



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



جامعة باجي مختار - عنابة -

**UNIVERSITE BADJI MOKHTAR –ANNABA-
BADJI MOKHTAR –ANNABA- UNIVERSITY**

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de master

INTITULE

CONCEPTION ET FABRICATION D'UN DISPOSITIF DE FLEXION TROIS POINTS

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNIQUES

FILIERE : GENIE MECANIQUE

SPECIALITE : FABRICATION MECANIQUE ET PRODUCTIQUE

PRESENTE PAR : BENDJERIOU BILLAL

DIRECTEUR DU MEMOIRE : Dr. BENGHERSALLAH M

JURY DE SOUTENANCE :

PRESIDENT : Pr. BOULANOUAR L.

EXAMINATEURS : Pr. AMIRAT A.

Dr. BENCHIHEUB S.

Année universitaire : 2017/2018

Remerciements

En préambule à ce mémoire je remercie ALLAH qui m'a donné la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Je voudrais exprimer mes sincères remerciements aux personnes qui m'ont aidé et contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

En premier lieu, je tiens à remercier vivement mon encadreur BENGHERSALLAH.M, pour la qualité d'encadrements, son soutien et les conseils qu'il a bien voulu me prodiguer.

J'aimerais aussi gratifier les efforts de BENCHIHEUB.S, qui a eu l'amabilité de répondre à mes questions et de fournir les explications nécessaires.

Mes remerciements sincères s'adressent à mes parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

Je remercie enfin tous mes proches et amis, qui m'ont toujours encouragée. Merci à tous et à toutes.

RESUME

L'étude concerne la réalisation d'un dispositif de flexion trois point. Il est destiné pour la machine des essais universelles WP300 du laboratoire de caractérisation mécanique. Nous avons entamé notre étude par la DAO des différentes pièces de l'appareil, une simulation numérique sous SolidWorks a été réalisée pour vérifier la rigidité du dispositif. Avant la réalisation nous avons proposé les gammes d'usinage de toutes les pièces. Nous avons proposé un tour à commande numérique avec unité de fraisage pour la fabrication du support.

Ayant adopté l'acier XC48 pour la réalisation de toutes les pièces, nous avons fabriqué le dispositif au niveau du laboratoire de fabrication mécanique du département

Sommaires

Introduction générale.....	1
Liste des tableaux.....	5
Liste des figures.....	6

Chapitre I

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1..Etude des sollicitations mécaniques.....	10
I.1.1.Introduction.....	10
I.1.2.Les sollicitations mécaniques.....	10
I.1.2.1.Définition des sollicitations.	10
I.1.2.2 Flexion simple.....	12
I.2.La flexion trois points.....	17
I.2.2.Essai de flexion.....	18
I.2.3.Répartition des contraintes.....	18
I.3..Les essais mécaniques.....	19
I.3.2.Les essais non destructifs : permettent la mise en évidence des défauts de structure qui initient l'endommagement ainsi que l'évolution du processus de rupture.....	19
I.3.3.Essais statiques.....	19
I.3.4.Essai de traction et de compression : (traction longitudinale, transversale, hors axes, compression longitudinale.....)	19
I.3.5.Essai de flexion : (trois points, quatre points, par flambement, ...)	19
I.3.6.Essais Torsion.	19
I.3.7.Essais Cisaillement.	20
I.3.8.Essai de dureté.	20
I.3.9.Essais dynamiques.	20
I.3.10.Essai de compression dynamique.	20
I.3.11.Essai au choc.	20
I.3.12.Essai de fatigue.....	20

I.3.13.Essais mécaniques sur l'interface fibre-matrice.....	20
I.3.14.Essai sur éprouvettes modèles (Essai Pull-out, essai de fragmentation...)	20
I.3.15.Essai sur produit fini (essai de micro-indentation, essais de cisaillement inter laminaire, par flexion ou par traction...)	20
I.3.16.Essais sur les composants le renfort- la matrice (la résine).....	20
I.3.17.Caractéristiques fondamentales.....	20
I.3.18.Organigramme des essais mécanique.....	21
I.4.Les dispositifs de flexion.....	22
I.4.2.Machines de flexion.....	23
I.4.3.Etudes des dispositifs de flexion.....	24
I.5.L'usinage des matériaux.....	24
I.5.1.Principe.....	24
I.5.2.Génération de surface.....	24
I.5.2.1.Par travail de forme.....	25
I.5.2.2.Par travail d'enveloppe.....	25
I.5.2.3. Les différents procédés d'usinage.....	26
I.5.2.4. Les formules de coupe.....	26
I.5.2.5. Les éléments de coupe et de passe.....	26
I.5.3.TOURNAGE.....	27
I.5.3.1.Principe.....	27
I.5.3.2.Types de machines.....	27
I.5.4.FRAISAGE.....	28
I.5.4.1.Principe.....	28
I.5.4.2.Types de machines.....	28
I.5.5.PERÇAGE.....	29
I.5.5.1.Principe.....	29

CHAPITRE II

PRESENTATION DU SUJET ET PARTIE EXPERIMENTALE

II.1.Problématique.....	29
II.2.Présentation de la machine WP300.....	30
II.2.1.Caractéristiques techniques.....	31
II.2.2.Plages de mesure.....	31
II.2.3.Contenu didactique/essais.....	31
II.2.4.Essai de flexion.....	32
II.3.Calculs de résistance des pièces du dispositif.....	32
II.3.1.Les étapes de simulation en SOLIDWORKS.....	32
II.4.DAO des composants du dispositif.....	40
II.4.1.Dessin de définition des composants du dispositif.....	40
II.5.Choix des matériaux et les processus de fabrication.....	46

CHAPITRE III

REALISATION DU DISPOSITIF

III.1. CAMWorks.....	48
III.1.1. Introduction.....	48
III.1.2. Réalisation de la pièce.....	48
III.1.2.1.Choix de la machine.....	48
III.1.2.2.Définir le brut.....	49
III.1.2.3.Dressage.....	49
III.1.2.4.Chariotage.....	50
III.1.2.5.Centrage :	50
III.1.2.6.Perçage.....	50
III.1.2.7.Centrage.....	51
III.1.2.8.Perçage.....	51
III.1.2.9.Exécution du méplat.....	51

III.1.2.10.La deuxième partie.....	52
III.1.2.11.Tronçonnage de la pièce.....	52
III.1.2.12.La pièce finie.....	52
III.2.Gamme d'usinage des pièces du dispositif	53
III.2.1. Le contrat de phase.....	53
III.3.Essai de validation.....	57

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau.I.1.Vitesse de coupe tournage.....	25
Tableau.I.1.Vitesse de coupe fraisage.....	26
Tableau.I.1.Vitesse de coupe perçage.....	27

Chapitre II

Tableau.II.1.Les norme.....	46
Tableau.II.2.Composition chimique.....	46
Tableau.II.3.Caractéristique mécanique.....	46

Listes des figures

Chapitre I

Figure.I.1.traction simple et compression simple.....	10
Figure.I.2.Les types de flexion.....	11
Figure.I.3.Courbure d'une poutre.....	11
Figure 4. Exemple illustratif d'une poutre sollicitée en flexion simple.....	12
Figure.I.5.Conventions de signe.....	13
Figure.I.6.Elément de poutre isolé non chargé.....	13
Figure.I.7.Elément de poutre isolée chargé par une force uniformément répartie.....	14
Figure.I.8.Poutre déformée.....	15
Figure.I.9.Exemples de sections usuelles.....	16
Figure.I.10.Modélisation ds efforts extérieurs sur une poutre soumise à une flexion simple...16	
Figure.I.11.Modélisation d'un essai de flexion trois points.....	17
Figure.I.12.Définition de l'angle $\Delta\phi$	18
Figure.I.13.Flexion 3 points.....	21
Figure.I.14.Machine universelle en montage de flexion.....	22
Figure.I.15.Dispositif de flexion 3 points.....	23
Figure.I.16.Déférant type d'usinage.....	24

Chapitre II

Figure.II.1.Machine WP300.....	31
Figure.II.2.Interface SolidWorks.....	34
Figure.II.3.Modèle 3D de la traverse.....	34
Figure.II.4.Fenêtre simulation.....	35
Figure.II.5.Analyse statique.....	35
Figure.II.6.Définition du matériau.....	36
Figure.II.7.Déplacement imposes.....	36
Figure.II.8.Fixer la géométrie.....	37

Figure.II.9.Conseiller chargement externes.....	37
Figure.II.10.Choisir force.....	38
Figure.II.11.Le maillage.....	38
Figure.II.12.Exécution d'étude.....	39
Figure.II.13.Les contraintes.....	39
Figure.II.14.Les déplacements.....	40
Figure.II.15.Les déformation.....	40

Chapitre III

Figure.III.1.Choix de la machine.....	49
Figure.III.2.Simulation du brut.....	49
Figure.III.3.Le dressage du brut.....	49
Figure.III.4.Simulation du chariotage.....	50
Figure.III.5.Simulation du centrage.....	50
Figure.III.6.Simulation du perçage.....	50
Figure.III.7.Simulation du centrage.....	51
Figure.III.8.Simulation du perçage.....	51
Figure.III.9.Simulation d'exécution du méplat (la première partie).....	51
Figure.III.10.Simulation d'exécution du méplat (la deuxième partie).....	52
Figure.III.11.La simulation du tronçonnage.....	52
Figure.III.12.Pièce finie (3D).....	53
Figure.III.13.La fenêtre de réglage.....	58
Figure.III.14.La WP300 Machine d'essai universelle (dispositif de flexion).....	59

Introduction général

L'industrie mécanique est un secteur très important dans l'économie d'un pays. C'est une des contraintes au progrès et au développement, Elle représente le niveau d'évolution de la modernité d'une nation.

La fabrication mécanique à une grande importance dans le développement industriel, elle participe à l'amélioration des performances des moyens de production locaux.

La nouvelle stratégie industrielle mondiale est basée sur la haute technologie moderne acquise par des grands constructeurs internationaux.

L'Algérie est comme les autres pays du monde, a besoin de construire une base industrielle suffisante pour rattraper le retard dans ce domaine qui compte chaque jour des avancées extraordinaires. Les techniques d'usinage existent et sont de plus en plus performantes et cependant, l'application des principes de la mécanique reste la technique la plus intéressante dans la conception et la fabrication des différentes pièces. C'est dans cette optique que s'inscrit notre formation de master en fabrication mécanique et productive.

A travers de cette étude dans le domaine de fabrication mécanique nous nous intéressons à étendre de l'application d'une machine de traction universelle WP310 n'est pas dotée d'un dispositif de flexion 3 points.

L'objectif de notre travail est la réalisation d'un dispositif pour essai de flexion trois points à partir d'une nuance acier XC48.

Ce dispositif est composé de trois parties :

- 1) Support cylindrique.
- 2) Traverse horizontal.
- 3) Deux appuis avec des cylindres de contact (mobile).

Pour mener ce travail, nous avons commencé par une synthèse bibliographique ou nous avons donné un aperçu général sur les sollicitations mécaniques et la flexion trois points, les essais mécaniques ; citant l'usinage des matériaux et une étude des dispositifs de flexion.

Ensuite le deuxième chapitre montre une présentation sur sujet et la partie expérimentale avec les calculs de résistance des pièces du dispositif et leur DAO des composants et les choix des processus de fabrication.

Enfin, le troisième chapitre présent en détail les étapes de création du dispositif et la réalisation d'une pièce sous le logiciel CAMWorks avec la gamme d'usinage (tournage, fraisage, perçage) on termine avec les essais de validation. Suivi d'une conclusion général.

CHAPITRE I

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Etude des sollicitations mécaniques :

I.1.1. Introduction :

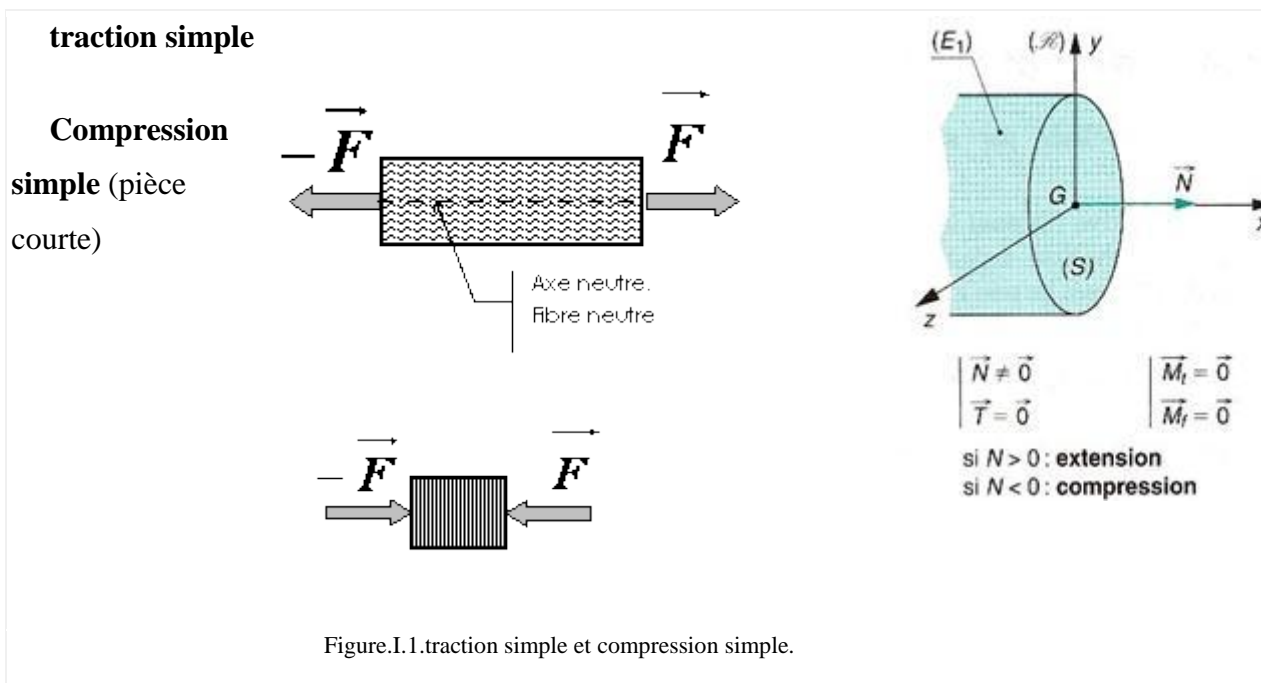
La résistance des matériaux (RDM) est une branche de la mécanique des milieux continus adaptée aux déformations des structures (machines en génie mécanique, ou bâtiment en génie civil). C'est une science expérimentale concernant les solides réels. Elle permet d'étudier dans les pièces mécaniques leur résistance, les actions mécaniques qui s'y exercent et leur déformation. Pour cela il est nécessaire au préalable de bien modéliser les différentes liaisons mécaniques possibles et les actions extérieures agissant sur le système.

La statique, quant à elle, est une branche de la mécanique qui étudie les conditions sous lesquelles un corps est en l'équilibre, compte tenu des efforts que son milieu extérieur exerce sur lui.[1]

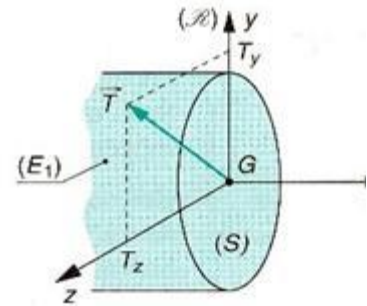
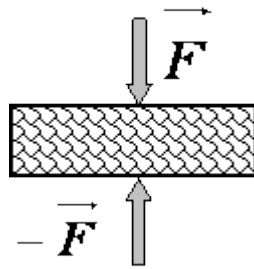
I.1.2. Les sollicitations mécaniques :

I.1.2.1. Définition des sollicitations :

Si les éléments de réduction en G du torseur des efforts de cohésion font apparaître un seul des quatre éléments $\vec{N}, \vec{T}, \vec{M}_t, \vec{M}_f$ non nul, la sollicitation est dite simple [2].

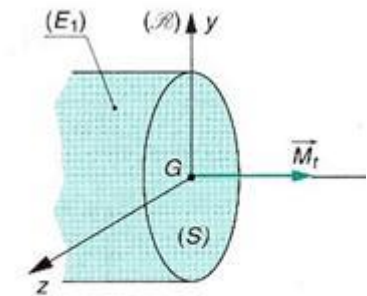
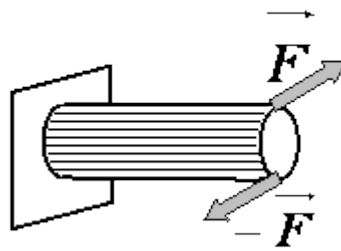


cisaillement simple



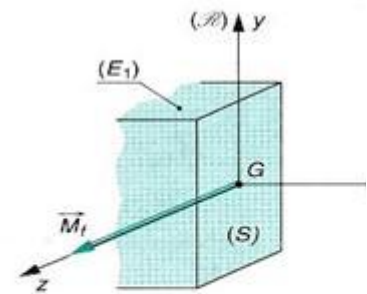
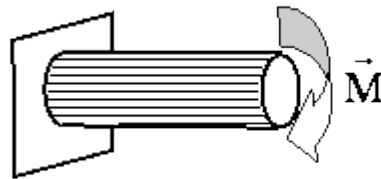
$$\begin{cases} \vec{N} = \vec{0} \\ \vec{T} \neq \vec{0} \end{cases} \quad \begin{cases} \vec{M}_t = \vec{0} \\ \vec{M}_f = \vec{0} \end{cases}$$

torsion simple



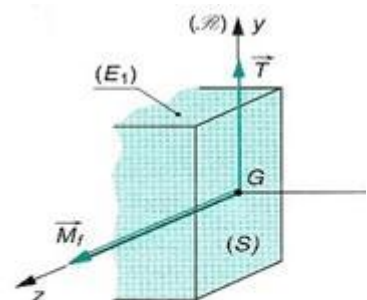
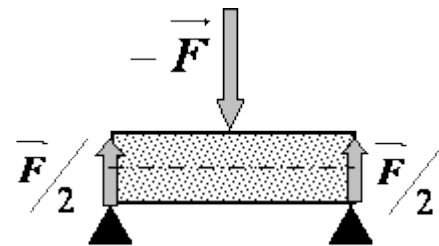
$$\begin{cases} \vec{N} = \vec{0} \\ \vec{T} = \vec{0} \end{cases} \quad \begin{cases} \vec{M}_t \neq \vec{0} \\ \vec{M}_f = \vec{0} \end{cases}$$

Flexion pure



$$\begin{cases} \vec{N} = \vec{0} \\ \vec{T} = \vec{0} \end{cases} \quad \begin{cases} \vec{M}_t = \vec{0} \\ \vec{M}_f \neq \vec{0} \end{cases}$$

Flexion plane simple



$$\begin{cases} \vec{N} = \vec{0} \\ \vec{T} \neq \vec{0} \end{cases} \quad \begin{cases} \vec{M}_t = \vec{0} \\ \vec{M}_f \neq \vec{0} \end{cases}$$

Figure.I.2.Les types de flexion.

I.1.2.2. Flexion simple :

Une poutre est soumise à la flexion lorsque les forces qui lui sont appliquées tendent à faire varier sa courbure [3] (Fig.I.3).



Figure.I.3.Courbure d'une poutre.

On entend par flexion simple un mode de sollicitation tel que dans les sections droites de la poutre il existe deux composantes des efforts intérieurs : le moment fléchissant M_f (ou M_f) et l'effort tranchant T_Y (ou T_Z).

La flexion est aussi dite simple, lorsque la poutre possède un plan de symétrie et que les forces fléchissant agissent dans ce plan, perpendiculairement au grand axe de la poutre.

I.1.2.2.1. Efforts tranchants, moments fléchissant :

Soit la poutre ci-dessous soumise à la flexion simple. Imaginons une coupure en un point C qui divise la poutre en deux parties notées gauche et droite. Chacune de ces deux parties est en équilibre sous l'action des efforts extérieurs qu'elle reçoit et sous l'action des effets de l'autre partie (efforts intérieurs).

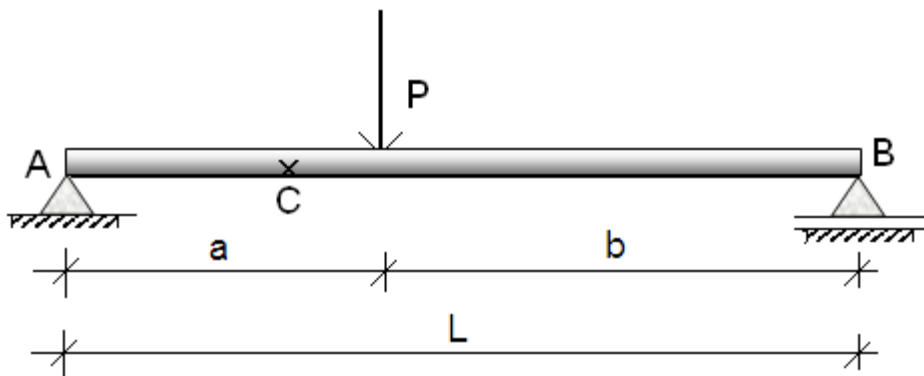


Figure 4. Exemple illustratif d'une poutre sollicitée en flexion simple.

Chacune des deux parties agit sur l'autre de sorte que :

Tous les mouvements horizontaux, verticaux et de rotation d'une partie par rapport à l'autre sont nuls.

Chaque partie est en équilibre

Pour qu'il y ait concordance en signe entre les deux parties, on utilise la convention de signe montrée sur la figure (Fig.I.5).

L'effort tranchant $T(x)$ dans une section d'abscisse x , séparant la poutre orientée en une partie gauche et une partie droite, est la résultante des forces extérieures s'exerçant sur la partie gauche.

Le moment fléchissant $M(x)$ dans une section d'abscisse x , séparant la poutre orientée en une partie gauche et une partie droite, est la somme des moments extérieurs (dus aux couples concentrés et aux efforts d'action et de réaction) s'exerçant sur la partie gauche.

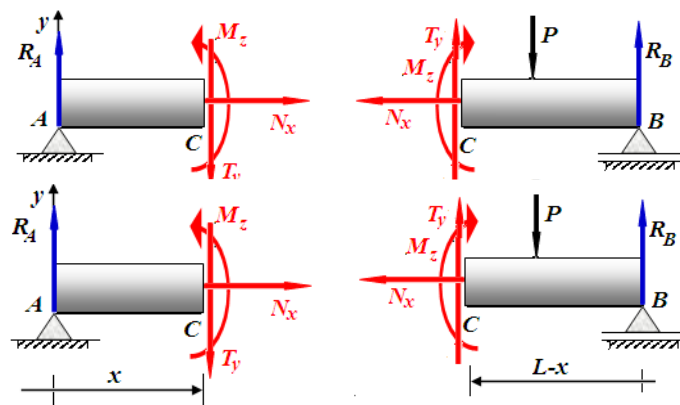


Figure.I.5.Conventions de signe.

I.1.2.2.2. Diagrammes des Efforts tranchants et des moments fléchissant :

Le diagramme des efforts tranchants est la courbe représentative de la fonction $T(x)$ et le diagramme des moments fléchissant est la courbe représentative de la fonction $M(x)$, où x est l'abscisse de la poutre de l'une de ses extrémités.

I.1.2.2.3. Relation entre moment fléchissant et effort tranchant :

Considérons un élément de poutre pris entre deux sections (Σ) et (Σ') infiniment voisines, distantes de dx (Fig.I.6).

