

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR**

**ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE**

**DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE**

**MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du diplôme de

**MASTER**

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Fabrication Mécanique et Productique

Par :

**YAHIAOUI Arezki**

**KHALED Houssam**

**Thème**

---

**Etude et conception d'un broyeur de plastique à disques**

---

Soutenu le 14/07/2022 devant le jury composé de :

Mr.BENSAID Nacer

Président

Mr.BELAMRI Abdelatif

Rapporteur

Mlle.HIMED Linda

Examinatrice

**Année Universitaire 2021-2022**

**Remerciments**

*Nous remercions tout d'abord Allah le tout puissant de nous avoir donné la foi, le courage et la volonté de mener à bien notre modeste travail.*

*Nous adressons nos vifs remerciements à notre encadreur Mr BELAMRI Abdelatif de nous avoir dirigé et conseillé pendant la réalisation de notre travail.*

*Nous remercions les membres du jury de traiter et évaluer notre travail et de nous faire soutenir en vue de l'obtention du diplôme master.*

*Nous remercions également les enseignants du département génie mécanique de nous avoir aidé tout au long de notre formation*

*Enfin nous tenons à exprimer notre reconnaissance envers nos amis et familles qui nous ont apporté le soutien moral et intellectuel durant l'élaboration de ce travail.*

## **Dédicaces**

*Je dédie ce modeste travail à la mémoire de mon cher père qui restera toujours dans mon cœur, paix à son âme.*

*A ma chère mère pour tous ses efforts et sacrifices et qui a toujours su me donner le courage, le soutien et la volonté pour aller de l'avant et devenir ce que je suis aujourd'hui.*

*A mes frères et sœurs qui ont toujours été derrière moi pour me fournir tous les moyens, encouragements et précieux conseils dont j'avais le plus besoin.*

*A ma chère copine qui a été là pour m'épauler dans les moments difficiles et me soutenir durant l'élaboration de ce travail.*

*Enfin je dédie ce travail à tous mes amis sans exception qui ont contribué à sa réalisation de près ou de loin.*

**Arezki.**

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes parents qui m'ont soutenu et encouragé durant toute ma vie ;*

*Ma famille et mes amis ;*

*Mes camarades pour leur aide et leur soutien au cours de la réalisation de ce mémoire ;*

*Toute la promotion FMP 2022*

**Houssam.**

# Sommaire

Remerciments.....	i
Dédicaces.....	ii
Sommaire.....	iii
Tables des figures.....	viii
Nomenclature.....	x
Liste des tableaux.....	xx
Introduction générale.....	-1-
I.1. Introduction.....	- 2 -
I.2. Impact des plastiques sur l'environnement.....	- 2 -
I.3. La problématique .....	- 2 -
I.4. Solution à la problématique .....	- 2 -
I.5. Définition du recyclage.....	- 3 -
I.5.1. Etape 1, la collecte des plastiques.....	- 3 -
I.5.2. Etape 2, Le centre de tri .....	- 3 -
I.5.3. Etape 3, le broyage en paillettes .....	- 4 -
I.5.4. Etape 4, la séparation des constituants du produit et des différentes matières. -	4 -
I.5.5. Etape 5, le dernier tri optique .....	- 4 -
I.5.6. Etape 6, L'extrusion du PET .....	- 4 -
I.5.7. Etape 7, la purification des granulés .....	- 5 -
I.5.8. Etape 8, les granulés PET.....	- 5 -
I.5.9. Etape 9, Les nouveaux produits en PET.....	- 5 -
I.6. Définition des plastiques .....	- 5 -
I.7. Les propriétés des matières plastiques .....	- 5 -
I.8. Différents types de matières plastiques.....	- 6 -
I.8.1. Le PET (Polyéthylène Téréphtalate) .....	- 6 -
I.8.2. Le HDPE (Polyéthylène Haute Densité) .....	- 6 -

I.8.3. Le PVC (Chlorure de polyvinyle) .....	- 7 -
I.8.4. Le LDPE (Polyéthylène Basse Densité).....	- 8 -
I.8.5. Le PP (Polypropylène).....	- 8 -
I.8.6. Le PS (Polystyrène) .....	- 9 -
I.8.7. Le PC ou PLA (Polycarbonate ou Acide poly lactique).....	- 9 -
I.9. Le broyage .....	- 10 -
I.10. Le broyeur .....	- 10 -
I.11. Caractéristiques principales d'un broyeur.....	- 10 -
I.12. Types de broyeurs .....	- 11 -
I.12.1. Broyeur de plastique .....	- 11 -
I.12.2. Broyeur de papier.....	- 12 -
I.12.3. Broyeur de verre.....	- 12 -
I.12.4. Broyeur à billes.....	- 12 -
I.12.5. Broyeur à cylindre .....	- 13 -
I.12.6. Broyeur ultrafin à jet d'air .....	- 13 -
I.12.7. Broyeur à un axe.....	- 14 -
I.12.8. Broyeur à deux arbres .....	- 14 -
I.12.9. Broyeur à trois ou quatre axes .....	- 15 -
I.13. Choix du broyeur .....	- 15 -
I.14. Les matériaux utilisés .....	- 15 -
I.14.1. Le Z200-C12/X200-Cr12.....	- 15 -
I.14.1.1. Propriétés mécaniques.....	- 16 -
I.14.1.2. Trempe .....	- 16 -
I.14.1.3. Recuit d'adoucissement .....	- 16 -
I.14.1.4. Domaine d'application .....	- 17 -
I.14.2. Acier 42CrMo4.....	- 17 -
I.14.2.1. Propriétés mécaniques.....	- 18 -
I.14.2.2. Traitement thermique.....	- 18 -
I.14.2.3. Domaine d'Application.....	- 19 -
I.15. Conclusion .....	- 19 -
II.1. Introduction .....	- 20 -
II.2. Cahier de charges .....	- 20 -
II.3. Schéma cinématique du broyeur .....	- 20 -
II.4. Calcul de la force de coupe (Ft) .....	- 21 -

II.5.	Calcul de la puissance utile (de broyage) ( <b><i>P<sub>u</sub></i></b> ) .....	- 22 -
II.6.	Calcul de l'arbre en flexion .....	- 23 -
II.7.	Calcul du diamètre de l'arbre en fonction de la flèche <i>f</i> .....	- 28 -
II.8.	Calcul du diamètre de l'arbre à la torsion .....	- 30 -
II.9.	Vérification aux sollicitations composées .....	- 31 -
II.10.	Calcul du rapport de transmission et calcul de dimensionnement du pignon (1) et la roue (2) -	32 -
II.11.	Dimensionnement des roues dentées (3) et (4).....	- 34 -
II.12.	Choix des éléments normalisés.....	- 34 -
II.13.	Conclusion .....	- 37 -
III.1.	Introduction.....	- 38 -
III.2.	Définition de la CAO .....	- 38 -
III.3.	Principe et utilisation de la CAO .....	- 38 -
III.4.	Etude géométrique.....	- 38 -
III.4.1.	Etude géométrique de l'arbre .....	- 39 -
III.4.2.	Etude géométrique du disque .....	- 39 -
III.4.3.	Etude géométrique de l'assemblage fini .....	- 40 -
III.5.	Etude numérique.....	- 40 -
III.5.1.	Éléments finis .....	- 40 -
III.5.2.	Maillage .....	- 41 -
III.5.3.	Types de maillage .....	- 41 -
III.5.3.1.	Maillage linéaire .....	- 41 -
III.5.3.2.	Maillage surfacique .....	- 41 -
III.5.3.3.	Maillage volumique .....	- 41 -
III.5.4.	Génération d'un maillage .....	- 41 -
III.5.5.	Maillage de l'arbre et du disque.....	- 42 -
III.6.	Application des conditions aux limites .....	- 42 -
III.6.1.	Déplacements imposés .....	- 42 -
III.6.2.	Efforts imposés.....	- 43 -
III.7.	Vérification des résultats de simulation des arbres et du disque .....	- 43 -
III.7.1.	Simulation à l'état statique .....	- 43 -
III.7.2.	Analyse statique de l'arbre à la flexion .....	- 43 -
III.7.3.	Analyse statique de l'arbre à la torsion.....	- 45 -
III.7.4.	Analyse statique du disque .....	- 47 -

