes de fabrication .....	86
5.2.2. Presentation du prototype.....	86
5.3. NOTICES D'UTILISATION ET DE MAINTENANCE .....	87
5.3.1. Notice d'utilisation.....	87
5.3.2. Maintenance .....	88
5.3.3. Description des modes de défaillances possibles.....	89
5.4. ESTIMATION DU COUT DE LA MATIERE D'ŒUVRE .....	91

---

### **5.1. Analyse de fabrication**

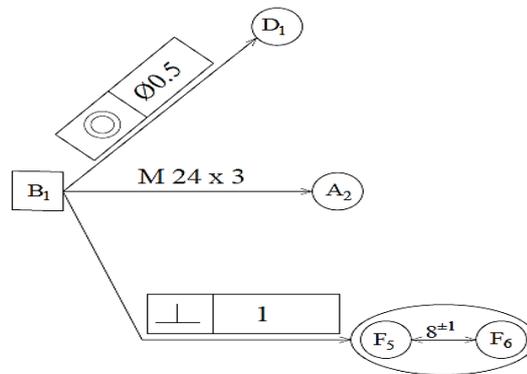
Dans cette partie il est question pour nous de ressortir l'**Avant-Projet d'Etude de Fabrication (APEF)** ainsi que les différents contrats de phase relative à l'usinage de la vis de guidage (arbre).

### **5.1.1. Dessin de définition**

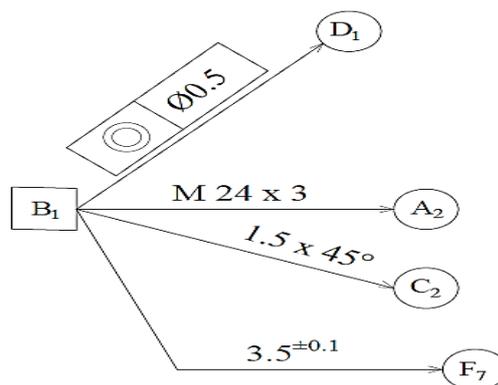
### **5.1.2. Dessin de fabrication**

### 5.1.3. Graphes de liaison fonctionnel

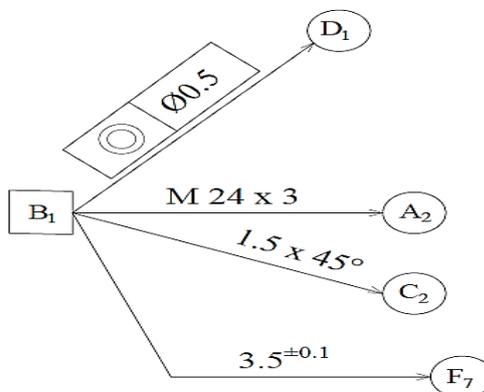
#### Direction OX



#### Direction OY



#### Direction OZ



**TABLEAU DE DETERMINATION DES OPERATIONS ELEMENTAIRES**

REPERE DES SURFACES USINEES	EXIGENCES FONCTIONNELLES			EXIGENCES TECHNOLOGIQUES	OPERATIONS ELEMENTAIRES	
	I.T	Ra	Particuliers		Nbre	Symbolisation
F <sub>1</sub>	0.2	1.6		IT et RA	01	F <sub>1</sub> F
F <sub>2</sub>	0.2	1.6		IT et RA	01	F <sub>2</sub> F
F <sub>3</sub>	0.2	1.6		IT et RA	01	F <sub>3</sub> F
F <sub>4</sub>	0.2	1.6		IT et RA	01	F <sub>4</sub> F
F <sub>5</sub>	0.2	3.2		Contraintes Technologique	02	F <sub>5</sub> E, F <sub>5</sub> F
F <sub>6</sub>	0.2	3.2			02	F <sub>6</sub> E, F <sub>6</sub> F
F <sub>7</sub>	0.2	3.2			02	F <sub>7</sub> E, F <sub>7</sub> F
D <sub>1</sub>	0.5	3.2	H7	contraintes d'opération	02	D <sub>1</sub> E, D <sub>1</sub> F
D <sub>2</sub>	0.2	6.3		contraintes d'opération		D <sub>2</sub> E, D <sub>2</sub> F
A <sub>1</sub>	0.2	3.2		contraintes d'opération	02	A <sub>1</sub> E, A <sub>1</sub> F
A <sub>2</sub>	3.2	3.2	M24	contraintes d'opération	02	A <sub>2</sub> E, A <sub>2</sub> F
C <sub>1</sub>	0.2	6.3			01	C <sub>1</sub> F
C <sub>2</sub>	0.2	6.3			01	C <sub>2</sub> F

