

People's Democratic Republic of Algeria

Ministry of Higher Education and Scientific Research

Mohamed Boudiaf University of M'sila

Faculty of Technology



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة المسيلة

كلية التكنولوجيا

Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option: Techniques de production industrielle

Présenté par :

HOURIER Ali & FELOUSSIA Fayssal

Thème

**ETUDE SUR LES DECORATIONS CHAUDRONNERIE ET
CONCEPTION ET REALISATION D'UNE TORSADEUSE
MANUELLE**

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
FARCI Chaowki	MCA	Président
DEBIH Ali	MCA	Encadreur
ELHADI Abdelmalek	MCA	Examineur

Année Universitaire: 2021 / 2022

N° d'ordre: GM/...../2022

REMERCIEMENTS

Nous remercions en premier lieu Dieu, le tout puissant de nous avoir donné la volonté de mener à terme ce travail qui représente le fruit de notre cinquième année d'étude.

Nous tenons à exprimer vivement nos profondes gratitude à monsieur DEBIH ALI, enseignant à l'université de Msila, pour avoir dirigé et encadré ce sujet de mémoire de fin d'étude, nous le remercions pour ses conseils, ses encouragements et sa grande disponibilité tout au long de ce travail.

Nous remercions tous les enseignants et la direction de technique de production industrielle, c'était fructueux de connaître et étudier et pratiquer à l'intérieur des laboratoires.

Nous tenons aussi à remercier tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin durant toutes nos années d'études.

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail :

- ❖ *A mes très chers parents.*
- ❖ *A toute la famille HOURIER.*
- ❖ *A tous mes amis*
- ❖ *A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin
durant toutes mes années d'études.*

.

ALI

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail :

- ❖ *A mes très chers parents.*
- ❖ *A toute la famille FELOUSSIA.*
- ❖ *A tous mes amis*
- ❖ *A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin
durant toutes mes années d'études.*

FAYSSAL

Les décorations métalliques sont tendances en ce moment, ils peuvent être utilisés dans n'importe quel endroit par exemple à l'intérieur ou l'extérieur de la maison, sur les murs, sur les portes ou portails, les rampes d'escaliers, il est très facile de construire ces décorations, il suffit de les former dans **la chaudronnerie** généralement.

Les différents technique d'obtenir des pièces de décoration métallique mentionnées dans ce travail explique toutes les méthodes de fabrication et **les moyens mis en œuvre**.

Le modèle de décoration étudié et réalisé dans ce modeste travail est une décoration en métal s'appelle « **Pomme de pin** » construite avec **la torsadeuse**, on trouve ces modèles de décoration généralement soudé sur les rampes d'escaliers et sont caractérisés par un look artistique comme un orbe.

L'essai de torsion est une étude importante pour comprendre le concept d'une torsadeuse, nous avons fait une étude théorique ou on peut mieux comprendre le principe d'essai de **torsion simple** avec des **calculs des déformations** et **l'étude des contraintes, moment de torsion**.

Une simulation de la pièce « Pomme de pin » et la torsadeuse manuelle sur **SolidWorks** pour montrer de bonnes vues de ses pièces en 3D avant de montrer les photos de notre produit final fait dans un atelier ou **la torsadeuse manuelle** réalisé utilisant ses dessins techniques .

Mots clés : Les décorations métalliques, la chaudronnerie, les moyens mis en œuvre, Pomme de pin, la torsadeuse, L'essai de torsion, torsion, calculs des déformations, l'étude des contraintes, moment de torsion, SolidWorks, la torsadeuse manuelle.

The metallic decorations are trendy in this moment, they can be used in every place for example in the inside or the outside of the house, in the walls, in doors or stair railings, it is pretty easy to construct these decorations, it is enough to form them in the **boiler making** usually.

The different techniques to obtain metal decoration pieces mentioned in this work explain all the methods of manufacturing and **the measures** that took place.

The model of decoration studied and realized in this modest work is a metal decoration known as a **decorative steel grill** constructed with a machine called **the twister**, we find these models of decorations usually welded in the stair railings and they are characterized by their artistic look like and orb.

The torsion test is an important study to understand the concept of a twister; we did a theoretical study where we can understand better the principle of the test of **simple torsion** and the **deformation calculations** and the **study of constraints**, the **torque**.

A simulation of the piece decorative steel grill and the manual twister took place in this study on **SolidWorks** to show us good views of these pieces in 3D before we get to the pictures of our final products that we did on a workshop where **the manual twister** is constructed using its technical drawings.

Keywords: The metallic decorations, boiler making, the measures, decorative steel grill, the twister, The torsion test, simple torsion, deformation calculations, study of constraints, torque, SolidWorks, the manual twister

الزخارف المعدنية رائجة في هذه اللحظة ، يمكن استخدامها في كل مكان على سبيل المثال في داخل المنزل أو خارجه ، في الجدران ، في الأبواب أو درابزين الدرج ، من السهل جداً بناء هذه الزخارف ،**الفرن الميكانيكي** يكفي لتشكيلها في عادة.

تشرح التقنيات المختلفة للحصول على قطع الزخرفة المعدنية المذكورة في هذا العمل جميع طرق التصنيع والإجراءات التي تمت.

إن نموذج الزخرفة الذي تمت دراسته وإدراكه في هذا العمل المتواضع هو زخرفة معدنية تُعرف باسم **مخروط الصنبور الفولاذي** مبنية بآلة تعرف بآلة **الالتواء**، ونجد هذه النماذج من الزخارف عادة ملحومة في درابزين الدرج وتتميز بمظهرها الفني.

اختبار الالتواء هو دراسة مهمة لفهم مفهوم الالتواء ؛ قمنا بدراسة نظرية حيث يمكننا أن نفهم بشكل أفضل مبدأ اختبار **الالتواء البسيط** وحسابات التشوه ودراسة **الاجهادات و عزم الدوران**.

تمت محاكاة القطعة الفولاذية المزخرفة وآلة الالتواء اليدوية في هذه الدراسة على **SolidWorks** لتظهر لنا رؤية جيدة لهته القطع في صور ثلاثية الأبعاد قبل أن نصل إلى صور منتجنا النهائي الذي قمنا به في ورشة عمل حيث توجد آلة **الالتواء اليدوية** المصنوعة باستخدام الرسومات التقنية .

الكلمات المفتاحية: الزخارف المعدنية، الفرن الميكانيكي، مخروط الصنبور الفولاذي، آلة الالتواء، اختبار الالتواء، الالتواء البسيط، حسابات التشوه، الاجهادات، عزم الدوران، SolidWorks، آلة الالتواء اليدوية.

Figure 1.1 : des decorations metalliques.....	3
Figure 1.2 : decoration murale metallique.....	5
Figure 1.3: La decoration des portes en metal.....	5
Figure 1.4: decoration de miroir entouréde metal.....	6
Figure 1.5: decoration de rampe d'escalier.....	6
Figure 2.1: Principe de forgeage.....	9
Figure 2.2: schema decoupe laser.....	11
Figure 2.3: decoration obtenue par decoupe laser.....	11
Figure 2.4 : Principe de cintrage.....	12
Figure 2.5 : decoration fait avec le cintrage.....	12
Figure 2.6: operation de l'emboutissage.....	13
Figure 2.7: decoration obtenue de l'emboutissage.....	13
Figure 2.8: Simulation numerique d'une planeuse multi-rouleaux.....	13
Figure 2.9 : decoration obtenue par decoupe et planage.....	13
Figure 2.10 : opération de roulage.....	14
Figure 2.11 : decoration obtenue par roulage et cintrage.....	14
Figure 2.12: la decoration "Pomme de pin".....	15
Figure 2.13: la decoration "Pomme de pin".....	15
Figure 3.1: Moments des actions extérieurs appliqués à la poutre.....	17
Figure 3.2: Illustration de l'essai de torsion simple.....	18
Figure 3.3: courbe $M_t=f(\alpha)$	18
Figure 3.4 : Répartition des contraintes au niveau de la section.....	19
Figure 3.5 : Moment quadratique polaire en fonction de la section.....	21
Figure 3.6: Torsadage manuelle.....	23
Figure 3.7: Torsadage manuelle à l'aide d'une servent réglable.....	23
Figure 3.8: Torsadeuse manuelle.....	24
Figure 3.9: Torsadeuse mécanique automatique.....	24
Figure 3.10: Décoration fait avec une torsadeuse.....	24

Figure 4.1: Pomme de pin.....	27
Figure 4.2: Moments de force résultant de l'action.....	29
Figure 4.3: Déformation d'une génératrice et angle de torsion.....	29
Figure 4.4: Répartition des contraintes sur l'axe vertical dans le cas d'un arbre plein (gauche) et d'un tube (droite).....	30
Figure 4.5: Torsadeuse manuelle.....	32
Figure 4.6: Torsadeuse Semi-automatisée.....	33
Figure 4.7: Torsadeuse Automatisée.....	34
Figure 4.8 : torsadeuse manuelle avec la pomme de pin.....	41
Figure 4.9 : torsadeuse manuelle.....	41
Figure 4.10 : pièce de décoration « Pomme de pin » en 3D.....	42
Figure 4.11 : Vue de face de « Pomme de pin » en SolidWorks.....	42
Figure 4.12 : Vue de dessus de «Pomme de pin » sur SolidWorks.....	43
Figure 4.13: Pomme de pin.....	43
Figure 4.14 : Pomme de pin 2.....	43

Liste de tableaux

Tableau 4.1 : Torsion d'arbres prismatiques.....	31
--	----

Remerciements et dédicaces.....	II, III, IV
Résumé.....	V
Abstract.....	VI
ملخص.....	VII
Liste des figures et tableaux.....	VIII, IX

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre 01 : Les champs d'intervention de la décoration en construction métallique.

1.1 Introduction.....	3
1.2 La chaudronnerie et l'art.....	3
1.3 Les différents types de tôles utilisées pour la construction des décorations.....	4
1.3.1 Tôle en aluminium.....	4
1.3.2 Tôle en fer.....	4
1.3.3 Tôle en inox.....	5
1.3.4 Tôle galvanisée.....	5
1.4 Les champs d'utilisation de décoration métallique.....	5
1.5 Conclusion.....	6

Chapitre 02 : modes d'obtention des articles de décoration.

2.1 Introduction.....	8
2.2 Les différents techniques d'obtenir une pièce de décoration métallique.....	8
2.2.1 Le forgeage.....	8
2.2.2 L'usinage.....	9
2.2.2.1 Procédés d'usinage.....	10
2.3 Les moyens mis en œuvre	11
2.3.1 Le découpe laser.....	11

2.3.2 Le cintrage	12
2.3.3 L'emboutissage.....	12
2.3.4 Le Planage.....	13
2.3.5 Le roulage.....	14
2.4 Le thème choisi (une décoration de rampe « Pomme de pin ».....	15
2.5 Conclusion.....	15

Chapitre 03: L'essai de torsion simple et l'usinage par déformation.

3.1 Introduction.....	17
3.2 Définition.....	17
3.3 Essai de torsion simple.....	17
3.3.1 Principe.....	17
3.3.2 Résultats.....	18
3.4 Etude des déformations.....	19
3.5 Étude des contraintes.....	19
3.6 Relation entre contrainte et moment de torsion.....	20
3.7 Condition de résistance.....	21
3.8 Condition de déformation (rigidité).....	22
3.9 Principe de torsadage.....	22
3.9.1 Manuelle.....	23
3.9.2 Automatique.....	24
3.10 Conclusion.....	25

Chapitre 04 : Proposition du gabarit de réalisation et Simulation sur SolidWorks.

4.1 Introduction.....	27
4.2 Torsion en théorie des poutres.....	28

4.2.1 Torsion uniforme et non uniforme.....	28
4.2.2 Torsion uniforme d'un arbre circulaire.....	29
4.2.3 Les contraintes.....	30
4.2.4 Torsion d'arbre prismatique.....	31
4.3 Les différents types de torsadeuse.....	31
4.3.1 Torsadeuse Manuelle.....	32
4.3.2 Torsadeuse Semi automatisée.....	32
4.3.3 Torsadeuse Automatisée.....	33
4.4 Dessin d'ensemble et de définition de la torsadeuse manuelle.....	34
4.5 La conception et réalisation d'un modèle de torsadeuse manuelle.....	41
4.6 La simulation de la pièce de décoration « Pomme de pin » sur SolidWorks.....	41
4.7 Produit final « Pomme de pin ».....	43
4.8 Conclusion.....	44
Conclusion générale.....	45
Références bibliographiques.....	46

Introduction générale

En ces jours-là, il existe plusieurs styles des décorations et bien sûr plusieurs matières à utiliser pour faire ces décorations.