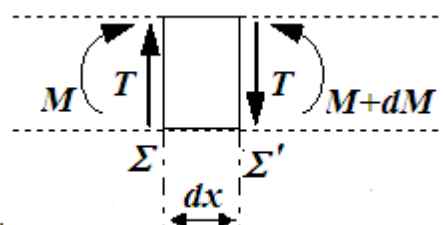


Figure.I.6.Elément de poutre isolé non chargé.

L'influence de la partie gauche sur l'élément est représentée par T et M .

L'influence de la partie droite sur l'élément est représentée par T' et M' .

Si aucun effort ne s'exerce sur la poutre entre les sections (Σ) et (Σ'), les efforts tranchants de ces deux sections sont égaux ($T' = T$). Par contre les moments fléchissant M et M' ($M' = M + dM$) diffèrent. L'équilibre de l'élément s'écrit :

$$M + T dx - M - dM = 0$$

$$\frac{dM}{dx} = T$$

I.1.2.2.4. Relation entre effort tranchant et chargement réparti

Considérons le cas où une charge répartie, d'intensité p , s'exerce entre les sections (Σ) et (Σ')

La charge totale appliquée sur l'élément est $p dx$.

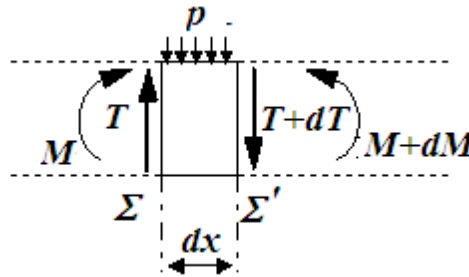


Figure.I.7.Élément de poutre isolée chargé par une force uniformément répartie.

L'équilibre des forces sur l'élément mène à :

$$T - p dx - T - dT = 0$$

Ce qui veut dire que :

$$\frac{dT}{dx} = -p$$

L'équilibre des moments donne :

$$M + T dx - p dx dx/2 - M - dM = 0$$

En négligeant le terme du second ordre $\left(p \frac{(dx)^2}{2}\right)$, il reste $T = \frac{dM}{dx}$ Ce qui veut dire que la relation entre l'effort tranchant et le moment fléchissant reste valable au premier ordre.

I.1.2.2.5. Déformée d'une poutre soumise à la flexion simple (flèche) :

Sous l'effet des sollicitations auxquelles elle est soumise, une poutre se déforme. On désigne par flèche à l'abscisse x , le déplacement du centre de gravité de la section correspondant à cette abscisse. Elle est comptée positivement si le déplacement s'effectue vers le bas. Le nouveau lieu des centres de gravité de toutes les sections de la poutre prend le nom de déformée.

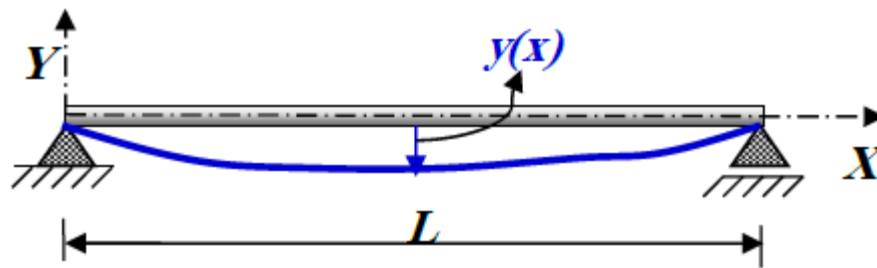


Figure.I.8.Poutre déformée.

On admet la relation suivante qui permet le calcul de la déformée

$$y''(x) = \frac{M(x)}{EI}$$

$y''(x)$ est la dérivée seconde de la flèche par rapport à x

$M(x)$, le moment fléchissant à la section d'abscisse x .

E , le module d'élasticité longitudinale (module d'Young).

I , le moment d'inertie de la section par rapport à l'axe Δ passant par le centre de gravité et perpendiculaire au plan moyen de la poutre.

La figure montre des expressions du moment d'inertie central pour des sections usuelles

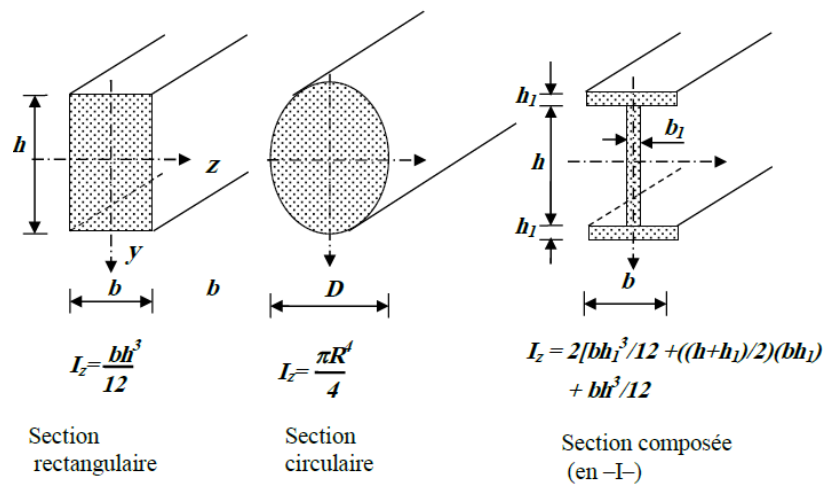


Figure.I.9.Exemples de sections usuelles.

Pour avoir la flèche y (ou v), il faut donc intégrer cette équation deux fois, d'où l'obtention d'une équation fonction de deux constantes que l'on obtient par les conditions aux limites [3]. Celles-ci s'écrivent, généralement :

- Pour un appui : $y = 0$
- Pour un encastrement : $y = 0$ et $y' = 0$ (formules de Bresse)

I.2. La flexion trois points :

Une poutre est sollicitée en flexion simple lorsque toutes les forces appliquées à la poutre que ce soient les forces à distance ou les forces élémentaires de liaison sont perpendiculaires à la ligne moyenne, et soit situées dans le plan de symétrie, soit réparties symétriquement par rapport à celui-ci, ou concentrées en un point ou réparties suivant une loi [4].

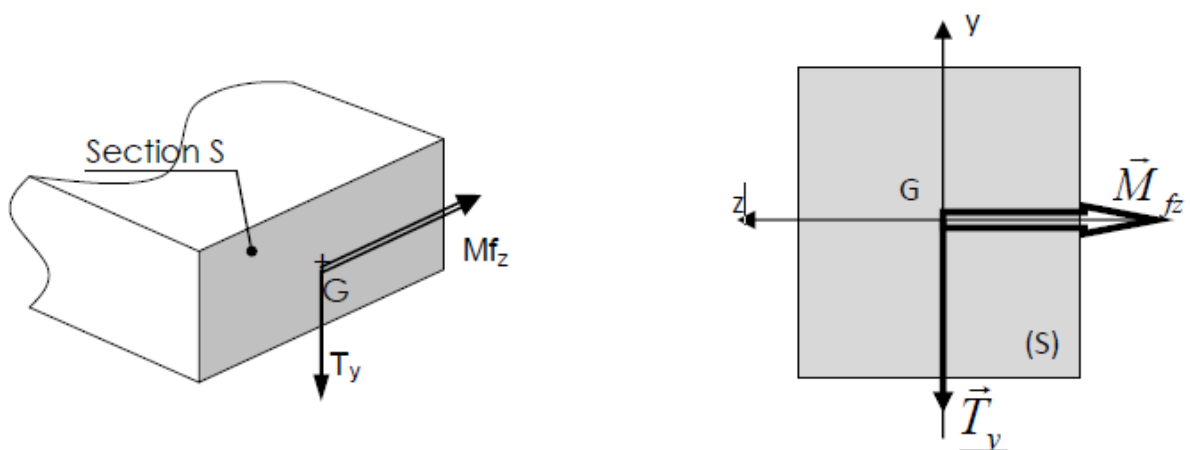


Figure.I.10.Modélisation des efforts extérieurs sur une poutre soumise à une flexion simple.

Au cours de la déformation, les sections droites (constantes) restent planes et normales à la ligne moyenne.

La ligne moyenne de la poutre est rectiligne et confondue avec l'axe (o,x) .

Le torseur associé aux efforts de cohésion peut se réduire en G , barycentre de la section droite

S , à une résultante contenue dans le plan de la section et à un moment perpendiculaire à cette dernière.

$$\{\tau\} \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ Ty & 0 \\ 0 & Mfz \end{Bmatrix}$$

I.2.1. Essai de flexion :

Considérons une poutre reposant sur deux appuis soumise à une charge concentrée verticale (Fig.I.11).

Après déformation, cette poutre fléchit : On constate que les fibres situées dans la partie supérieure sont sollicitées en compression tandis que celles situées en partie inférieure sont sollicitées en traction.

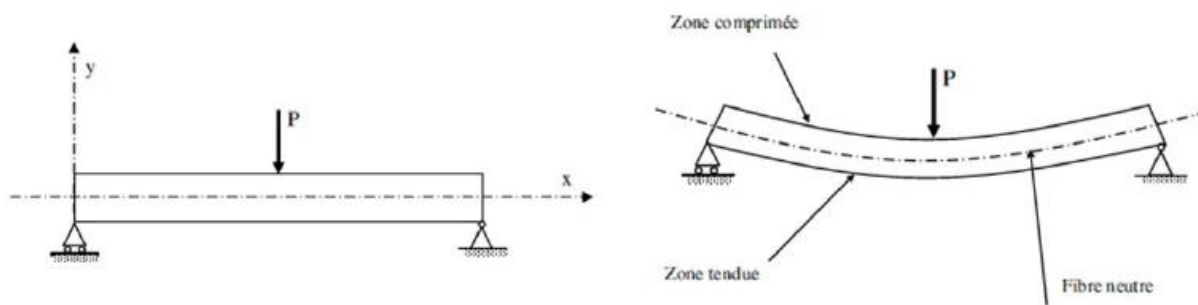


Figure.I.11.Modélisation d'un essai de flexion trois points.

Entre ces deux régions il existe une fibre qui reste ni tendue ni comprimée : la fibre neutre.

Les allongements ou raccourcissements relatifs sont proportionnels à la distance y de la fibre considérée.

I.2.2. Répartition des contraintes :

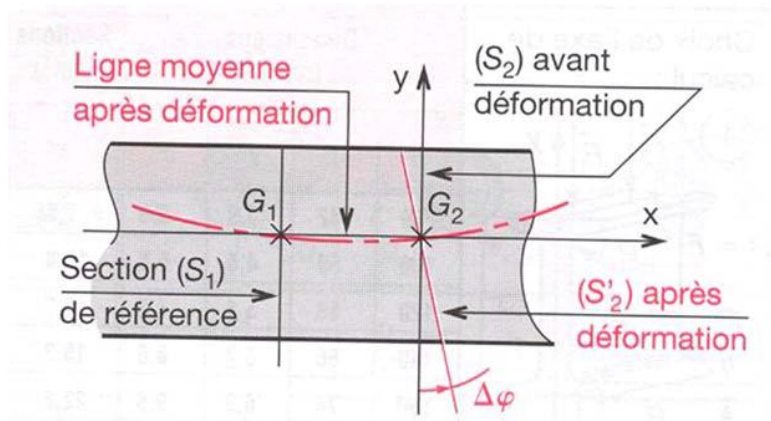


Figure.I.12.Définition de l'angle $\Delta\varphi$.

Lorsque la poutre fléchit, la section droite pivote d'un angle $\Delta\varphi$

Les contraintes normales engendrées sont proportionnelles à la distance qui les sépare du plan des fibres moyennes [4].

$$\text{d'où : } \sigma = E\theta y$$

I.3. Les essais mécaniques :

L'ingénieur mécanicien a besoin de connaître le comportement mécanique des matériaux utilisés pour fabriquer diverses structures. Ce sont les essais mécaniques qui peuvent lui fournir ces données nécessaires. Elles sont tout d'abord indispensables pour la mise au point des procédés de mise en forme.

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). Il ne faut pas confondre une déformation avec un déplacement ou une dilatation [5].

Cependant, la déformation d'une pièce dépend de la géométrie de la pièce et de la manière dont sont exercés les efforts extérieurs sur cette pièce. Il faut donc normaliser les essais. Des normes définissent donc :

- 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.

Ces essais sont classés en plusieurs types :

I.3.1. Les essais non destructifs : permettent la mise en évidence des défauts de structure qui initient l'endommagement ainsi que l'évolution du processus de rupture.

I.3.2. Essais statiques.

I.3.3. Essai de traction et de compression : (traction longitudinale, transversale, hors axes, compression longitudinale...)

I.3.4. Essai de flexion : (trois points, quatre points, par flambement, ...).

I.3.5. Essais Torsion.

I.3.6. Essais Cisaillement.

I.3.7. Essai de dureté.

I.3.8. Essais dynamiques.

I.3.9. Essai de compression dynamique.

I.3.10. Essai au choc.

I.3.11. Essai de fatigue.

I.3.12. Essais mécaniques sur l'interface fibre-matrice.

I.3.13. Essai sur éprouvettes modèles (Essai Pull-out, essai de fragmentation...).

I.3.14. Essai sur produit fini (essai de micro-indentation, essais de cisaillement inter laminaire, par flexion ou par traction...).

I.3.15. Essais sur les composants le renfort- la matrice (la résine)...etc.

I.3.16. Caractéristiques fondamentales :

Limite élastique

$$Re = \frac{Fe}{S}$$

Résistance à la rupture

$$Rr = \frac{Fr}{S}$$

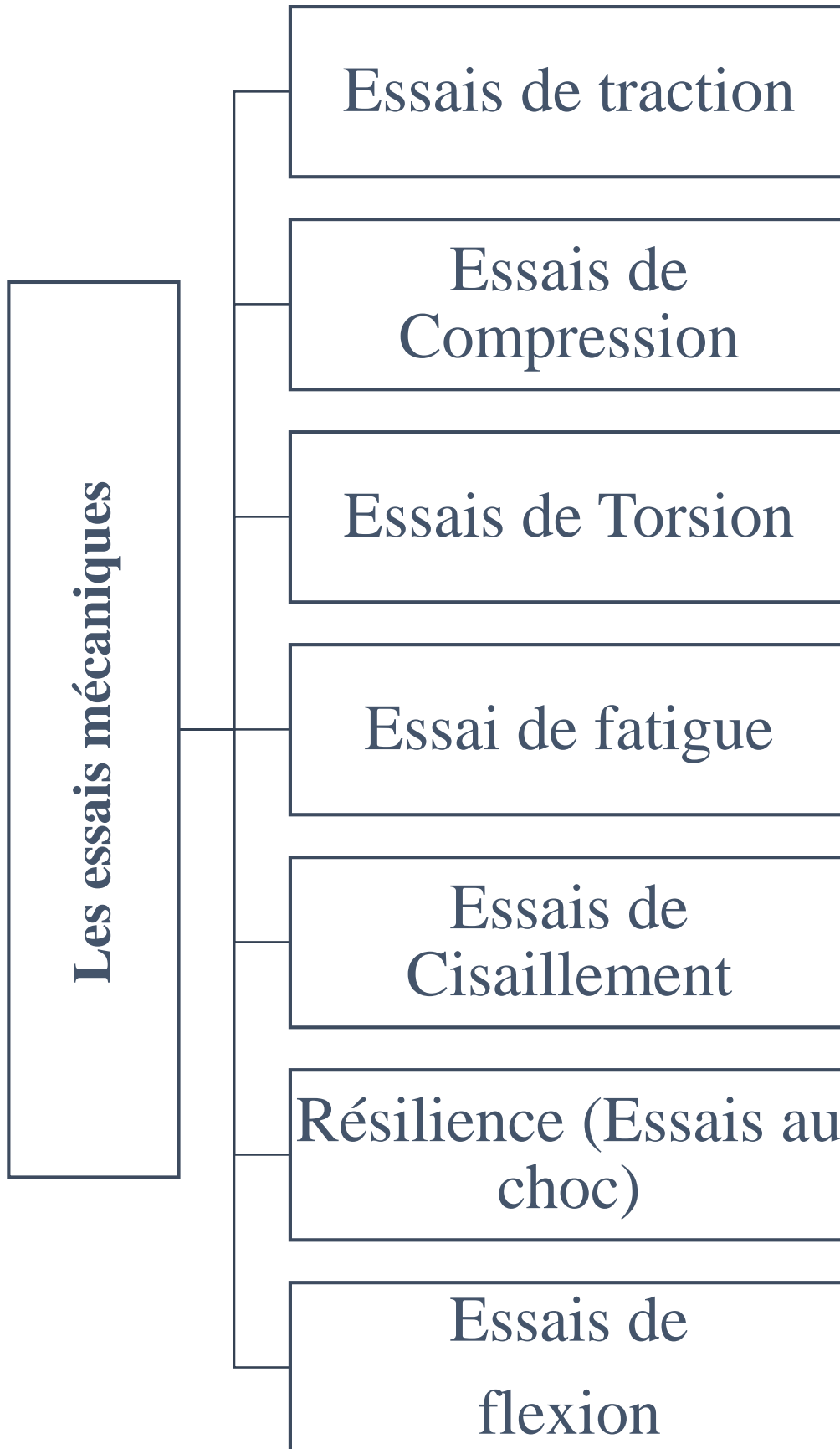
Allongement relatif

$$A\% = \frac{Lu-L0}{L0}$$

Allongement

$$Z\% = \frac{S0-Su}{S0}$$

I.3.17. Organigramme des essais mécanique :



I.4. Les dispositifs de flexion :

Le type d'essais le plus employé pour déterminer les caractéristiques mécaniques et le comportement des matériaux composites est en fait la flexion. Ce choix correspond souvent aux sollicitations auxquelles sont soumises les pièces réelles, mais surtout offre l'avantage de diminuer considérablement les difficultés de réalisation de l'essai par l'utilisation d'éprouvettes simples sans avoir la difficulté du collage des étalons ni le problème rencontré lors du serrage des mors dans le cas des essais de traction (sur contraintes locales conduisant à des ruptures prématurées de l'éprouvette) [6].

De plus, selon que l'opérateur travaillera en flexion 3 points ou 4 points et, suivant la distance entre appuis, il pourra privilégier un mode de rupture en traction-compression ou en cisaillement.

L'essai de flexion est un test mécanique qui fait partie de la famille des essais indépendants du temps comme le choc et la dureté.

Il consiste à placer une barre rectangulaire sur deux appuis et d'appliquer un effort ponctuel au centre, comme illustré à la figure.

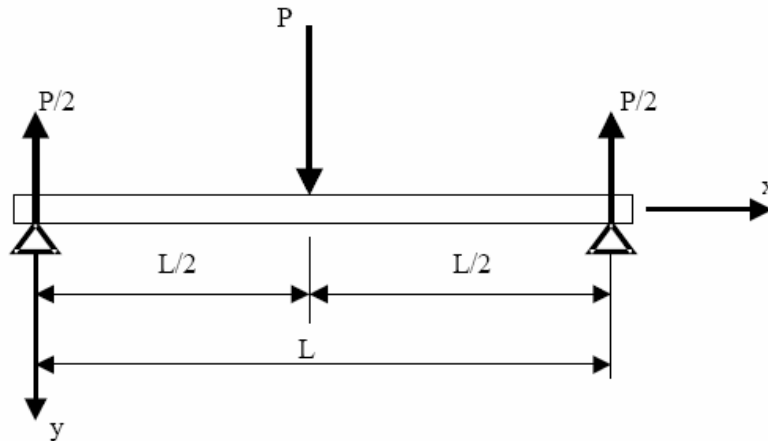


Figure.I.13.Flexion 3 points.

I.4.1. Machines de flexion :

La plupart des machines de flexion sont aujourd'hui dites universelles (traction, flexion, compression, fluage...).

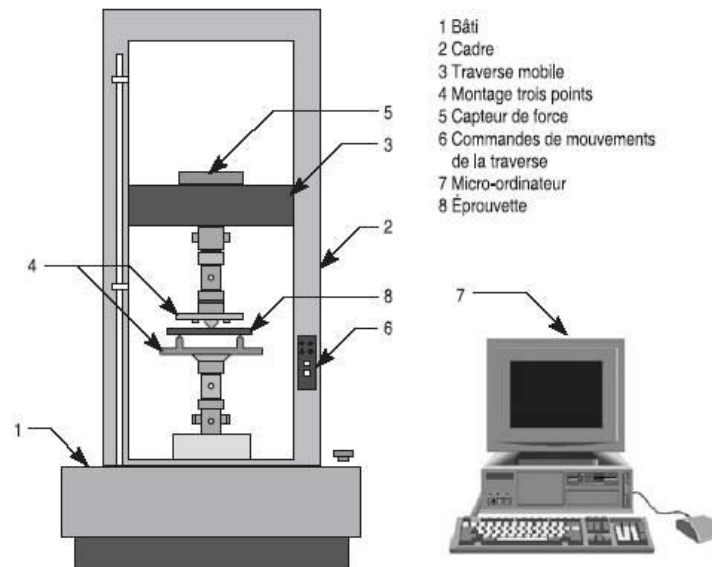


Figure.I.14.Machine universelle en montage de flexion.

Les essais de flexion trois points ont été réalisés suivant les recommandations de la norme française NFT57-104 et 105. Présentent les avantages d'utiliser des éprouvettes de conception simple avec des barreaux de section rectangulaire.

Le principe de cet essai consiste à déformer une éprouvette parallélépipédique reposant sur deux appuis, par l'intermédiaire d'une panne située à égale distance des appuis et se déplaçant à vitesse constante, dans le but de caractériser les propriétés mécaniques des matériaux telles que le module de Young et la résistance en flexion, la flèche maximale... etc. ; on enregistre la courbe charge-flèche au milieu.

Ces essais sont largement utilisés en raison de leur simplicité. Cependant, la flexion n'engendre pas un état de contrainte simple (ou pure) au sein du matériau testé.

En fonction de l'élanement de l'éprouvette (rapport de l'épaisseur sur la distance entre appuis) qui gouverne le rapport contraintes normales (traction/compression) / contraintes de cisaillement et en fonction des résistances en traction, compression et cisaillement du matériau, l'un ou l'autre des trois modes de rupture peut être obtenu. Nous proposons dans notre étude l'essai de flexion trois points [7].

I.4.2. Etudes des dispositifs de flexion :

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 [8].

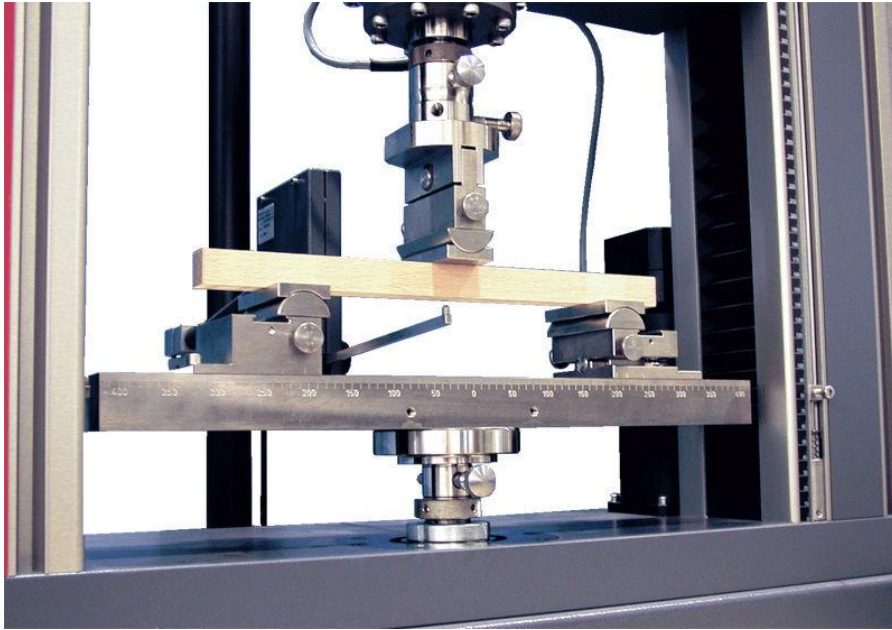


Figure.I.15.Dispositif de flexion 3 points.