**TABLEAU D'ASSOCIATION DES SURFACES ELEMENTAIRES**

Surfaces élémentaires associées	JUSTIFICATIONS (Nature des outils, outillages, etc...)	Nouvelles désignations
F <sub>3</sub> , F <sub>4</sub> , D <sub>1</sub>	Outil à saigner épaisseur 3 à 5 mm en ARS	G <sub>1</sub> F
F <sub>5</sub> , F <sub>6</sub> , F <sub>7</sub> , A <sub>1</sub>	Fraise cylindrique 2 dents, Ø8 x8 à queue cylindrique en ARS	G <sub>2</sub> F

**TABLEAU D'ANALYSE DES CONTRAINTES D'ANTERIORITE**

Surfaces élémentaires	CONTRAINTES												
	DIMENSIONNELLES	GEOMETRIQUES							TECHNOLOGIQUES			ECONOMIQUES	
								Autres	Reprises	Opérations	Bavures	Moindre usage	Outil de finition
G <sub>1</sub> F	F <sub>1</sub> F			B									
G <sub>2</sub> F	B F <sub>1</sub> F		B										
F <sub>1</sub> F									B				
F <sub>2</sub> F	F <sub>1</sub> F												
D <sub>2</sub> E	F <sub>2</sub> F												
D <sub>2</sub> F	F <sub>2</sub> F								B	D <sub>2</sub> E			
A <sub>2</sub> E	B								B				
A <sub>2</sub> F	B									A <sub>2</sub> E			
C <sub>1</sub> F	F <sub>2</sub> F												
C <sub>2</sub> F	B												

## TABLEAU DES NIVEAUX D'USINAGE

		NIVEAUX																
		B	G <sub>1</sub> F	G <sub>2</sub> F	F <sub>1</sub> F	F <sub>2</sub> F	D <sub>2</sub> E	D <sub>2</sub> F	A <sub>2</sub> E	A <sub>2</sub> F	C <sub>1</sub> F	C <sub>2</sub> F	1	2	3	4	5	
SORTIES	B	1											0					
	G <sub>1</sub> F	1	1		1								2	1	0	G <sub>1</sub> F		
	G <sub>2</sub> F	1		1									2	1	0	G <sub>2</sub> F		
	F <sub>1</sub> F	1			1								1	0	F <sub>1</sub> F			
	F <sub>2</sub> F				1	1							1	1	0	F <sub>2</sub> F		
	D <sub>2</sub> E					1	1						1	1	1	0	D <sub>2</sub> E	
	D <sub>2</sub> F					1	1	1					2	2	2	1	0	D <sub>2</sub> F
	A <sub>2</sub> E	1							1				1	0	A <sub>2</sub> E			
	A <sub>2</sub> F	1							1	1			2	1	0	A <sub>2</sub> F		
	C <sub>1</sub> F					1					1		1	1	1	0	C <sub>1</sub> F	
	C <sub>2</sub> F	1										1	1	0	C <sub>2</sub> F			

**TABLEAU DE GROUPEMENT EN PHASE**

NIVEAUX D'USINAGE	OPERATIONS ELEMENTAIRES					
1	F <sub>1</sub> F	C <sub>2</sub> F	A <sub>2</sub> E			
2	G <sub>1</sub> F	F <sub>2</sub> F	A <sub>2</sub> F	G <sub>2</sub> F		
3	D <sub>2</sub> E	C <sub>1</sub> F				
4	D <sub>2</sub> F					

**AVANT-PROJET D'ETUDE DE FABRICATION**

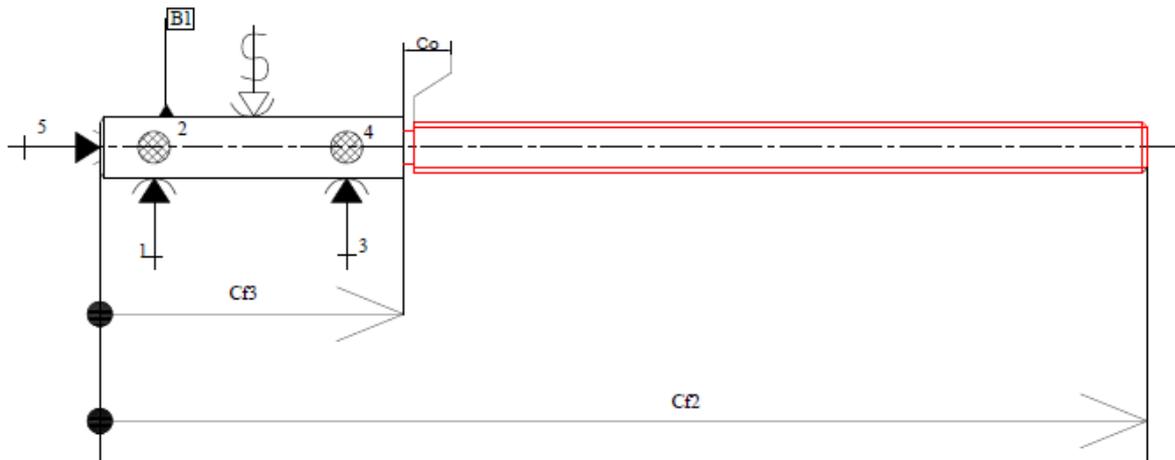
N° DE PHASE	DESIGNATIONS	SURFACES USINEES (Dans l'ordre logique)
10	CONTROLE DU BRUT	POSTE DE CONTROLE DU BRUT
20	TOURNAGE 1	F <sub>1</sub> F, C <sub>2</sub> F
30	TOURNAGE 2	G <sub>1</sub> F(F <sub>3</sub> F, F <sub>4</sub> F, D <sub>1</sub> F), F <sub>2</sub> F, C <sub>1</sub> F, A <sub>2</sub> E, A <sub>2</sub> F
40	PERCAGE	D <sub>2</sub> E, D <sub>2</sub> F
50	FRAISAGE	G <sub>2</sub> F(F <sub>5</sub> F, F <sub>6</sub> F, F <sub>7</sub> F, A <sub>1</sub> F),
60	CONTROLE FINAL	POSTE DE CONTROLE DES PRODUITS FINIS