On voit les décorations métalliques partout de nos jours, dans les portes, les rampes d'escaliers et les murs.

Dans ce mémoire de fin d'étude nous faisons une étude bien approfondie à la chaudronnerie de l'art et une décoration obtenue avec une opération de déformation appelée « Le Torsadage », on va voir les procédées de fabrication de cette décoration.

Notre travail de recherche et réalisation consiste donc en l'étude des procédées de fabrication des décorations métallique et la réalisation d'une décoration qui s'appelle « La pomme de pin » et comprendre le torsadage à l'aide de l'essai de torsion.

Pour mener ce travail à bien, notre mémoire est scindé en quatre chapitres :

Le premier chapitre donne un aperçu général sur les champs d'utilisation de la décoration en construction métallique.

Le deuxième chapitre relate des modes d'obtention des articles de décoration.

Le troisième chapitre montre L'essai de torsion simple et l'usinage par déformation.

Quant au quatrième chapitre, il exposera les avantages et les inconvénients de chaque torsadeuse et explique mieux la torsion d'arbre prismatique, donnant les dessins techniques suivi par une réalisation réelle d'un modèle de torsadeuse manuelle et la simulation de pièce de décoration « pomme de pin », et vision par figures de produit final.

Une conclusion générale vient clôturer ce mémoire, suivie des références bibliographiques.

Chapitre 01 : Les champs d'intervention de la décoration
en construction métallique.

**Chapitre 01 : Les champs d'intervention de la
décoration en construction métallique.**

Chapitre 01 : Les champs d'intervention de la décoration en construction métallique.

1.1 Introduction [1]:

La chaudronnerie est une activité industrielle rassemblant différentes activités de fabrication des métaux sous formes de tubes, feuilles... Le chaudronnier a pour tâches de couper, plier, assembler, et souder des taules métalliques (aluminium, ou inox par exemple) plus ou moins épaisses dans le but de créer des tubes ronds (tels que des rambardes d'escalier en inox), des contenants (citernes, cuves, bouteilles de gaz etc.) et bien d'autres produits comme des ailes d'avion ou des ustensiles de cuisine ou encore des décorations métallique. La chaudronnerie moderne est présente partout autour de nous sans que nous ne nous en rendions compte.

La décoration métallique est un élément décoratif très apprécié, qui se décline en une multitude d'objets. Parmi les objets décoratifs à base de métal, on trouve des sculptures, des tableaux ou des petits objets.

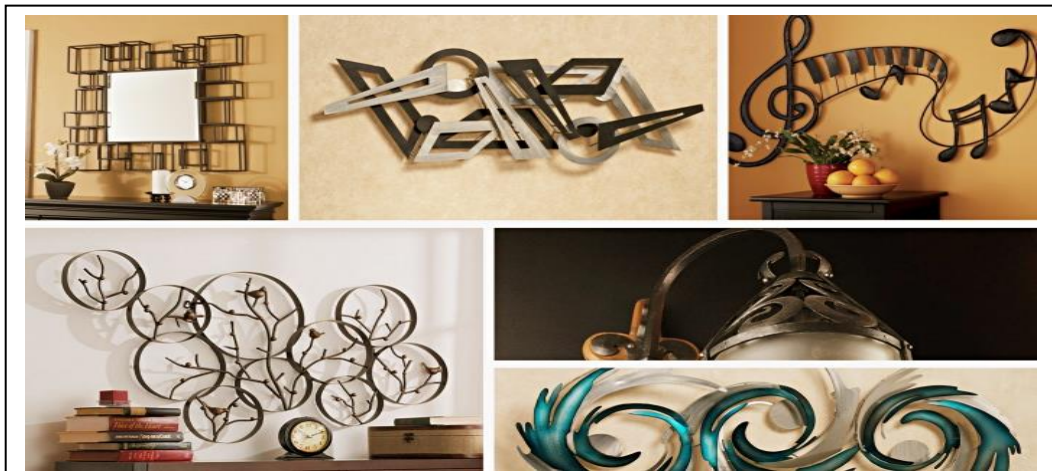


Figure 1.1: des decorations métalliques.

1.2 La chaudronnerie et l'art [2]:

Les techniques de chaudronnerie, associées aux techniques de soudage, de brasage ou encore de revêtement métallique, sont utilisées par nombre d'artistes. Toutes les techniques de mise en forme et d'assemblage des métaux sont ainsi mises à disposition

Chapitre 01 : Les champs d'intervention de la décoration en construction métallique.

des artistes lors de stages de formation dans les centres d'apprentissage, chez les compagnons ou encore chez les fabricants de matériel.

1.3 Les différents types de tôles utilisées pour la construction des décorations [3] :

Il existe plusieurs types de tôles qu'on peut utiliser pour la construction et la décoration métallique :

1.3.1 Tôle en aluminium :

Façonnable à volonté, la tôle en aluminium peut servir pour la confection de mobiliers ou pour la décoration industrielle grâce à sa légèreté et sa maniabilité. De plus, elle peut être utile dans la construction afin de servir de cloisonnement, ou pour la fabrication de portails, ou garde-corps.

1.3.2 Tôle en fer:

Excellent pour la confection de toitures ou de sculptures, mais encore de pots de fleurs, ce type de tôle est disponible sous différentes épaisseurs et est connu pour sa longue durée de vie. Facile à poser, elle est esthétique et dispose d'une étanchéité efficace ainsi qu'une résistance à l'érosion.

1.3.3 Tôle en inox :

Très résistante, la tôle en inox est idéale pour vos travaux de revêtements de façade et de sol. Il contient plusieurs substances telles que le fer, le carbone, le nickel et aussi le chrome. Cela lui permet de développer une résistance à la corrosion. Elle se nettoie facilement en cas de traces ou de salissures, mais ne nécessite pas d'entretiens réguliers.

Chapitre 01 : Les champs d'intervention de la décoration en construction métallique.

1.3.4 Tôle galvanisée :

Disponible sous diverses formes telles qu'ondulée ou nervurée, ce type de tôle est connu pour sa légèreté et son faible coût. Utilisable pour les travaux d'installation de gouttières ou de toitures, la tôle galvanisée est dotée d'une résistance à la rouille grâce à sa couverture en zinc protectrice et est très aisée à entretenir.

1.4 Les champs d'utilisation de décoration métallique :

On utilise la décoration métallique pour ajouter une saveur artistique à l'intérieur ou l'extérieur de la maison, la porte, muraille, portails et murs ou des objets de décoration sur les bureaux ou les tables, on mentionne quelques types ou styles de décoration :

- La décoration murale métallique.
- La décoration de portes ou portails en métal.
- La décoration des miroirs entourés de métal.
- La décoration des rampes et des clôtures.

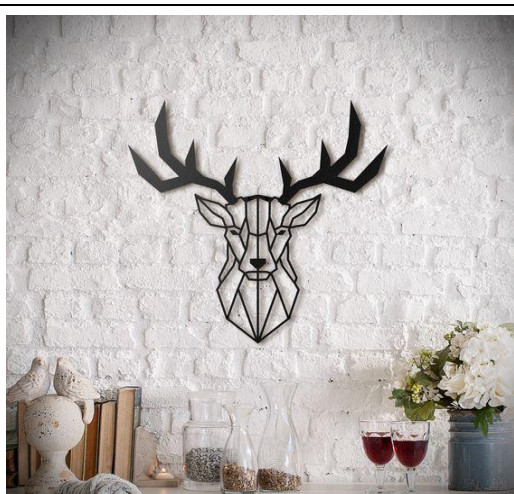


Figure 1.2 : décoration murale métallique.

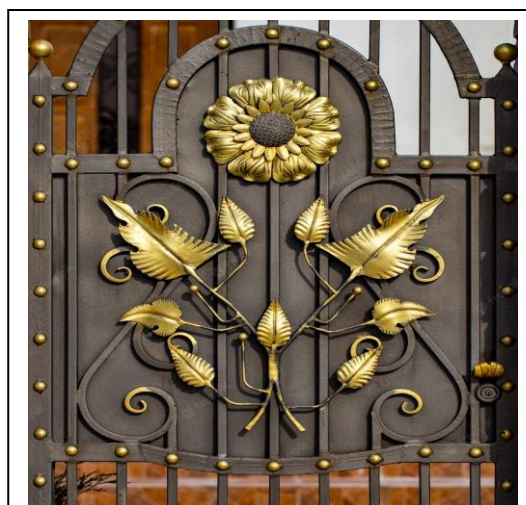


Figure 1.3: La décoration des portes
En métal.

Chapitre 01 : Les champs d'intervention de la décoration en construction métallique.



Figure 1.4: décoration de miroir entouré
De métal.

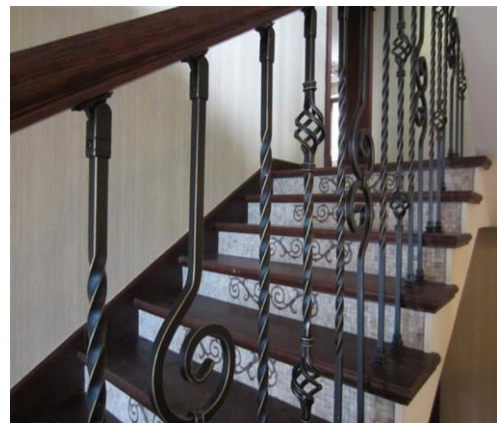


Figure 1.5: décoration de rampe
D'escalier.

1.5 Conclusion :

La décoration métallique joue un rôle artistique dans notre vie quotidienne, par exemple on trouve des décorations dont la porte de maison, ou une rampe d'escalier, et bien sur les murs d'hall ou bien la cuisine , alors il est important de connaître les différents opérations mécanique pour faire une décoration métallique.

Chapitre 02 : Modes d'obtention des articles
de décoration.

**Chapitre 02 : modes d'obtention des articles de
décoration.**

2.1 Introduction [4] :

Pour obtenir des pièces de décoration il faut connaître les différents procédés de fabrication, la fabrication est un ensemble de techniques visant l'obtention d'une pièce ou d'un objet par transformation de matière brute. Obtenir la pièce désirée nécessite parfois l'utilisation successive de différents procédés de fabrication. Ces procédés de fabrication font partie de la construction mécanique. Les techniques d'assemblage ne font pas partie des procédés de fabrication, elles interviennent une fois que les différentes pièces ont été fabriquées. On parle de procédé de fabrication pour tous les objets.

2.2 Les différents techniques d'obtenir une pièce de décoration métallique :

Il existe plusieurs modes ou techniques pour obtenir facilement des pièces mécaniques ou de décoration, on va voir en ce chapitre ces modes : forgeage, usinage en général avant Les moyens mis en œuvre.

2.2.1 Le forgeage [5] :

Le forgeage est l'ensemble des techniques permettant d'obtenir une pièce mécanique en appliquant une force importante sur une barre de métal, à froid ou à chaud, afin de la contraindre à épouser la forme voulue.

Le forgeage implique un dispositif de frappe (marteau, masse, martinet ou marteau-pilon) et un support (enclume ou matrice).

La forge ne permet pas d'obtenir les mêmes marges de tolérance que l'usinage, ce qui la réserve aux pièces requérant une forte résistance mais une faible précision (boulonnerie, outillage). Le forgeage se révèle inutilisable pour obtenir directement les pièces mécaniques ayant besoin d'une forte précision dimensionnelle.

En revanche, les pièces obtenues sont plus résistantes aux contraintes mécaniques car la déformation des métaux engendre un grand nombre de phénomènes métallurgiques, tant au niveau microscopique que macroscopique. Parmi ces

phénomènes on trouve notamment le corroyage, qui lui-même est à l'origine du fibrage du métal.