I.5. L'usinage des matériaux :

I.5.1. Principe :

Le principe de l'usinage est d'enlever la matière de manière à donner à la pièce brute la forme voulue, à l'aide d'une machine-outil. Par cette technique, on obtient des pièces d'une grande précision.

Pour réaliser un usinage il est nécessaire que l'outil et la pièce soient animés de deux mouvements relatifs : le mouvement de coupe (vitesse de coupe) et le mouvement d'avance (vitesse d'avance). Ainsi, au contact de la pièce et de l'outil, en fonction des vitesses de déplacement, des trajectoires choisies, se crée un copeau provenant de la pièce usinée [9].

I.5.2. Génération de surface :

Il existe deux manières de générer la surface recherchée :

I.5.2.1. Par travail de forme :

Dans le cas du travail de forme c'est la forme de l'outil qui conditionne la surface finalement obtenue.

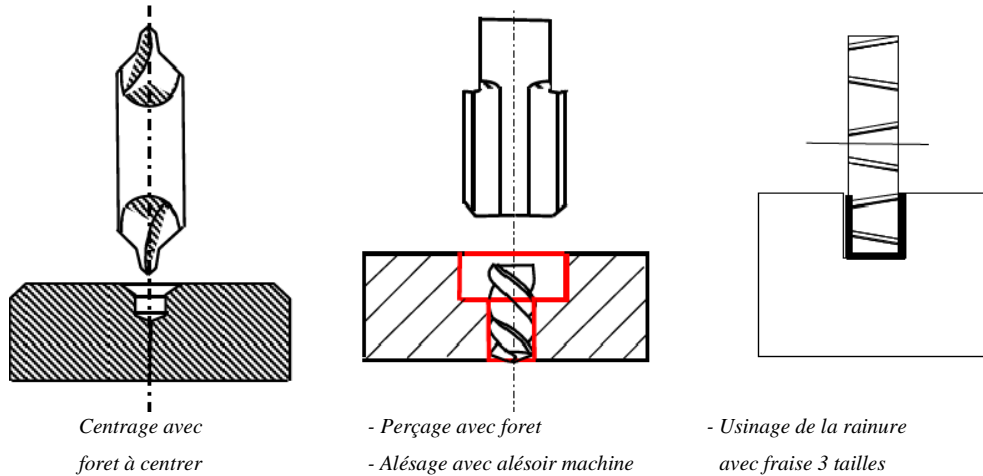


Figure.I.16. Définition type d'usinage.

I.5.2.2. Par travail d'enveloppe :

Dans ce cas, c'est la trace de l'arête de l'outil qui travaille (le point générateur) qui donne la surface finale.

Si l'usinage est nécessaire pour les parties fonctionnelles (c'est-à-dire ayant une fonction particulière dans l'assemblage mécanique final), ce qui produira donc des copeaux qui ont des coûts et qu'il convient de les réduire au maximum, notamment en obtenant une pièce brute la plus proche possible de la pièce finale. Cela peut se faire :

- En partant d'une pièce moulée et en optimisant la coulée et le refroidissement.
- En utilisant le forgeage.
- En utilisant l'estampage.
- En partant d'une pièce mécanosoudée, ensemble d'éléments de forme standard soudés entredeux.
- par métallurgie des poudres : procédé de frittage, sans fusion, donc avec une grande maîtrise des dimensions.

I.5.2.3. Les différents procédés d'usinage :

- Tournage

- Fraisage
- Perçage ; taraudage
- Alésage
- Rectification
- Superfinition
- Rodage
- Mortaisage
- Brochage
- Electroérosion
- Usinage au laser
- Usinage au jet d'eau
- Usinage à commande numérique
- Usinage à Grande vitesse(UGV).

I.5.2.4. Les formules de coupe :

- Fréquence rotation de la broche

$$n = (1000 \times V_c) / (\pi \times D)$$

- Vitesse d'avance en Tournage

$$V_f = n \times f$$

- Vitesse d'avance en Fraisage

$$V_f = n \times f_z \times Z$$

I.5.2.5. Les éléments de coupe et de passe :

- La vitesse de coupe V_c en mètre par minute (m/min).
- L'avance par tour f en millimètre par tour (mm/tr).
- La fréquence de rotation N en tours par minutes (tr/min).
- La profondeur de passe a_p en millimètre (mm).
- Le nombre de passes n_p .
- La vitesse d'avance V_f en millimètre par minute (mm/min).
- La longueur usinée l en millimètre (mm).
- La longueur totale usinée L en millimètre (mm).

Parmi les procédés d'usinage les plus répandus, on trouve :

I.5.3. TOURNAGE :**I.5.3.1.Principe :**

Le tournage est un procédé d'usinage fondé sur l'utilisation d'un tour. Le mouvement de coupe est obtenu par rotation de la pièce serrée entre les mors d'un mandrin ou dans une pince spécifique, tandis que le mouvement d'avance est obtenu par le déplacement de l'outil coupant.

La combinaison de ces deux mouvements permet l'enlèvement de matière sous forme de copeaux. Le tour permet d'usiner principalement des pièces de révolution : cylindres ; cônes ; sphères...[10]

I.5.3.2. Types de machines :

- Tour parallèle
- Tour à copier
- Tour semi-automatique
- Tour à Commande Numérique ...

I.5.3.3. Tableau de vitesse de coupe tournage :

Nuance ISO	Matériaux à usiner	Tournage d'Extérieur			
		Acier Rapide		Carbure	
	Avance f en mm/tr	0.05 à 0.1	0.1 à 0.2	0.05 à 0.2	0.2 à 0.3
P	Acier Non Allié	50	40	250	200
	Acier Faiblement Allié	30	20	150	130
	Acier Fortement Allié	20	15	120	100
	Acier Moulé Faiblement Allié	30	20	150	120
M	Acier inoxydable	25	20	150	130
K	Fonte lamellaire (EN-GJL...)	40	30	80	60
	Fonte Modulaire (EN-GJM...)	30	25	100	80
	Fonte Sphéroïdale (EN-GJS...)	55	45	90	70
K-N	Alliages d'aluminium de faible dureté sans silicium (AW 2030 ...)	250	200	550	400
	Alliages d'aluminium durs sans silicium ou %Si moyen (AW2017, AW 6060 ...)	120	80	250	200
	Alliages d'aluminium à haute teneur en silicium > 12%	80	40	120	100
Vitesse de coupe V_c en m/min					

Tableau.I.1.vitesse de coupe tournage.

I.5.4. FRAISAGE :**I.5.4.1. Principe :**

Le Fraisage est un procédé d'usinage par enlèvement de matière. Se caractérise par le recours à une machine-outil : la fraiseuse ; elle est particulièrement adaptée à l'usinage de pièces prismatiques.

L'outil utilisé est la fraise. L'enlèvement de matière sous forme de copeaux résulte de la combinaison de deux mouvements :

- **Le mouvement de coupe** : rotation de l'outil de coupe d'une part,
- **Le mouvement d'avance** : avance de la pièce à usiner d'autre part.

I.5.4.2. Types de machines :

- Fraiseuse universelle.
- Fraiseuse Horizontale (FH).
- Fraiseuse Verticale (FV).
- Fraiseuse à commande numérique.

I.5.4.3. Tableau de vitesse de coupe fraisage :

Nuance ISO	Matériaux à usiner	Fraisage			
		Acier Rapide		Carbure	
	Avance f en mm/dent/tour	0.03 à 0.1	0.1 à 0.2	0.05 à 0.2	0.2 à 0.3
P	Acier Non Allié	50	40	140	120
	Acier Faiblement Allié	30	25	100	80
	Acier Fortement Allié	20	15	80	70
	Acier Moulé Faiblement Allié	25	20	90	80
M	Acier inoxydable	20	15	100	90
K	Fonte lamellaire (EN-GJL...)	35	30	100	90
	Fonte Modulaire (EN-GJM...)	30	25	80	70
	Fonte Sphéroïdale (EN-GJS...)	40	35	100	90
K-N	Alliages d'aluminium de faible dureté sans silicium (AW 2030 ...)	250	200	500	400
	Alliages d'aluminium durs sans silicium ou %Si moyen (AW2017, AW 6060 ...)	120	80	300	200
	Alliages d'aluminium à haute teneur en silicium > 12%	80	40	120	80
		Vitesse de coupe V_c en m/min			

Tableau.I.2.vitesse de coupe fraisage.

I.5.5. PERÇAGE :**I.5.5.1. Principe :**

Permet de réaliser les opérations suivantes :

- Perçages des trous
- Alésages
- Taraudages

I.5.5.2. Tableau de vitesse de coupe perçage :

Nuance ISO	Matériaux à usiner	Perçage		
		Acier Rapide	Acier Rapide Revêtu	Carbure
P	Acier Non Allié	30	45	70
	Acier Faiblement Allié	20	40	60
	Acier Fortement Allié	15	35	40
	Acier Moulé Faiblement Allié	10	30	70
M	Acier inoxydable	12	20	40
K	Fonte lamellaire (EN-GJL...)	25	50	80
	Fonte Modulaire (EN-GJM...)	15	30	80
	Fonte Sphéroïdales (EN-GJS...)	25	50	80
K-N	Alliages d'aluminium de faible dureté sans silicium (AW 2030 ...)	60	90	100
	Alliages d'aluminium durs sans silicium ou %Si moyen (AW2017, AW 6060 ...)	60	90	100
	Alliages d'aluminium à haute teneur en silicium > 12%	40	60	100
Vitesse de coupe Vc en m/min				

Tableau.I.3.vitesse de coupe perçage.

CHAPITRE II

PRESENTATION DU SUJET ET PARTIE EXPERIMENTALE

II.1. Problématique :

La résistance à la flexion, résistance à la rupture, tendance à la rupture sont autant d'indications utiles pour le développement de vos nouveaux produits. Grâce au dispositif pour essai de flexion 3 points, vous pouvez de plus vérifier l'influence de l'humidité, de la durée ou température de cuisson ou encore de l'emballage sur le produit.

La machine de traction universelle WP310 du laboratoire des essais mécaniques du département du génie mécanique n'est pas dotée d'un dispositif de flexion 3 points. Suite à la proposition de mon encadreur de faire l'étude et réaliser ce dispositif dans le cadre du mémoire de master. Mon thème est donc "CONCEPTION ET FABRICATION D'UN DISPOSITIF DE FLEXION TROIS POINTS" projet de fin d'étude que je présenterai.

Ce travail a pour but de modéliser, simuler et réaliser un dispositif pour essai de flexion trois points adaptables sur la machine d'essai universelle WP300.

Cette étude comprend trois chapitres :

Le premier chapitre présente une étude bibliographique ; un aperçu général sur les sollicitations mécaniques et la flexion trois points, les essais mécaniques ; citant l'usinage des matériaux et une étude des dispositifs de flexion.

Ensuite le deuxième chapitre montre une présentation sur sujet et la partie expérimentale avec les calculs de résistance des pièces du dispositif et leur DAO des composants et les choix des processus de fabrication.

Enfin, le troisième chapitre présent en détail les étapes de création du dispositif et la réalisation d'une pièce sous le logiciel CAMWorks avec la gamme d'usinage (tournage, fraisage, perçage) on termine avec les essais de validation.

II.2. Présentation de la machine WP300 :

Une discipline classique de l'essai des matériaux est la méthode d'essai destructive. Elle consiste à tester mécaniquement des éprouvettes jusqu'à ce qu'elles se cassent. L'essai des matériaux met à disposition des données de dureté, de rigidité et de résistance, qui sont reproductibles et quantifiées avec exactitude.

Le WP 310 et ses accessoires permettent la réalisation d'essais destructifs des matériaux. Grâce à la clarté du montage et à la facilité d'utilisation, on peut observer tous les détails et les phases de l'essai. L'appareil est suffisamment performant pour pouvoir réaliser des essais basés sur les standards industriels. Des données techniques des matériaux et des lois fondamentales peuvent être vérifiées à l'aide de valeurs de mesure que l'on a déterminées soi-même.

La force d'essai et l'allongement des éprouvettes sont mesurés par des capteurs, puis affichés. Les valeurs de mesure sont transmises vers un PC, afin d'y être évaluées à l'aide d'un logiciel fourni.

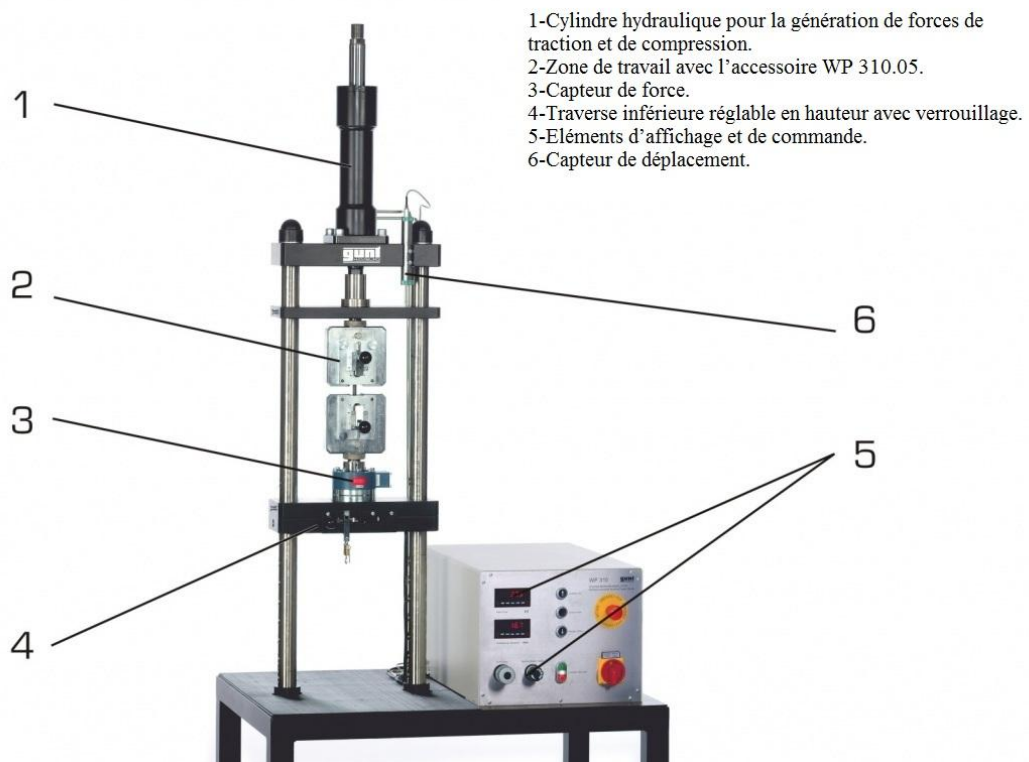


Figure.II.1.Machine WP300

II.2.1. Caractéristiques techniques :

- Zone de travail, l×h : 300x925mm.
- Génération hydraulique de la force d'essai.
- Force d'essai : 0...50kN.
- Pression max. du système : 175bar.
- Course de piston max : 150mm.
- Vitesse de déplacement : 0...425mm/min.
- Pompe à engrenages.

II.2.2. Plages de mesure :

- Force : 0...50kN.
- Déplacement : 0...150mm.

230V, 50Hz, 1 phase.

230V, 60Hz, 1 phase.

- Dimensions et poids

L×l×h : 1080x830x2300mm.

Poids : env. 330kg.

II.2.3. Contenu didactique/essais :

Avec les accessoires ;

- Essai de traction.
- Essai de compression.
- Essai de dureté Brinell.
- **Essai de flexion.**
- Essai de cisaillement.
- Essai d'emboutissage.
- Essai de ressort.

II.2.4. Essai de flexion :

Cet accessoire pour WP 300 permet d'étudier une poutre en flexion. La relation existant entre la charge et la déformation élastique est démontré et l'influence du module d'élasticité et du moment d'inertie géométrique est mise en évidence.

L'éprouvette est montée sur deux appuis et est chargé par une force unique produite par l'appareil d'essai. En déplaçant les appuis, il est possible d'étudier différentes applications de la force et largeurs de support.

II.3. Calculs de résistance des pièces du dispositif :

Pour vérifier la résistance des pièces nous avons utilisé l'analyse par éléments finis (FEA) pour calculer les contraintes et les déplacements des pièces et des assemblages causés par les chargements internes et externes. SOLIDWORKS Simulation utilise la formulation des déplacements de la méthode par éléments finis pour calculer les déplacements des composants, les déformations et les contraintes causés par les chargements internes et externes. La géométrie analysée est discrétisée avec des éléments tétraédriques (3D), triangulaires (2D) et des poutres, et résolue par un solveur soit direct, soit itératif.

II.3.1. Les étapes de simulation en SOLIDWORKS :

Pour vérifier la résistance de la traverse principale élément de notre dispositif :

✓ Ouvrir SolidWorks :

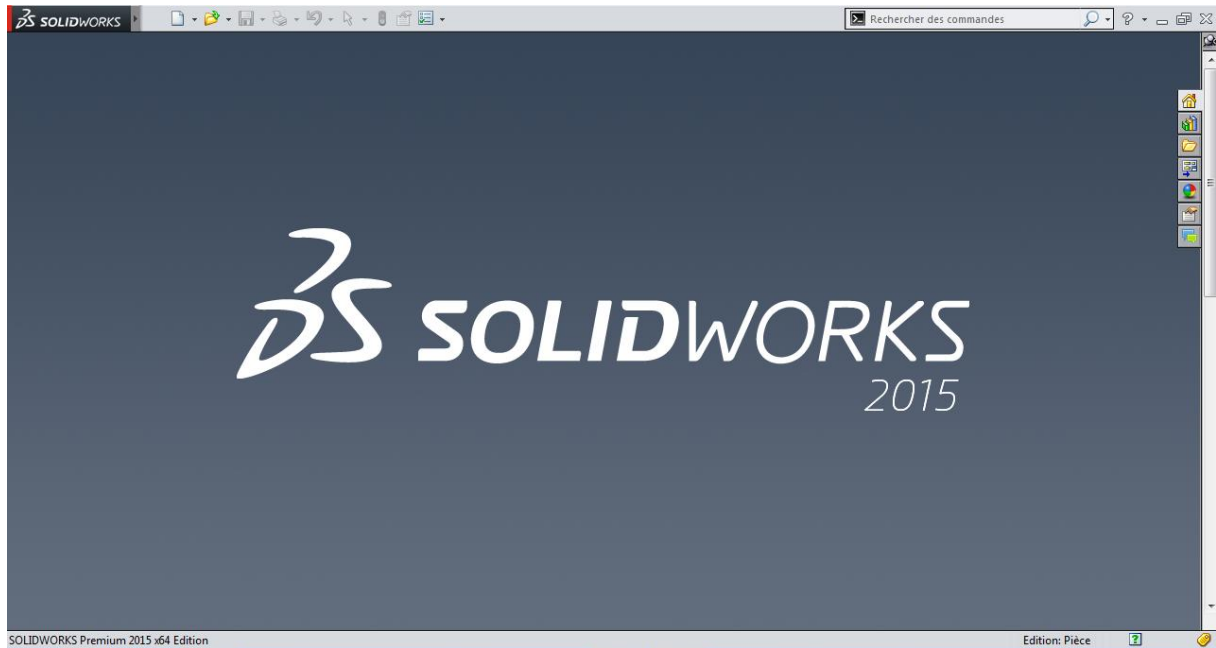


Figure.II.2.Interface SolidWorks.

✓ Après avoir terminé l'étape de création de la pièce dans SolidWorks :

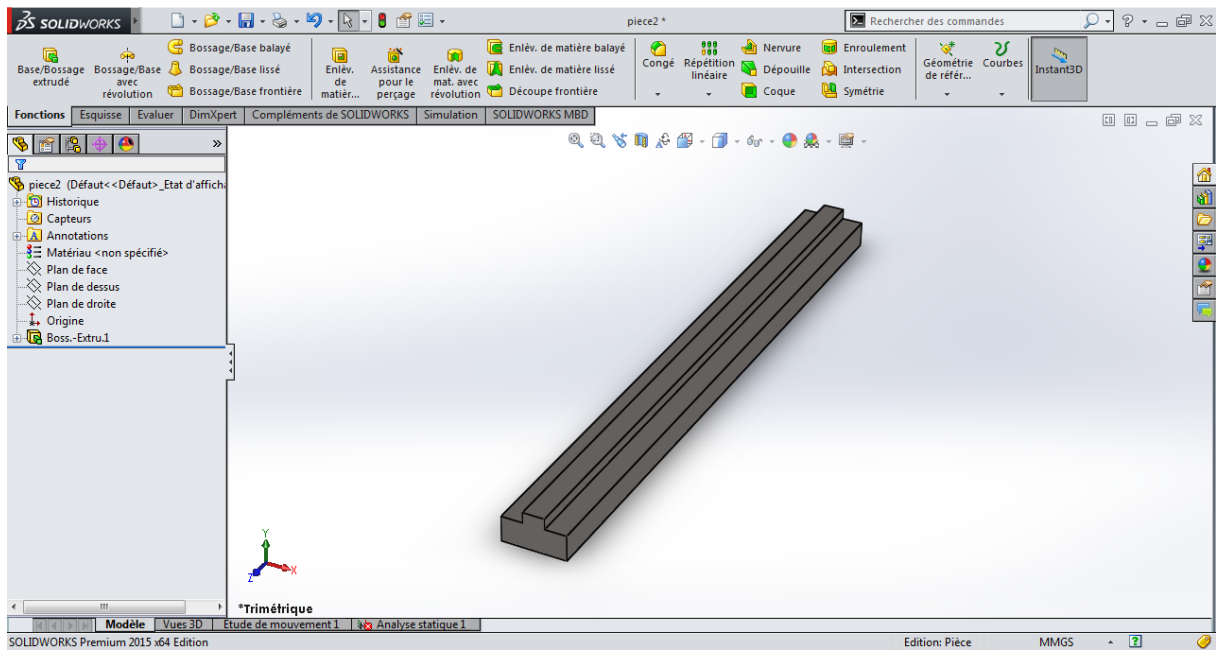


Figure.II.3.Modèle 3D de la traverse.