ENSET EBOLOWA		FEUILLE DE CALCUL DE LA COTE DE BRUT				Matière : C35f		
Croquis de la pièce			Graphe des côtes de fabrication					
			Conditions	Rép.	Mini →	Cmini ↔ Maxi ←	IT	Cotes de fabrication
			Conditions du Bureau d'étude	Cf1	499.9	500.1	0.2	
				Conditions du Bureau des Méthodes	Cb1		0.2	0.05
			Tracer de la chaîne de cote		Cb1		0.2	0.05
				Cf1		500.1	0.2	
				Cf2	500.3		0.15	
				Σ	500.3	500.3		

<b>ENSET EBOLOWA</b>		<b>CONTRAT DE PHASE</b>		<b>Bureau des méthodes</b>
<b>Cadence : Moyenne série</b>		<b>Désignation: VIS DE REGLAGE</b>		<b>Matière: C35f</b>
<b>Référentielle :</b>				
<b>Phase N° 10 : Contrôle du brut</b>			<b>M.O utilisée: Salle de métrologie</b>	
<b>Référentiel :</b>				
<b>OPERATIONS D'USINAGE</b>			<b>OUTILLAGE</b>	
<b>Rép</b>	<b>Désignation</b>	<b>Outils de coupe</b>	<b>Vérificateurs</b>	
	<b>Contrôler Cb1=500<sup>+0,45</sup><sub>+0,3</sub>,</b> <b>Cb2= Ø30</b>		- PC 1/50° - réglet	

<b>ENSET EBOLOWA</b>		<b>CONTRAT DE PHASE</b>		<b>Bureau des méthodes</b>		
<b>Cadence : Moyenne série</b>		<b>Désignation: VIS DE REGLAGE</b>		<b>Matière: C35f</b>		
<b>Phase N°20 : TOURNAGE 1</b>			<b>M.O utilisée: TOUR PARALLELE EQUIPE D'UNE BUTEE</b>			
<b>Référentiel : (1, 2, 3, 4) B<sub>1</sub>, Butée sur B<sub>2</sub> (5)</b>						
OPERATIONS D'USINAGE			OUTILLAGE		ELEMENTS DE COUPE	
Rep	Désignation	Outils de coupe	Vérificateurs	Vc m/mm	N tr/mn	f mm/t
201	Dresser F <sub>1</sub> F Cf1= 500 <sup>+0,11</sup>	Outil à charioter et à dresser ARS	-Pc 1/50° ; Réglet métallique	25	265,25	0,02
202	Chanfreiner C <sub>2</sub> F à 1,5 × 45°					

ENSET EBOLOWA		CONTRAT DE PHASE		Bureau des méthodes		
Cadence : Moyenne série		Désignation: VIS DE REGLAGE		Matière: C35f		
Phase N°30 : TOURNAGE 2		M.O utilisée: TOUR PARALLELE EQUIPE D'UNE BUTEE				
Référentiel : (1, 2, 3, 4) B <sub>1</sub> , Butée sur B <sub>2</sub> (5)						
OPERATIONS D'USINAGE		OUTILLAGE		ELEMENTS DE COUPE		
Rep	Désignation	Outils de coupe	Vérificateurs	Vc m/mm	N tr/mn	f mm/t
301	Dresser F <sub>2</sub> F Cf <sub>2</sub> = 500 <sup>±0,11</sup>	Outil à charioter et à dresser ARS	-Pc 1/50° ; Réglet métallique	25	265,2 5	0,02
302	Charioter D <sub>2</sub> F Cf <sub>3</sub> = 21 <sup>±0,1</sup>					
302	Saiger ( F <sub>2</sub> , F <sub>3</sub> , D <sub>5</sub> ),	Outil à charioter et à dresser ARS	-Gabarie de réglage			
302	Chanfreiner C <sub>2</sub> F à 1,5 × 45°	Outil à saigner	-Peigne métallique			
302	Fileter M24 × 3	Outil à fileter		25	88,41	0,02