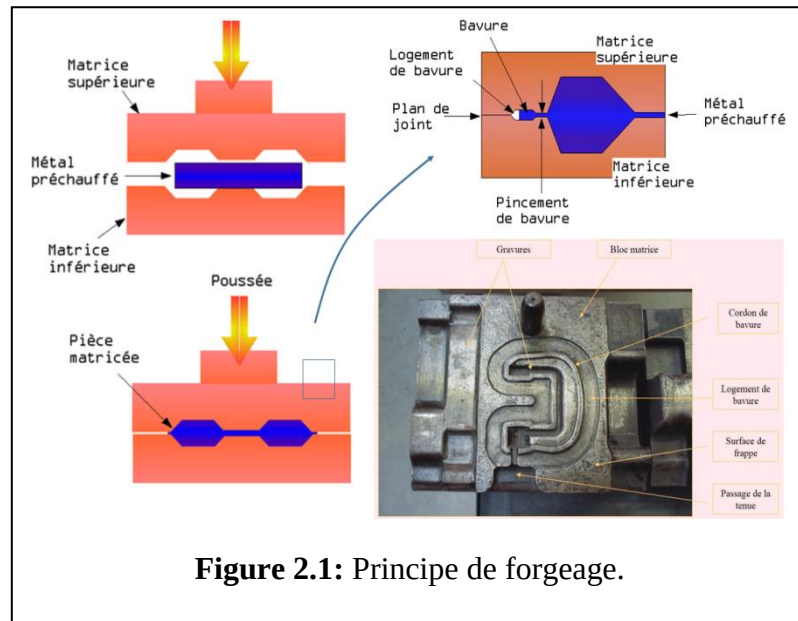


Figure 2.1: Principe de forgeage.

2.2.2 L'usinage [6] :

L'usinage est une famille de procédés de fabrication de pièces par enlèvement de copeaux. Le principe de l'usinage est d'enlever de la matière de façon à donner à la pièce brute la forme et les dimensions voulues, à l'aide d'une machine-outil. Par cette technique, on obtient des pièces d'une grande précision.

Lors de l'usinage d'une pièce, l'enlèvement de matière est réalisé par la conjonction de deux mouvements relatifs entre la pièce et l'outil : le mouvement de coupe (vitesse de coupe) et le mouvement d'avance (vitesse d'avance).

Il existe deux manières de générer la surface recherchée : par travail de forme ou par travail d'enveloppe. Dans le cas du travail de forme c'est la forme de l'arête tranchante de l'outil qui conditionne la surface obtenue. Dans le cas du travail

d'enveloppe, c'est la conjonction des mouvements de coupe et d'avance qui définit la surface finale.

De nos jours, des machines-outils à commande numérique (MOCN), c'est-à-dire asservies par un système informatique (FAO), permettent d'automatiser partiellement ou totalement la procédure.

2.2.2.1 Procédés d'usinage :

Les différents procédés d'usinage sont (les symboles sont ceux de la norme NFE 05-019 de 1992) :

- l'alésage (al) ;
- le brochage (br) ;
- le fraisage : fraisage en bout (frb), fraisage en roulant (fr) ;
- le décolletage ;
- le découpage par : tronçonnage, grugeage, encochage, grignotage, poinçonnage ;
- le mortaisage (mo) ;
- le lamage ; le chambrage ;
- le perçage (pc), filetage (fl), taraudage (ta) ;
- le rabotage (rb) ;
- la rectification (re) : rectification plane (rcp), rectification cylindrique (rcc) ;
- le planage ;
- le rasage (usinage) ou *shaving*, finition d'engrenages ;
- le tournage (to) : dressage (dr), chariotage, repoussage, fluotournage ;
- l'étincelage (éi) ; procédé d'usinage par électro-érosion (ée) ;
- le polissage (po) ;
- l'électro-polissage (ep) ;
- la super finition (sf), le pierrage (pi), le rodage (rd), le galetage (ga) ;
- le sablage : sablage à sec (sas), sablage humide (sah) ;
- le grattage (usinage) (gr) ;
- le meulage (me) ;
- le découpage (dé) : découpage plasma, découpage jet d'eau, découpage laser ;
- le grenaillage : grenaillage sphérique (gns), grenaillage angulaire (gna) ;
- le roulage : usinage entre galets, comme le filetage à froid ;
- le polygonage ;
- le sciage, le cisailage ;
- le limage ;
- le burinage ;
- le pointage ;

- l'usinage chimique ;
- l'usinage électrolytique ;
- l'usinage électrochimique ;
- l'usinage par ultrasons.

2.3 Les moyens mis en œuvre [3]:

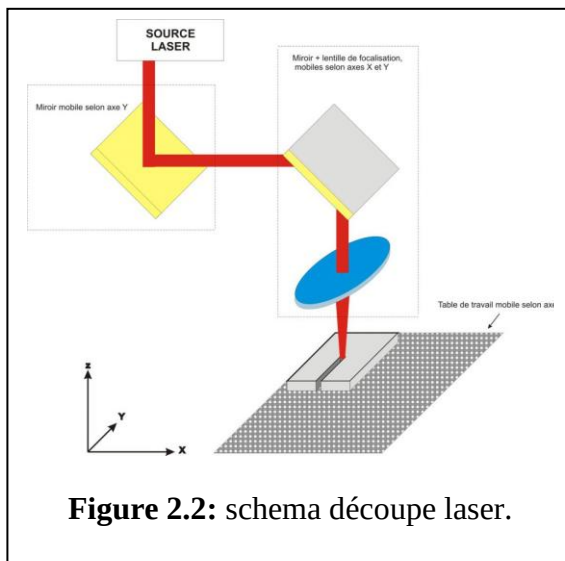
- le formage des parties cylindriques ou coniques à la main sur barre de tôle.
- le formage au maillet ou au marteau des parties cintrées, des bords rétreints ou ouverts et des pièces embouties.

2.3.1 Le découpe laser:

La découpe laser est un procédé de fabrication qui consiste à découper la matière grâce à une grande quantité d'énergie générée par un laser et concentrée sur une très faible surface. Cette technologie est majoritairement destinée aux chaînes de production industrielles, mais peut également convenir aux boutiques, aux établissements professionnels et aux tiers-lieux de fabrication.

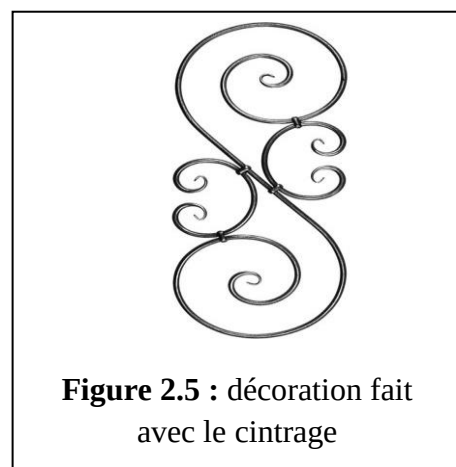
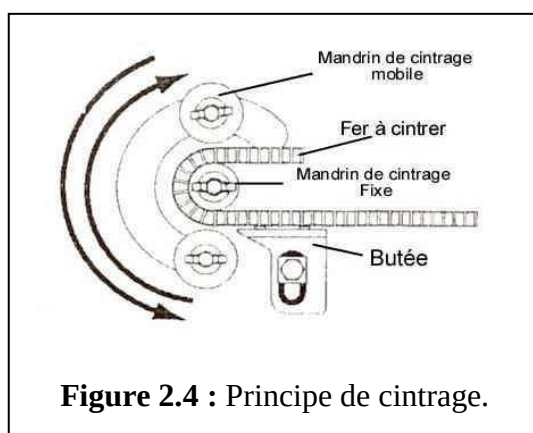
Les performances de la découpe laser sont en constante évolution : diversification des matériaux, augmentation de l'épaisseur de la découpe, finalisation du rendu. Ces critères d'amélioration sont liés notamment aux progrès réalisés en matière de sources laser.

Le laser peut être pulsé (source de type YAG), continu (source CO₂ ou azote).



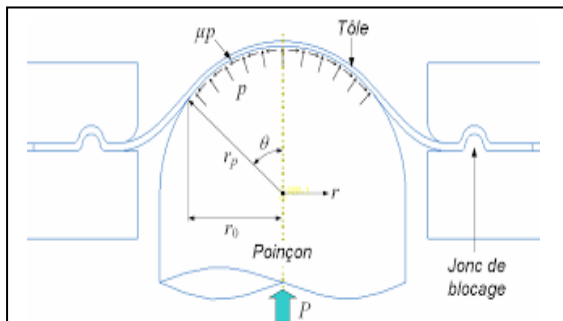
2.3.2 Le cintrage :

Le cintrage est l'opération qui consiste à déformer un métal selon son axe de plus forte inertie. Le cintrage est approprié lorsque l'on veut donner à un morceau de tôle la forme d'une lame de sabre. C'est une opération apparentée au roulage qui lui se réalise, contrairement au cintrage, selon l'axe d'inertie le plus faible. Le roulage est approprié lorsque l'on veut donner à un morceau de tôle la forme d'un cylindre ou d'un cône. En ce qui concerne les tubes et les profilés, on parle plutôt de cintrage que de roulage.

**2.3.3 L'emboutissage :**

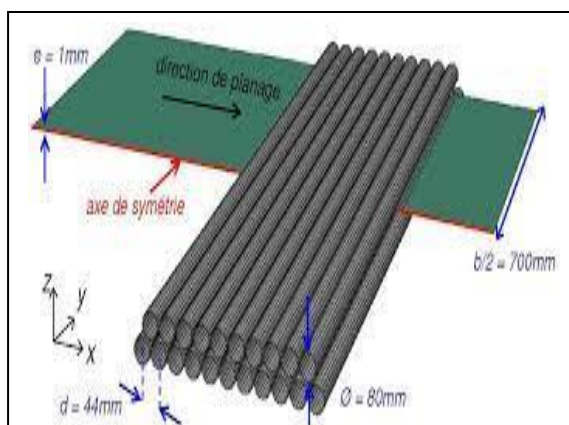
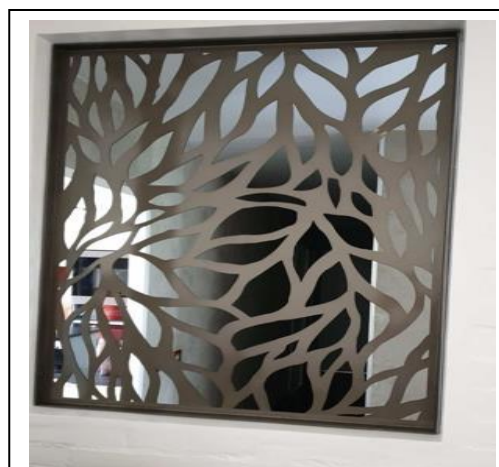
L'emboutissage est l'action permettant de produire des formes galbées (vase, aile de voiture, récipients en général). Les outils sont, selon les cas, le maillet ou le marteau à boule. L'action de déformation du métal s'exerce de la périphérie vers le centre du flan sur un tas en plomb ou sur salière, pour former la feuille de métal de proche en proche. Cette opération peut se faire à froid ou à chaud. Le planage viendra conclure le travail.

Ces différentes techniques de chaudronne produisent l'écrouissage du métal (perte de malléabilité). Un traitement thermique approprié est donc nécessaire afin de restaurer la malléabilité du métal de façon à mener l'opération de formage à son terme.

**Figure 2.6:** operation de l'emboutissage.**Figure 2.7:** décoration obtenue de l'emboutissage

2.3.4 Le Planage :

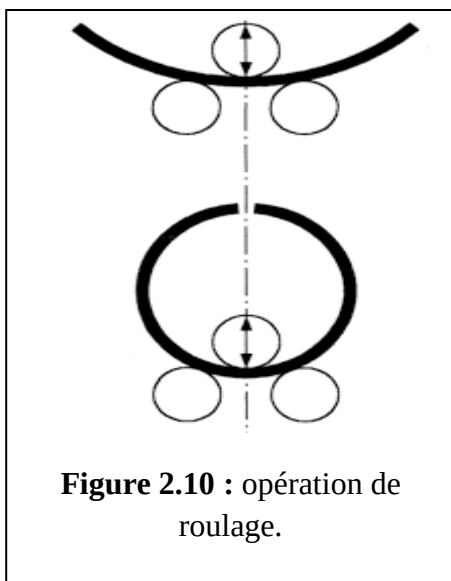
Le planage est l'opération finale réalisée au marteau postillon puis à la batte à planer, une fois que la pièce est presque terminée, et que le changement de forme est satisfaisant. Il s'agit de durcir le métal par écrouissage, pour lui donner de la tenue et de la solidité, pour un usage domestique, mais aussi de polir la pièce et de lui donner un fini lisse et brillant.