✓ Simulation et après nouvelle étude :

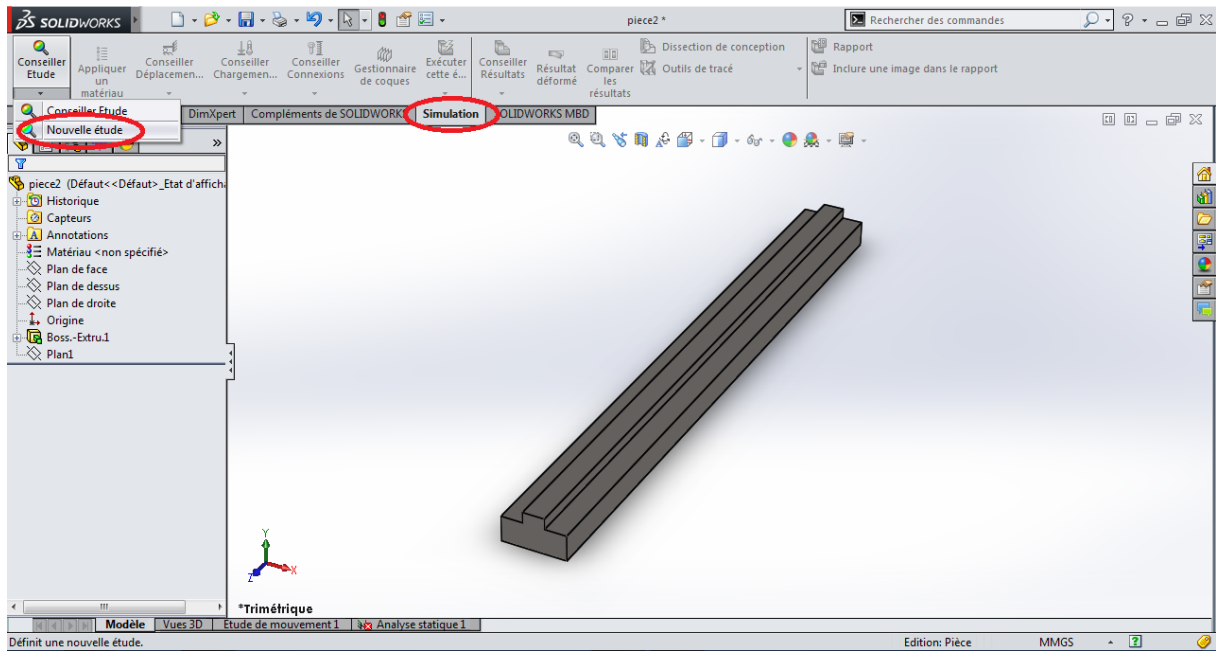



Figure.II.4.Fenêtre simulation.

✓ Choisir analyse statique et click sur 

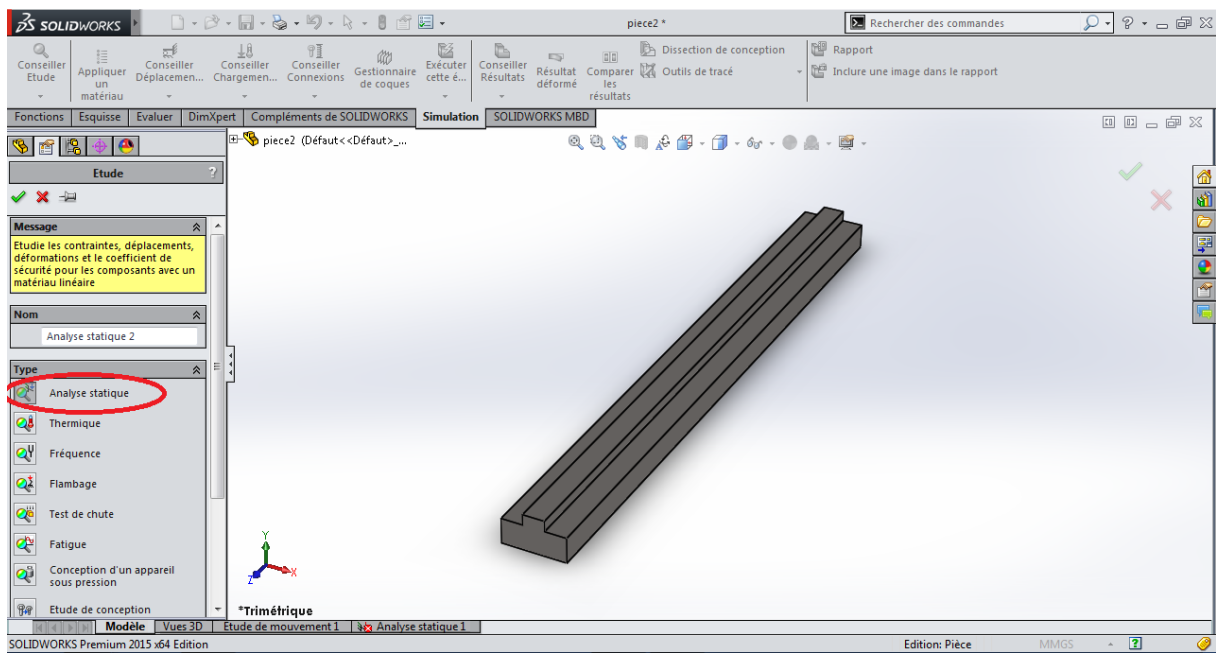


Figure.II.5.Analyse statique.

✓ Défini le matériau et click appliquer :

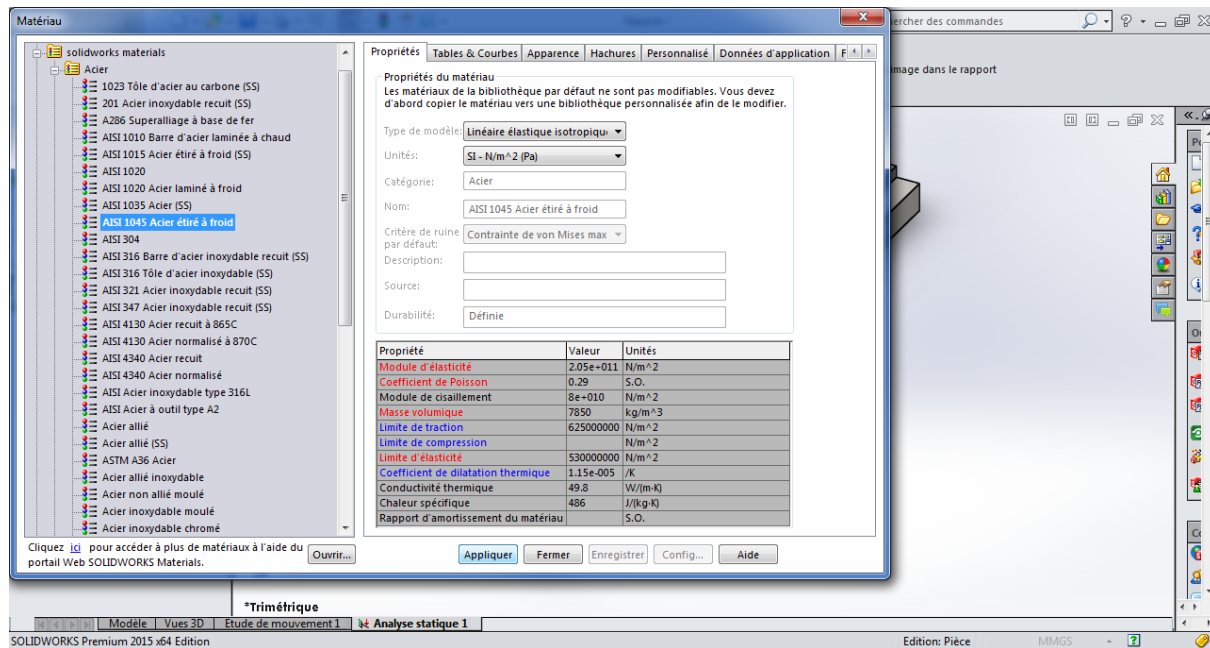


Figure.II.6.Définition du matériau.

✓ Conseiller déplacement imposes :

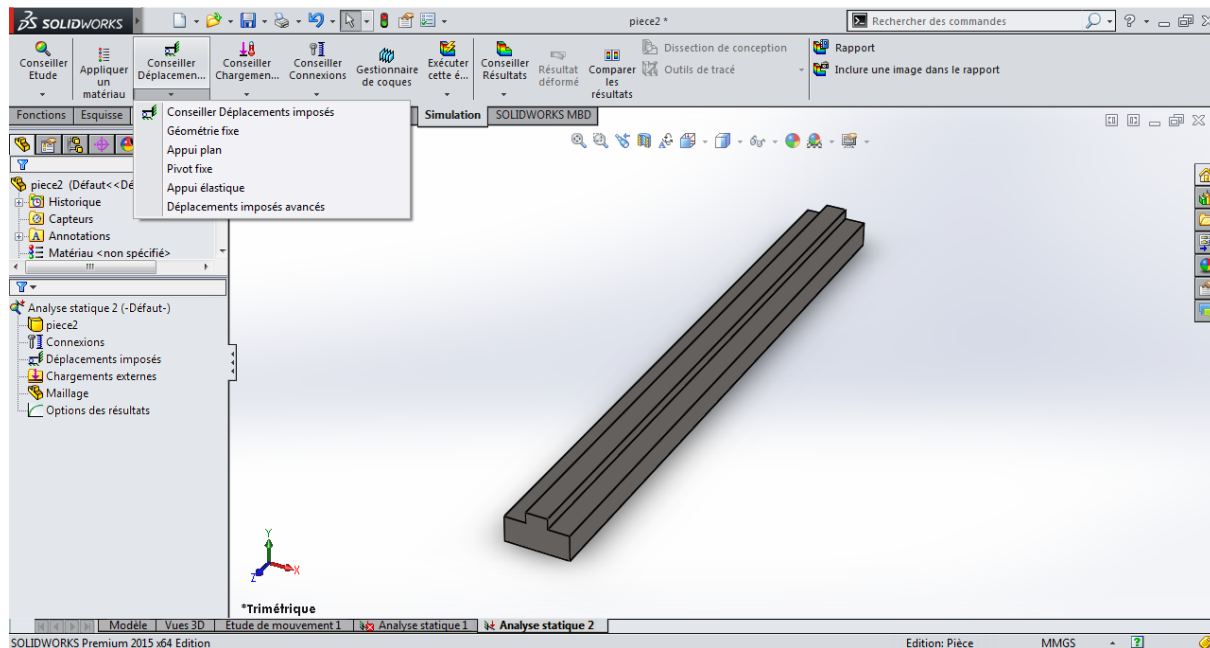



Figure.II.7.Déplacement imposes.

✓ Choisir géomètre fixe après sélectionner la géomètre et click 

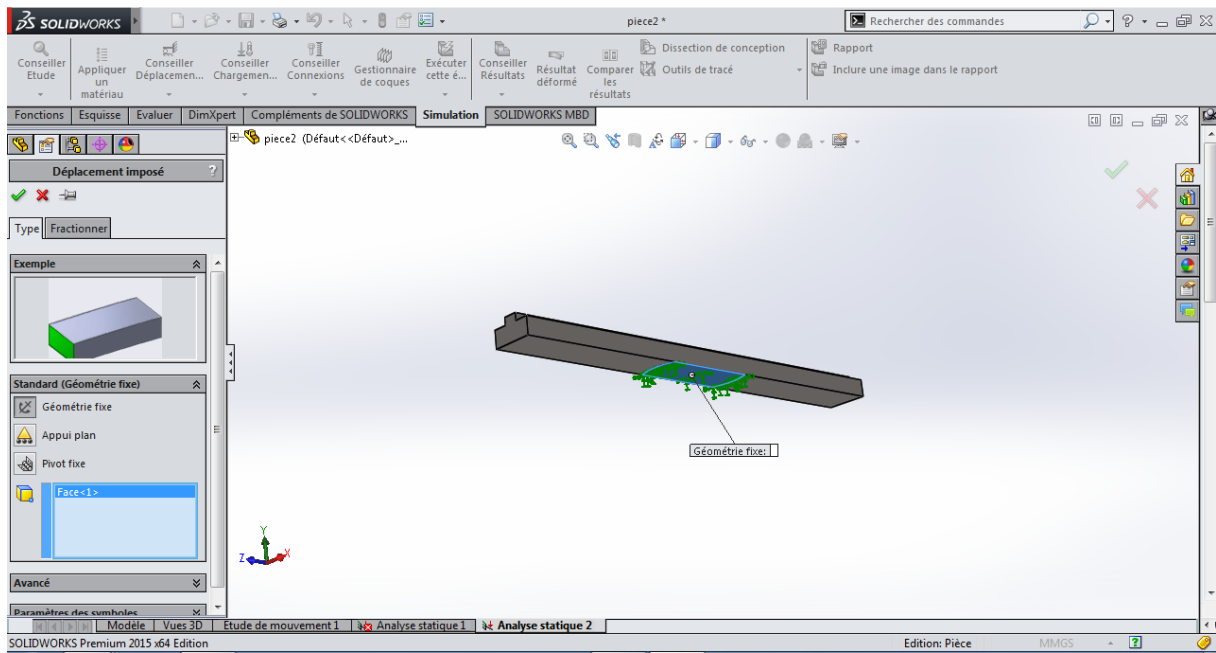


Figure.II.8.Fixer la géométrie.

✓ Conseiller chargement externes :

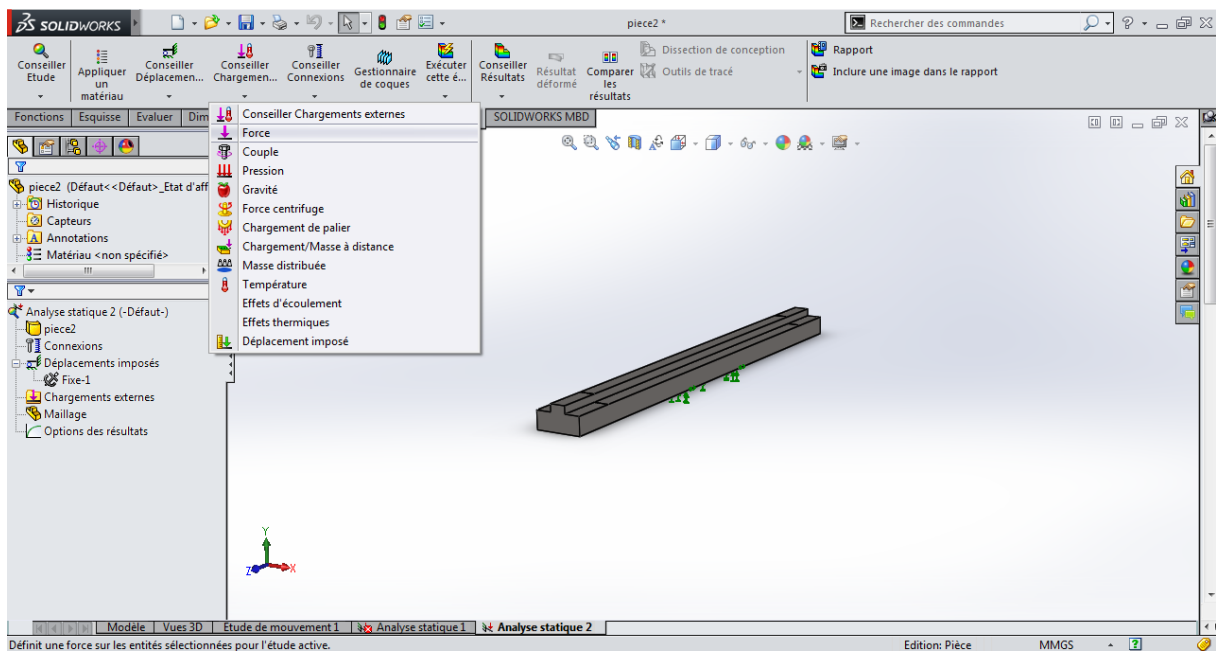


Figure.II.9.Conseiller chargement externes.

✓ Choisir force $F=30\text{kN}$ après sélectionner la géométre et click  :

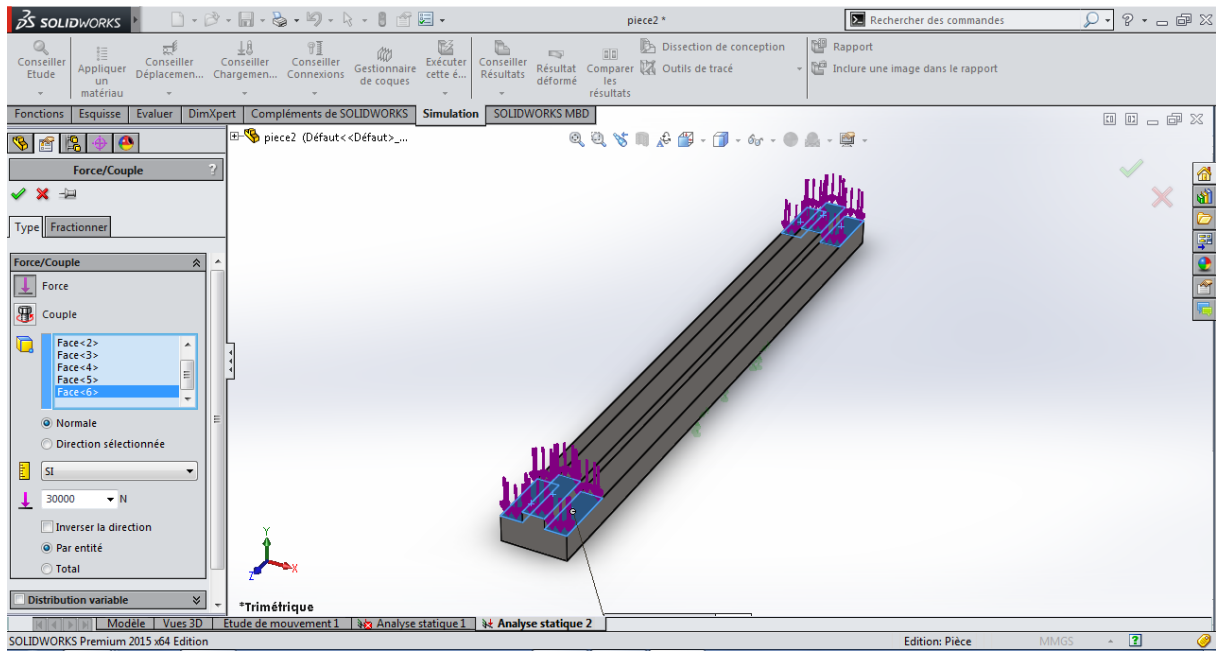


Figure.II.10.Choisir force.

✓ Applique le maillage :

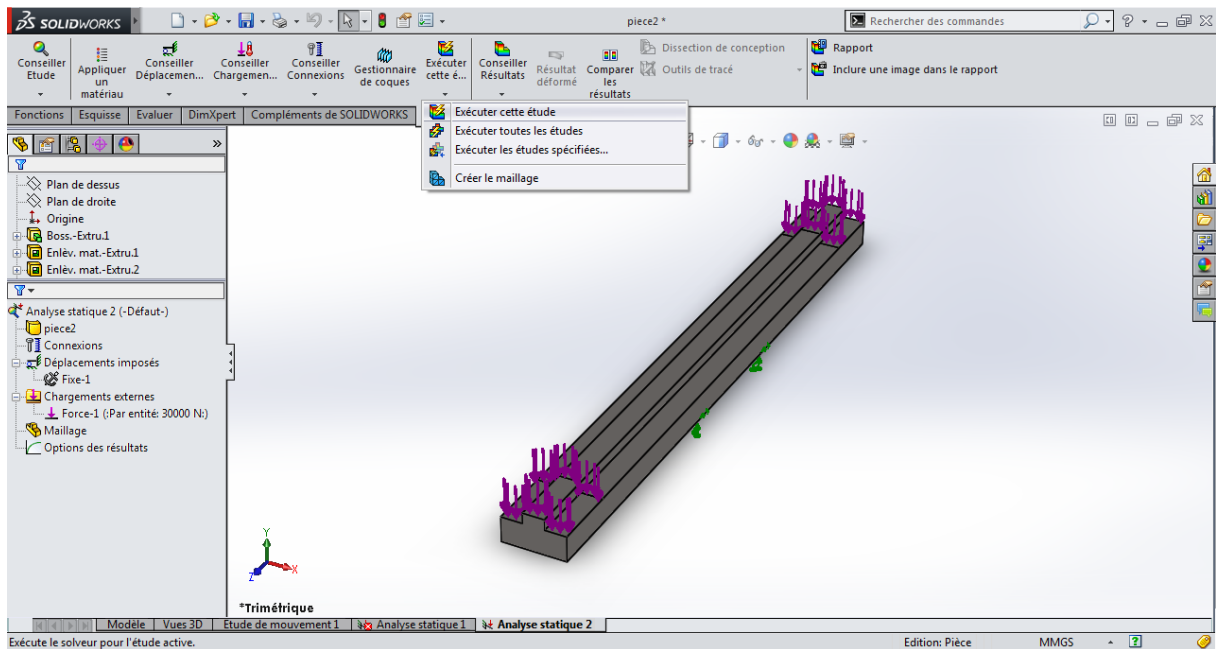


Figure.II.11.Le maillage.

✓ Exécuté cette étude :

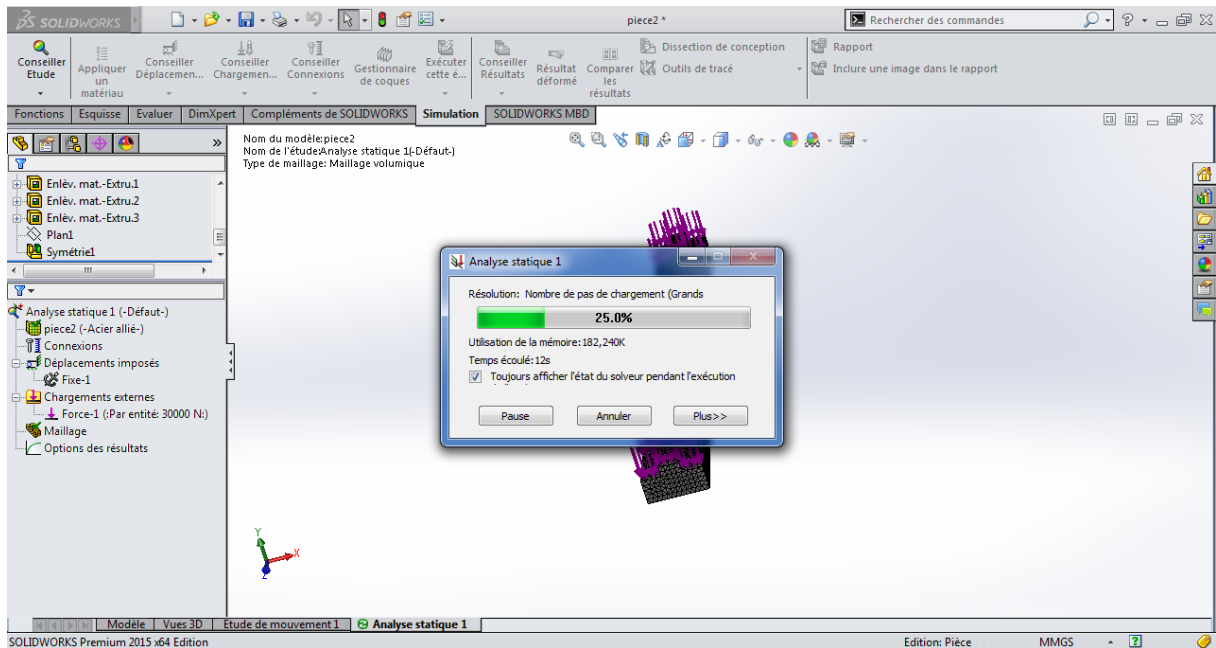


Figure.II.12.Exécution d'étude.