III.8. Conclusion .....	- 49 -
Conclusion générale.....	-50-
Références bibliographiques.....	-52-

## Tables des figures

Fig.I.1. Boucle de recyclage.....	-3-
Fig.I.2. Polyéthylène téréphtalate (PET).....	-6-
Fig.I.3 Polyéthylène Haute Densité (HDPE).....	-7-
Fig.I.4. Chlorure de Polyvinyle (PVC).....	-7-
Fig.I.5. Polyéthylène de Basse Densité (LDPE).....	-8-
Fig.I.6. Polypropylène (PP).....	-8-
Fig.I.7. Polystyrène (PS).....	-9-
Fig I.8 Polycarbonate (PC) ou Acide Lactique (PLA).....	-9-
Fig I.9 Broyeur de plastique.....	-11-
Fig I.10 Broyeur de papier.....	-12-
Fig I.11 Broyeur de verre.....	-12-
Fig I.12 Broyeur à billes.....	-13-
Fig I.13 Broyeur à cylindre. ....	-13-
Fig I.14 Broyeur à jet d'air.....	-14-
Fig I.15 Broyeur à un seul arbre.....	-14-
Fig I.16 Broyeur à deux arbres.....	-15-
Fig I.17 Broyeur à quatre axes. ....	-15-
Fig.II.1. Schéma cinématique du broyeur .....	-20-
Fig.II.2. Section de coupe. ....	-21-
Fig..II.3. Schéma de force et réactions.....	-24-



## Tables des figures

Fig.II.4. Diagramme des efforts tranchants.....	-25-
Fig.II.5. Diagramme des Moments fléchissant.....	-26-
Fig.II.6. Diagramme de la déformée (flèche).....	-29-
Fig.II.7. Dimensionnement des roulements (BC).....	-35-
Fig.II.8. Montage des roulements .....	-35-
Fig.II.9. Dimensionnement des clavettes.....	-36-
Fig.II.10. Dimensionnement des rondelles élastiques.....	-36-
Fig.II.11. Dimensionnement des écrous.....	-37-
Fig.II.12. Dimensionnement des circlips.....	-37-
Fig.III.1. Etude géométrique de l'arbre.....	-38-
Fig.III.2. Etude géométrique du disque .....	-38-
Fig.III.3. Etude géométrique de l'assemblage.....	-39-
Fig.III.4. Maillage volumique de l'arbre.....	-41-
Fig.III.5. Maillage volumique du disque .....	-41-
Fig.III.6 . Distribution des contraintes Von-Mises de l'arbre à la flexion .....	-42-
Fig.III.7. Distribution des déplacements de l'arbre à la flexion.....	-43-
Fig.III.8 Distribution du Coefficient de sécurité de l'arbre à la flexion.....	-43-
Fig.III.9. Distribution des contraintes Von-Mises de l'arbre à la torsion.....	-44-
Fig.III.10. Distribution des déplacements de l'arbre à la torsion.....	-45-
Fig.III.11. Distribution du Coefficient de sécurité de l'arbre à la torsion.....	-45-
Fig.III.12. Distribution des contraintes Von-Mises du disque.....	-46-

## Tables des figures

Fig III.13. Distribution des déplacements du disque.....-47-

Fig.III.14. Distribution du Coefficient de sécurité du disque .....-47-

# NOMENCLATURE

## Définition des symboles

$\tau_{moy}$  : Contrainte de cisaillement (MPa).

$\sigma_{max}$  : Contrainte maximale de flexion en (MPa),

$\sigma_p$  : Contrainte pratique de flexion en (MPa),

$\tau_p$  : Contrainte pratique au cisaillement (MPa).

$\sigma_e$  : Contrainte pratique au traction (MPa).

Rpg : Résistance pratique au glissement (MPa).

Reg : Résistance élastique au glissement (MPa).

s : coefficient de sécurité.

$P_m$  : Puissance moteur (kW).

$P_u$  : Puissance utile (kW).

Cr : Couple résistant (N.mm).

$\omega$  : Vitesse angulaire (rad/s).

n : Nombre de disques.

l : Longueur de la dent.

e : Epaisseur de la matière à déchiqueter (mm).

$S_0$  : Section de cisaillement (mm<sup>2</sup>).

R : Rayon du disque (mm).

D : Diamètre du disque (mm).

N : Vitesse de rotation (tr/min).

V<sub>c</sub> : Vitesse de coupe (m/min).

$\overrightarrow{F_{ext}}$  : Forces extérieures exercées sur l'arbre.

$\overrightarrow{M}_{/A}$  : Moments fléchissant.

F : Force tangentielle des disques.

R<sub>A</sub> ; R<sub>B</sub> : Réactions au niveau des appuis de l'arbre.

f : Flèche (déformée).

M<sub>fmax</sub> : Moment fléchissant maximale.

I<sub>GZ</sub> : le moment d'inertie (mm<sup>4</sup>).

y : le rayon de l'arbre (mm).

E : Module de Young du matériau.

M<sub>t</sub> : le moment de torsion (N.mm).

y : Rayon de l'arbre (section circulaire) en (mm) .

m : module (mm).

k : coefficient de largeur de la dent

Z: nombre de dents.

d : le diamètre de l'engrenage (mm).

b : largeur de la dent (mm).

### Définition des Abréviations

AN : Application Numérique.

CAO : Conception Assistée par Ordinateur.

MEF : Méthode des Eléments Finis.

EF : Eléments Finis.

EDP : Equations dérivées partielles.

2D : Deux Dimensions.

3D : Trois Dimensions.

# Liste des tableaux

**Tableau. I.1.** Composition chimique du Z200-C12.

**Tableau.I.2** Propriétés mécaniques de l'acier 42 Cr Mo 4.

# **Introduction générale**

## Introduction générale

Du fait que notre planète soit victime de la pollution de la matière plastique, qui est devenu un problème mondial, pour cause tous les océans sont affectés. C'est alors grand temps de réagir et d'exploiter tout avancement technique et technologique au profit de la nature ; ce qui nous donne l'envie de nous impliquer encore plus à la résolution de ce problème.

Pour cela, nous mettons en œuvre notre savoir et nos acquis antérieurs afin de freiner la production excessive du plastique, en menant une étude sur le broyage qui est une étape importante dans le recyclage des matériaux plastiques.

Notre partie s'encadre autour du broyeur qui a pour rôle de déchiqueter la matière plastique pour ensuite, orienter les broyats dans les prochaines étapes du recyclage. Et de là nous allons voir les différents éléments d'un broyeur particulièrement l'arbre porte-disques et les disques en question qui sont des éléments très important dans cet ensemble.