**Figure 2.8:** Simulation numérique
D'une planeuse multi-rouleaux.**Figure 2.9 :** décoration obtenue par
découpe et planage

2.3.5 Le roulage :

Le roulage est l'action de réaliser des formes circulaires (cônes /cylindre). Il s'agit de conformer la tôle via différents outillage de type « rouleuse ». Ces machines de différents types (manuel, hydraulique, avec un nombre de rouleaux variant de 2 à 4 rouleaux disposés et réglés par étapes successives de déplacement des rouleaux entrainés soit manuellement soit électriquement soit hydrauliquement.

L'ajustement faisant suite à diverses opérations thermiques entraînant une déformation de la pièce devant respecter des dimensions. Celui-ci peut être réalisé par exemple par « chauffe de retrait » consistant à chauffer avec un chalumeau l'endroit que l'on souhaite replacer dimensionnellement.



2.4 Le thème choisi (une décoration de rampe « Pomme de pin »):

Nous avons choisi comme un thème de fin d'étude la réalisation d'une accessoire de décoration en fer forgé de style antique on peut se voir cette décoration sur les rampes d'escaliers ou sur des portails, des clôtures, on obtient cette pièce de décoration avec une machine appelée la torsadeuse qui fait l'opération de torsadage.



Figure 2.12: la decoration "Pomme de pin".

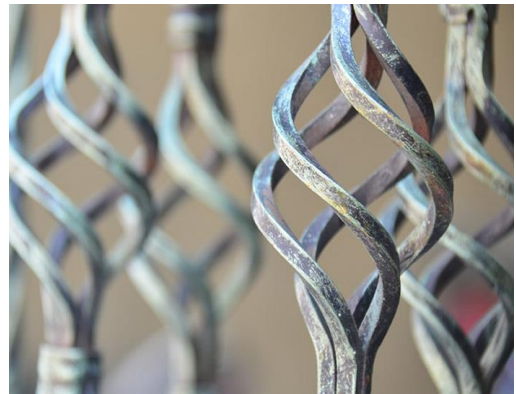


Figure 2.13: la decoration "Pomme de pin".

2.5 Conclusion :

Les différentes techniques de fabrication nous permettent de créer n'importe quelle forme ou pièces de décoration, aussi il est très important de connaître tous les opérations d'usinage parce que l'usinage est pour les opérations de formation et finition des décorations avec précision.

Chapitre 03: ***L'essai de torsion simple et
l'usinage par déformation.***

**Chapitre 03: L'essai de torsion simple et
l'usinage par déformation.**

Chapitre 03: L'essai de torsion simple et l'usinage par déformation.

3.1 Introduction :

L'essai de torsion simple est tout ce que nous devons comprendre pour faire notre usinage par déformation plastique simplement, cette opération d'usinage s'appelle le torsadage.

3.2 Définition :

Une poutre est sollicitée à la torsion simple si elle est soumise à deux couples de moments opposés portés par la ligne moyenne.

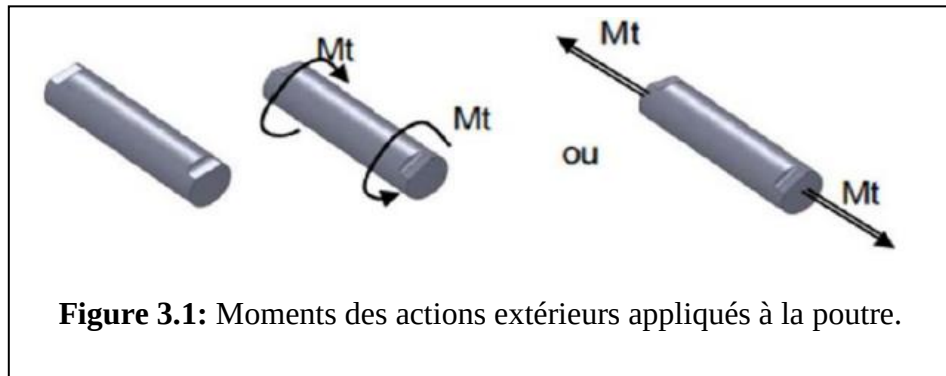


Figure 3.1: Moments des actions extérieurs appliqués à la poutre.

3.3 Essai de torsion simple :

3.3.1 Principe :

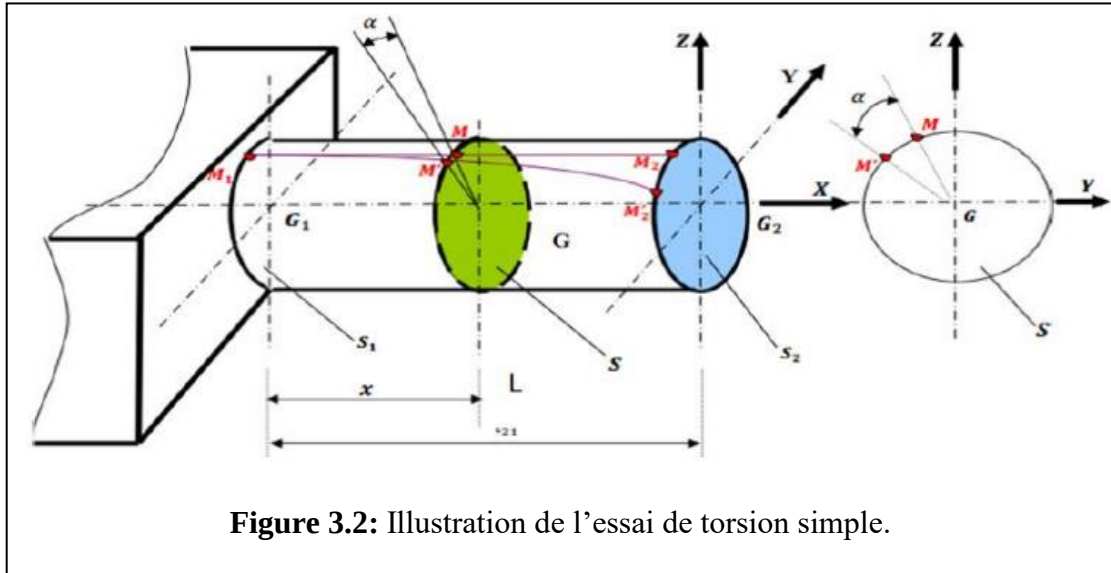
Une éprouvette cylindrique de révolution est encastree à son extrémité (S1) de centre de gravité G1. On applique à l'extrémité droite sur la section (S2) de centre de gravité G2 une action mécanique modélisée en G2 par un :

$$\{\tau\}_{G_2} = \left\{ \begin{array}{c} \vec{0} \\ \vec{M}_{G_2} \end{array} \right\}_{G_2}$$

Torseur « couple » :

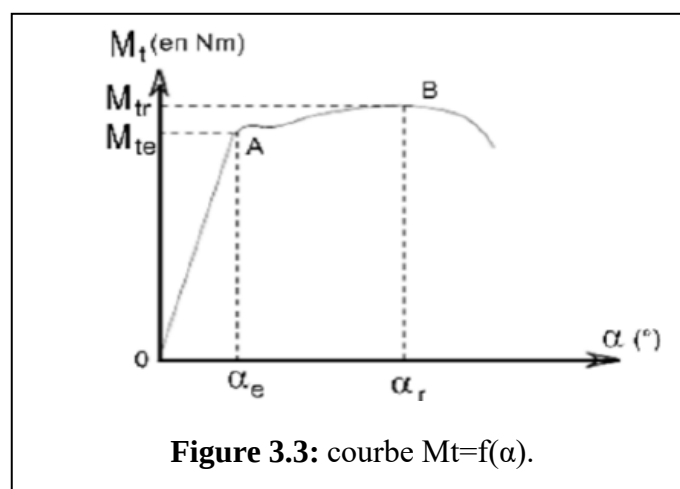
En faisant croître $\vec{M}_{G_2} = M_{G_2} \cdot \vec{x}$, on mesure les déformations de la poutre.

Chapitre 03: **L'essai de torsion simple et l'usinage par déformation.**



3.3.2 Résultats :

Le déplacement d'une section droite (S) est uniquement une rotation d'un angle α autour de son axe, et cette rotation est proportionnelle à sa distance x par rapport à (S1). On obtient une courbe illustrée à la Figure 3.3 semblable à celle de l'essai de traction :



Elle comprend une zone de **déformations élastiques** où l'angle de torsion α est proportionnel au moment de torsion. A partir du point A les déformations croissent rapidement jusqu'à avoir rupture de l'éprouvette.

3.4 Etude des déformations :

- L'essai montre que toute section plane et normale à l'axe du cylindre reste plane et normale à l'axe et que la distance relative entre deux sections reste sensiblement constante. Toutes les fibres se déforment donc suivant une hélice, sauf la ligne moyenne qui reste droite.

$$\theta = \frac{\alpha}{x}$$

- On constate que le rapport $\theta = \frac{\alpha}{x}$ reste toujours constant. Ce rapport est appelé **angle unitaire** de torsion [rad /mm].

α = Angle de rotation de la section S en rad.

x = Distance séparant S à la section de référence S0 en mm.

3.5 Étude des contraintes :

- On considère un petit élément de longueur Δx d'une fibre : Après déformation, le point M2 (Figure 3.2) situé à une distance du point G vient en M2', la génératrice M1M2 subit alors une déviation γ . la distance relative entre deux sections reste constante au cours de la déformation, donc l'allongement $\Delta x = 0$, alors on peut écrire que la déformation longitudinale $\epsilon x = 0$, on admet donc que la composante normale nulle.

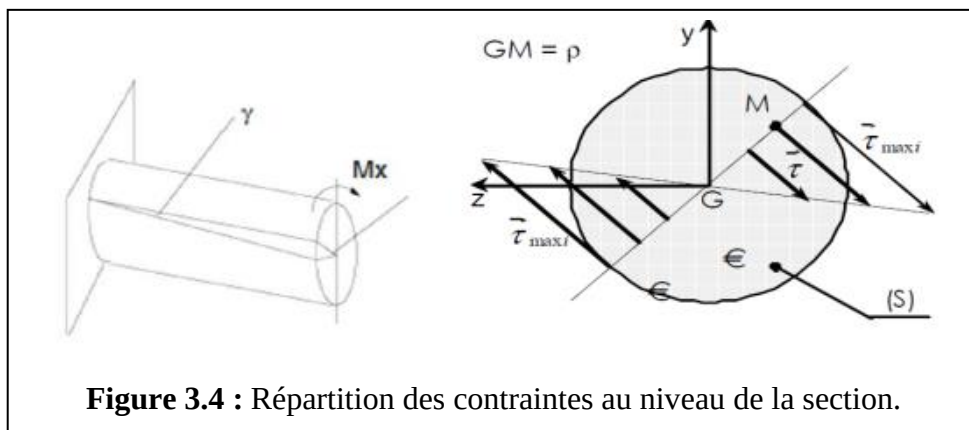


Figure 3.4 : Répartition des contraintes au niveau de la section.

Chapitre 03: L'essai de torsion simple et l'usinage par déformation.

- La loi de Hooke pour les contraintes tangentielles s'exprime donc par : $\tau = G. \gamma$
Où **G** est le **module d'élasticité transversale** ou module de Coulomb.

Comme l'angle γ est petit : l'arc $M2M2' = \alpha\rho = \gamma x$, on aura $\gamma = \frac{\alpha.\rho}{x} = \theta.\rho$

La contrainte tangentielle s'écrit : $\tau = G. \theta.\rho$

Avec :

τ : Contrainte tangentielle de torsion (en MPa)

ρ : Distance du point M à la ligne neutre ou axe de la pièce qui ne subit aucun effort (en mm)

θ : Angle unitaire (en rad/ mm)

G : Module d'élasticité transversal ou module de coulomb (en MPa)

- Remarque :**

τ_{Max} est atteinte pour les points M périphériques de la surface du solide tels que $\rho = R$ (Rayon)

3.6 Relation entre contrainte et moment de torsion :

En un point M de la section, Le vecteur contraint s'écrit : $\vec{C}(M, \vec{x}) = \tau_{(M)}\vec{i} = G\theta\vec{i}$

Le moment de torsion est suivant l'axe (0, x) s'écrit : $\vec{M}_t = M_t\vec{x}$

D'autre part:

$$\vec{M}_t = \int_S G\vec{x} \wedge \vec{C}(M, \vec{x}) dS = \int_S r\vec{x}_1 \wedge G\theta\vec{i} dS = G\theta \int_S r^2 dS \vec{x} \Rightarrow M_t = G\theta \int_S r^2 dS$$

$$\int_S r^2 dS$$

: est par définition le moment quadratique polaire de la surface S par rapport à son centre de gravité G. Il est noté I_G qui dépend de la forme et des dimensions de cette section.