✓ Les Résultat d'étude :

- Les contraintes :

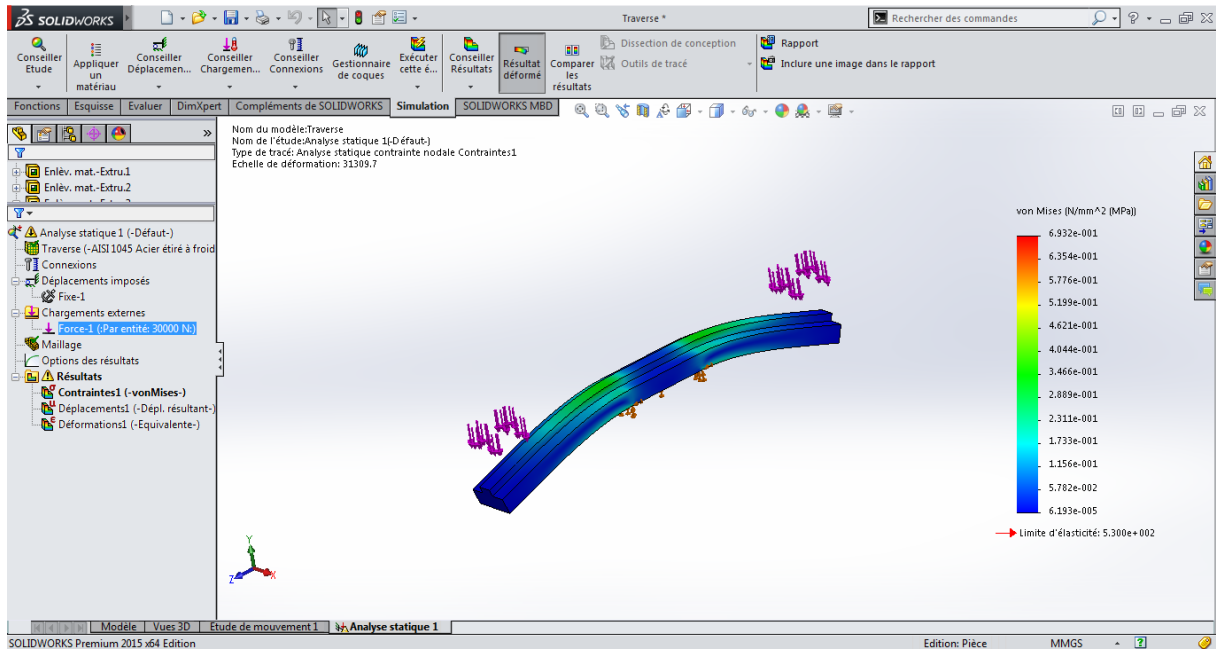


Figure.II.13.Les contraintes.

La contrainte minimale : $6.932 \times 10^{-1} \text{ N/mm}^2$

La contrainte maximale : $6.193 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^2$

Limite d'élasticité : 5.3×10^2

- Les déplacements :

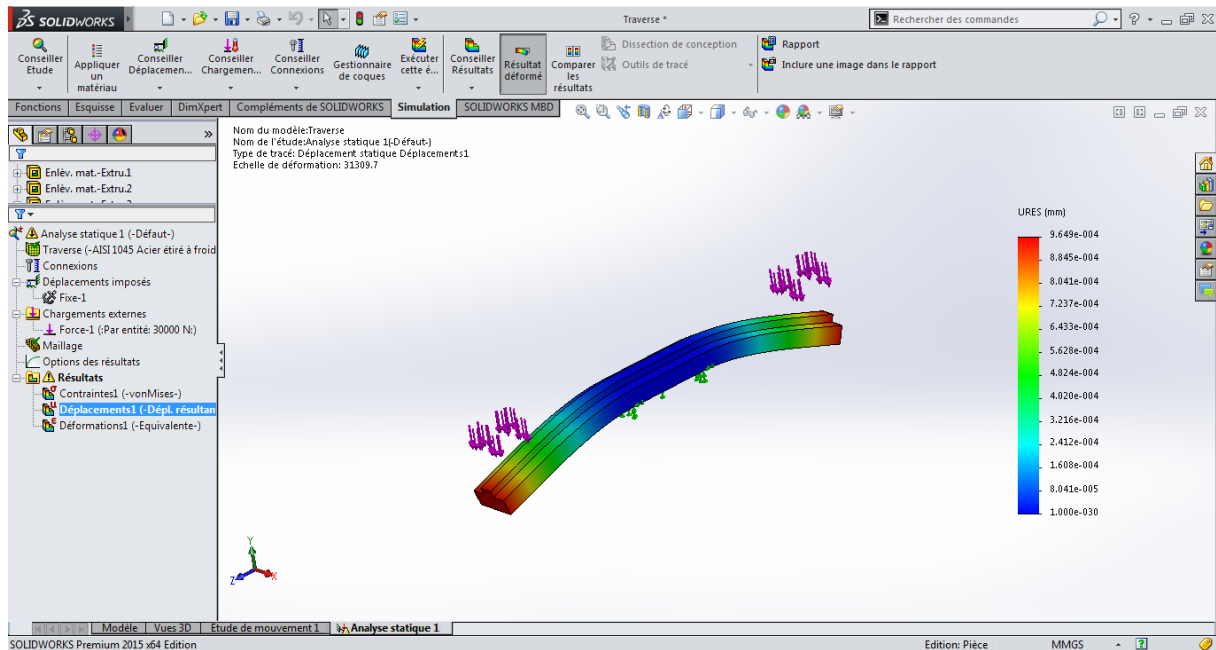


Figure.II.14.Les déplacements.

Le déplacement maximal : 9.649×10^{-4} mm

Le déplacement minimal : 1.00×10^{-30} mm

- Les déformations :

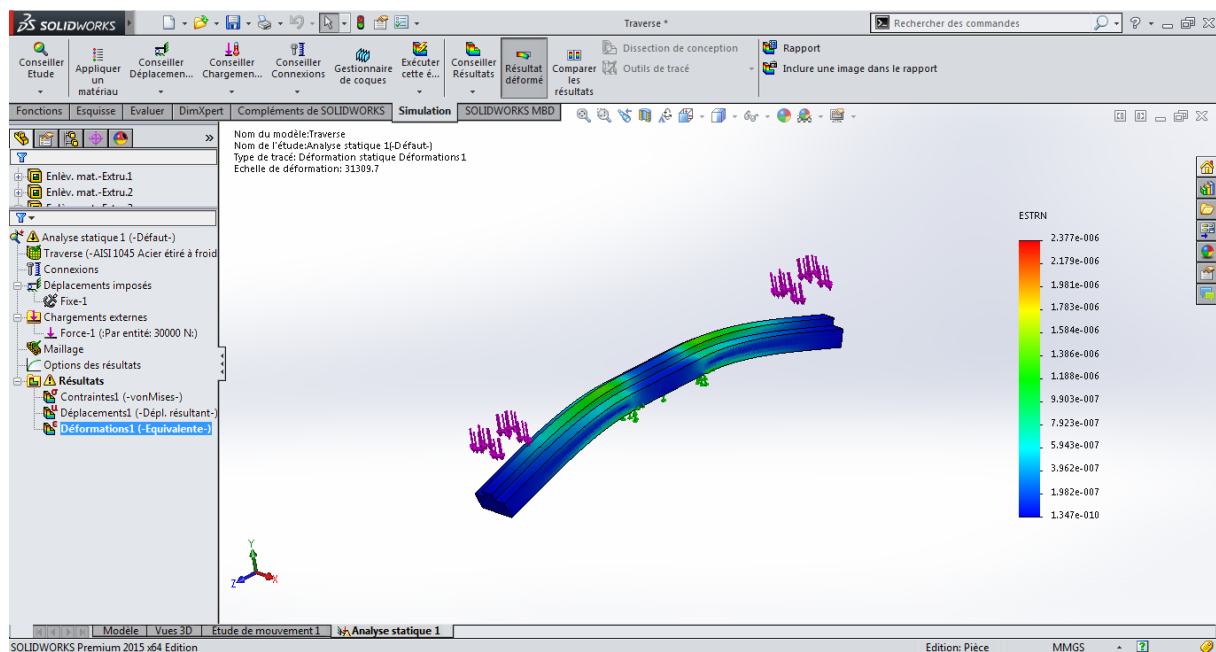


Figure.II.15.Les déformation.

La déformation minimale : 2.377×10^{-6} mm

La déformation maximale : 1.347×10^{-10} mm

II.4. DAO des composants du dispositif :

(DAO) Le dessin assisté par ordinateur est une discipline permettant de produire des dessins techniques avec un logiciel informatique. On le distingue de la synthèse d'image dans la mesure où il ne s'agit pas du calcul de rendu d'un modèle numérique, mais de l'exécution de commandes graphiques (traits, formes diverses...). De ce fait, en DAO, la souris et le clavier remplacent le crayon et les autres instruments du dessinateur.

II.4.1. Dessin de définition des composants du dispositif :

Le dessin définition est un langage graphique figuratif pour la représentation, la communication technique, la conception et l'analyse systémique de produits mécaniques, électroniques ou mécatroniques.

➤ Support :

Technical drawing of a support component. The drawing includes a 3D perspective view, a top view, a front view with dimensions, a section view labeled "COUPE A-A", and a detail view of a hole. Dimensions include: total height 80, base thickness 15, inner diameter 30 H7, outer diameter 50, and various chamfered edges (1x45°, 2x1x45°). A detail view shows a hole with diameter 12 H7 and a depth of 24. A fillet radius of R27.50 is also indicated.

UNIVERSITE BADIJ MOKHTAR ANNABA	
Département de Génie Mécanique	
Encadreur :	Bengherasallah, M XC 48
Dessiner par :	Bendjeriou Bilal
Licence d'éducation Solidworks - A titre éducatif uniquement	
A3	1:2

➤ Traverse :

UNIVERSITE BADIJ MOKHTAR ANNABA			
Département de Génie Mécanique			
Encadreur :	Bengherasallah.M	XC 48	
Dessiner par :	Bendjerou Bilal		
Licence d'éducation Solideworks - A titre éducatif uniquement			A3 1:2

➤ Appui :

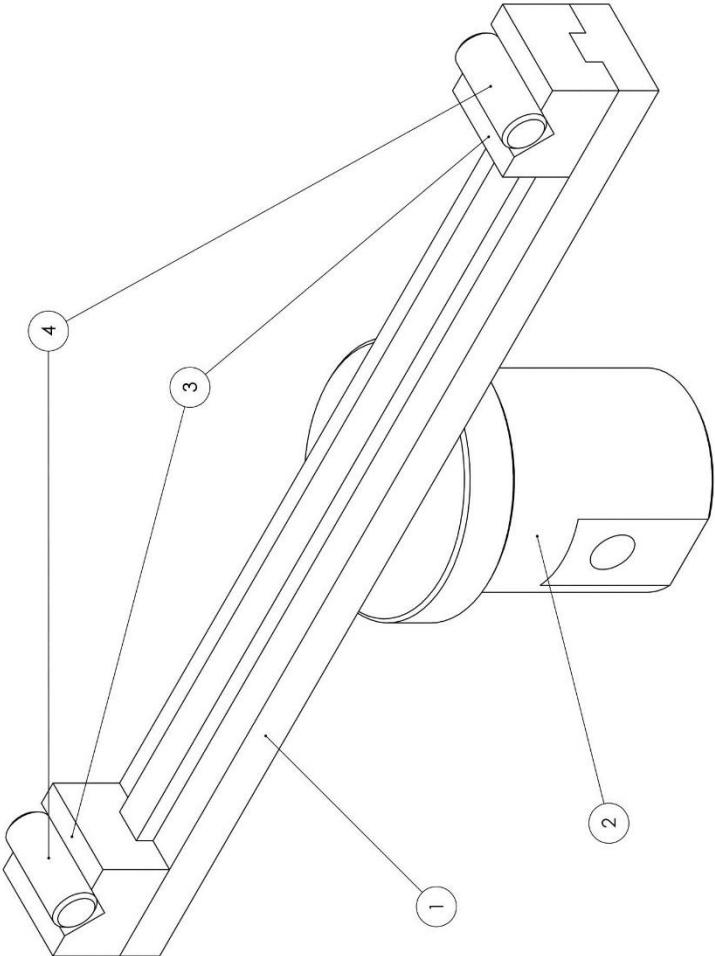
UNIVERSITE BADIJ MOKHTAR ANNABA			
Département de Génie Mécanique			
Encadreur :	Bengherasallah.M	XC 48	Appui B
Dessiner par :	Bengjeriou Billal		
Licence d'éducation Solideworks - A titre éducatif uniquement			A3 1:2

➤ Cylindre de contact :

UNIVERSITE BADIJ MOKHTAR ANNABA			
Département de Génie Mécanique			
Encadreur :	Bengherasallah.M	X150 Cr Mn	⌀
Dessiner par :	Bengheriou Bilal		
Licence d'éducation Solideworks - A titre éducatif uniquement			A3 5:1

➤ Assemblage des composants du dispositif :

N°	Désignation
1	Traverse
2	Support
3	Appui A et B
4	Cylindre de contact



UNIVERSITE BADIJ MOKHTAR ANNABA	
Département de Génie Mécanique	
Encadreur :	Bengheraschah.M XC 48
Dessiner par :	Bengjeriou Bilal
Licence d'éducation Solidworks - A titre éducatif uniquement	
Support	
A3	
1:1	

II.5. Choix des matériaux et les processus de fabrication :

Le choix d'un matériau (fonte, aluminium, acier, cuivreux, ...) et du processus de fabrication (tournage, fraisage, Perçage, ...) dépend en première approche de 4 familles de critères et Le choix final résulte souvent d'un compromis entre ces différents critères [12] :

- Technique (intrinsèque lié au matériau).
- Économique (coût récurrent et coût non récurrent).
- Technologique (lié au processus de transformation ou d'assemblage).
- D'écoconception.

En choisi le matériau acier XC48 pour tous les composants du dispositif

Les tableaux suivants tableau. II.(1,2,3) représente les caractéristiques mécanique et composition chimique de notre matériau de travail :

❖ XC48 :

- Les normes :

AFNOR	DIN	NF EN 10027-1
XC 48	Ck 45	C 45 (1.1191)

Tableau.II.1.Les normes.

- Composition chimique en % :

Carbone	Soufre	Manganèse	Phosphore	Silicium
0,52 - 0,50	≤ 0,035	0,50 - 0,80	≤ 0,035	0,40 maxi

Tableau.II.2.Composition chimique.

- Caractéristiques mécaniques moyennes (état normalisé) :

Rm N/mm ²	Re N/mm ²	A %
560 / 620	275 / 340	14 / 16

Tableau.II.3.Caractéristique mécanique.

CHAPITRE III

REALISATION DU DISPOSITIF

III.1. CAMWorks :

III.1.1.Introduction :

CAMWorks est une solution FAO 3D intelligente et intuitive qui permet aux industriels d'augmenter leur productivité et leur rentabilité en utilisant les meilleures technologies d'automatisation et de flexibilité pour maximiser les performances des machines tout en restant simple d'utilisation.

Ce chapitre explique en détail les étapes de la réalisation d'une pièce tout en s'initiant à créer et à gérer un programme, saisir les ébauches et des finitions du dressage et du chariotage, réaliser le centrage et le perçage, et l'exécution du méplat.

A cet effet on utilise le logiciel dédié à la simulation d'usinage qui est le CAMWorks.

III.1.2.Réalisation de la pièce :

III.1.2.1. Choix de la machine :

Définir la machine et changer les paramètres du contrôleur.

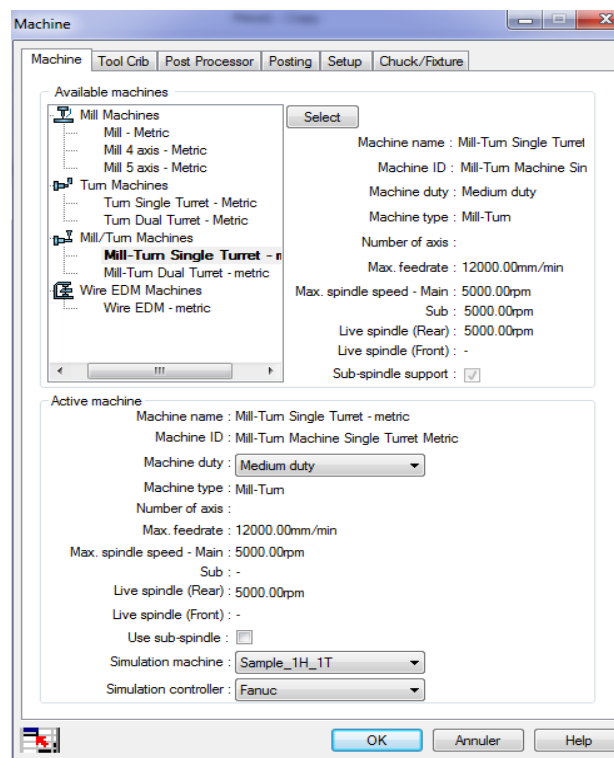


Figure.III.1.Choix de la machine

III.1.2.2. Définir le brut :

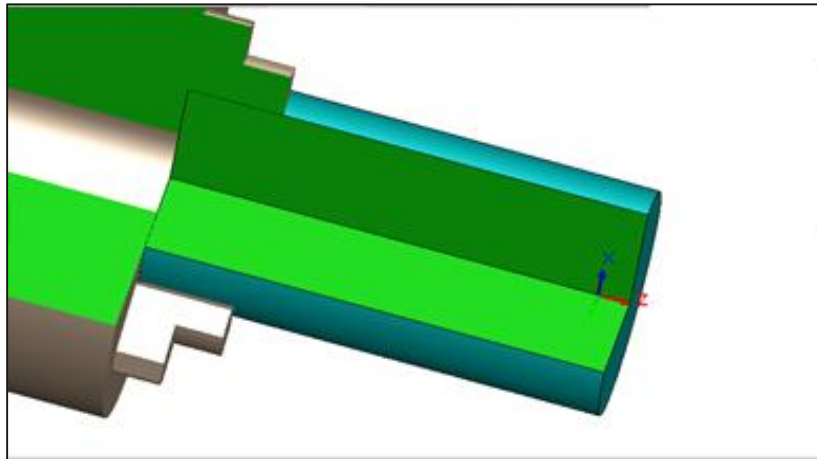


Figure.III.2.Simulation du brut.

III.1.2.3. Dressage :

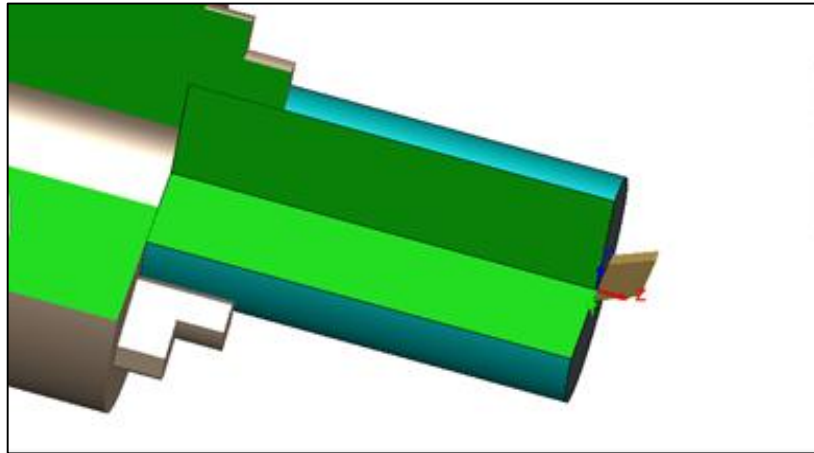


Figure.III.3.Le dressage du brut.

III.1.2.4. Chariotage :

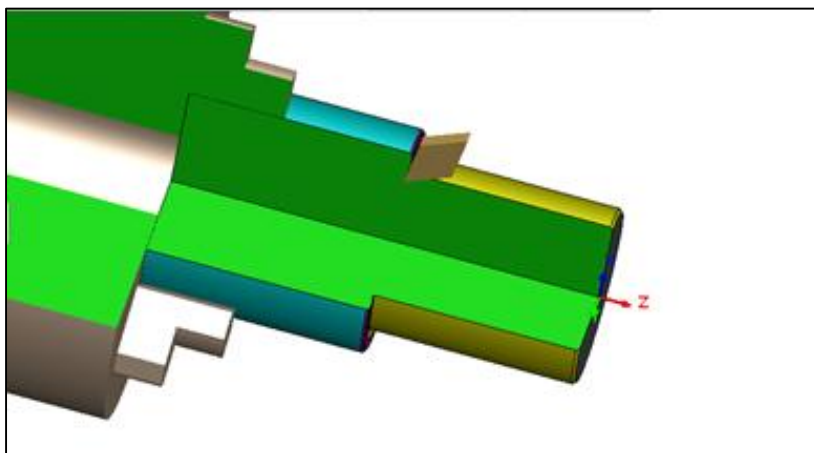


Figure.III.4.Simulation du chariotage.

III.1.2.5. Centrage :

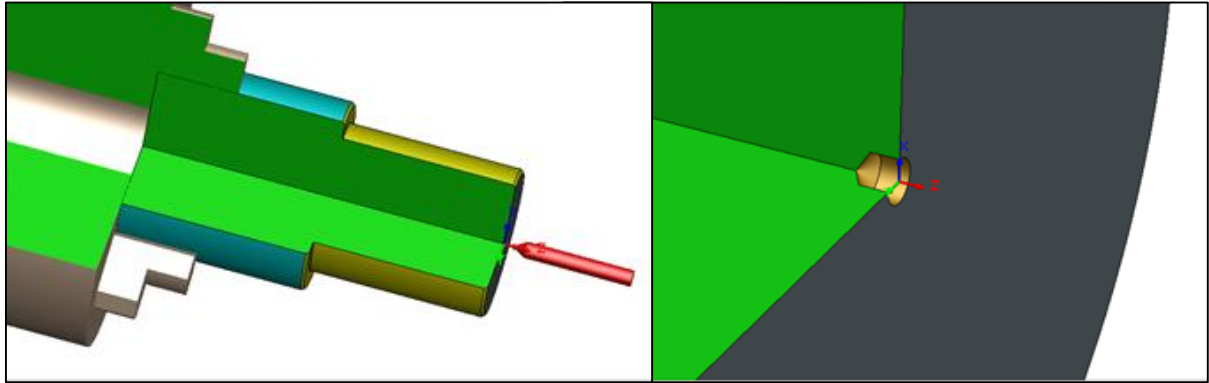


Figure.III.5.Simulation du centrage

III.1.2.6. Perçage :

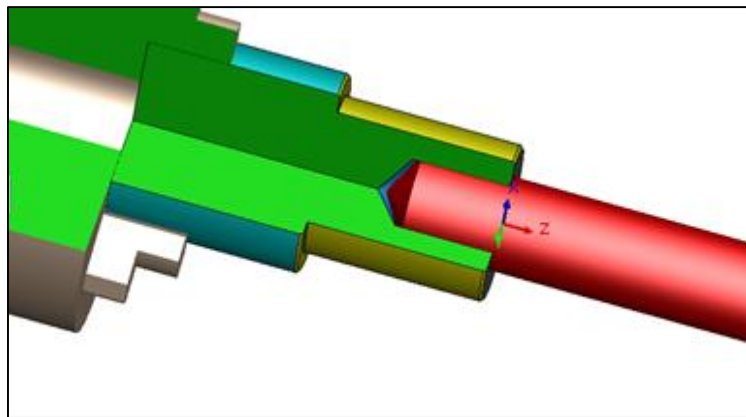


Figure.III.6.Simulation du perçage.