<b>ENSET EBOLOWA</b>		<b>CONTRAT DE PHASE</b>		<b>Bureau des méthodes</b>		
<b>Cadence : petite série</b>		<b>Désignation: VIS DE REGLAGE</b>		<b>Matière: C35f</b>		
<b>Phase N°40 : PERCAGE</b>		<b>M.O utilisée: PERCEUSE SENSITIVE</b>				
<b>Référentiel : (1, 2, 3) B<sub>2</sub> Butée(4) sur D<sub>1</sub> et (5) sur D</b>						
<b>OPERATIONS D'USINAGE</b>		<b>OUTILLAGE</b>		<b>ELEMENTS DE</b>		
Rep	Désignation	Outils de coupe	Vérificateurs	Vc m/mm	N tr/mn	f mm/tr
401	Percer D <sub>2</sub> F = 24 <sup>±0,1</sup> Co=5	Foret à queue cylindrique Ø5	-Pc 1/50° -Régllet métallique -Gabarie de réglage	25	265,25	0,02

<b>ENSET EBOLOWA</b>		<b>CONTRAT DE PHASE</b>		<b>Bureau des méthodes</b>		
<b>Cadence : petite série</b>		<b>Désignation: VIS DE REGLAGE</b>		<b>Matière: C35f</b>		
<b>Phase N°50 : FRAISAGE</b>			<b>M.O utilisée: FRAISEUSE UNIVERSELLE</b>			
<b>Référentiel : (1, 2) B<sub>1</sub>, Orientation (3,4) Butée (5) sur F<sub>3</sub></b>						
<b>OPERATIONS D'USINAGE</b>		<b>OUTILLAGE</b>		<b>ELEMENTS DE</b>		
Rep	Désignation	Outils de coupe	Vérificateurs	Vc m/mm	N tr/mn	f mm/tr
501	Rainurer <b>G<sub>2</sub>F</b> (F <sub>3</sub> F, F <sub>6</sub> F, F <sub>7</sub> F,) = 50 <sup>±0,1</sup> A <sub>1</sub> F = Ø8	Fraise à rainurer à queue cylindrique 2 dents 8 × 8 en ARS	-Pc 1/50° -Réglet métallique -Gabarie de réglage	25	265,25	0,02

## 5.2. REALISATION DU PROTOTYPE

IL sera question dans cette partie de présenter le prototype issu de notre réalisation.

### 5.2.1. Étapes de fabrication

La figure... présente certaines étapes lors de la fabrication du prototype.



*Figure 5.1 : étapes de fabrication*

### 5.2.2. Présentation du prototype



*Figure 5.2: partie moteur du prototype*



*Figure 4.4 : vue de face du prototype*

### **5.3. NOTICES D'UTILISATION ET DE MAINTENANCE**

Dans cette partie, il sera question pour nous de donner la marche à suivre pour l'utilisation de notre prototype et fournir un plan de maintenance.

#### **5.3.1. Notice d'utilisation**

La marche à suivre pour l'utilisation de notre machine est la suivant :

- Brancher la machine à un secteur électrique monophasé ;
- Mettre la machine en marche par action sur un bouton poussoir ;
- Contrôler visuellement la vitesse d'avance de la traverse mobile ;
- Réaliser l'essai ;
- Lire les données sur le dispositif d'acquisition ;
- Interpréter et tracer la courbe caractéristique de l'essai.

### 5.3.2. Maintenance

**La maintenance** est une fonction qui consiste à faire revenir (dépannage ou réparation) ou à maintenir (action préventive) tout dispositif dans son état de fonctionnement normal. Elle s'exprime au moyen de la maintenabilité.

**La maintenabilité** quant à elle traduit la probabilité de remettre un système en état de fonctionner, en un temps donné, dans des conditions données et en retrouvant la fiabilité initiale.

Cependant, il existe plusieurs types de maintenance à savoirs :

- La maintenance corrective : effectuée après une défaillance ou une panne ;
- La maintenance préventive : effectuée dans le but de réduire la probabilité de défaillance d'un produit avant qu'une panne de plus en plus probable ne se produise ;
- La maintenance systématique : c'est une maintenance préventive effectuée selon un calendrier établi ;
- Maintenance conditionnelle : c'est une maintenance préventive dépendant d'une mesure (usure par exemple) ou d'une information révélant l'état de la dégradation.

Il sera question pour nous ici de nous attarder sur la maintenance préventive que nous effectuerons avec la méthode AMDEC (Analyse des Méthodes de Défaillances et de leurs Effets Critiques).

Elle est une méthode d'analyse préventive utilisée pour identifier les défaillances possibles mais aussi les effets ou les conséquences probables de celle-ci.