Chapitre 03: L'essai de torsion simple et l'usinage par déformation.

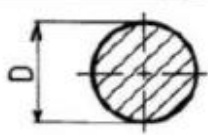
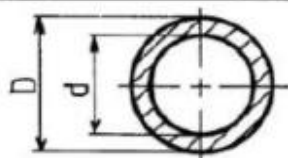
Sections	Caractéristiques
	$I_o = \frac{\pi D^4}{32}$ $\frac{I_o}{R} = \frac{\pi D^3}{16}$
	$I_o = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4)$ $\frac{I_o}{R} = \frac{\pi D^3}{16} - \frac{\pi d^3}{16}$

Figure 3.5 : Moment quadratique polaire en fonction de la section.

La relation entre le moment et la déformation (équation de déformation) est: **$M_t = G \theta I_{Gz}$**

$$\tau_{(M)} = \frac{M_t}{I_G} r \text{ ou } \tau_{(M)} = \frac{M_t}{\frac{I_G}{r}}$$

Il en découle

$$\tau_{\max} = \frac{M_t}{I_G} R$$

La contrainte maximale de torsion est obtenue pour $r=R$:

M_t : [N mm]; θ [rad/mm]; G [Mpa] et I_G : [mm⁴]

3.7 Condition de résistance:

Pour des raisons de sécurité, la contrainte normale τ doit rester inférieure à une valeur limite appelée contrainte pratique au glissement τ_p .

On a :

$$\tau_p = \frac{\tau_e}{S}$$

Chapitre 03: L'essai de torsion simple et l'usinage par déformation.

S : est un coefficient de sécurité.

La condition de résistance traduit simplement le fait que la contrainte réelle ne doit pas dépasser le seuil précédent, soit :

$$\tau_{réelle} = \frac{Mt}{\left(\frac{I_o}{\rho_{max}} \right)} < \tau_r$$

la contrainte τ_{max} doit rester inférieure à la valeur de la contrainte pratique au glissement R_{pg} , en adoptant un coefficient de sécurité S tel que $R_{pg} = R_e/S$, où S dépend de l'application.

D'où la condition de résistance d'une pièce en torsion :

$$\tau_{max} \leq R_{pg} \Rightarrow \frac{M_t}{I_G} R \leq R_{pg}$$

3.8 Condition de déformation (rigidité) :

Le calcul des dimensions des barres de torsion se fait plus par une condition de déformation qu'une condition de résistance. En effet pour assurer une transmission rigide et éviter les vibrations, l'angle de torsion unitaire θ ne doit pas dépasser pendant le service, une valeur limite **θ_{lim}** . D'où la condition de rigidité d'une pièce en torsion:

$$\frac{M_t}{GI_G} \leq \theta_{lim}$$

3.9 Principe de torsadage :

Torsader est la torsion d'une pièce à usiner en forme de barre autour de son axe longitudinal.

On peut torsader à froid ou à chaud selon la grandeur et la forme de la section.

Chapitre 03: L'essai de torsion simple et l'usinage par déformation.

Le torsadage peut s'effectuer de deux façons :

- Manuellement
- Automatiquement

3.9.1 Manuelle :

Dans un étau et avec un tourne à gauche, mais on aura des problèmes de rectitude car la force appliquée par l'opérateur n'est pas constante.



Figure 3.6: Torsadage manuelle.

La torsade devra être dégauchie, il sera donc conseillé dans ce cas d'utiliser une servante réglable en hauteur pour rester aligné horizontalement et de placer un tube rond au niveau de torsade pour garder la rectitude.



Figure 3.7: Torsadage manuelle à l'aide
D'une servante réglable.

Chapitre 03: L'essai de torsion simple et l'usinage par déformation.

L'autre possibilité est d'utiliser une torsadeuse manuelle, le torsadage sera rapide et la rectitude préservée.



Figure 3.8: Torsadeuse manuelle.

3.9.2 Automatique :

A l'aide de torsadeuses mécanique qui serviront aussi à faire d'autres usinages (volutes, pignes...).



Figure 3.9: Torsadeuse mécanique automatique.



Figure 3.10: Décoration fait avec Une torsadeuse.

3.10 Conclusion :

Chapitre 03: **L'essai de torsion simple et** **l'usinage par déformation.**

Les techniques de torsadage nous permettent de faire notre pièce de décoration choisie, il est plus facile d'utiliser une torsadeuse automatique pour nous donne un résultat efficace.

**Chapitre 04: Proposition du gabarit de réalisation et Simulation
sur SolidWorks**

**Chapitre 04 : Proposition du gabarit de
réalisation et Simulation sur SolidWorks.**

Chapitre 04: Proposition du gabarit de réalisation et Simulation sur SolidWorks

4.1 Introduction :

La torsion est le fait de vriller une pièce, comme lorsque l'on essore une serpillière. Note que dans le langage courant, « tordre » désigne plutôt ce que l'on appelle la flexion en mécanique.

Pour être plus précis, la torsion est la sollicitation subie par un corps soumis à l'action d'un couple de forces opposées agissant dans des plans parallèles et dont l'élément de réduction est un moment de force agissant dans l'axe de la poutre.

Le torsadage est un procédé qui consiste à effectuer avec des outillages standard les torsades, volutes, pomme de pin...

La torsadeuse manuelle a le but de torsader les arbres prismatique pour donner la forme de pomme de pin, alors il faut la réaliser pour comprendre mieux en pratique l'effet de torsion.

Ce type de décoration est réalisé en fer forgé, cette décoration métallique est généralement faite pour décorer les rampes d'escaliers.

Le but désiré est d'obtenir une décoration faite avec 4 barres pointer par une soudure par point sur les extrémités puis torsadées avec une torsadeuse manuelle.

Une simulation est faite avec SolidWorks qui va nous montrer les vues de faces de cette pièce de décoration.



Figure 4.1: Pomme de pin.

Chapitre 04: Proposition du gabarit de réalisation et Simulation sur SolidWorks

4.2 Torsion en théorie des poutres [7] :

4.2.1 Torsion uniforme et non uniforme :

La torsion s'exprime sous la forme d'un moment de torsion M_t agissant dans l'axe X de la poutre. Sous l'effet de la torsion, les sections transversales de la poutre ne restent généralement pas planes, on doit abandonner l'hypothèse de Bernoulli ; on dit qu'elles « gauchissent ». Lorsque leur gauchissement est libre, seules des contraintes tangentielles τ apparaissent et la poutre n'est soumise qu'à de la torsion dite « uniforme » (ou « torsion de Saint-Venant »).

Lorsque leur gauchissement est empêché, par exemple par un encastrement en rotation, ou que le moment de torsion n'est pas constant, provoquant un gauchissement variable d'une section transversale à l'autre, des contraintes normales σ apparaissent en plus des contraintes de cisaillement et la barre est soumise à de la torsion « non uniforme ».

La torsion non uniforme est toujours accompagnée de la torsion uniforme. Le moment de torsion M_t peut donc se décomposer en la somme

- d'une part uniforme M_y (générant de la contrainte tangentielle τ)
- d'une part non uniforme M_w (générant de la contrainte normale σ).

Une section fermée ou trapue (compacte) travaille principalement en torsion uniforme ; dans le cas d'une poutre dont la section présente une symétrie de révolution (section circulaire ou annulaire par exemple), les contraintes de cisaillement varient de manière linéaire lorsque l'on s'éloigne de la fibre neutre.

Les sections ouvertes ou sans symétrie de révolution travaillent principalement en torsion non uniforme et le problème est plus complexe. En particulier, la contrainte à une surface libre (qui n'est pas en contact avec une autre pièce) est nécessairement dans le plan tangent à cette surface, et notamment la contrainte à un angle libre est nécessairement nulle.

Chapitre 04: Proposition du gabarit de réalisation et Simulation sur SolidWorks

Lorsqu'aucune part de torsion n'est prédominante, on parle de « torsion mixte » ; c'est le cas notamment des profilés laminés.

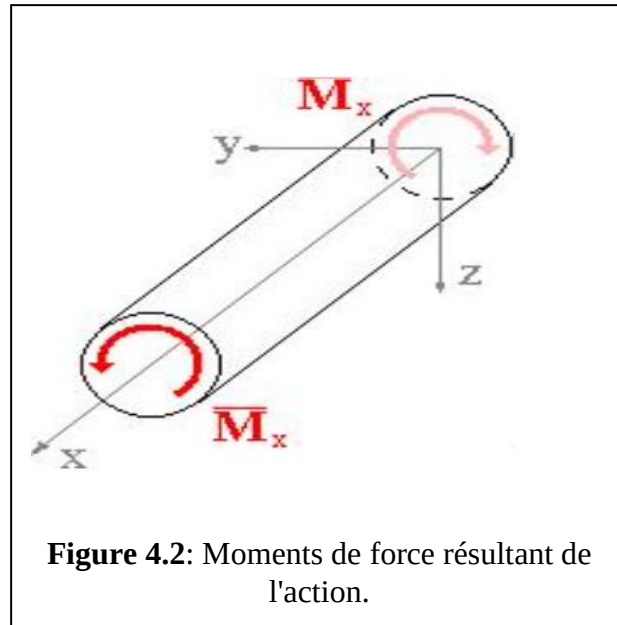


Figure 4.2: Moments de force résultant de l'action.

4.2.2 Torsion uniforme d'un arbre circulaire :

Considérons une poutre de longueur L , encastree à une extrémité, l'autre extrémité étant libre. Traçons un rayon sur la section droite de l'extrémité libre ; en petites déformations, on suppose que ce rayon reste rectiligne, il tourne d'un angle α . On suppose que la déformation soit homogène, l'angle autour duquel tourne une section droite quelconque dépend de manière linéaire de la distance à l'encastrement. On définit le taux de rotation, ou angle unitaire de torsion θ par :

$$\theta = \alpha / L$$

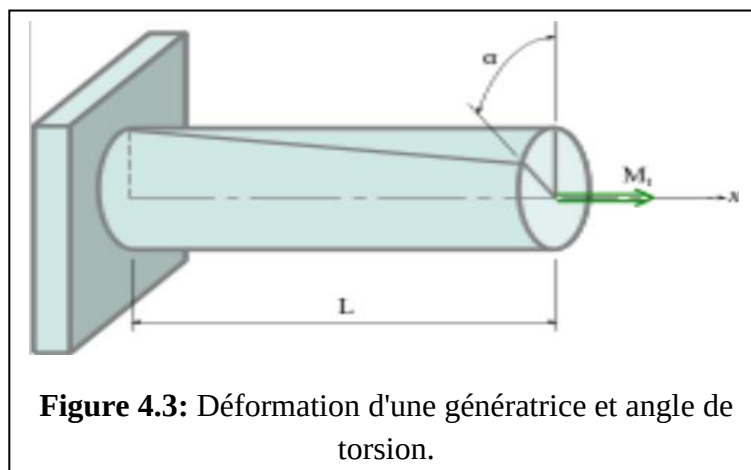


Figure 4.3: Déformation d'une génératrice et angle de torsion.

Chapitre 04: Proposition du gabarit de réalisation et Simulation sur SolidWorks

θ : s'exprime en radian par mètre (rad/m).

Si l'on trace une génératrice, celle-ci prend la forme d'une hélice.

4.2.3 Les contraintes :

Selon la théorie d'Euler-Bernoulli, si l'on reste en petites déformations, le moment de torsion **Mt** crée des tensions (contraintes de cisaillement) τ qui sont proportionnelles à la distance **r** par rapport à l'axe de torsion :

$$T(r) = (Mt/I_g).r$$

Où:

- **Mt** : est le moment de torsion ;
- **Ig** : est le moment quadratique de torsion, dépendant de la forme de la section (diamètre extérieur, et diamètre intérieur dans le cas d'un tube).

L'angle unitaire de torsion est donné par :

$$\theta = (Mt / G \times I_g)$$

Où **G** est le module de cisaillement ou module de Coulomb.