Notre travail est réparti en trois chapitres qui sont les suivant :

- ❖ Dans le premier chapitre on présente tout ce qui est généralités sur les plastiques, les broyeurs et matériaux utilisés.
- ❖ Ensuite le second chapitre est consacré aux calculs et dimensionnement de notre broyeur.
- ❖ Dans troisième chapitre on a simulé et modélisé les éléments importants ainsi que l'assemblage fini.

Et enfin nous terminons notre travail par une conclusion générale.



# **Chapitre I**

## **Généralités**

**I.1. Introduction**

De nos jours, de plus en plus de produits plastiques entrent dans nos quotidiens, ce qui arrange nos vies, mais sa composition et sa production de masse sont de plus en plus néfastes pour l'environnement. Cependant, il est difficile d'arrêter ce phénomène vu l'ampleur qu'il ne cesse de prendre.

Dans l'objectif de réduire l'impact des plastiques sur notre planète, des solutions à ce problème ont été proposées, et certaines sont en application, en conséquence, les gens ont pensé au recyclage, d'où est tiré le procédé de broyage.

**I.2. Impact des plastiques sur l'environnement**

Les matières plastiques prennent plus de quatre siècles à se dégrader et plus grave encore elles contaminent toute la chaîne alimentaire. Une étude a été menée à ce sujet, résultat ; chaque année, jusqu'à 13 millions de tonnes de plastique se retrouvent dans les océans, faute d'être recyclés.

Aujourd'hui, 150 millions de tonnes de plastique se trouvent dans l'océan. Des scientifiques parlent même d'un septième continent plastique pour désigner une décharge flottante située dans l'océan Pacifique.

**I.3. La problématique**

De nos jours le plastique représente presque l'intégralité des différents produits que nous consommons ou nous utilisons, ce qui fait une surproduction excessive de ce matériau engendrant par la suite la pollution de l'environnement, devenu ainsi un problème mondial.

Alors que devrions nous faire pour réduire ou éviter ce problème de pollution ?

**I.4. Solution à la problématique**

Face à ce problème, on distingue des idées parmi tant d'autres qui visent non seulement à penser à la protection de la nature mais à changer le raisonnement des gens en les incitant à penser plus au recyclage des déchets plastiques.

### **I.5. Définition du recyclage**

C'est un procédé qui consiste à traiter tous types de déchets afin de les réintroduire sur le marché ; mais il permet également de transformer un déchet en matière première prête à l'emploi.

Pour pouvoir être recyclé, un matériau doit être collecté, trié puis stocké en bon état dans un conteneur approprié et le tri sélectif contribue à améliorer le processus.

Un déchet doit d'abord être collecté et trié, avant de subir un traitement de recyclage ou d'incinération. À n'importe quel endroit, que ce soit à la maison, au bureau, dans les transports, dans son jardin, le recyclage permet d'économiser de l'argent.

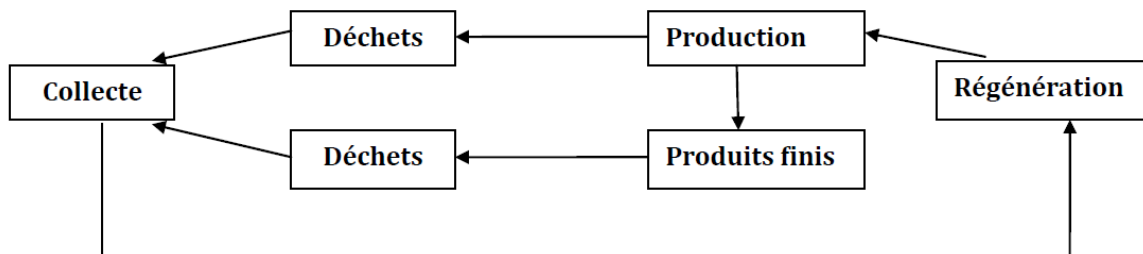


Fig. I.1 Boucle de recyclage.

Le recyclage des déchets plastiques se fait en plusieurs étapes :

#### **I.5.1. Etape 1, la collecte des plastiques**

La première étape du recyclage. En faisant tous le tri et en déposant les emballages vides dans le bac de tri sélectif, les déchets sont bien collectés. Ils partent ensuite dans un camion à destination du centre de tri.

#### **I.5.2. Etape 2, Le centre de tri**

Dans le centre de tri, ces mêmes emballages plastiques sont séparés du reste de la collecte. Ils sont ensuite compactés en d'énormes cubes appelés balles de plastiques afin de faciliter leur transport vers des usines de régénération.

### **I.5.3. Etape 3, le broyage en paillettes**

Dans les usines de régénération, un tri supplémentaire est effectué pour éliminer les derniers éléments indésirables. Ces emballages sont ensuite broyés et réduits sous forme de paillettes.

### **I.5.4. Etape 4, la séparation des constituants du produit et des différentes matières**

Les usines de régénération nettoient ensuite ces paillettes en les débarrassant de tous les autres constituants du produit plastique, pour se faire, les paillettes vont être lavées à l'intérieur d'énormes machines qui ressemblent à des cuves. On utilise de l'eau chaude et des détergents. Combinées avec l'action mécanique des machines, les particules fines, les étiquettes et leurs colles sont éliminées. et à titre d'exemple, les paillettes issues des bouchons en PEHD sont séparées des paillettes PET grâce à un système de flottaison. Toutes les paillettes sont placées dans l'eau et en fonction de leur densité, les matériaux légers comme le PEHD flottent alors que le PET plus lourd, va couler. Ces deux types de paillettes sont ensuite orientés vers leur filière de recyclage respective.

### **I.5.5. Etape 5, le dernier tri optique**

Pour améliorer la qualité des paillettes, les régénérateurs effectuent parfois une dernière étape de purification par tri optique. Pour cela, on utilise différents procédés de détection et des caméras qui vont repérer les derniers éléments indésirables.

Un système de soufflage sépare ensuite les paillettes les différents types de plastiques.

Il existe d'ailleurs différentes typologies de couleurs des paillettes, il est important de bien les séparer, car ces matières plastiques n'ont pas du tout les mêmes applications finales.

### **I.5.6. Etape 6, L'extrusion du PET**

La phase d'extrusion consiste à faire fondre les paillettes à 280°C dans une énorme machine pour donner des joncs qui seront refroidis dans l'eau puis coupés pour former des granulés.

### **I.5.7. Etape 7, la purification des granulés**

Les granulés sont ensuite purifiés par polycondensation : procédé physique consistant à éliminer les dernières impuretés à l'échelle moléculaire.

### **I.5.8. Etape 8, les granulés PET**

Les granulés de PET sont achetés par de nouvelles entreprises qui ont pour objectif de fabriquer de nouveaux produits à partir de plastique recyclé.

### **I.5.9. Etape 9, Les nouveaux produits en PET**

Dans les usines de recyclage, les granulés de PET vont servir à la fabrication de nombreux objets de la vie courante, comme des bouteilles d'eau ou de jus de fruits, des rembourrages de couette, des écharpes en polaire etc... [1]

## **I.6. Définition des plastiques**

Les plastiques sont des matériaux obtenus par polymérisation de composés (éthylène, propylène, styrène...), qui sont principalement issus du vapocraquage d'hydrocarbures issus de la distillation du pétrole. Il en existe de très nombreux types, apparaissant sous diverses formes. Depuis la seconde moitié du 20e siècle, leur production a connu un développement considérable.