III.1.2.7. Centrage :

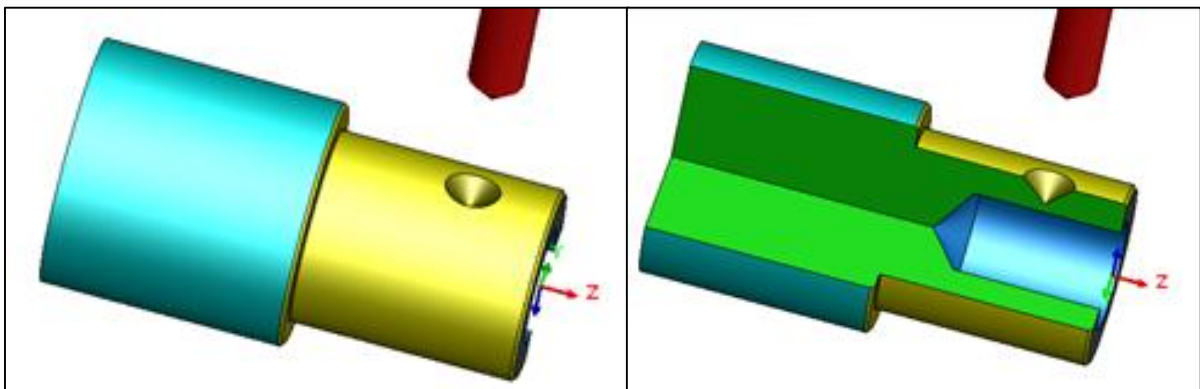


Figure.III.7.Simulation du centrage.

III.1.2.8. Perçage :

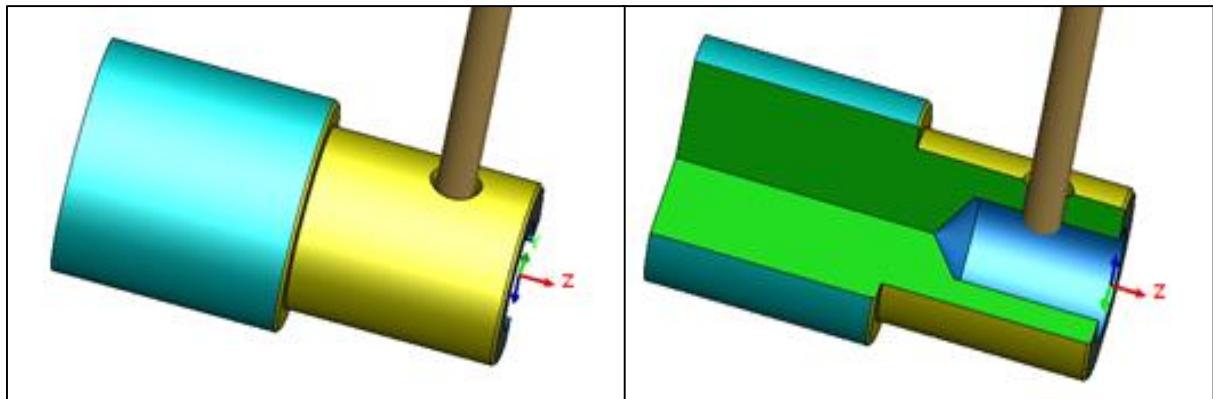


Figure.III.8.Simulation du perçage

III.1.2.9. Exécution du méplat :

La première partie :

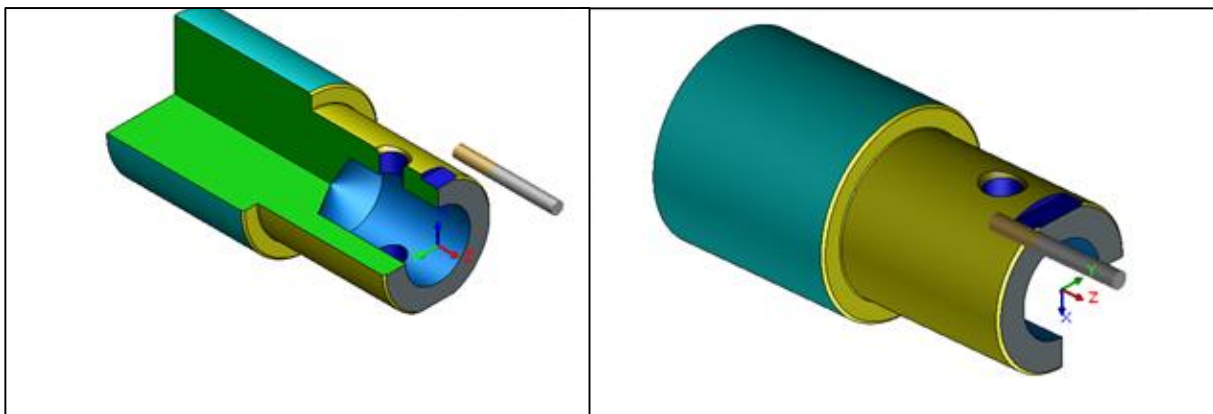


Figure.III.9.Simulation d'exécution du méplat (la première partie)

III.1.2.10. La deuxième partie :

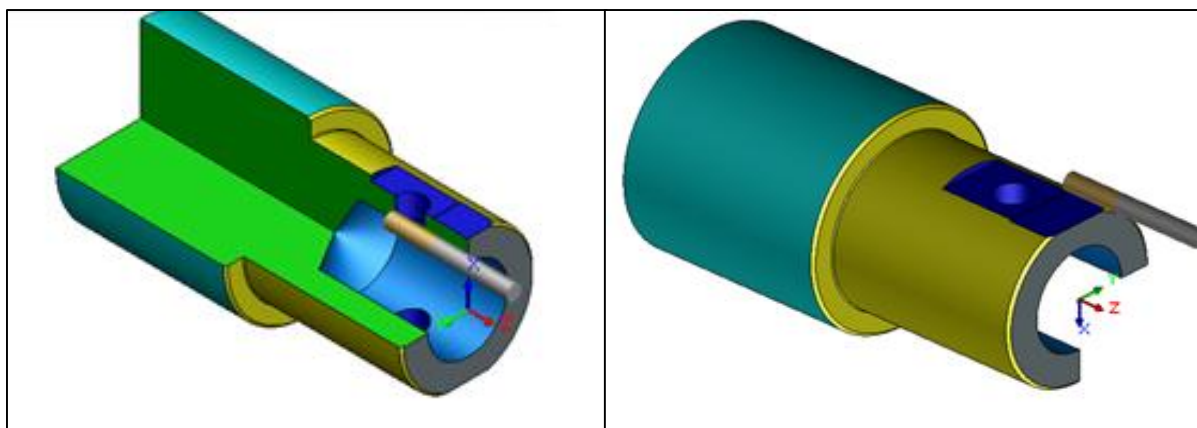


Figure.III.10.Simulation d'exécution du méplat (la deuxième partie)

III.1.2.11. Tronçonnage de la pièce :

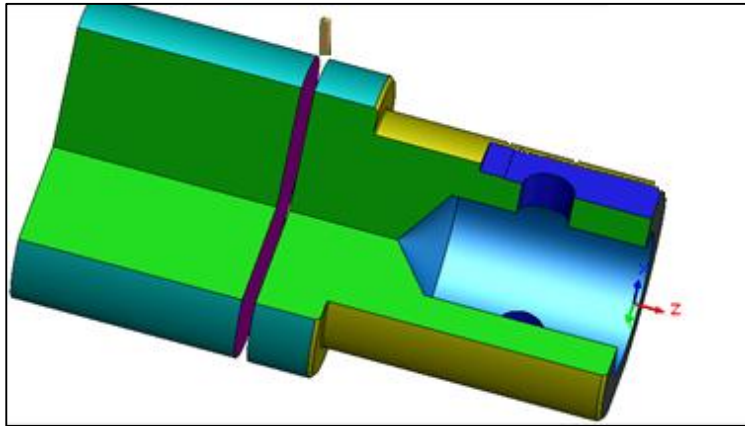


Figure.III.11.La simulation du tronçonnage

III.1.2.12. La pièce finie :

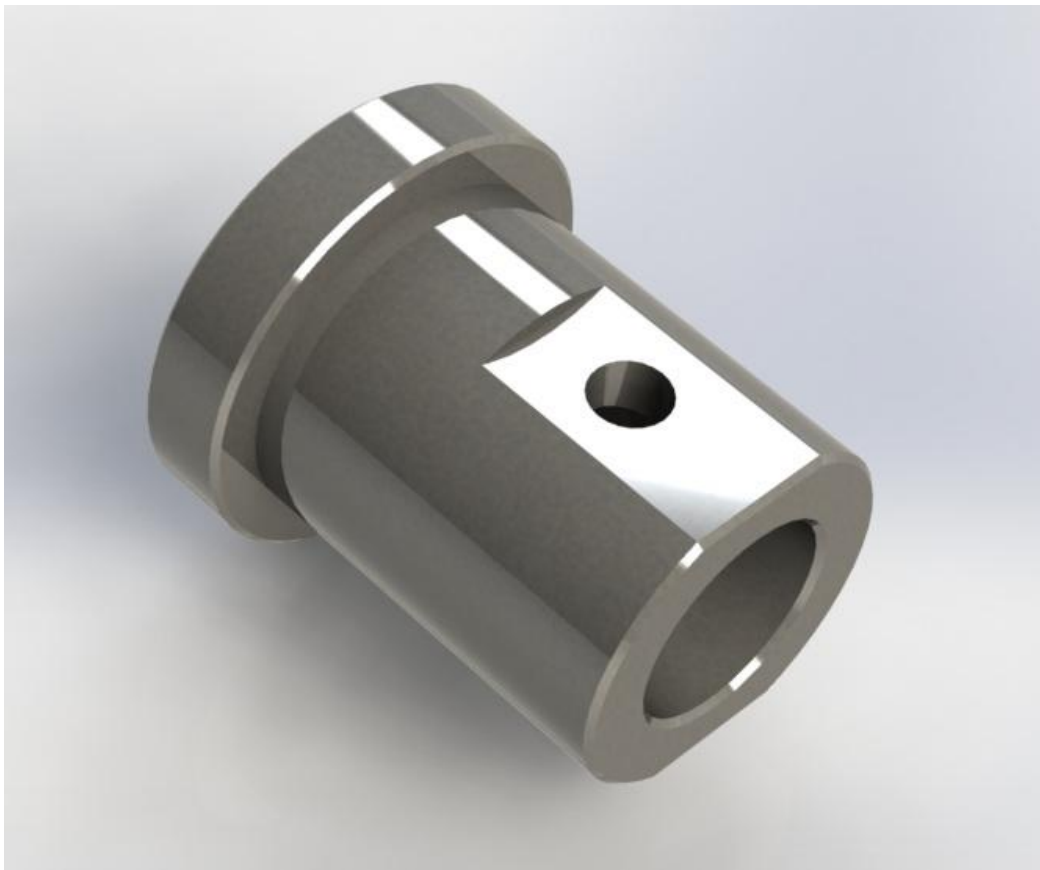


Figure.III.12.Pièce finie (3D).

III.2. Gamme d'usinage des pièces du dispositif :

La gamme d'usinage est une feuille donnant l'ordre chronologique des différentes opérations d'usinage d'une pièce en fonction des moyens d'usinage.

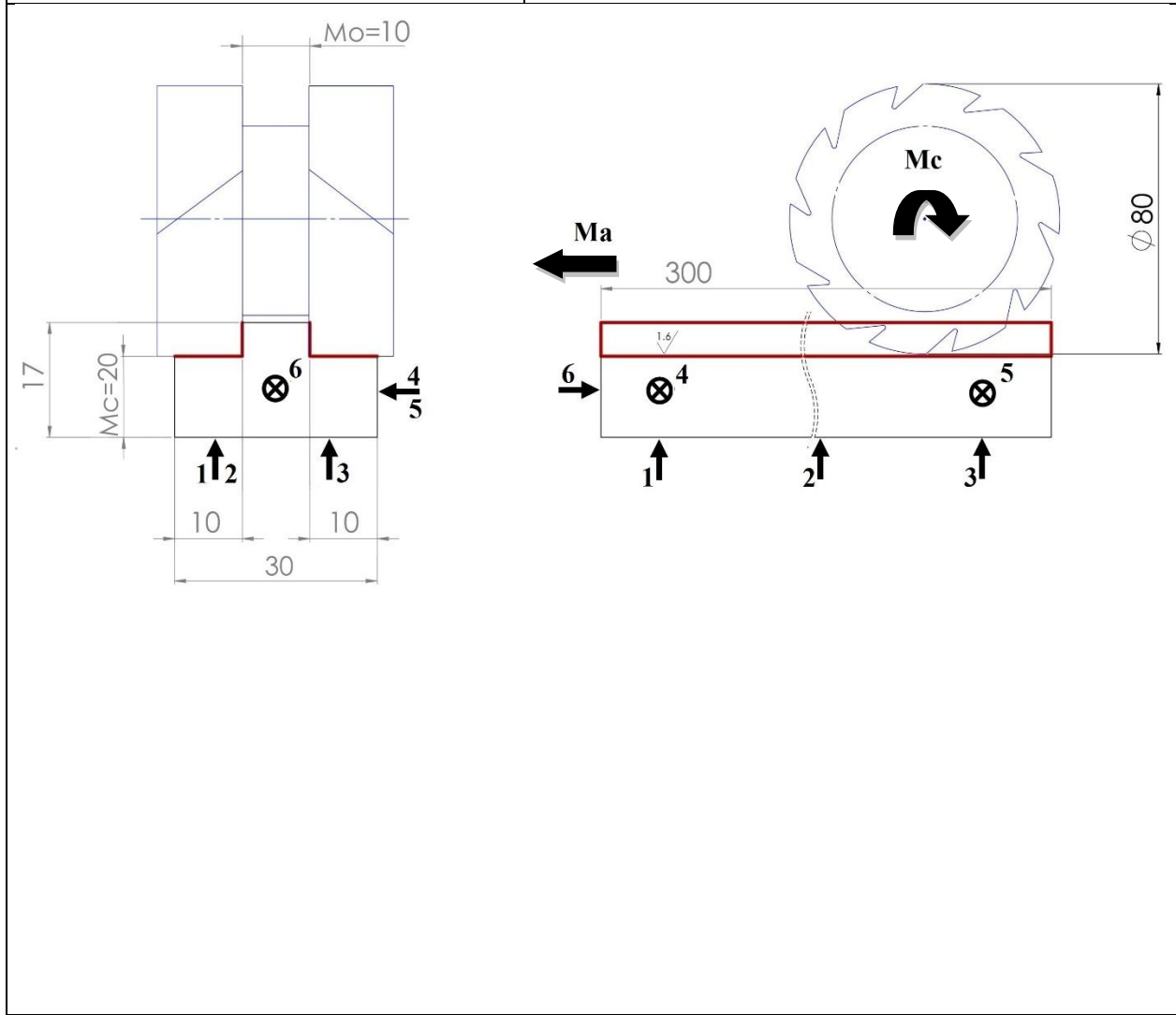
La feuille résume l'étude et doit :

- permettre l'identification de la pièce étudiée ;
- présenter très clairement la succession des phases ;
- préciser les surfaces usinées à chaque phase ;
- indiquer le temps alloué pour l'usinage de la pièce.

III.2.1.Le contrat de phase :

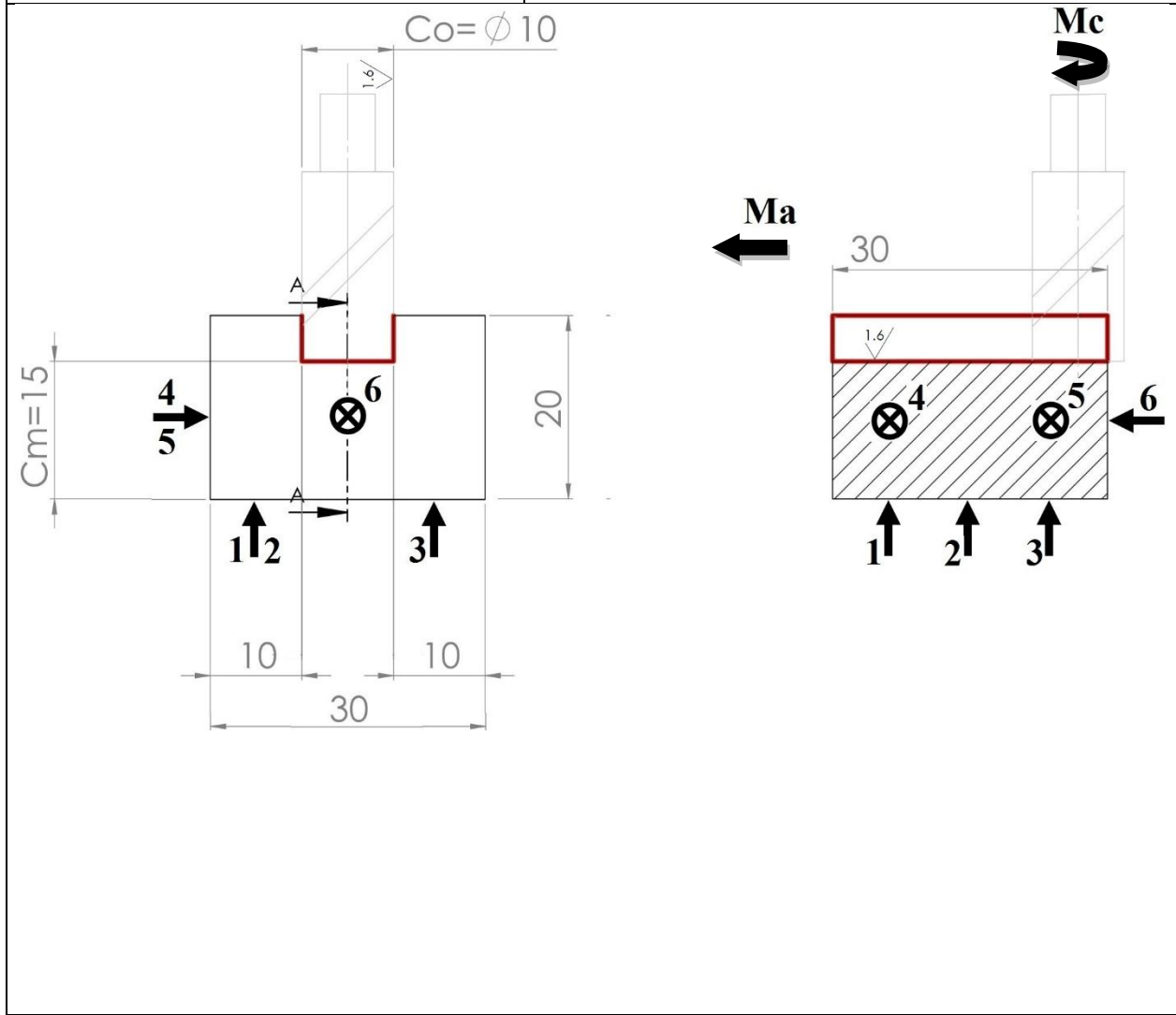
C'est un document établi par le bureau des méthodes et décrivant une phase d'usinage. Par « phase d'usinage », on entend une ou plusieurs opérations se faisant sans démonter la pièce à usiner ; les opérations d'une même phase peuvent se faire avec des outils différents. Les contrats de phase font partie de la gamme d'usinage.

CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N° : 100 SOUS /P N° :	ENSEMBLE :	DATE : 12/05/2018
	PIECE : Travers	1 : 2
	MATIERE : XC 48	
NOM : BENDJERIOU BILLAL	PRODRAMME : Petit série	
DESIGNATION :		
MACHINE : fraissage	Montage : étau	



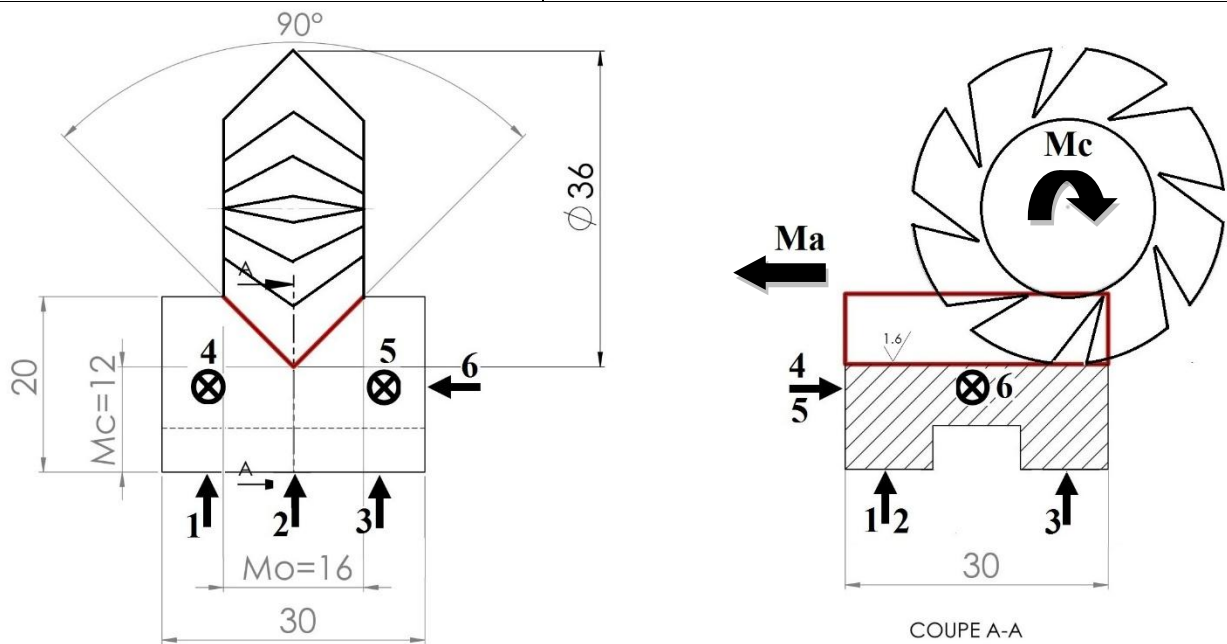
OPERATIONS	OUTILS	V _c m/min	f mm/tr	A _p mm	N Tr/min	A mm/mn	Tt min
Ebauche	Outil ARS	30	0.1	2	120	120	3.25
½ Finition	Revêtu Ø80	30	0.1	2	120	120	3.25
Finition	10 dents	40	0.05	1	160	160	2.43

CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N° : 100 SOUS /P N° :	ENSEMBLE :	DATE : 12/05/2018
	PIECE : Appui	1 : 2
	MATIERE : XC 48	
NOM : BENDJERIOU BILLAL	PRODRAMME : Petit série	
DESIGNATION :		
MACHINE : fraissage	Montage : étau	



OPERATIONS	OUTILS	V_c m/min	f mm/tr	A_p mm	N Tr/min	A mm/mn	T_t min
Ebauche	F2T Outil ARS	30	0.1	2	950	380	0.13
½ Finition	Revêtu $\phi 10$	30	0.1	2	950	380	0.13
Finition		40	0.05	1	1270	254	0.19

CONTRAT DE PHASE PREVISIONNEL PHASE N° : 100 SOUS /P N° : 110	ENSEMBLE :	DATE : 12/05/2018
	PIECE : Appui	1 : 2
	MATIERE : XC 48	
NOM : BENDJERIOU BILLAL	PRODRAMME : Petit série	
DESIGNATION :		
MACHINE : fraiseage	Montage : étau	



OPERATIONS	OUTILS	V _c m/min	f mm/tr	A _p mm	N Tr/min	A mm/mn	Tt min
Ebauche	F2T	30	0.1	2	370	296	0.27
½ Finition	Outil ARS Revêtu	30	0.1	2	370	296	0.27
Finition	Ø36	40	0.05	1	360	144	0.56

III.3. Essai de validation :

L'équipement de la WP300 Machine d'essai universelle 20kN avec l'accessoire WP300.20 Acquisition des valeurs de mesure assistée par ordinateur permet une représentation et une interprétation confortables et bien structurées des valeurs de mesure sur un PC.