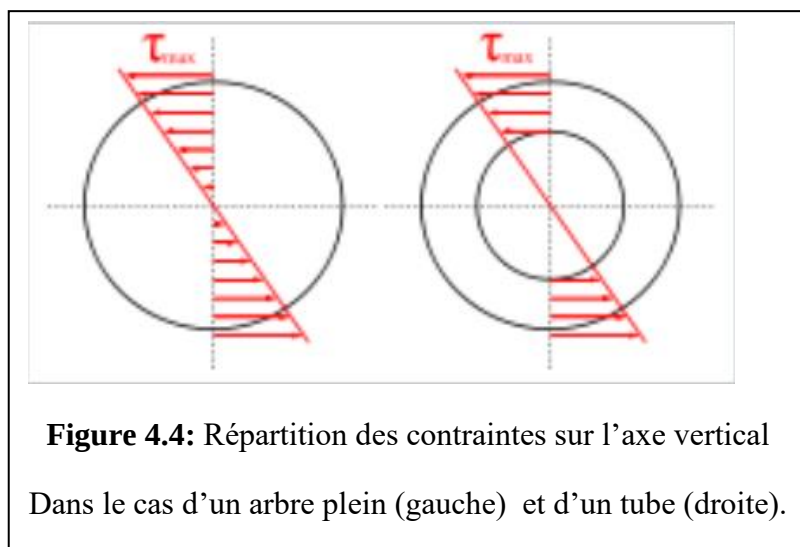


Figure 4.4: Répartition des contraintes sur l'axe vertical
Dans le cas d'un arbre plein (gauche) et d'un tube (droite).

Chapitre 04: Proposition du gabarit de réalisation et Simulation sur SolidWorks

4.2.4 Torsion d'arbre prismatique :

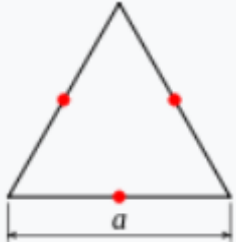
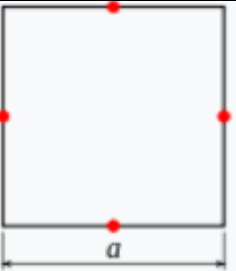
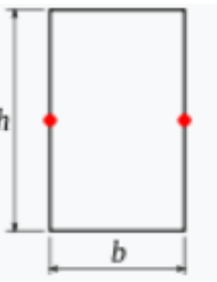
Forme	Lieux ou la cission est maximale	Contrainte maximale Tmax (Mpa)	Angle unitaire de torion θ (rad/m)
Cylindre plein de diamètre D		$\frac{5,09M_t}{D^3}$	$\frac{10,19M_t}{GD^4}$
Triangle équilatéral de côté a		$\frac{20M_t}{a^3}$	$\frac{46M_t}{Ga^4}$
Carré de côté a		$\frac{4,81M_t}{a^3}$	$\frac{7,10M_t}{Ga^4}$
Rectangle de côté b×h (h>b)		$\frac{M_t}{k_1 b^2 h}$	$\frac{M_t}{k_2 G b^3 h}$

Tableau 4.1 : Torsion d'arbres prismatiques.

4.3 Les différents types de torsadeuse :

- Manuelle.

Chapitre 04: Proposition du gabarit de réalisation et Simulation sur SolidWorks

- Semi-automatisée.
- Automatisée.

4.3.1 Torsadeuse Manuelle :

Les avantages :

- Simple à utiliser.
- Faible cout.
- Faible poids.

Les inconvénients :

- Gamme réduite.
- Perte de puissance.



Figure 4.5: Torsadeuse manuelle.

4.3.2 Torsadeuse Semi automatisée :

Les avantages :

- Manipulation simple.

Chapitre 04: Proposition du gabarit de réalisation et Simulation sur SolidWorks

- Réduction du cout de fabrication.
- Exécution rapide.

Les inconvénients :

- Gamme réduite.
- Faible couple.



Figure 4.6: Torsadeuse Semi-automatisée

4.3.3 Torsadeuse Automatisée :

Les avantages :

- Manipulation simple.
- Réduction du cout de fabrication.
- Réalisation rapide des formes complexe.
- Gamme énorme.

Les inconvénients :

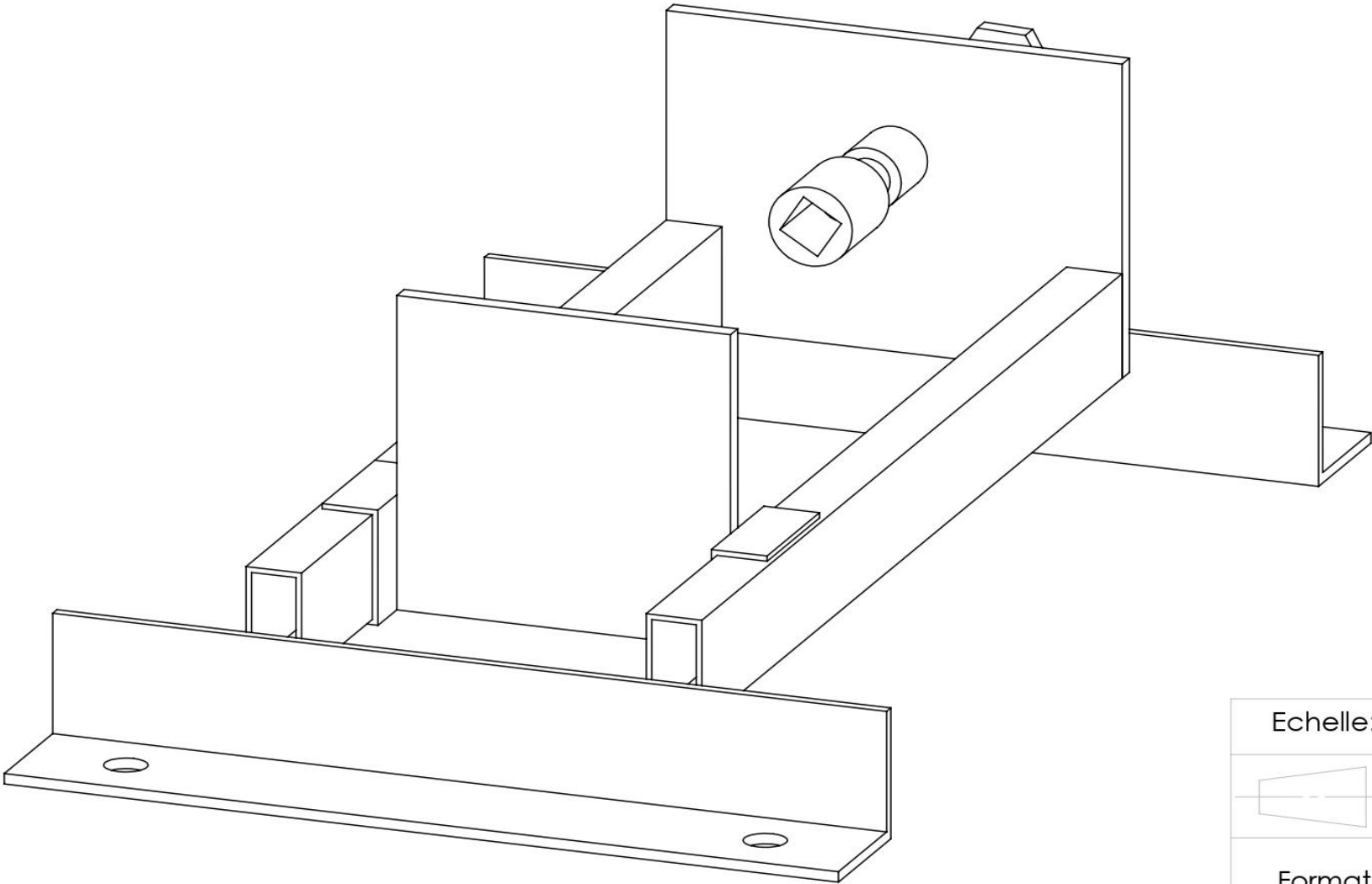
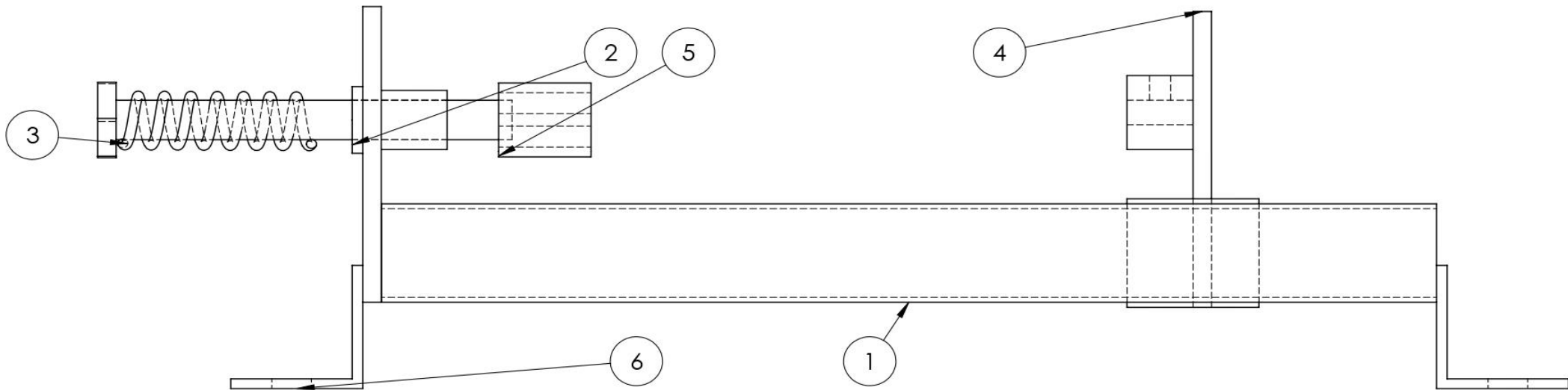
- Poids élevé.

Chapitre 04: Proposition du gabarit de réalisation et Simulation sur SolidWorks

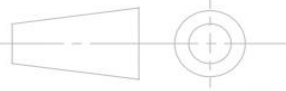


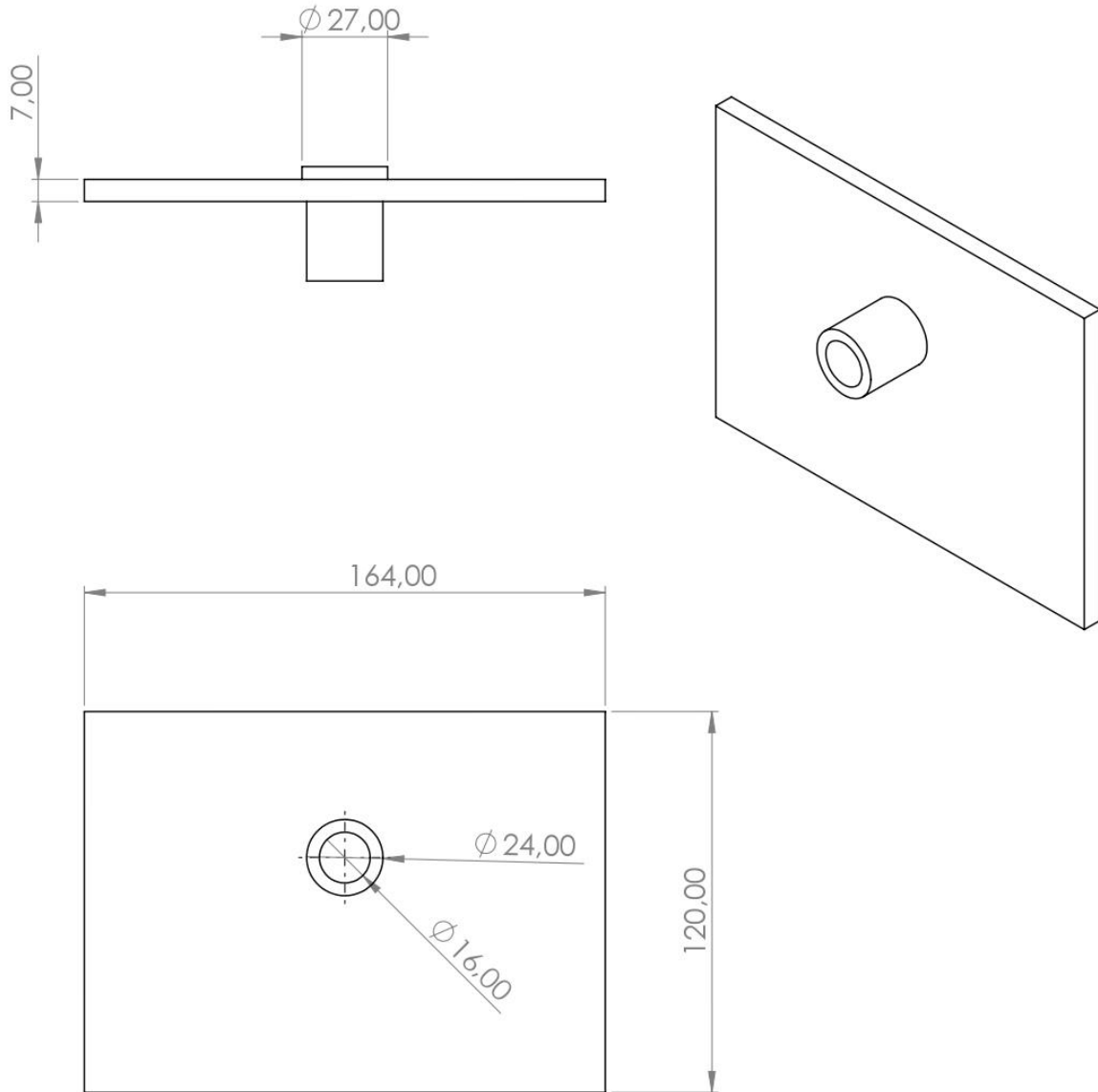
Figure 4.7: Torsadeuse Automatisée.