## **I.7. Les propriétés des matières plastiques**

Comme on peut le constater dans les tableaux précédents, les propriétés des matières plastiques sont fonction des différents types de plastiques considérés. Toutefois, les plastiques possèdent plusieurs propriétés générales intéressantes qui expliquent leur grande utilisation pour la fabrication d'objets techniques.

- Légèreté.
- Résistance à la corrosion (à la rouille).
- Façonnage et moulage par la chaleur ou sous pression.
- Durabilité excellente.
- Bons isolants thermiques et électriques.
- Grande résistance. [2]

## **I.8. Différents types de matières plastiques**

### **I.8.1. Le PET (Polyéthylène Téréphtalate)**

Le plastique n°1 est fabriqué à partir de polyéthylène téréphtalate et est communément connu sous le nom de PET. Ce plastique est souvent transparent et est le plus souvent utilisé pour les boissons comme pour les gobelets et les bouteilles de soda. Il est considéré comme le plastique écologique. En effet, sa fabrication ne nécessite pas une grande consommation d'énergie. Il est peu résistant à la chaleur. Le PET est poreux, ça permet aux bactéries cracra de s'accumuler et de se reproduire rapidement. C'est pourquoi il est déconseillé d'utiliser une bouteille en plastique pour une longue durée. Par contre les propriétés du PET font de lui un matériau 100% recyclable. [3]



**Fig I.2 Polyéthylène téréphtalate (PET).**

### **I.8.2. Le HDPE (Polyéthylène Haute Densité)**

Le plastique n°2 est du polyéthylène haute densité et est couramment utilisé avec l'abréviation HDPE. Le polyéthylène est généralement utilisé pour fabriquer des bouteilles de lessive, des bouteilles de lait et des jouets. C'est un thermoplastique qui est dur et opaque. Pour

autant que nous sachions, il n'est pas associé à des problèmes de santé connus et il est facilement recyclable. [3]



**Fig I.3 Polyéthylène Haute Densité (HDPE).**

### **I.8.3. Le PVC (Chlorure de polyvinyle)**

Le plastique n°3 est du chlorure de polyvinyle et nous le voyons couramment ce plastique abrégé en PVC. Le PVC est utilisé pour fabriquer un certain nombre d'articles ménagers comme les rideaux de douche, le vinyle, le film plastique, les gonflables comme les jouets de piscine, les revêtements de sol, les intérieurs de voiture et beaucoup de cuirs végétaliens.

C'est un polymère thermoplastique, auquel on ajoute beaucoup de plastifiants et de phtalates pour le rendre plus souple et plus flexible. Ce plastique n'est pas recyclable dans la plupart des villes. [3]



**Fig I.4 Chlorure de Polyvinyle (PVC).**

#### I.8.4. Le LDPE (Polyéthylène Basse Densité)

Le LDPE est le plus souvent utilisé pour les sacs d'épicerie, l'emballage plastique des articles expédiés et le revêtement intérieur imperméable des tasses à café et des cartons de lait. Il s'agit d'un thermoplastique fabriqué à partir du pétrole. Il peut être opaque ou translucide. Bien qu'il n'y ait aucun problème de santé connu, ce plastique est très difficile à recycler. Il existe actuellement peu d'installations de recyclage pour ce type de plastique, c'est pourquoi il est conseillé de limiter l'utilisation de ce plastique. [3]



**Fig I.5 Polyéthylène de Basse Densité (LDPE).**

#### I.8.5. Le PP (Polypropylène)

Le PP est le plus souvent utilisé pour les pots de yaourt, le fromage et le beurre, les boîtes à lunch, les bouteilles de médicaments. Il s'agit d'un polymère thermoplastique qui le rend solide et résistant à la chaleur. [3]



**Fig I.6 Polypropylène (PP).**



**I.8.6. Le PS (Polystyrène)**

C'est un plastique à base de pétrole que nous appelons le plus souvent polystyrène, mais il est aussi utilisé pour beaucoup d'autres choses comme les couverts jetables, les couvercles de tasses à café et les emballages de cacahuètes. C'est un type de plastique qui se brise facilement en petits morceaux. En plus, il contient des substances toxiques qui sont cancérogènes, Il n'est généralement pas accepté dans les installations de recyclage. [3]



**Fig I.7 Polystyrène (PS).**

**I.8.7. Le PC ou PLA (Polycarbonate ou Acide poly lactique)**

Le plastique n°7 est un peu délicat car il comprend tous les autres types de plastique en dehors des 6 vus plus peut être un mélange de toutes sortes de plastiques. On peut le reconnaître avec les initiales PC (polycarbonate) ou PLA (acide poly lactique). Le PLA est une matière plastique d'origine végétale. Le PLA est non biodégradable. Le PLA doit être soumis à des températures chaudes (entre 55 et 70°C) pour être composté. [3]



**Fig I.8 Polycarbonate (PC) ou Acide Lactique (PLA).**

**I.9. Le broyage**

C'est une opération consistant à réduire une matière à une dimension donnée, correspondant à son emploi, ou facilitant la séparation de constituants hétérogènes.

Mise en dispersion, par action mécanique, de pigments et de matières de charge dans un liant en vue d'obtenir une pâte aussi homogène que possible. [4]

**I.10. Le broyeur**

Le broyeur est une machine utilisée pour le broyage des matériaux, soit faciles à traiter ou difficiles (le plastique, le papier, le ciment...etc.). Il représente dans l'industrie une solution pour l'abattement des frais de gestion des déchets en général. Le broyeur peut parfois être considéré comme un véritable moyen de production notamment dans les cas suivants :

- Lorsque les déchets de fabrication sont réutilisés directement dans le cycle de production (matières plastiques).
- Lors de la mise en place de processus de production utilisent comme matière première des déchets d'autres processus industriel (concept et recyclage).

**I.11. Caractéristiques principales d'un broyeur**

La robustesse et la fiabilité doivent être les caractéristiques fondamentales d'un broyeur, ce dernier doit être constitué par une unité de chargement qui est généralement une simple trémie, qui est une partie important dans cet assemblage ; en effet, elle doit placer la matière le mieux possible dans le groupe de broyage afin d'éviter tout problème au cours de la trituration.

L'action coupante d'un broyeur est faite par des éléments tranchants placés en série (couteaux, lames et bras coupants, disques...) qui cassent la matière en croisant. Les éléments principaux d'un broyeur sont les arbres qui portent soit les couteaux ou les lames ou encore des disques à dents tranchantes, qui coupent nettement la matière. [5]

### **I.12. Types de broyeurs**

Les broyeurs de plastique peuvent être classés en fonction de la finesse des broyats qu'ils produisent :

- **Pré-broyeurs** : ils sont utilisés pour déchiqeter grossièrement les déchets plastiques. Ils réduisent le volume afin qu'ils puissent être broyés dans un broyeur ;
- **Granulateurs** : ces machines sont utilisées pour produire un broyat fin, dont la granulométrie est de l'ordre du millimètre. Le broyat obtenu peut être utilisé en l'état pour produire de nouvelles pièces en plastique ;
- **Microniseurs** : ce sont des broyeurs qui réduisent les granulés ainsi que les déchets en plastiques en poudre extrêmement fine, dont la granulométrie est de l'ordre du micron. Ces poudres sont souvent mêlées à des produits de haute qualité pour fabriquer des produits en plastique multicouches.

#### **I.12.1. Broyeur de plastique**

Les broyeurs de plastique sont des machines utilisées pour le broyage de matières en plastique, afin de les recycler. Il peut s'agir de films, de pièces creuses, de bouteilles en PET, de profilés, de fibres et bandes, ou encore de déchets de production. Les éléments broyés sont réduits en paillettes, jusqu'à l'atteinte de la granulométrie désirée.