#### a. Principe de l'AMDEC

Elle consiste en une analyse critique de la conception envisagée : interactions entre sous-systèmes, entre composants élémentaires.

- #### b. Identification des composants susceptibles d'avoir une défaillance compte tenu de l'environnement et de l'utilisateur.

Tableau 5-1 : les composants et leurs défaillances

COMPOSANTS	DEFAILLANCES
Pignons récepteurs	Usure, cassure
Chaines	Coupure
Roulements	Usure
Vis de transmission	Usure des filets
Moteur	Panne
Ecrous	Usure des filets
Capteur de force	Panne
Poinçon	Flambage

### 5.3.3. Description des modes de défaillances possibles

Dans cette partie, il est question pour nous de décrire les modes de défaillance possibles tout en les classifiant et en faisant ressortir les causes les produisant. *Le tableau 26* nous présentera d'ailleurs ces paramètres.

Tableau 5-2 : Cahier de maintenance

AMDEC	Système : Machine d'essai de flexion trois points avec acquisition des données								
Organes	Mode de Défaillance	Causes possibles	Effets	Moyen de détection	O	G	D	C	Mesure corrective
Pignons récepteurs	Détérioration	Usure, cassure	Pas d'entraînement des vis	Visuel					Changer
Roulement	Détérioration	Usure, lubrification	Mauvais guidage des pignons	Visuel					Changer, lubrifier
Chaines	Détérioration	Coupure	Pas de transmission de mouvement	Visuel					Changer, réparer
Vis de transmission	Détérioration	Usure des filets	Absence de liaison hélicoïdale	Visuel					Réparer ; changer
Ecrous	Détérioration	Usure, des filets	Mauvaise liaison hélicoïdale	Visuel					Changer, réparer
Capteur de force	Détérioration	Court-circuit	Absence d'effort	Visuel					Changer
Poinçon	Détérioration	Flambage	Mauvais pressage	Visuel					Changer
Moteur	Panne	Court-circuit, grippage	Pas d'énergie disponible	Visuel					Dépanner, changer

**Légende :**

- **Occurrence (O)** : c'est la fréquence d'apparition de chaque défaillance ;
- **Gravité (G)** : c'est le risque qu'occasionne une cause ;
- **Défectabilité (D)** : c'est le risque que la méthode d'inspection envisagée ne soit pas adaptée pour voir ou détecter le défaut ;
- **Criticité (C)** est une fonction avec coefficient de l'occurrence, la gravité et de la déflectabilité.

Pendant l'utilisation du produit, il revient donc à l'utilisateur de remplir les parties vides du cahier de maintenance (occurrence, gravité, déflectabilité et criticité) à chaque fois que survient une panne afin de le remettre au constructeur pour les éventuelles améliorations des prochains prototypes.

#### 5.4. ESTIMATION DU COUT DE LA MATIERE D'ŒUVRE

*Tableau 5-3 : estimation du cout de la matière d'œuvre*

N°	DESIGNATIONS	QUANTITE	PRIX UNITAIRE (FCFA)	PRIX TOTAL (FCFA)
1	Tube carre de 40	2	12000	24000
2	Tôle en acier galvanisés 30/10	1	19000	19000
3	Tige pleine Ø60	1	10200	10200
4	Tôle en acier galvanisés 300/10	1	40000	40000
5	Tige pleine galvanisée Ø90mm	1	13700	13700
6	Tige pleine galvanisée Ø20mm	1	3400	3400
7	Tige pleine galvanisée Ø75mm	1	11300	11300
8	Bloc en acier galvanisés 450x50	2	15000	30000
9	Tige pleine galvanisée Ø100mm	1	15000	15000
10	Bloc en acier galvanisés 200x110x75	2	15700	31400
11	Vitre 800x500x3 mm	3	16000	48000
12	Poulie deux gorge Ø100	3	12000	36000
13	Moteur avec cerveau moteur intégré à CC 900tr/min	1	150000	150000

14	Roulement à bille SKFT Ø80x60	2	6000	12000
15	Extensomètre a clipper L=75mm, C=50mm	1	30000	30000
16	Capteur de force 50KN	1	12000	12000
17	Courroie 352, 600mm	2	3200	6400
18	Boitier de commande avec bouton marche arrêt et urgence	1	60000	60000
19	Contacteur 15A	1	10000	10000
20	Capteur fin de course	2	10000	20000
21	Amplificateur de donnée complet W300 plus logiciel	1	72000	72000
22	Autres charges	1	50000	50000
<b>TOTAL</b>				<b>704 400</b>

## CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Ce mémoire portait sur la réalisation d'une machine d'essai de flexion prenant en compte les matériaux composites et intégrant une technique moderne et fiable d'acquisition des données.