4.4 Dessin d'ensemble et de définition de la torsadeuse manuelle :



Quantité	pièce	nombre	matière	Révision
1	Tube glissière	1	S 235	
1	Partie fixe	2	S 235	
1	Ressort	3		Commerciale
1	Porte fer mobile	4	S 235	
1	Porte fer a torsader	5	X 45 CR 13	
1	Support	6	S 235	

Echelle: 1:2	Torsadeuse manuelle	Dessiné par: HOURIER Ali FELOUSSIA Fayssal
		
Format: A3	Université de M'sila: Faculté de technologie Département génie mécanique	



Echelle: 1:2

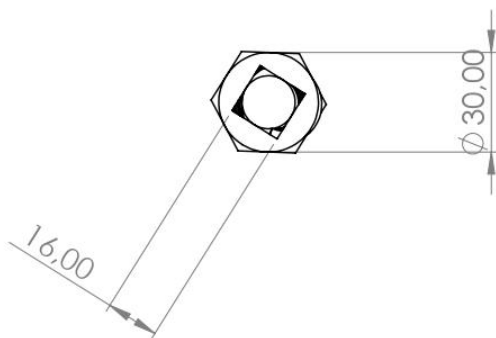
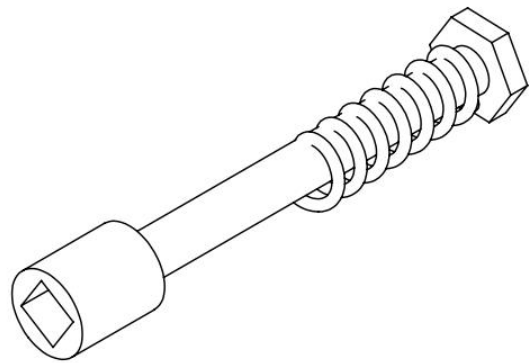
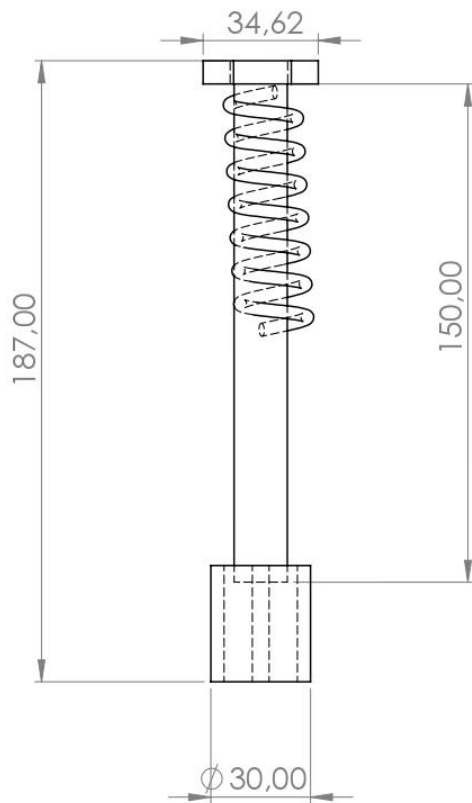


Format: A4

PARTIE FIXE

Dessiné par:
HOURIER Ali
FELOUSSIA Fayssal

Université de M'sila: Faculté de technologie
Département génie mécanique



Echelle: 1:2

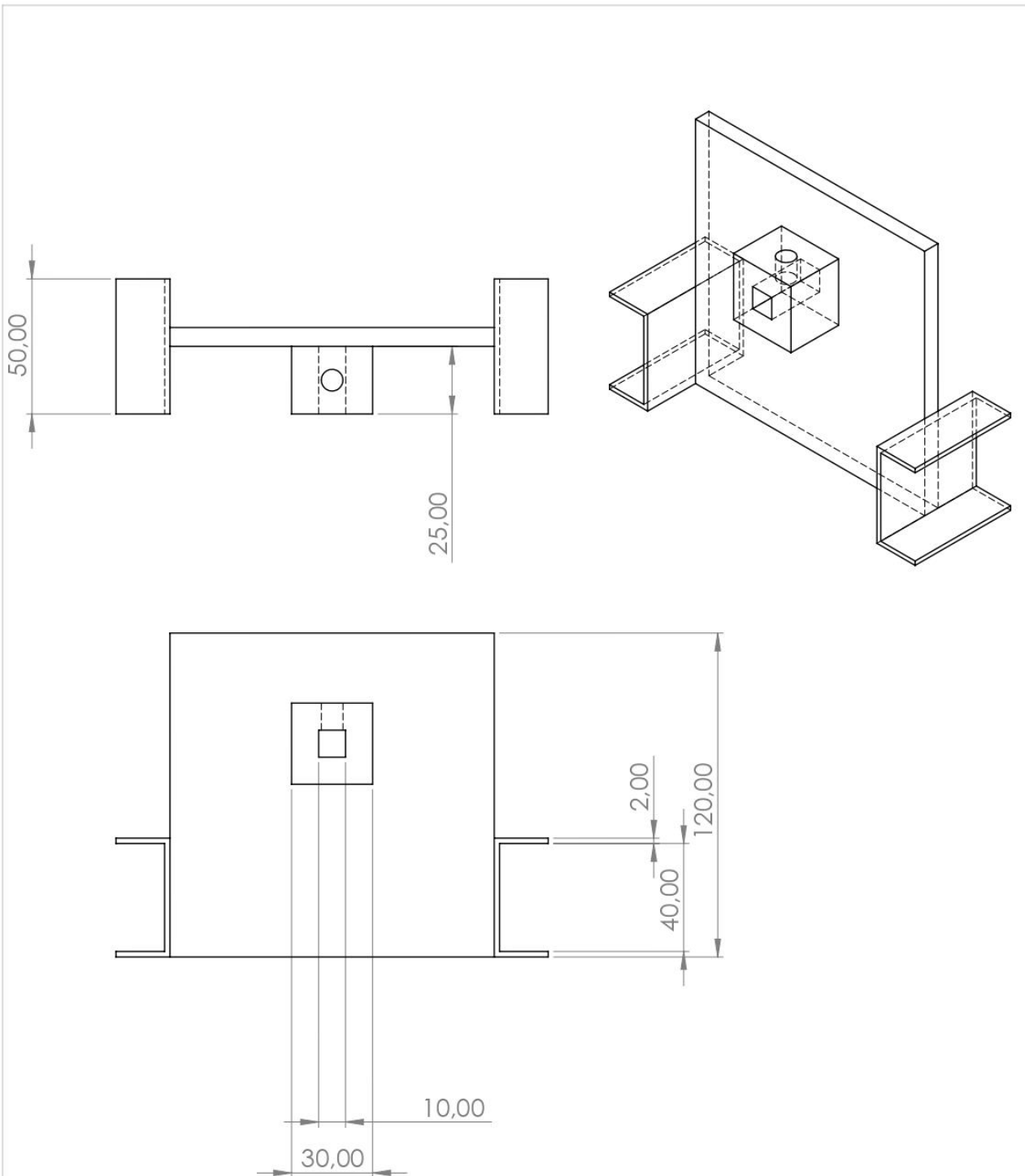


Format: A4

Porte fer à torsader+ressort

Dessiné par:
HOURIER Ali
FELOUSSIA Fayssal

Université de M'sila: Faculté de technologie
Département génie mécanique



Echelle: 1:2

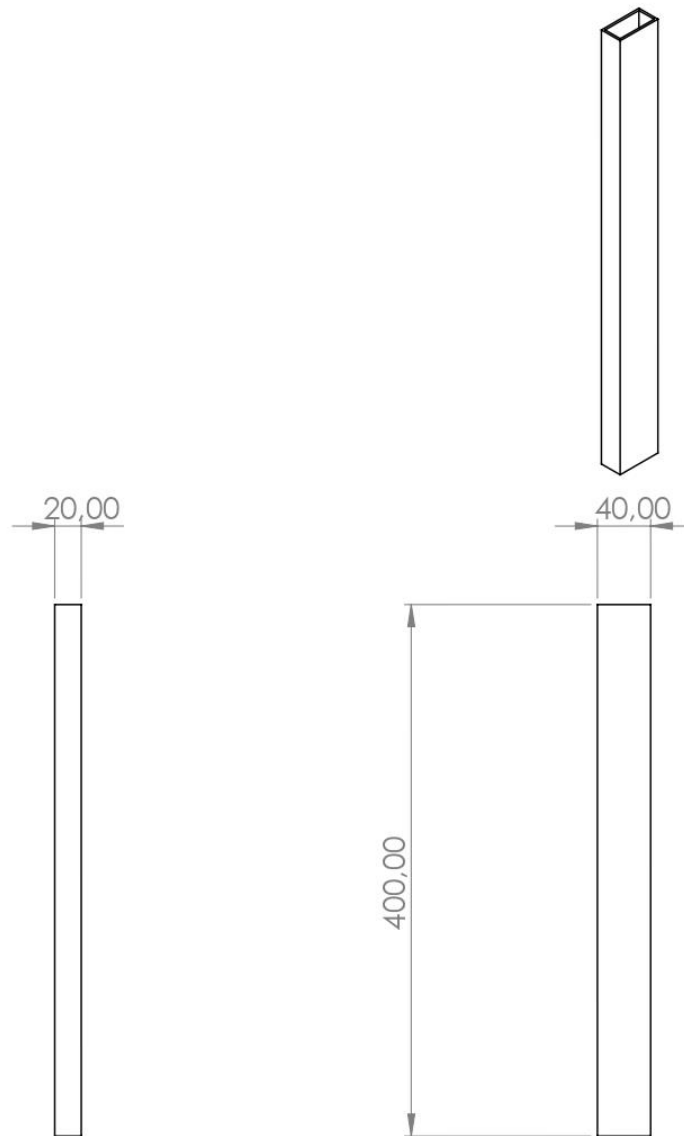


Format: A4

Porte fer mobile

Dessiné par:
HOURIER Ali
FELOUSSIA Fayssal

Université de M'sila: Faculté de technologie
Département génie mécanique



Echelle: 1:5

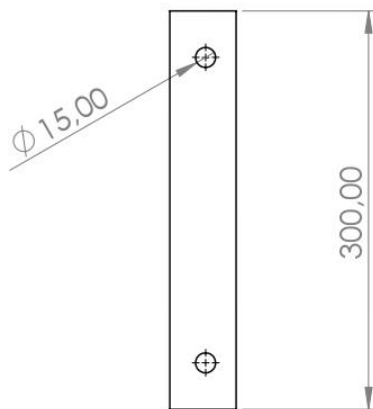
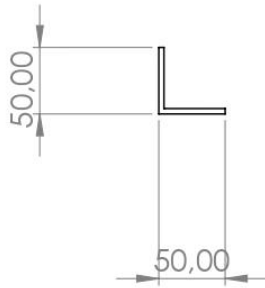


Format: A4

Tube glissière

Dessiné par:
HOURIER Ali
FELOUSSIA Fayssal

Université de M'sila: Faculté de technologie
Département génie mécanique



Echelle: 1:5

SUPPORT

Dessiné par:
HOURIER Ali
FELOUSSIA Fayssal



Format: A4

Université de M'sila: Faculté de technologie
Département génie mécanique

Chapitre 04: Proposition du gabarit de réalisation et Simulation sur SolidWorks

4.5 La conception et réalisation d'un modèle de torsadeuse manuelle :

Une réalisation d'un modèle de torsadeuse manuelle est faite afin que l'on puisse mieux comprendre comment fonctionne la torsion des arbres, et réaliser une pomme de pin, voici ci-dessous quelques figures de produit final d'une torsadeuse manuelle.