**Fig I.9 Broyeur de plastique.**

### **I.12.2. Broyeur de papier**

La coupe du papier est réalisée grâce à des lames minces et tranchantes montées en série qui déchirent le papier en petits morceaux.



**Fig I.10 Broyeur de papier.**

### **I.12.3. Broyeur de verre**

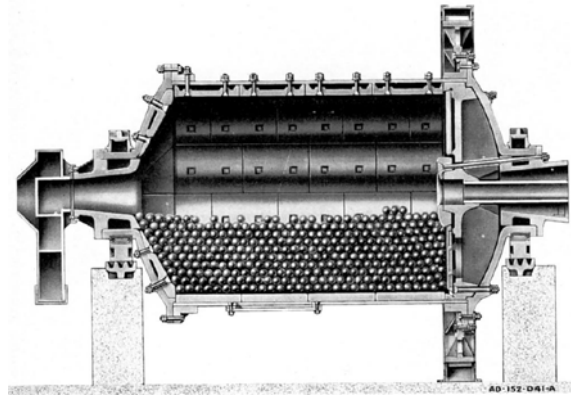
Le broyage des verres utilise des bras à la place des lames pour pouvoir réduire le verre en petits morceaux.



**Fig I.11 Broyeur de verre.**

### **I.12.4. Broyeur à billes**

Les matériaux constituant les billes sont variés : cuves en acier revêtu de Corin dur à haute teneur en alumine, en porcelaine ou en manganèse, pour les billes elles sont fabriquées en alumine frittée, porcelaine ou acier revêtu de Corin dur. Ils sont utilisés pour les gros débits de broyage, et ils servent au broyage grossier comme au broyage fin.



**Fig I.12 Broyeur à billes.**

### **I.12.5. Broyeur à cylindre**

La matière passe entre deux cylindres et ressort sous forme de plaquette friable. Ce type d'appareil est souvent utilisé en pré-broyage ou en broyage hybride. En outre le concassage des produits moyennement abrasifs, il peut servir pour le concassage de produits mous, collants, élastiques ou fibreux.



**Fig I.13 Broyeur à cylindre.**

### **I.12.6. Broyeur ultrafin à jet d'air**

Le broyage ultra-fin est parfois nécessaire à certains types de roche. Les broyeurs à jet utilisent de l'air comprimé comme gaz de broyage. Le matériau est broyé par attrition en introduisant des jets d'air ou vapeur de haute énergie. Dans ces systèmes, le broyage est dit autogène. Le mouvement centrifuge des particules dans la chambre de broyage effectue un tri efficace pour contrôler la taille des particules qui dans la majorité des cas ne dépasse pas les 2,5 microns.



**Fig I.14 Broyeur à jet d'air.**

### **I.12.7. Broyeur à un axe**

Les broyeurs mono rotor généralement sont utilisés pour déchiqueter les sachets de plastique, le carton, bois, les pneus de caoutchouc, et les lames placées sur le rotor varient selon la matière à déchiqueter.



**Fig I.15 Broyeur à un seul arbre.**

### **I.12.8. Broyeur à deux arbres**

C'est la gamme la plus répandue des broyeurs, allant du particulier jusqu'à l'industrielle, on utilise deux arbres placés parallèlement et déchiquetant la matière en croisant.



**Fig I.16 Broyeur à deux arbres.**

#### **I.12.9. Broyeur à trois ou quatre axes**

Contrairement au broyeur à deux arbres, celui-ci n'est pas très utilisé pour cause de coût qui revient cher, mais il reste un appareil très précis en ce qui concerne le broyage.



**Fig I.17 Broyeur à quatre axes.**

#### **I.13. Choix du broyeur**

Pour notre projet, nous menons une étude de conception sur un type de broyeur, précisément un broyeur à disque pour les matières plastiques qui sont le PET et le PVC.

Cependant, nous nous sommes focaliser sur la conception des disques et des arbres étant les éléments les plus sollicités lors de l'action de coupe surtout que la matière à broyer présente une résistance importante, de ce fait nous avons choisi des matériaux robustes et résistants pour que le broyage soit fiable.

#### **I.14. Les matériaux utilisés**

Pour une bonne résistance de nos pièces nous avons opter pour des matériaux résistants aux différentes charges qui se présentent lors de l'action de coupe.

##### **I.14.1. Le Z200-C12/X200-Cr12**

On a choisi pour les disques un acier dur le Z200-C12 ou bien X200-Cr12.

<u>Composition chimique :</u> moyenne en %			
Carbone (C)	Chrome (C)	Tungstène (W)	Manganèse (Mn)
2.10	12	0.70	0.3

**Tableau. I.1.** Composition chimique du Z200-C12.

#### **I.14.1.1. Propriétés mécaniques**

Pour un acier à 12% de chrome :

- Résistance à l'usure
- Tenue à coupe élevée.

#### **I.14.1.2. Trempe**

Température : 950-980 °C

Milieu de trempe : huile à 80°C, air, vide ou bain chaud 500-550°C

Dureté après trempe : 64 HRC

#### **I.14.1.3. Recuit d'adoucissement**

Température : 800-840 °C

Refroidissement : lent au four

Dureté : 250 HB maxi



**I.14.1.4. Domaine d'application**

Cet acier est utilisé comme outil de découpage à rendement très élevé pour la découpe de tôles au Silicium jusqu'à 1 mm d'épaisseur, et de tôles douces jusqu'à 4 mm .

Outils d'ébavurage ou de refendage jusqu'à 4 mm d'épaisseur.

Outils de coupe pour le papier et les matières plastiques, filières et boulets d'étirage, peignes à rouler les filets, cisailles droites et circulaires pour tôles jusqu'à 2 mm d'épaisseur, outils d'emboutissage, outils pour le travail du bois, outils à presser les matières abrasives comme, par exemple, la porcelaine, glissières et moules à matières plastiques, galets de profilage. [6]

**I.14.2. Acier 42CrMo4**

42CrMo4 est un acier traitable thermiquement qui contient au moins 0.9%Cr, 0.15%Mo comme éléments de renforcement. Après trempé et revenu, il obtient une résistance élevée, une bonne ténacité aux chocs à basse température avec une résistance à la traction typique de 900-1200 N / mm<sup>2</sup>.

**I.14.2.1. Propriétés mécaniques**

Diamètre d mm	$\leq 16$	16-40	40-100	100-160	160-250
Épaisseur t mm	$< 8$	8-20	20-60	60-100	100-160
Limite d'élasticité Mpa	$\geq 900$	$\geq 750$	$\geq 650$	$\geq 550$	$\geq 500$
Résistance à la traction Mpa	1100-1300	1000-1200	900-1100	800-950	750-900
Allongement, %	$\geq 10$	$\geq 11$	$\geq 12$	$\geq 13$	$\geq 14$
Réduction de surface, %	$\geq 40$	$\geq 45$	$\geq 50$	$\geq 50$	$\geq 55$
impacter	$\geq 30$	$\geq 35$	$\geq 35$	$\geq 35$	$\geq 35$

**Tableau.I.2** Propriétés mécaniques de l'acier 42 Cr Mo 4.**I.14.2.2. Traitement thermique**

- Normalisation : 850-880 ° C, refroidissement à l'air
- Recuit doux : 680 - 720 ° C, refroidissement dans le four
- Soulager le stress : 450-650 ° C, refroidissement à l'air
- Trempe : 820 - 880 ° C, trempe à l'huile ou à l'eau
- Revenu : 540-680 ° C, refroidissement à l'air

**I.14.2.3. Domaine d'Application**

42CrMo4 a une résistance et une résistance à l'usure élevées, largement utilisées dans de nombreuses industries.