Pour ce faire, il nous a fallu dans un premier chapitre étudier les notions sur les matériaux composites, les essais mécaniques et les techniques d'acquisition des données. Dans le chapitre deux les différentes technologies de machines d'essai de flexion trois points existante, ainsi que leurs méthodes d'acquisition des données ont été présentées. Le chapitre trois nous a permis de décrire le fonctionnement futur du système afin de rendre plus aisé la réalisation. Dans le chapitre quatre le dimensionnement proprement dit nous a permis d'obtenir les caractéristiques des différents éléments constitutifs de la machine. Le dernier chapitre a été réservé à la présentation les étapes liées à l'analyse de fabrication de notre model à la présentation de la machine fabriquée. La notice d'utilisation a ensuite été décrite ; suivi de la méthodologie de maintenance à adopter pour l'équipement. Une évaluation des différents coûts liés à l'acquisition de la machine a enfin été effectuée. En guise de perspective, nous suggérons l'amélioration du système à l'aide d'une technique d'acquisition des données intégrant l'imagerie et qui pourra se faire, soit avec des séquences successives de photo images ; ou bien tout simplement avec une vidéo de déroulement de l'essai.

## RÉFÉRENCES

- [1] : André CHEVALIER « Guide du dessinateur industriel », Edition Hachette Technique, 2004.
- [2] : BENDJERIOU BILLAL « Conception et fabrication d'un dispositif de flexion trois points », Mémoire de master, Faculté des sciences de l'ingénierat, Université Badji Mokhtar –Annaba, 2017/2018
- [3] : Marc MARZANO (Action Composite), Pascal CELLE (GNFA), Dossier Pédagogique-Les Matériaux Composites, ANFA / Édition 2014.
- [4] : HIDOURI. Abdelmoumen, Cours de Caractérisation des Matériaux- Licence appliquée en Génie Mécanique, Institut Supérieur des Etudes Technologiques de Gafsa, 2017-2018
- [5] : Toufik ACHOUR, Etude des techniques de réparation des structures composites endommagées, École Nationale Doctorale De Mécanique De Construction, Université Mentouri Constantine Faculté Des Sciences De L'ingénieur, Département De Génie Mécanique, année 2010/2011.
- [6] : [https:// www.wikipédia.org/wiki/matériauxcposites](https://www.wikipédia.org/wiki/matériauxcposites)
- [7] : KAUCHE Naima, Prise En Compte Du Vieillissement Et De L'endommagement Dans Le Dimensionnement De Structures En Matériaux Composites, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, Faculté de De Physique, année 2016.
- [8] : Zakariya BOUFAIDA, Analyse des propriétés mécaniques de composites taffetas verre/matrice acrylique en relation avec les propriétés d'adhésion des fibres sur la matrice, université de Lorraine, juillet 2015.
- [9] : DJEBLOUN Youcef, Chapitre I : Généralité sur les matériaux composites
- [10] : Marc BLETRY, Méthodes de caractérisation mécanique des matériaux 2006-2007
- [11] : Roland FORTUNIER, Comportement Mécanique des Matériaux, Ecole Nationale Supérieure des Mines.
- [12] : Jean-Louis Fanchon, Guide des Sciences Technologiques Industriel ; Edition NATHAN.
- [13] : [fr.wikipedia.org/wiki/Essai mécanique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Essai_mécanique).
- [14] : WALID LARBI, Matériaux de construction, Conservatoire National des Arts et Métiers, Chapitre 3 : Propriétés mécaniques des matériaux.
- [15] : B. JACQUOT, Propriétés mécaniques des Biomatériaux utilisés en Odontologie, Société Francophone de Biomatériaux Dentaires, 2010.

[16] : Larbi BENMOHAMED, « Cours de Résistance des Matériaux », Agence Spatiale Algérienne, Centre Des Techniques Spatiales, Département De Formation Et Information, Mars 2014.

[17] : « Cours résistance des matériaux », sur [http : //www.technologuepro.com/](http://www.technologuepro.com/), 2012-2013.

[18] : SAIM Ahmed et BOUZIANE Abdennour, « Etude Et Réalisation D'une Machine De Traction Manuelle », mémoire de Master En Génie Mécanique, Université Aboubakr Belkaïd–Tlemcen-Faculté de Technologie, Soutenu le 24 juin 2018.

[19] : [https:// www.campus.mines-douai.fr/flexion4points](https://www.campus.mines-douai.fr/flexion4points).

[20] : ASTM International. (2017). Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. Norme ASTM D790-17. Repéré à <https://doi.org/10.1520/D0790-17>.

[21] : <https://www.zwickroell.com/fr-fr/composites/tensile-test-compression-test-flexure-test/flexure-tests>.

[22]: F. Bernard, L. Daudeville, and R. Gy. La photoélasticité : un moyen de contrôle des structures en verre. In Colloque Photomécanique, pages 89–96, 2004.

[23] : Quoc TCHANG VO, Imagerie d'essais mécaniques sur des composites à matrice métallique, thèse pour obtenir le grade de Docteur, Université de MONPELLIER, décembre 2013.