Figure 4.8 : torsadeuse manuelle avec la pomme de pin.



Figure 4.9 : torsadeuse manuelle.

4.6 La simulation de la pièce de décoration « Pomme de pin » sur SolidWorks :

Représentant quelques vues capturées d'une simulation que nous avons faite sur SolidWorks.

Chapitre 04: Proposition du gabarit de réalisation et Simulation sur SolidWorks

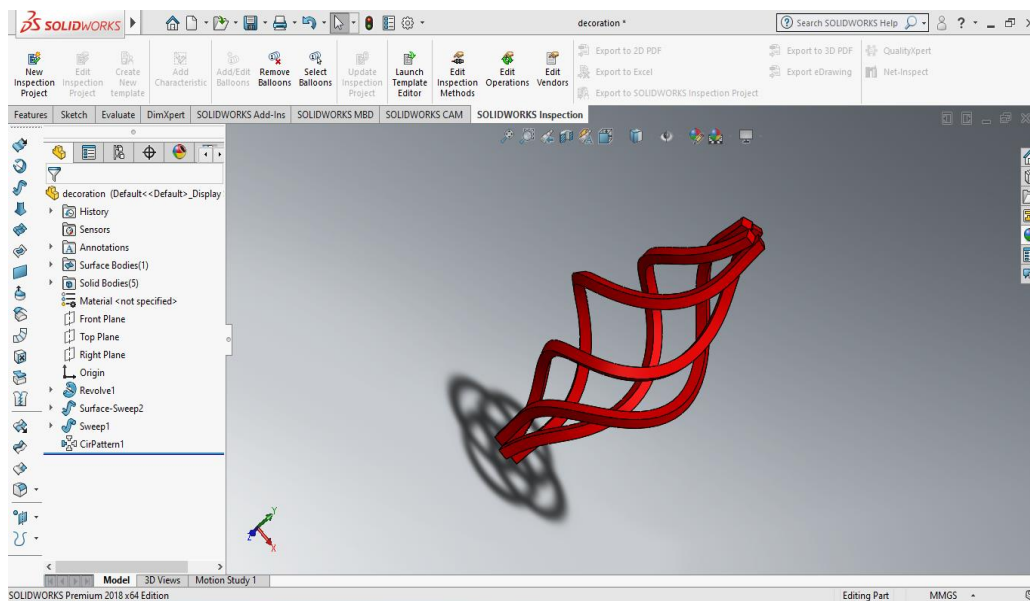


Figure 4.10 : pièce de décoration « Pomme de pin » en 3D.

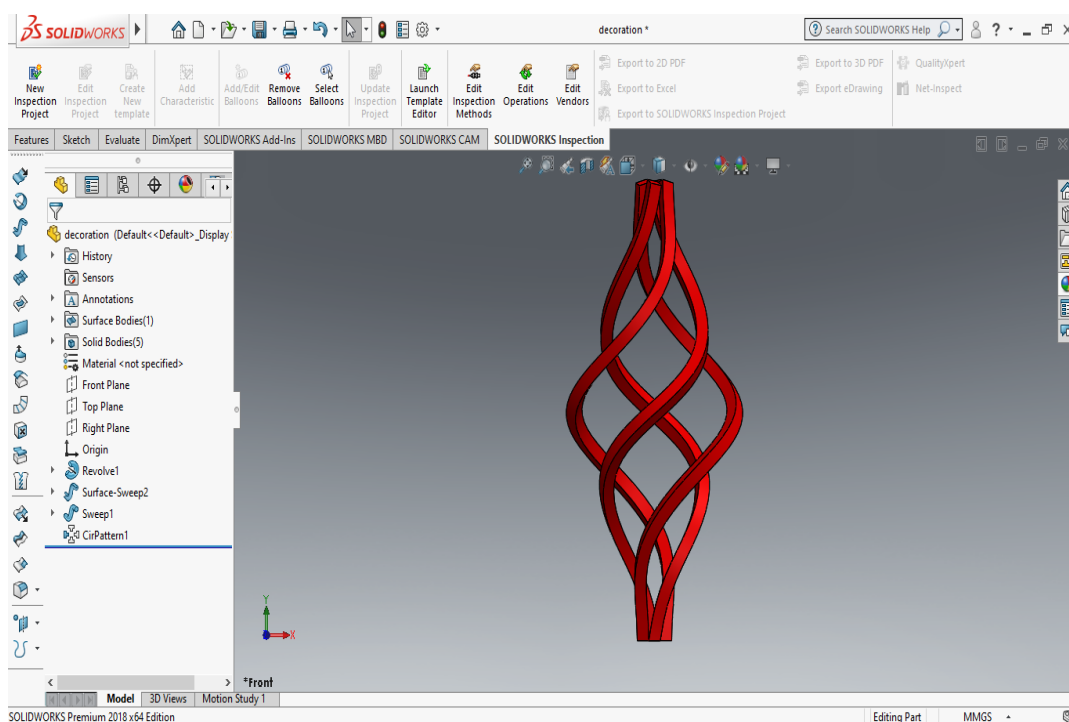


Figure 4.11 : Vue de face de « Pomme de pin » en SolidWorks.

Chapitre 04: Proposition du gabarit de réalisation et Simulation sur SolidWorks

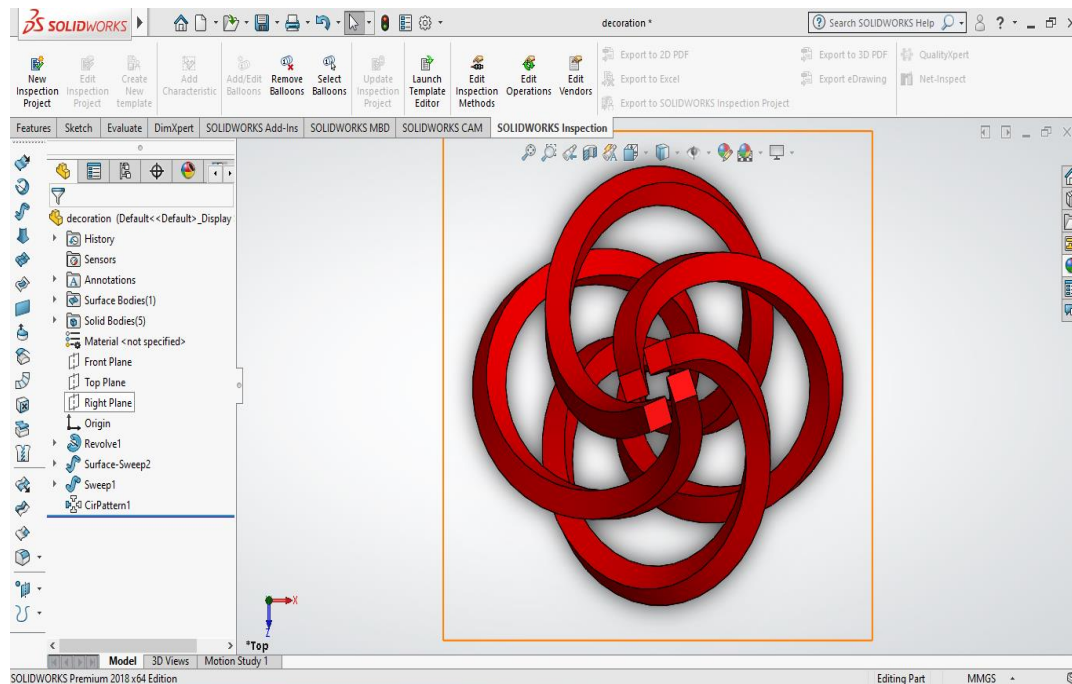


Figure 4.12 : Vue de dessus de «Pomme de pin » sur SolidWorks.

4.7 Produit final « Pomme de pin » :

Représentant le produit final que nous avons fait à un atelier de soudure avec une torsadeuse automatisée, utilisant 4 barres de 200mm longueur et 5 mm d'épaisseur.



Figure 4.13: Pomme de pin



Figure 4.14 : Pomme de pin 2.

Chapitre 04: Proposition du gabarit de réalisation et Simulation sur SolidWorks

4.8 Conclusion :

En ce chapitre nous avons fait une étude sur les détails du mécanisme de torsion pour mieux comprendre et spécialement comment calculer les contraintes maximale de torsion des arbres prismatiques.

Et bien sur une réalisation réelle d'un modèle de la torsadeuse manuelle sur l'atelier donnant les dessins d'ensemble et de définition de chaque pièce et quelques figures de produit final.

On a donné aussi une brève étude des trois types de torsadeuse aide-nous connaitre les avantages et les inconvénients de chaque type, concernant la simulation que nous avons fait, elle nous montre les vues de cette pièce en 3D cela a été fait avec un programme appelé SolidWorks.

En fin nous avons donné quelques photos de produit final de « Pomme de pin ».

Conclusion générale

Notre travail de recherche et l'étude avait pour l'objectif, la conception et réalisation d'une décoration métallique « pomme de pin » avec un modèle d'une torsadeuse manuelle que nous avons construite qui est pour l'objet de faire torsader les arbres de forme carré.

Nous avons poursuivi notre travail, ou nous avons débuté notre mémoire par un bref aperçu sur la chaudronnerie de l'art et les champs d'utilisation de la décoration en construction métallique, en suite nous avons exposé les modes et les différents techniques d'obtention d'une pièce de décoration métallique et les moyens mis en œuvre de formage.

Dans une seconde partie, et en raison de l'importance de l'essai de torsion simple et l'usinage par déformation qui sont généralement utilisés dans une poutre sollicitée à la torsion simple à deux couples de moment opposés portés par la ligne moyenne, donnant tous les calculs nécessaires pour l'étude de torsion.

C'est la raison pour laquelle, nous avons enchaîné dans une dernière partie par la torsion en théorie des poutres, donnant les avantages et les inconvénients de chaque torsadeuse, manuelle, semi-automatique, automatique suivi par la présentation de simulation sur SolidWorks en 3D de torsadeuse manuelle et la pièce de décoration « pomme de pin » et les dessins d'ensemble et de définition et de la torsadeuse, puis la réalisation de mécanisme réelle et de la décoration suivi par des figures de produit finale de torsadeuse et la pomme de pin .

Au terme de ce travail de recherche et l'étude et la conception et réalisation du pomme de pin et un modèle de torsadeuse manuelle, nous espérons que notre projet donnera satisfaction à ses besoins.

Références :

[1] : Blogue de Pauline, bloggeuse dans le domaine de l'architecture depuis 2010.

[2] : A Montagne, *Le chaudronnier à l'usage des ouvriers et apprentissage des professions industrielles, des candidats aux divers C.A.P., des élèves des cours professionnels, des sections industrielles des cours complémentaires, des écoles de métiers, des centres d'apprentissage, des collèges techniques et des sections techniques industrielles des collèges modernes*, Eyrolles, 1951 ([OCLC 493671244](#)).

[3] : Nathalie, article de Puresweethome : Comment utiliser le fer pour la construction et la décoration février 4, 2020.

[4] : Rob Thompson, « Les procédés de fabrication » [archive], sur Édition Vial, 26 septembre 2012.

[5] : Alexandre Mouillet « La conception des pièces de forge : du design à la simulation numérique » [archive], sur MetalBlog, 27 novembre 2017.

[6] : A. Fleurentin, « Usinabilité et couple outil-matière », Newsletter, Métallo Corner, no 16, septembre 2015.

[7] : Jean-Louis Fanchon, Guide de mécanique, Nathan, 2001 (ISBN 978-2-09-178965-1), p. 315