Composants à haute résistance et ténacité pour les outils, les pièces automobiles, la construction mécanique, les composants d'armement, tels que les pignons, les bielles, les pièces pour la construction mécanique.

Composants soumis à des contraintes statiques et dynamiques pour véhicules, moteurs et machines. Pour les pièces de plus grandes sections, vilebrequins, engrenages. [7]

**I.15. Conclusion**

Pour faire face aux larges productions des plastiques, le procédé de broyage est de loin la meilleure solution établie à ce problème, ce qui fait la multitude de types d'appareils créés pour pouvoir recycler et réduire la surproduction des matériaux plastiques.

# **Chapitre II**

## **Calculs et dimensionnement**

## II.1. Introduction

Etant une étape importante dans la boucle de recyclage, l'appareil de broyage doit exécuter parfaitement le déchiquetage de la matière plastique.

Dans ce chapitre on présente les calculs et dimensionnement des différents composants de notre broyeur.

## II.2. Cahier de charges

- Moteur : asynchrone triphasé.
- Puissance moteur ( $P_m$ ): 1.8 kW.
- Fréquence de rotation du moteur ( $N_m$ ) : 1500 tr/min.
- Longueur utile de l'arbre : 200 mm
- Distance entre-axes : 150 mm
- Diamètre des disques : 200 mm
- Nombre de dents pour chaque disque : 9 dents.
- Vitesse de coupe : 300 m/min.

## II.3. Schéma cinématique du broyeur

Notre broyeur présente plusieurs composants, pour mieux comprendre son fonctionnement il est nécessaire de schématiser et de représenter le plus simplement possible

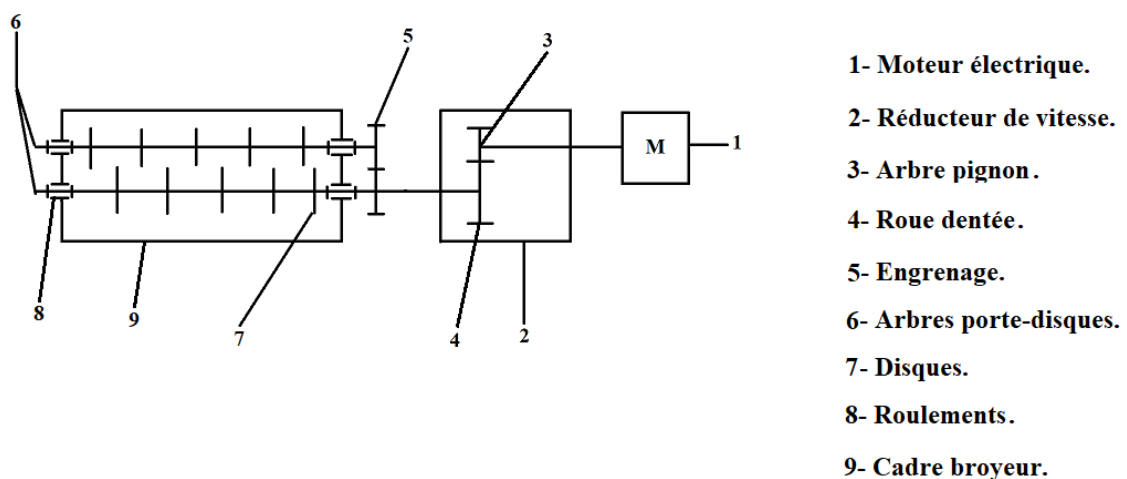


Fig.II.1. Schéma cinématique du broyeur

#### II.4. Calcul de la force de coupe ( $F_t$ )

On a choisi pour la section d'une dent :

Une section rectangulaire :  $l = 20 \text{ mm}$  ;  $e = 5 \text{ mm}$

Avec :  $l$  : Largeur de la dent.

$e$  : Epaisseur de la matière à déchiquer.

Calcul de la section  $S_0$  :

$$S_0 = l \cdot e$$

$$S_0 = 100 \text{ mm}^2$$

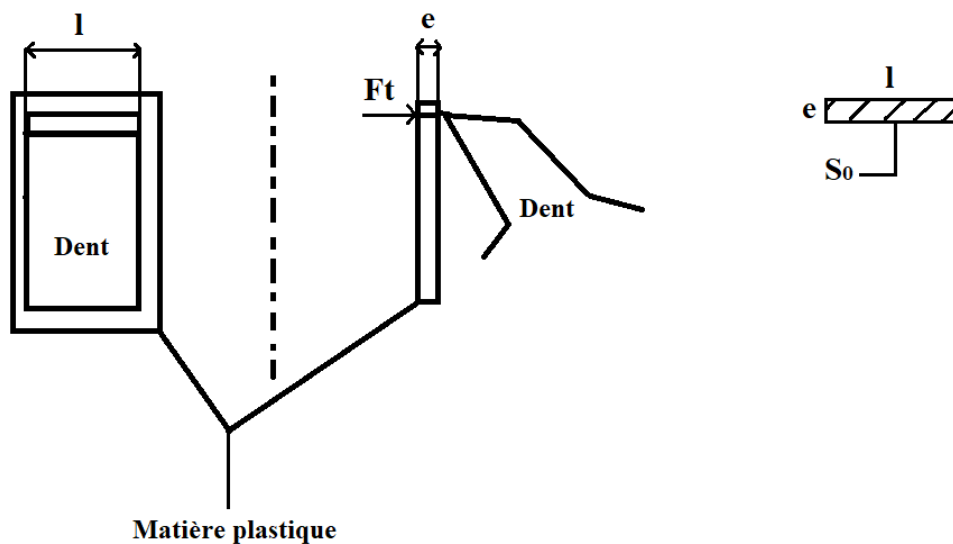


Fig. II.2. Section de coupe.

Calcul en cisaillement  $\tau_{moy}$ :

La formule de la contrainte de cisaillement est comme suit :

$$\tau_{moy} = \frac{F_t}{S_0} \geq R_{pg} = \frac{R_{eg}}{s}$$

Avec :  $R_{e_{cis}} = R_{eg} = 20 \text{ MPa}$

$$s = 4$$

Où :

R<sub>pg</sub> : résistance pratique au glissement.

R<sub>eg</sub> : résistance élastique au glissement.

s : coefficient de sécurité.