## ANNEXES

### A Choix du moteur

**Moteurs asynchrones – Réseau Δ 230 / Y 400 V – 50 Hz – Degré de protection IP 55\***

**Moteurs à pattes de fixation**

**Moteurs à bride de fixation à trous lisses ou taraudés**

Nota : L'épaulement de l'arbre est nominale dans le même plan que la force d'appui de la bride.

**Moteurs asynchrones monophasés fermés, à rotor en court-circuit – Condensateur permanent**

Type	LS 56 P	LS 63 EP	LS 71 P	LS 80 P	LS 90 P						
Puissance kW	3 000 tr/min 1 500 tr/min	0,09 0,06	0,12 0,09	0,18 0,12	0,25 0,18	0,37 0,25	0,55 0,37	0,75 0,55	0,75 0,55	1,1 0,75	1,5 -
Type n°	a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u	56 71 89 36 9 90 104 7 56 146 6 24 156 5 2,5 80 120 100 M6 7 90 110	63 80 97 40 11 100 115 8 63 181 7 24,5 172 10 3 95 140 115 M8 10 96 124	71 90 104 45 14 112 126 9 71 200 7 23 231 10 3,5 110 160 130 M8 10 126 140	80 100 120 50 19 125 157 10 80 228 9 29 257 10 3,5 130 200 165 M8 12 148 160	90 125 145 56 24 140 172 11 90 248 10 37 300 12 4 130 200 165 M10 12 158 180					

**Moteurs asynchrones triphasés fermés, à rotor en court-circuit**

Type	LS 56 P	LS 63 E	LS 71 P	LS 80 L	LS 90 L	LS 100 L								
Puissance kW	3 000 tr/min 1 500 tr/min 1 000 tr/min 750 tr/min	0,09 - - -	0,12 0,09 - -	0,18 0,12 0,09 -	0,25 0,18 0,12 -	0,37 0,25 0,18 -	0,55 0,37 0,25 -	0,75 0,55 0,37 -	0,75 0,55 0,37 -	1,1 0,9 0,55 -	1,5 0,75 0,55 -	1,8 1,5 1,1 -	2,2 1,8 - -	3 2,2 1,5 0,75
Type n°	a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u	56 71 89 36 9 90 104 7 56 141 6 24 156 5 2,5 80 120 100 M6 7 85 110	63 80 96 40 11 100 115 8 63 154 7 24,5 172 10 3 95 140 115 M8 10 95 124	71 90 104 45 14 112 126 9 71 173 7 23 183 10 3,5 110 160 130 M8 10 102 140	80 100 120 50 19 125 157 10 80 203 9 29 215 10 3,5 130 200 165 M8 12 123 160	90 125 162 56 24 140 172 11 90 223 10 37 245 12 4 130 200 165 M10 12 133 180	100 140 165 63 28 160 196 13 100 238 12 40 290 14 4 180 250 215 M12 15 138 198							

\* Voir § 78.2

D'après Leroy-Somer.





## **1. CONTEXTE ET INTÉRÊTS**

En mécanique des matériaux, la flexion peut être définie comme la courbure d'une pièce (élément poutre en général) sous l'action de forces perpendiculaires à l'axe longitudinal, et appliquées en des points où la pièce n'est pas soutenue [1]. C'est un phénomène nuisible à l'ingénieur lors du dimensionnement des pièces car la flexion entraîne l'instabilité dans les structures en mouvement (les vibrations, fissurations, ...). Pour pallier à la flexion, plusieurs essais sont réalisés sur les matériaux de construction (généralement les composites), qui sont : l'essai de flexion à quatre points, l'essai de flexion à trois points, l'essai de flexion par flambage. Mais nous retiendrons la flexion à trois points parce qu'elle est simplifiée et classique [2]. Dans ces différents essais sont associés plusieurs techniques d'acquisitions des données dont on peut citer la tomographie optique de cohérence, l'imagerie par résonance magnétique, la tomographie térahertz, la tomographie par rayons X [3]. Le Cameroun tout comme les autres pays du tiers-monde, a besoin de construire une base de données suffisante sur les caractéristiques mécaniques de ses matériaux locaux afin de promouvoir leur valorisation et de prolonger la durée de vie des édifices construits à base de ces derniers. Malheureusement, la plupart des machines d'essais mécaniques pour le faire dans nos laboratoires sont vétustes et manuelles ; et leur achat en dehors de l'étendue de notre territoire est très onéreuse. C'est donc dans ce sillage que s'inscrit ce travail qui vise à concevoir, dimensionner et réaliser un dispositif pour essai de flexion trois points avec acquisition des données, en vue de permettre la mise à disposition de l'outil expérimental au sein de l'atelier de fabrication de l'ENSET D'EBOWA et de faciliter l'obtention dans nos différents laboratoires.