L'accessoire WP300.20 est constitué des composants matériels que sont le capteur de déplacement pour la mesure de la déformation, le capteur de pression avec adaptateur pour la mesure de la force d'essai, l'amplificateur de mesure avec interface USB pour la numérisation des valeurs de mesure, une alimentation électrique et les câbles correspondants.

Le logiciel assiste notamment les essais suivants :

- Essai de traction.
- Essai de compression.
- Essai de dureté.
- **Essai de flexion.**
- Essai de cisaillement.

La fenêtre de réglage peut être ouverte via le point de menu /Affichage/Réglages

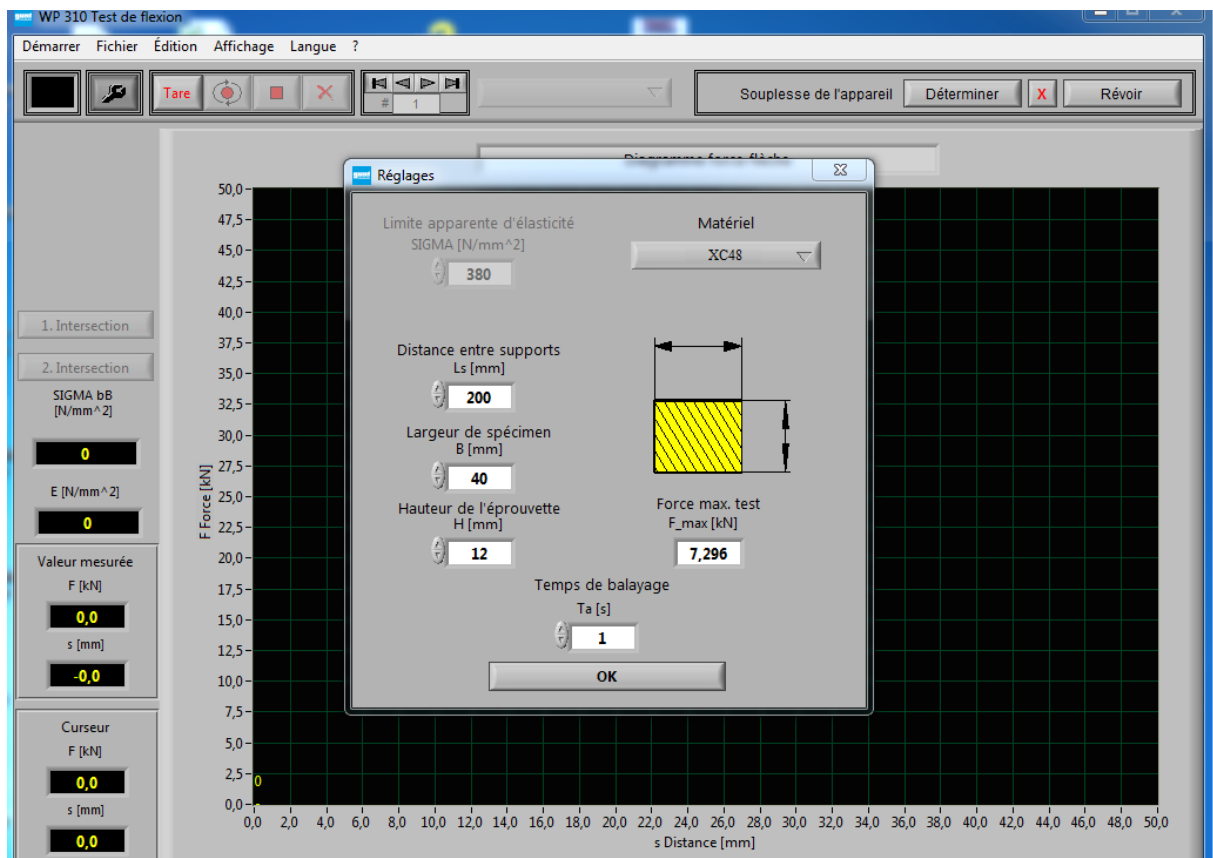


Figure.III.13.La fenêtre de réglage.

Dans la fenêtre de réglage, on introduit les paramètres de l'essai tels que dimensions de l'échantillon (longueur, largeur, hauteur, diamètre), matériau de l'échantillon, force d'essai, écartement des appuis...etc.

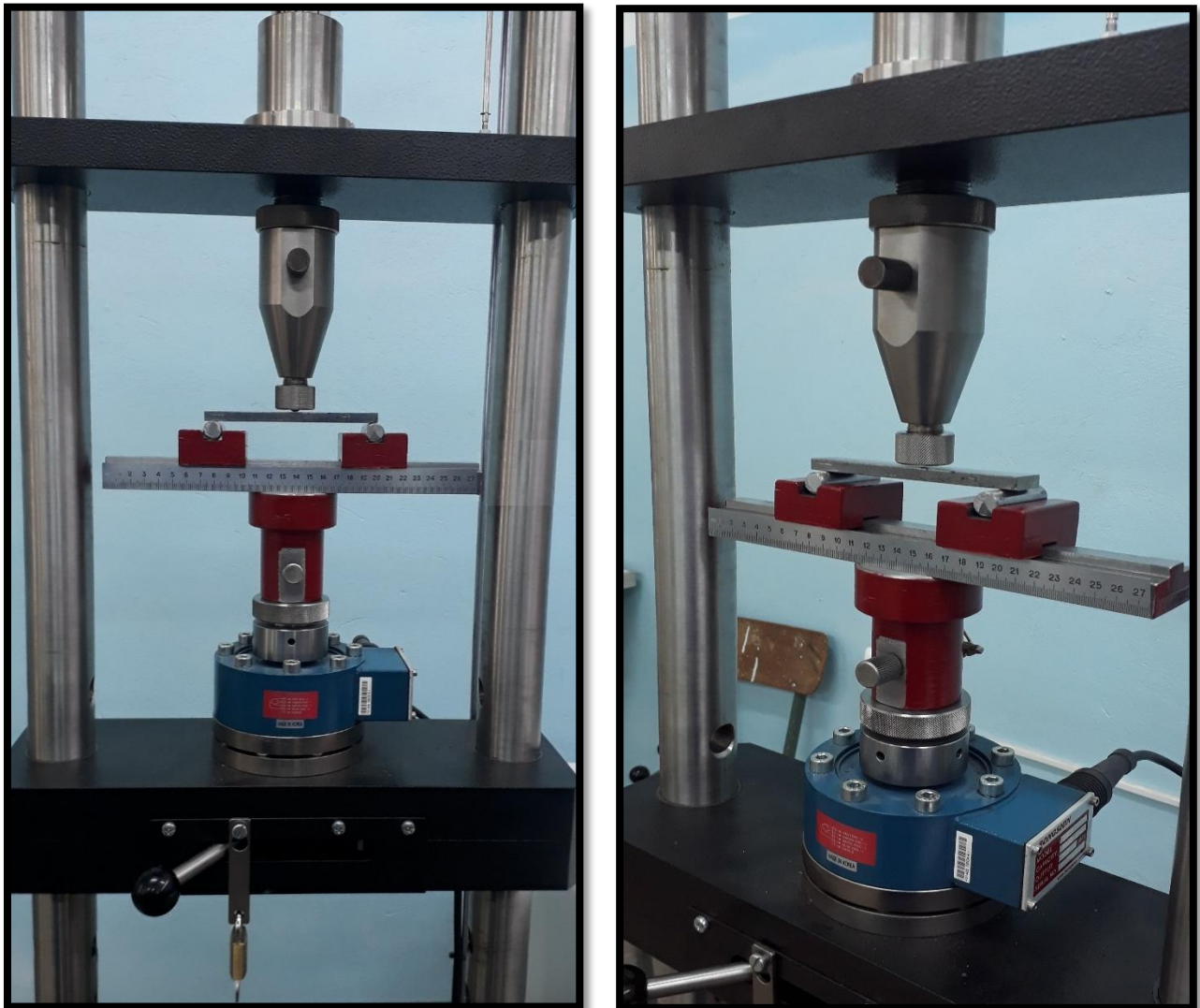


Figure.III.14.La WP300 Machine d'essai universelle (dispositif de flexion).

Conclusion

A l'issue de ce travail effectué dans le cadre de la formation du master productique, je peux affirmer qu'il m'a non seulement permis de mieux comprendre comment résoudre une problématique mais aussi l'approche technique pour traiter un thème scientifique.

Juste après mon stage aux ateliers magrébins de mécanique (AMM), j'ai entrepris l'étude relative à mon thème par l'analyse bibliographique sur la flexion trois point, les procédés d'usinage et les conditions de coupe.

J'ai aussi proposé la fabrication du support sur une machine-outil à commande numérique (TOUR EMCO E250). Cette proposition concernera l'étude de fabrication en série du dispositif étudié.

Dans cette expérience, nous avons fabriqué un dispositif de flexion trois points pour le besoin de la machine de traction universelle wp310 indispensable pour la réalisation des TP de résistance des matériaux pour les étudiants.

Finalement, je souhaite que ce modeste travail trouve une bonne appréciation et sera un support d'information pour toutes personnes désirant en savoir plus sur la fabrication mécanique avancée.

Annexes

G code

N1 (CNMG 431 80DEG SQR HOLDER)
N2 T0202
N3 B90.
N4 G99 G96 S548 M03
N5 M08

N6 (Face Rough1)
N7 G54 G00 Z10.35
N8 X76.71
N9 G01 X70. Z7. F.41
N10 X-.8
N11 X-1.51 Z7.35
N12 G00 Z10.35
N13 X70.71
N14 Z4.6
N15 G01 X70. Z4.25
N16 X-.8
N17 X-1.51 Z4.6
N18 G00 Z7.6
N19 X70.71
N20 Z1.85
N21 G01 X70. Z1.5
N22 X-.8
N23 X-1.51 Z1.85
N24 G00 Z4.85
N25 X70.71
N26 Z.85
N27 G01 X70. Z.5
N28 X-.8
N29 X-1.51 Z.85
N30 G00 Z12.6
N31 X508. Z127. M09
N32 M01

N33 (DNMG 431 80DEG SQR HOLDER)
N34 T0404
N35 B90.
N36 G99 G96 S548 M03
N37 M08

N38 (Face Finish1)
N39 G54 G00 Z3.35
N40 X75.91
N41 G01 X69.2 Z0 F.41
N42 X-.8
N43 X-1.51 Z.35
N44 G00 X508. Z127. M09
N45 M01

N46 (CNMG 431 80DEG SQR HOLDER)
N47 T0202
N48 B90.
N49 G99 G96 S548 M03
N50 M08

N51 (Turn Rough1)
N52 G54 G00 Z3.35
N53 X70.71
N54 G01 X64. Z0 F.41
N55 Z-63.5
N56 X67.2
N57 G03 X69.89 Z-64.06 R1.9
N58 G01 X70. Z-64.11
N59 X71.
N60 G00 X77.
N61 Z.35

N62 X61.09
N63 G01 X60.39 Z0
N64 Z-63.5

N65 X64.
N66 X64.71 Z-63.15
N67 X65.61
N68 G00 X70.71
N69 Z.5
N70 X58.86
N71 G01 X56.77
N72 Z0
N73 X56.89 Z-.06
N74 G03 X58. Z-1.4 R1.9
N75 G01 Z-63.5
N76 X64.
N77 X64.71 Z-63.15
N78 G00 Z.67
N79 X53.61
N80 G01 Z.17
N81 X55.47 Z-.76
N82 G03 X56. Z-1.4 R.9
N83 G01 Z-64.5
N84 X67.2
N85 G03 X68.47 Z-64.76 R.9
N86 G01 X69.77 Z-65.41
N87 X70.77
N88 G00 X76.77
N89 X508. Z127. M09
N90 M01

N91 (DNMG 431 80DEG SQR HOLDER)
N92 T0404
N93 B90.
N94 G99 G96 S548 M03
N95 M08

N96 (Turn Finish1)
N97 G54 G00 Z3.38
N98 X58.77
N99 G01 X52.77 Z.38 F.41
N100 Z-.12
N101 X54.77 Z-1.12
N102 G03 X55. Z-1.4 R.4
N103 G01 Z-65.
N104 X67.2
N105 G03 X67.77 Z-65.12 R.4
N106 G01 X69.77 Z-66.12
N107 X70.77
N108 G00 X76.77
N109 X508. Z127. M09
N110 M01

N111 (6MM X 60DEG HSS CENTERDRILL)
N112 T0606
N113 B0
N114 G98 G97 S26426 M03
N115 M08

N116 (Center Drill1)
N117 G54 G00 Z3.
N118 X0
N119 G74 R3
N120 G74 Z-2. F1611.
N121 X508. M09
N122 G01 Z127.
N123 M01

N124 (33.0mm JOBBER DRILL)
N125 T0707
N126 B0
N127 G98 G97 S3092 M03
N128 M08

N129 (Drill1)
N130 G54 G00 Z5.37
N131 X0
N132 Z2.37
N133 G01 Z-5.63 F487.
N134 G00 Z2.37
N135 Z-2.63
N136 G01 Z-10.63
N137 G00 Z2.37
N138 Z-7.63
N139 G01 Z-15.63
N140 G00 Z2.37
N141 Z-12.63
N142 G01 Z-20.63
N143 G00 Z2.37
N144 Z-17.63
N145 G01 Z-25.63
N146 G00 Z2.37
N147 Z-22.63
N148 G01 Z-30.63
N149 G00 Z2.37
N150 Z-27.63
N151 G01 Z-35.63
N152 G00 Z2.37
N153 Z-32.63
N154 G01 Z-40.63
N155 G00 Z2.37
N156 Z-37.63
N157 G01 Z-45.63
N158 G00 Z2.37
N159 Z-42.63
N160 G01 Z-50.63
N161 G00 Z2.37
N162 Z-47.63
N163 G01 Z-54.91
N164 G00 Z2.37
N165 X508. Z127. M09
N166 M01

N167 (3MM CUT-OFF BLADE)
N168 T0909
N169 B90.
N170 G99 G97 S1479 M04
N171 M08

N172 (Cut Off1)
N173 G54 G00 Z-80.
N174 X82.
N175 G01 Z-83. F09
N176 X64.
N177 G00 X70.
N178 G01 X58.
N179 G00 X64.
N180 G01 X52.
N181 G00 X58.
N182 G01 X46.
N183 G00 X52.
N184 G01 X40.
N185 G00 X46.
N186 G01 X34.
N187 G00 X40.
N188 G01 X28.
N189 G00 X34.
N190 G01 X22.
N191 G00 X28.
N192 G01 X16.
N193 G00 X22.
N194 G01 X10.
N195 G00 X16.
N196 G01 X4.
N197 G00 X10.
N198 G01 X-.4
N199 G00 X80.
N200 X508. Z127. M09
N201 M01

N202 (16MM X 90DEG CRB SPOT DRILL)
N203 T1111
N204 G98 G97 S5000 M13
N205 M08

N206 (Center Drill1)
N207 G54 G00 Z-24. C0
N208 X119.99
N209 G87 R-31.99 X39.2 P1000 F1092.
N210 G80
N211 X119.99 M09
N212 M01

N213 (12.0mm JOBBER DRILL)
N214 T1212
N215 G98 G97 S5000 M13
N216 M08

N217 (Drill1)
N218 G54 G00 Z-24. C0
N219 X119.99
N220 G87.6 R-31.99 X23.54 Q200 F635.
N221 G80
N222 X119.99 M09
N223 M01

N224 (16MM X 90DEG CRB SPOT DRILL)
N225 T1111
N226 G98 G97 S5000 M13
N227 M08

N228 (Center Drill2)
N229 G54 G00 Z-24. C180.
N230 X119.99
N231 G87 R-31.99 X39.2 P1000 F1092.
N232 G80
N233 X119.99 M09
N234 M01

N235 (12.0mm JOBBER DRILL)
N236 T1212
N237 G98 G97 S5000 M13
N238 M08

N239 (Drill2)
N240 G54 G00 Z-24. C180.
N241 X119.99
N242 G87.6 R-31.99 X23.54 Q200 F635.
N243 G80
N244 X119.99 M09
N245 M01

N246 (6MM CRB 2FL 19 LOC)
N247 T0101
N248 G98 G97 S5000 M13
N249 M08

N250 (Rough Mill1)
N251 G54 G00 X70.64 Z35. C210.303
N252 Z2.5
N253 G01 Z-3. F171.
N254 F686.
N255 X60.99 C180.
N256 X70.64 C149.697
N257 X68.24 C145.89
N258 X56.5 C180.
N259 X68.24 C214.11
N260 X56.5 C180.
N261 X68.24 C145.89
N262 G00 Z2.5
N263 X70.64 C210.303
N264 Z-.5
N265 G01 Z-5.83 F171.
N266 F686.
N267 X60.99 C180.
N268 X70.64 C149.697

N269 X68.24 C145.89
N270 X56.5 C180.
N271 X68.24 C214.11
N272 X56.5 C180.
N273 X68.24 C145.89
N274 G00 Z2.5
N275 X70.64 C210.303
N276 Z-3.33
N277 G01 Z-8.65 F171.
N278 F686.
N279 X60.99 C180.
N280 X70.64 C149.697
N281 X68.24 C145.89
N282 X56.5 C180.
N283 X68.24 C214.11
N284 X56.5 C180.
N285 X68.24 C145.89
N286 G00 Z2.5
N287 X70.64 C210.303
N288 Z-6.15
N289 G01 Z-11.48 F171.
N290 F686.
N291 X60.99 C180.
N292 X70.64 C149.697
N293 X68.24 C145.89
N294 X56.5 C180.
N295 X68.24 C214.11
N296 X56.5 C180.
N297 X68.24 C145.89
N298 G00 Z2.5
N299 X70.64 C210.303
N300 Z-8.98
N301 G01 Z-14.31 F171.
N302 F686.
N303 X60.99 C180.
N304 X70.64 C149.697
N305 X68.24 C145.89
N306 X56.5 C180.
N307 X68.24 C214.11
N308 X56.5 C180.
N309 X68.24 C145.89
N310 G00 Z2.5
N311 X70.64 C210.303
N312 Z-11.81
N313 G01 Z-17.13 F171.
N314 F686.
N315 X60.99 C180.
N316 X70.64 C149.697
N317 X68.24 C145.89
N318 X56.5 C180.
N319 X68.24 C214.11
N320 X56.5 C180.
N321 X68.24 C145.89
N322 G00 Z2.5
N323 X70.64 C210.303
N324 Z-14.63
N325 G01 Z-19.96 F171.
N326 F686.
N327 X60.99 C180.
N328 X70.64 C149.697
N329 X68.24 C145.89
N330 X56.5 C180.
N331 X68.24 C214.11
N332 X56.5 C180.
N333 X68.24 C145.89
N334 G00 Z2.5
N335 X70.64 C210.303
N336 Z-17.46
N337 G01 Z-22.79 F171.
N338 F686.
N339 X60.99 C180.
N340 X70.64 C149.697
N341 X68.24 C145.89
N342 X56.5 C180.
N343 X68.24 C214.11
N344 X56.5 C180.

N345 X68.24 C145.89
N346 G00 Z2.5
N347 X70.64 C210.303
N348 Z-20.29
N349 G01 Z-25.62 F171.
N350 F686.
N351 X60.99 C180.
N352 X70.64 C149.697
N353 X68.24 C145.89
N354 X56.5 C180.
N355 X68.24 C214.11
N356 X56.5 C180.
N357 X68.24 C145.89
N358 G00 Z2.5
N359 X70.64 C210.303
N360 Z-23.12
N361 G01 Z-28.44 F171.
N362 F686.
N363 X60.99 C180.
N364 X70.64 C149.697
N365 X68.24 C145.89
N366 X56.5 C180.
N367 X68.24 C214.11
N368 X56.5 C180.
N369 X68.24 C145.89
N370 G00 Z2.5
N371 X70.64 C210.303
N372 Z-25.94
N373 G01 Z-31.27 F171.
N374 F686.
N375 X60.99 C180.
N376 X70.64 C149.697
N377 X68.24 C145.89
N378 X56.5 C180.
N379 X68.24 C214.11
N380 X56.5 C180.
N381 X68.24 C145.89
N382 G00 Z2.5
N383 X70.64 C210.303
N384 Z-28.77
N385 G01 Z-34.1 F171.
N386 F686.
N387 X60.99 C180.
N388 X70.64 C149.697
N389 X68.24 C145.89
N390 X56.5 C180.
N391 X68.24 C214.11
N392 X56.5 C180.
N393 X68.24 C145.89
N394 G00 Z2.5
N395 X70.64 C210.303
N396 Z-31.6
N397 G01 Z-36.92 F171.
N398 F686.
N399 X60.99 C180.
N400 X70.64 C149.697
N401 X68.24 C145.89
N402 X56.5 C180.
N403 X68.24 C214.11
N404 X56.5 C180.
N405 X68.24 C145.89
N406 G00 Z2.5
N407 X70.64 C210.303
N408 Z-34.42
N409 G01 Z-39.75 F171.
N410 F686.
N411 X60.99 C180.
N412 X70.64 C149.697
N413 X68.24 C145.89
N414 X56.5 C180.
N415 X68.24 C214.11
N416 X56.5 C180.
N417 X68.24 C145.89
N418 G00 Z2.5
N419 X70.64 C210.303
N420 Z-37.25

N421 G01 Z-40. F171.
N422 F686.
N423 X60.99 C180.
N424 X70.64 C149.697
N425 X68.24 C145.89
N426 X56.5 C180.
N427 X68.24 C214.11
N428 X56.5 C180.
N429 X68.24 C145.89
N430 G00 Z2.5
N431 Z35.