De la formule de cisaillement on fait ressortir F<sub>T</sub> :

$$F_t \geq \frac{Reg \cdot S_0}{s}$$

$$F_t \geq 500 \text{ N}$$

### II.5. Calcul de la puissance utile (de broyage) (P<sub>u</sub>)

La formule de la puissance se fait comme suit :

$$P_m = P_u = n \cdot F_t \cdot R \cdot \omega$$

Où :

$$\omega = \frac{2\pi N}{60}$$

$\omega$  : Vitesse angulaire rad/s

n : Nombre de disques

R : Rayon du disque

N : Vitesse de rotation tr/min

Calcul de la vitesse de rotation N :

La formule de la vitesse de rotation est comme suit :

$$N = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi D}$$

Avec : V<sub>c</sub> : Vitesse de coupe ; V<sub>c</sub> = 300m/min

D : Diamètre du disque ; D = 200 mm

$$N = 477.7 \text{ tr/min}$$

Calcul de la vitesse angulaire  $\omega$  :

$$\omega = \frac{2\pi N}{60}$$

On remplace la valeur de N dans la formule :

$$\omega = 49.99 \text{ rad/s}$$

Ayant les données nécessaires on calcule maintenant la puissance utile ( $P_u$ ) :

$$P_u = n \cdot F_t \cdot R \cdot \omega$$

Avec : n = 5

$$R = 100 \text{ mm}$$

$$P_u = 12.5 \text{ kW}$$

## II.6. Calcul de l'arbre en flexion

L'arbre étant chargé pleinement nous étudions sa flexion avec sollicitations à l'endroit le plus fragilisé au milieu de l'arbre. [8]

Calcul des réactions  $R_A$  et  $R_B$  :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum \overrightarrow{F_{ext}} = 0 \\ \sum \overrightarrow{M/A} = 0 \end{array} \right.$$

Avec :  $\overrightarrow{F_{ext}}$  : Forces extérieures exercées sur l'arbre.

$\overrightarrow{M/A}$  : Moments fléchissant



Projetons sur l'axe (Ox) pour les forces, et nous projetons par rapport au point A pour les moments :

Comme les sollicitations sont concentrée en un seul endroit on a :

$$F = n \cdot F_T$$

Et on aura :

$$F = 2500 \text{ N}$$

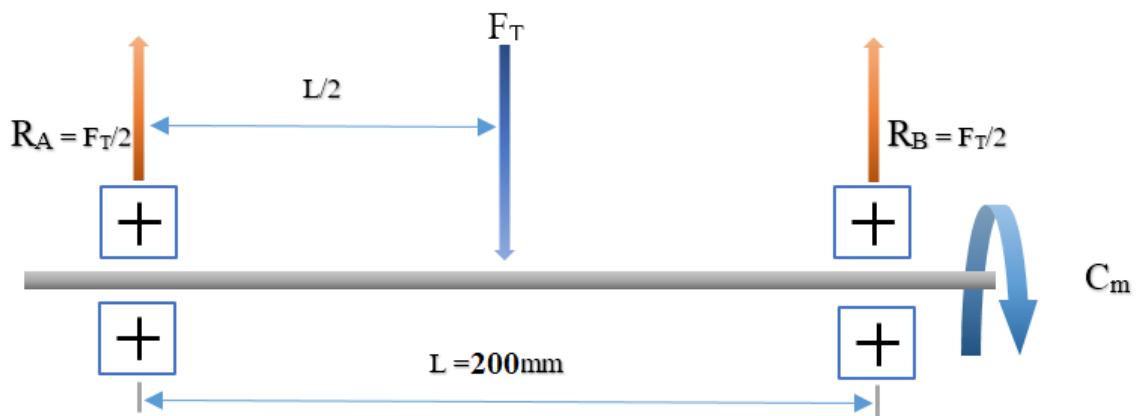


Fig.II.3. Schéma de force et réactions.

Et donc :

$$\begin{cases} R_A - F + R_B = 0 \dots \dots \dots (*) \\ R_A \cdot (L) - F \cdot \left(\frac{L}{2}\right) = 0 \dots \dots \dots (**) \end{cases}$$

Avec \$R\_A\$ et \$R\_B\$ sont des réactions au niveau des appuis de l'arbre :

A partir de l'équation (\*\*):

$$R_A = \frac{F \cdot \left(\frac{L}{2}\right)}{L}$$

Et on aura :

$$R_A = 1250 \text{ N}$$

On remplace  $R_A$  dans l'équation (\*) :

$$R_B = F - R_A$$

On aura :

$$R_B = 1250N$$

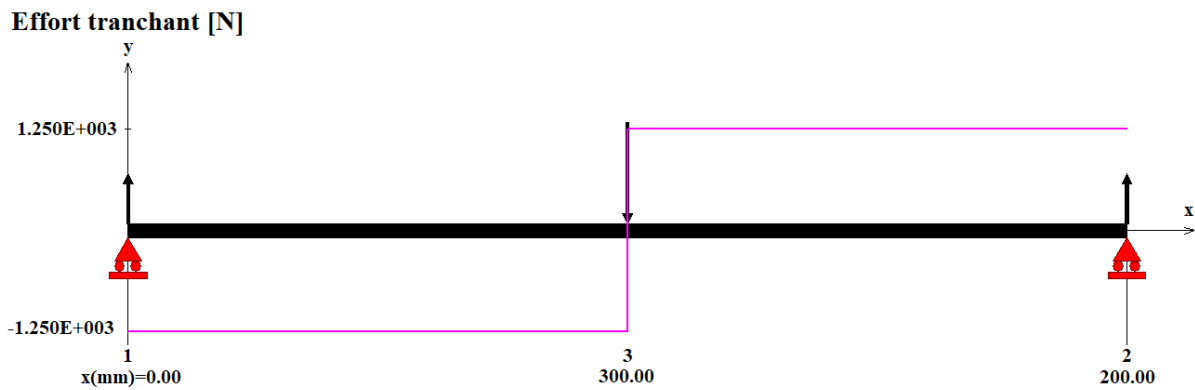


Fig.II.4. Diagramme des efforts tranchants.

Calcul des moments fléchissant :

On a :

- Tronçon (1) :  $0 \leq x \leq \frac{L}{2}$

$$M_f(x) = R_A \cdot x$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x = 0 \rightarrow M_{f(0)} = \mathbf{0 \text{ Nmm}} \\ x = \frac{L}{2} \rightarrow M_{f(\frac{L}{2})} = \mathbf{125000 \text{ Nmm}} \end{array} \right.$$

- Tronçon (2) :  $\frac{L}{2} \leq x \leq L$

$$M_f(x) = R_A \cdot x - F \cdot (L - \frac{L}{2})$$

$$\begin{cases} x = \frac{L}{2} \rightarrow M_{f(\frac{L}{2})} = 125000 \text{ Nmm} \\ x = L \rightarrow M_{f(L)} = 0 \text{ Nmm} \end{cases}$$

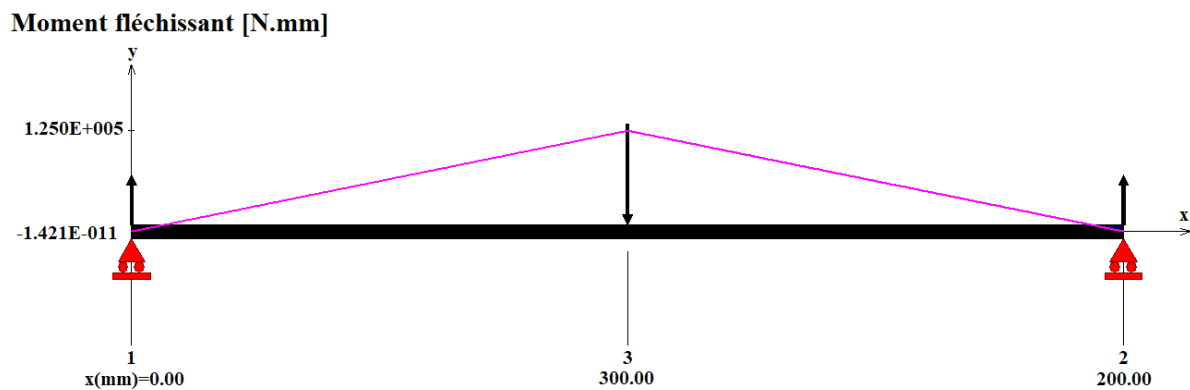


Fig.II.5. Diagramme des Moments fléchissant

Calcul du diamètre de l'arbre à la flexion :

On a choisi pour l'arbre le 42 Cr Mo 4 comme matériau contenant les caractéristiques suivantes :

Re (MPa) : 900

Rm(MPa) : 1300

On a :

$$R_e = \sigma_e = 900 \text{ MPa}$$

$$s = \frac{\sigma_e}{\sigma_p}$$

Avec :  $s = 4$

Où :  $s$  : coefficient de sécurité.