## **2. PROBLÉMATIQUE LIÉE À L'ÉTUDE**

La caractérisation des propriétés d'un matériau passe par un ensemble d'essais, dont l'essai de flexion trois points, facile à réaliser, et qui permet d'observer le comportement du matériau en traction (pour les fibres en dessous) et compression (pour les fibres en dessus) pour l'identification d'un plus grand nombre de propriétés.

Fort est de constater la non disponibilité d'un outil expérimental efficace, adapté à de tels essais au sein de nos laboratoires qui sont parfois obligés de se diriger vers l'extérieur pour la réalisation de cet essai, lequel, lorsqu'il est effectué sur place fournirait des résultats peu fiables (dépendant du manipulateur).

Notre but est donc de mettre à la disposition de notre atelier de fabrication de l'Enset d'Ebolowa, une machine d'essai de flexion trois points avec acquisition des données sur les matériaux composites (servant de prototype et qui pourra être fabriqué sur commande), afin de promouvoir et faciliter l'obtention du dispositif expérimental dans nos différents laboratoires.

### **3. L'OBJECTIF GÉNÉRAL ET LES OBJECTIFS SPÉCIFIQUES**

L'objectif général de notre étude est de réaliser pour l'atelier de fabrication de l'ENSET D'EBOWA une machine d'essai de flexion trois points avec acquisition des données servant de prototype. Mais nous retiendrons aussi comme objectifs spécifiques :

- Créer un outil expérimental pour les étudiants en cycle de recherches ;
- Créer une base de données des propriétés de matériaux locaux ;
- Promouvoir la valorisation des constructions à base des matériaux locaux ;

### **4. MÉTHODOLOGIE**

Afin d'atteindre nos différents objectifs, nous allons procéder de la manière suivante :

- Faire une revue de la littérature (généralités sur les essais mécaniques, généralités sur les machines d'essai de flexion existants, ...) ;
- Concevoir et réaliser le dispositif expérimental à travers :
  - ✚ La mise en œuvre du cahier de charge fonctionnel,
  - ✚ La conception du modèle à adopter
  - ✚ Le dimensionnement et/ou la simulation du modèle validé
  - ✚ L'analyse de fabrication
  - ✚ etc.
- Procéder à la fabrication du dispositif
- Faire des tests de validation ;
- Interpréter les résultats et conclure.

### **5. EXIGENCES DE DÉVELOPPEMENT**

#### **a) Contraintes technologiques**

- Permettre la réalisation de l'essai de flexion sur les matériaux composites ;
- Faire Prétraitement des tubes d'essai ;
- Avoir un bon aspect visuel.

**b) Contraintes économiques**

- Constituer des appareils qu'on retrouve dans le marché local ;
- Constituer d'appareils bon marché.

**c) Contraintes d'encombrement**

- Être Facile transportable par un enseignant ;
- Être Supportable par une table classique contenue dans les salles ;
- Être compatible avec l'espace de travail.

**d) Contraintes environnements**

- Ne pas nuire à l'environnement ;
- respecter les normes de sécurités pour les utilisateurs.

**e) Contraintes pédagogiques**

- Permettre aux professeurs du cours de matériaux de rendre son cours pratique ;
- Favoriser les travaux de recherche.

**6. RÉSULTATS ESCOMPTÉS**

- Disposer d'une machine de flexion trois points permettant de réaliser des essais conformément aux normes ISO (prototype) ;
- Participer au développement technologique de notre pays à travers la mise à disposition d'équipement de fabrication locale ;
- Permettre la détermination des propriétés mécaniques des matériaux composites ;
- Faciliter l'établissement d'une base de données des matériaux locaux.

## PLAN DE TRAVAIL

Numéro	Travail à effectuer	Durée (Semaine)
01	REVUE DE LA LITTÉRATURE <ul style="list-style-type: none"><li>• Matériaux Composites</li><li>• Essais mécaniques</li><li>• Essais de flexion 3 points</li><li>• Méthodes d'acquisition des données</li></ul>	4
02	ETAT DE L'ART SUR LES MACHINES D'ESSAIS DE FLEXION	2
03	CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DE LA MACHINE D'ESSAI DE FLEXION	3
04	ANALYSE DE FABRICATION DES ELEMENTS DE LA MACHINE	1
05	ANALYSE FINANCIERE	1
06	FABRICATION DE LA MACHINE	2
07	TEST DE FONCTIONNEMENT ET/OU AMELIORATION	2
08	CONCLUSION ET PERSPECTIVES	1

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] : Guide du dessinateur industriel 2004-Chevalier.

[2] : BENDJERIOU BILIAL, conception et fabrication d'un dispositif de flexion trois points, non publié.

[3] : Romain BRAULT, étude du comportement mécanique des matériaux composites par corrélation volumique : Application à l'analyse des effets du cisaillement transverse, thèse de doctorat à l'université de TOULOUSE.