N432 (Contour Mill)
N433 X67.49 C205.8
N434 Z3.
N435 G01 Z-3. F171.
N436 G41 X61.63 C203.891 F514.
N437 X61.46 C203.816
N438 X61.31 C203.715
N439 X61.17 C203.593
N440 X61.06 C203.452
N441 X60.97 C203.296
N442 X56. C180. F686.
N443 X60.97 C156.704
N444 X61.06 C156.548 F514.
N445 X61.17 C156.407
N446 X61.31 C156.285
N447 X61.46 C156.184
N448 X61.63 C156.109
N449 G40 X67.49 C154.2
N450 G00 Z3.
N451 C205.8
N452 Z0
N453 G01 Z-5.85 F171.
N454 G41 X61.63 C203.891 F514.
N455 X61.46 C203.816
N456 X61.31 C203.715
N457 X61.17 C203.593
N458 X61.06 C203.452
N459 X60.97 C203.296
N460 X56. C180. F686.
N461 X60.97 C156.704
N462 X61.06 C156.548 F514.
N463 X61.17 C156.407
N464 X61.31 C156.285
N465 X61.46 C156.184
N466 X61.63 C156.109
N467 G40 X67.49 C154.2
N468 G00 Z3.
N469 C205.8
N470 Z-2.85
N471 G01 Z-8.69 F171.
N472 G41 X61.63 C203.891 F514.
N473 X61.46 C203.816
N474 X61.31 C203.715
N475 X61.17 C203.593
N476 X61.06 C203.452
N477 X60.97 C203.296
N478 X56. C180. F686.
N479 X60.97 C156.704
N480 X61.06 C156.548 F514.
N481 X61.17 C156.407
N482 X61.31 C156.285
N483 X61.46 C156.184
N484 X61.63 C156.109
N485 G40 X67.49 C154.2
N486 G00 Z3.
N487 C205.8
N488 Z-5.69
N489 G01 Z-11.54 F171.
N490 G41 X61.63 C203.891 F514.
N491 X61.46 C203.816
N492 X61.31 C203.715
N493 X61.17 C203.593
N494 X61.06 C203.452
N495 X60.97 C203.296

N496 X56. C180. F686.
N497 X60.97 C156.704
N498 X61.06 C156.548 F514.
N499 X61.17 C156.407
N500 X61.31 C156.285
N501 X61.46 C156.184
N502 X61.63 C156.109
N503 G40 X67.49 C154.2
N504 G00 Z3.
N505 C205.8
N506 Z-8.54
N507 G01 Z-14.38 F171.
N508 G41 X61.63 C203.891 F514.
N509 X61.46 C203.816
N510 X61.31 C203.715
N511 X61.17 C203.593
N512 X61.06 C203.452
N513 X60.97 C203.296
N514 X56. C180. F686.
N515 X60.97 C156.704
N516 X61.06 C156.548 F514.
N517 X61.17 C156.407
N518 X61.31 C156.285
N519 X61.46 C156.184
N520 X61.63 C156.109
N521 G40 X67.49 C154.2
N522 G00 Z3.
N523 C205.8
N524 Z-11.38
N525 G01 Z-17.23 F171.
N526 G41 X61.63 C203.891 F514.
N527 X61.46 C203.816
N528 X61.31 C203.715
N529 X61.17 C203.593
N530 X61.06 C203.452
N531 X60.97 C203.296
N532 X56. C180. F686.
N533 X60.97 C156.704
N534 X61.06 C156.548 F514.
N535 X61.17 C156.407
N536 X61.31 C156.285
N537 X61.46 C156.184
N538 X61.63 C156.109
N539 G40 X67.49 C154.2
N540 G00 Z3.
N541 C205.8
N542 Z-14.23
N543 G01 Z-20.08 F171.
N544 G41 X61.63 C203.891 F514.
N545 X61.46 C203.816
N546 X61.31 C203.715
N547 X61.17 C203.593
N548 X61.06 C203.452
N549 X60.97 C203.296
N550 X56. C180. F686.
N551 X60.97 C156.704
N552 X61.06 C156.548 F514.
N553 X61.17 C156.407
N554 X61.31 C156.285
N555 X61.46 C156.184
N556 X61.63 C156.109
N557 G40 X67.49 C154.2
N558 G00 Z3.
N559 C205.8
N560 Z-17.08
N561 G01 Z-22.92 F171.
N562 G41 X61.63 C203.891 F514.
N563 X61.46 C203.816
N564 X61.31 C203.715
N565 X61.17 C203.593
N566 X61.06 C203.452
N567 X60.97 C203.296
N568 X56. C180. F686.
N569 X60.97 C156.704
N570 X61.06 C156.548 F514.
N571 X61.17 C156.407

N572 X61.31 C156.285
N573 X61.46 C156.184
N574 X61.63 C156.109
N575 G40 X67.49 C154.2
N576 G00 Z3.
N577 C205.8
N578 Z-19.92
N579 G01 Z-25.77 F171.
N580 G41 X61.63 C203.891 F514.
N581 X61.46 C203.816
N582 X61.31 C203.715
N583 X61.17 C203.593
N584 X61.06 C203.452
N585 X60.97 C203.296
N586 X56. C180. F686.
N587 X60.97 C156.704
N588 X61.06 C156.548 F514.
N589 X61.17 C156.407
N590 X61.31 C156.285
N591 X61.46 C156.184
N592 X61.63 C156.109
N593 G40 X67.49 C154.2
N594 G00 Z3.
N595 C205.8
N596 Z-22.77
N597 G01 Z-28.62 F171.
N598 G41 X61.63 C203.891 F514.
N599 X61.46 C203.816
N600 X61.31 C203.715
N601 X61.17 C203.593
N602 X61.06 C203.452
N603 X60.97 C203.296
N604 X56. C180. F686.
N605 X60.97 C156.704
N606 X61.06 C156.548 F514.
N607 X61.17 C156.407
N608 X61.31 C156.285
N609 X61.46 C156.184
N610 X61.63 C156.109
N611 G40 X67.49 C154.2
N612 G00 Z3.
N613 C205.8
N614 Z-25.62
N615 G01 Z-31.46 F171.
N616 G41 X61.63 C203.891 F514.
N617 X61.46 C203.816
N618 X61.31 C203.715
N619 X61.17 C203.593
N620 X61.06 C203.452
N621 X60.97 C203.296
N622 X56. C180. F686.
N623 X60.97 C156.704
N624 X61.06 C156.548 F514.
N625 X61.17 C156.407
N626 X61.31 C156.285
N627 X61.46 C156.184
N628 X61.63 C156.109
N629 G40 X67.49 C154.2
N630 G00 Z3.
N631 C205.8
N632 Z-28.46
N633 G01 Z-34.31 F171.
N634 G41 X61.63 C203.891 F514.
N635 X61.46 C203.816
N636 X61.31 C203.715
N637 X61.17 C203.593
N638 X61.06 C203.452
N639 X60.97 C203.296
N640 X56. C180. F686.
N641 X60.97 C156.704
N642 X61.06 C156.548 F514.
N643 X61.17 C156.407
N644 X61.31 C156.285
N645 X61.46 C156.184
N646 X61.63 C156.109
N647 G40 X67.49 C154.2

N648 G00 Z3.
N649 C205.8
N650 Z-31.31
N651 G01 Z-37.15 F171.
N652 G41 X61.63 C203.891 F514.
N653 X61.46 C203.816
N654 X61.31 C203.715
N655 X61.17 C203.593
N656 X61.06 C203.452
N657 X60.97 C203.296
N658 X56. C180. F686.
N659 X60.97 C156.704
N660 X61.06 C156.548 F514.
N661 X61.17 C156.407
N662 X61.31 C156.285
N663 X61.46 C156.184
N664 X61.63 C156.109
N665 G40 X67.49 C154.2
N666 G00 Z3.
N667 C205.8
N668 Z-34.15
N669 G01 Z-40. F171.
N670 G41 X61.63 C203.891 F514.
N671 X61.46 C203.816
N672 X61.31 C203.715
N673 X61.17 C203.593
N674 X61.06 C203.452
N675 X60.97 C203.296
N676 X56. C180. F686.
N677 X60.97 C156.704
N678 X61.06 C156.548 F514.
N679 X61.17 C156.407
N680 X61.31 C156.285
N681 X61.46 C156.184
N682 X61.63 C156.109
N683 G40 X67.49 C154.2
N684 G00 Z3.
N685 Z35.

N686 (Rough Mill3)
N687 X70.64 C30.303
N688 Z2.5
N689 G01 Z-3. F171.
N690 F686.
N691 X60.99 C0
N692 X70.64 C-30.303
N693 X68.24 C-34.11
N694 X56.5 C0
N695 X68.24 C34.11
N696 X56.5 C0
N697 X68.24 C-34.11
N698 G00 Z2.5
N699 X70.64 C30.303
N700 Z-.5
N701 G01 Z-5.83 F171.
N702 F686.
N703 X60.99 C0
N704 X70.64 C-30.303
N705 X68.24 C-34.11
N706 X56.5 C0
N707 X68.24 C34.11
N708 X56.5 C0
N709 X68.24 C-34.11
N710 G00 Z2.5
N711 X70.64 C30.303
N712 Z-3.33
N713 G01 Z-8.65 F171.
N714 F686.
N715 X60.99 C0
N716 X70.64 C-30.303
N717 X68.24 C-34.11
N718 X56.5 C0
N719 X68.24 C34.11
N720 X56.5 C0
N721 X68.24 C-34.11
N722 G00 Z2.5

N723 X70.64 C30.303
N724 Z-6.15
N725 G01 Z-11.48 F171.
N726 F686.
N727 X60.99 C0
N728 X70.64 C-30.303
N729 X68.24 C-34.11
N730 X56.5 C0
N731 X68.24 C34.11
N732 X56.5 C0
N733 X68.24 C-34.11
N734 G00 Z2.5
N735 X70.64 C30.303
N736 Z-8.98
N737 G01 Z-14.31 F171.
N738 F686.
N739 X60.99 C0
N740 X70.64 C-30.303
N741 X68.24 C-34.11
N742 X56.5 C0
N743 X68.24 C34.11
N744 X56.5 C0
N745 X68.24 C-34.11
N746 G00 Z2.5
N747 X70.64 C30.303
N748 Z-11.81
N749 G01 Z-17.13 F171.
N750 F686.
N751 X60.99 C0
N752 X70.64 C-30.303
N753 X68.24 C-34.11
N754 X56.5 C0
N755 X68.24 C34.11
N756 X56.5 C0
N757 X68.24 C-34.11
N758 G00 Z2.5
N759 X70.64 C30.303
N760 Z-14.63
N761 G01 Z-19.96 F171.
N762 F686.
N763 X60.99 C0
N764 X70.64 C-30.303
N765 X68.24 C-34.11
N766 X56.5 C0
N767 X68.24 C34.11
N768 X56.5 C0
N769 X68.24 C-34.11
N770 G00 Z2.5
N771 X70.64 C30.303
N772 Z-17.46
N773 G01 Z-22.79 F171.
N774 F686.
N775 X60.99 C0
N776 X70.64 C-30.303
N777 X68.24 C-34.11
N778 X56.5 C0
N779 X68.24 C34.11
N780 X56.5 C0
N781 X68.24 C-34.11
N782 G00 Z2.5
N783 X70.64 C30.303
N784 Z-20.29
N785 G01 Z-25.62 F171.
N786 F686.
N787 X60.99 C0
N788 X70.64 C-30.303
N789 X68.24 C-34.11
N790 X56.5 C0
N791 X68.24 C34.11
N792 X56.5 C0
N793 X68.24 C-34.11
N794 G00 Z2.5
N795 X70.64 C30.303
N796 Z-23.12
N797 G01 Z-28.44 F171.
N798 F686.

N799 X60.99 C0
N800 X70.64 C-30.303
N801 X68.24 C-34.11
N802 X56.5 C0
N803 X68.24 C34.11
N804 X56.5 C0
N805 X68.24 C-34.11
N806 G00 Z2.5
N807 X70.64 C30.303
N808 Z-25.94
N809 G01 Z-31.27 F171.
N810 F686.
N811 X60.99 C0
N812 X70.64 C-30.303
N813 X68.24 C-34.11
N814 X56.5 C0
N815 X68.24 C34.11
N816 X56.5 C0
N817 X68.24 C-34.11
N818 G00 Z2.5
N819 X70.64 C30.303
N820 Z-28.77
N821 G01 Z-34.1 F171.
N822 F686.
N823 X60.99 C0
N824 X70.64 C-30.303
N825 X68.24 C-34.11
N826 X56.5 C0
N827 X68.24 C34.11
N828 X56.5 C0
N829 X68.24 C-34.11
N830 G00 Z2.5
N831 X70.64 C30.303
N832 Z-31.6
N833 G01 Z-36.92 F171.
N834 F686.
N835 X60.99 C0
N836 X70.64 C-30.303
N837 X68.24 C-34.11
N838 X56.5 C0
N839 X68.24 C34.11
N840 X56.5 C0
N841 X68.24 C-34.11
N842 G00 Z2.5
N843 X70.64 C30.303
N844 Z-34.42
N845 G01 Z-39.75 F171.
N846 F686.
N847 X60.99 C0
N848 X70.64 C-30.303
N849 X68.24 C-34.11
N850 X56.5 C0
N851 X68.24 C34.11
N852 X56.5 C0
N853 X68.24 C-34.11
N854 G00 Z2.5
N855 X70.64 C30.303
N856 Z-37.25
N857 G01 Z-40. F171.
N858 F686.
N859 X60.99 C0
N860 X70.64 C-30.303
N861 X68.24 C-34.11
N862 X56.5 C0
N863 X68.24 C34.11
N864 X56.5 C0
N865 X68.24 C-34.11
N866 G00 Z2.5
N867 Z35.

N868 (Contour Mill2)
N869 X67.49 C25.8
N870 Z3.
N871 G01 Z-3. F171.
N872 G41 X61.63 C23.891 F514.
N873 X61.46 C23.816

N874 X61.31 C23.715
N875 X61.17 C23.593
N876 X61.06 C23.452
N877 X60.97 C23.296
N878 X56. C0 F686.
N879 X60.97 C-23.296
N880 X61.06 C-23.452 F514.
N881 X61.17 C-23.593
N882 X61.31 C-23.715
N883 X61.46 C-23.816
N884 X61.63 C-23.891
N885 G40 X67.49 C-25.8
N886 G00 Z3.
N887 C25.8
N888 Z0
N889 G01 Z-5.85 F171.
N890 G41 X61.63 C23.891 F514.
N891 X61.46 C23.816
N892 X61.31 C23.715
N893 X61.17 C23.593
N894 X61.06 C23.452
N895 X60.97 C23.296
N896 X56. C0 F686.
N897 X60.97 C-23.296
N898 X61.06 C-23.452 F514.
N899 X61.17 C-23.593
N900 X61.31 C-23.715
N901 X61.46 C-23.816
N902 X61.63 C-23.891
N903 G40 X67.49 C-25.8
N904 G00 Z3.
N905 C25.8
N906 Z-2.85
N907 G01 Z-8.69 F171.
N908 G41 X61.63 C23.891 F514.
N909 X61.46 C23.816
N910 X61.31 C23.715
N911 X61.17 C23.593
N912 X61.06 C23.452
N913 X60.97 C23.296
N914 X56. C0 F686.
N915 X60.97 C-23.296
N916 X61.06 C-23.452 F514.
N917 X61.17 C-23.593
N918 X61.31 C-23.715
N919 X61.46 C-23.816
N920 X61.63 C-23.891
N921 G40 X67.49 C-25.8
N922 G00 Z3.
N923 C25.8
N924 Z-5.69
N925 G01 Z-11.54 F171.
N926 G41 X61.63 C23.891 F514.
N927 X61.46 C23.816
N928 X61.31 C23.715
N929 X61.17 C23.593
N930 X61.06 C23.452
N931 X60.97 C23.296
N932 X56. C0 F686.
N933 X60.97 C-23.296
N934 X61.06 C-23.452 F514.
N935 X61.17 C-23.593
N936 X61.31 C-23.715
N937 X61.46 C-23.816
N938 X61.63 C-23.891
N939 G40 X67.49 C-25.8
N940 G00 Z3.
N941 C25.8
N942 Z-8.54
N943 G01 Z-14.38 F171.
N944 G41 X61.63 C23.891 F514.
N945 X61.46 C23.816
N946 X61.31 C23.715
N947 X61.17 C23.593
N948 X61.06 C23.452
N949 X60.97 C23.296
N950 X56. C0 F686.
N951 X60.97 C-23.296
N952 X61.06 C-23.452 F514.
N953 X61.17 C-23.593
N954 X61.31 C-23.715
N955 X61.46 C-23.816
N956 X61.63 C-23.891
N957 G40 X67.49 C-25.8
N958 G00 Z3.
N959 C25.8
N960 Z-11.38
N961 G01 Z-17.23 F171.
N962 G41 X61.63 C23.891 F514.
N963 X61.46 C23.816
N964 X61.31 C23.715
N965 X61.17 C23.593
N966 X61.06 C23.452
N967 X60.97 C23.296
N968 X56. C0 F686.
N969 X60.97 C-23.296
N970 X61.06 C-23.452 F514.
N971 X61.17 C-23.593
N972 X61.31 C-23.715
N973 X61.46 C-23.816
N974 X61.63 C-23.891
N975 G40 X67.49 C-25.8
N976 G00 Z3.
N977 C25.8
N978 Z-14.23
N979 G01 Z-20.08 F171.
N980 G41 X61.63 C23.891 F514.
N981 X61.46 C23.816
N982 X61.31 C23.715
N983 X61.17 C23.593
N984 X61.06 C23.452
N985 X60.97 C23.296
N986 X56. C0 F686.
N987 X60.97 C-23.296
N988 X61.06 C-23.452 F514.
N989 X61.17 C-23.593
N990 X61.31 C-23.715
N991 X61.46 C-23.816
N992 X61.63 C-23.891
N993 G40 X67.49 C-25.8
N994 G00 Z3.
N995 C25.8
N996 Z-17.08
N997 G01 Z-22.92 F171.
N998 G41 X61.63 C23.891 F514.
N999 X61.46 C23.816
N1000 X61.31 C23.715
N1001 X61.17 C23.593
N1002 X61.06 C23.452
N1003 X60.97 C23.296
N1004 X56. C0 F686.
N1005 X60.97 C-23.296
N1006 X61.06 C-23.452 F514.
N1007 X61.17 C-23.593
N1008 X61.31 C-23.715
N1009 X61.46 C-23.816
N1010 X61.63 C-23.891
N1011 G40 X67.49 C-25.8
N1012 G00 Z3.
N1013 C25.8
N1014 Z-19.92
N1015 G01 Z-25.77 F171.
N1016 G41 X61.63 C23.891 F514.
N1017 X61.46 C23.816
N1018 X61.31 C23.715
N1019 X61.17 C23.593
N1020 X61.06 C23.452
N1021 X60.97 C23.296
N1022 X56. C0 F686.
N1023 X60.97 C-23.296
N1024 X61.06 C-23.452 F514.
N1025 X61.17 C-23.593

N1026 X61.31 C-23.715
N1027 X61.46 C-23.816
N1028 X61.63 C-23.891
N1029 G40 X67.49 C-25.8
N1030 G00 Z3.
N1031 C25.8
N1032 Z-22.77
N1033 G01 Z-28.62 F171.
N1034 G41 X61.63 C23.891 F514.
N1035 X61.46 C23.816
N1036 X61.31 C23.715
N1037 X61.17 C23.593
N1038 X61.06 C23.452
N1039 X60.97 C23.296
N1040 X56. C0 F686.
N1041 X60.97 C-23.296
N1042 X61.06 C-23.452 F514.
N1043 X61.17 C-23.593
N1044 X61.31 C-23.715
N1045 X61.46 C-23.816
N1046 X61.63 C-23.891
N1047 G40 X67.49 C-25.8
N1048 G00 Z3.
N1049 C25.8
N1050 Z-25.62
N1051 G01 Z-31.46 F171.
N1052 G41 X61.63 C23.891 F514.
N1053 X61.46 C23.816
N1054 X61.31 C23.715
N1055 X61.17 C23.593
N1056 X61.06 C23.452
N1057 X60.97 C23.296
N1058 X56. C0 F686.
N1059 X60.97 C-23.296
N1060 X61.06 C-23.452 F514.
N1061 X61.17 C-23.593
N1062 X61.31 C-23.715
N1063 X61.46 C-23.816
N1064 X61.63 C-23.891
N1065 G40 X67.49 C-25.8
N1066 G00 Z3.
N1067 C25.8
N1068 Z-28.46
N1069 G01 Z-34.31 F171.
N1070 G41 X61.63 C23.891 F514.
N1071 X61.46 C23.816
N1072 X61.31 C23.715
N1073 X61.17 C23.593
N1074 X61.06 C23.452
N1075 X60.97 C23.296
N1076 X56. C0 F686.
N1077 X60.97 C-23.296
N1078 X61.06 C-23.452 F514.
N1079 X61.17 C-23.593
N1080 X61.31 C-23.715
N1081 X61.46 C-23.816
N1082 X61.63 C-23.891
N1083 G40 X67.49 C-25.8
N1084 G00 Z3.
N1085 C25.8
N1086 Z-31.31
N1087 G01 Z-37.15 F171.
N1088 G41 X61.63 C23.891 F514.
N1089 X61.46 C23.816
N1090 X61.31 C23.715
N1091 X61.17 C23.593
N1092 X61.06 C23.452
N1093 X60.97 C23.296
N1094 X56. C0 F686.
N1095 X60.97 C-23.296
N1096 X61.06 C-23.452 F514.
N1097 X61.17 C-23.593
N1098 X61.31 C-23.715
N1099 X61.46 C-23.816
N1100 X61.63 C-23.891
N1101 G40 X67.49 C-25.8

N1102 G00 Z3.
N1103 C25.8
N1104 Z-34.15
N1105 G01 Z-40. F171.
N1106 G41 X61.63 C23.891 F514.
N1107 X61.46 C23.816
N1108 X61.31 C23.715
N1109 X61.17 C23.593
N1110 X61.06 C23.452
N1111 X60.97 C23.296
N1112 X56. C0 F686.
N1113 X60.97 C-23.296
N1114 X61.06 C-23.452 F514.
N1115 X61.17 C-23.593
N1116 X61.31 C-23.715
N1117 X61.46 C-23.816
N1118 X61.63 C-23.891
N1119 G40 X67.49 C-25.8
N1120 G00 Z3.
N1121 Z35. M09
N1122 M05
N1123 M30

Les références

- http://www.univ-chlef.dz/fgca/doc/cours/polycopie_rdm_1_licence_2_genie_civil_harichan_z.pdf [1]
- <https://fr.calameo.com/read/00167394942ff276d3563> [2]
- http://www.univ-chlef.dz/fgca/doc/cours/polycopie_rdm_ii_licence_2_genie_civil_harichan_z.pdf [3]
- <https://www.technologuepro.com/resistance-des-materiaux-2/chapitre-6-flexion-simple.pdf> [4]
- <https://www.youscribe.com/BookReader/Index/1713511?documentId=1691429> [5]
- <http://campus.cerimes.fr/odontologie/enseignement/chap4/site/html/4.html> [6]
- <https://dl.ummt0.dz/bitstream/handle/ummt0/1009/Mansouri%20Lilla.pdf?sequence=2&isAllowed=y> [7]
- [https://fr.wikipedia.org/wiki/Flexion_\(mat%C3%A9riau\)#Flexion_trois_points](https://fr.wikipedia.org/wiki/Flexion_(mat%C3%A9riau)#Flexion_trois_points) [8]
- <http://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr/sti/files/ressources/pedagogiques/5514/5514-ressources-usinage-par-enlevement-de-matiere.pdf> [9]
- <http://technologiedebase.osmose-hebergement.com/cours/Chapitre2-Partie2.pdf> [10]
- <https://www.gunt.de/fr/produits/mecanique-appliquee-et-conception-mecanique/essai-des-materiaux/traction-compression-flexion-et-durete/essai-des-materiaux-50kn/020.31000/wp310/glct-1:pa-149:ca-34:pr-1575> [11]
- <http://www.metaux-detail.com/pdf/acier/xc48.pdf> [12]