$\sigma_e$  : Résistance élastique du matériau (MPa)

$\sigma_p$  : Résistance pratique du matériau (MPa)

D'où :

$$\sigma_p = \frac{\sigma_e}{S}$$

On aura :

$$\sigma_p = 225 \text{ MPa}$$

D'après la relation suivante :

$$\tau_e = 0.7 \cdot \sigma_e \rightarrow \tau_p = 0.7 \cdot \sigma_p$$

On constate donc que la résistance au cisaillement est reliée à la résistance à la traction.

D'où :  $\tau_p$  : Contrainte pratique au cisaillement (MPa).

$\tau_e$  : Contrainte pratique au traction (MPa).

AN :

$$\tau_p = 0.7 \cdot 225 \rightarrow \tau_p = 157.5 \text{ MPa}$$

La contrainte maximale en flexion est donnée par la formules suivante :

$$\sigma_{max} = \frac{M_{fmax}}{\frac{I_{GZ}}{y}} \leq \sigma_p \dots\dots (1)$$

Où :  $M_{fmax}$  : Moment fléchissant maximale = 125000 Nmm

$I_{GZ}$  : le moment d'inertie (mm<sup>4</sup>)

$y$  : le rayon de l'arbre, (section circulaire  $y = R$ ) (mm)

La forme de l'arbre étant hexagone le côté A est égale au rayon R d'où le moment d'inertie qui est comme suit :

$$I_{GZ} = \frac{5A^4\sqrt{3}}{16} \dots\dots (2)$$

Donc la relation de la contrainte maximale (1) devient :

$$\sigma_{max} = \frac{M_{fmax}}{\frac{5A^3\sqrt{3}}{16}} \leq \sigma_p$$

On ressort A de la relation de la contrainte maximale  $\sigma_{max}$  :

$$A^3 \geq \frac{16.M_{fmax}}{5.\sqrt{3}.\sigma_p} \dots\dots (3)$$

On aura :

$$A \geq \sqrt[3]{\frac{16.M_{fmax}}{5.\sqrt{3}.\sigma_p}}$$

AN :

$$A \geq 10.08 \text{ mm} \text{ où } D \geq 20.17 \text{ mm}$$

## II.7. Calcul du diamètre de l'arbre en fonction de la flèche f

La flèche étant un paramètre important à la définition du diamètre de l'arbre à la flexion, nous calculons son diamètre en fonction de la flèche qu'on a limité par rapport à notre besoin et à la fonction de l'arbre.

$$f = 0.01 \text{ mm}$$

La formule de calcul de la déformée se présente ainsi :

$$f = \frac{F.L^3}{48.E.I_0}$$

Avec : E : Module de Young du matériau (E = 210000 MPa).

F : Force tangentielle des disques (F= 2500 N).

On a :

$$I_0 = \frac{5A^4\sqrt{3}}{8}$$

On fait ressortir  $I_0$  :

$$I_0 = \frac{F.L^3}{48.E.f}$$

On remplace  $I_0$  dans l'équation de  $f$  :

$$\frac{5A^4\sqrt{3}}{8} = \frac{F.L^3}{48.E.f}$$

On aura :

$$A = \sqrt[4]{\frac{8.F.L^3}{5.\sqrt{3}.48.E.f}}$$

AN :

$$A = 20.69 \text{ mm d'où } D = 41.38 \text{ mm}$$

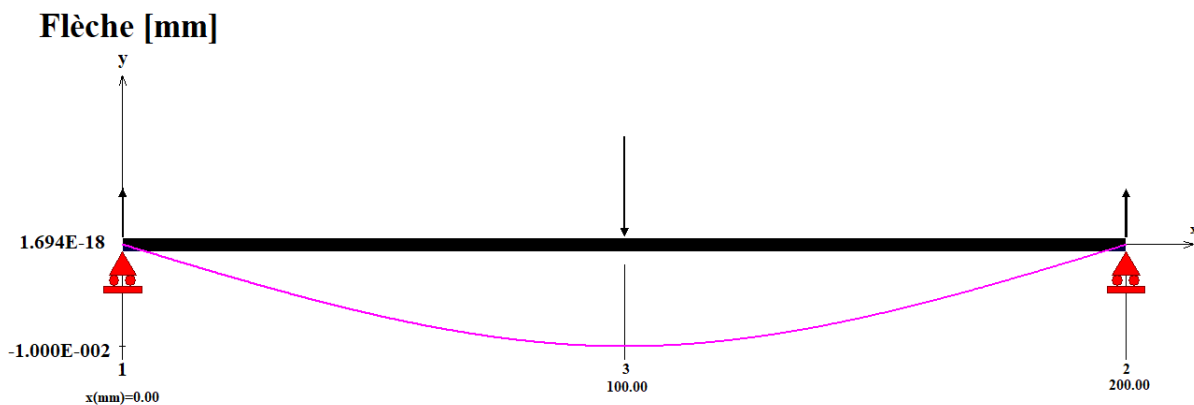


Fig.II.6. Diagramme de la déformée (flèche).

Ayant toutes les données nécessaires on vérifie de la flèche  $f$  :

$$f = \frac{F.L^3}{48.E.I_0} \leq 0.01$$

AN :

$$f = 0.007 \leq 0.01$$

Notre flèche est vérifiée.

### II.8. Calcul du diamètre de l'arbre à la torsion

Pour calculer le diamètre de l'arbre à la torsion on doit d'abord calculer le moment de torsion qui s'applique sur l'arbre, on a donc la formule suivante : [9]

$$M_t = \frac{P}{\omega}$$

Où :  $M_t$  : le moment de torsion (N.mm)

AN :

$$M_t = \frac{12.5 \cdot 10^3 \cdot 60}{2\pi \cdot 477.7}$$

On aura :

$$\mathbf{M_t = 250 Nmm}$$

On utilise les mêmes données du calcul à la flexion de l'arbre pour le calcul à torsion d'où la formule :

$$\tau_{max} = \frac{M_t}{I_0} y \leq \tau_p \dots \dots (1')$$

Où :

$$I_0 = \frac{5A^3\sqrt{3}}{8} \dots \dots (2')$$

On remplace (2') dans l'équation (1') on aura :

$$\tau_{max} = \frac{M_t}{\frac{5A^3\sqrt{3}}{8}} y \leq \tau_p$$

On ressort A on aura :

$$A \geq \sqrt[3]{\frac{8.M_t}{5.\sqrt{3}.\tau_p}} \dots\dots (3')$$

$$A = 11.36 \text{ mm d'où } D = 22.72 \text{ mm}$$

### II.9. Vérification aux sollicitations composées

L'arbre qui est soumis à une sollicitation composée (flexion et torsion), dans ce cas nous allons calculer le diamètre idéal de cet arbre à partir du critère de Von-Mises.

La condition de résistance de Von-Mises s'exprime ainsi :

$$|\sigma_{max}| \leq \sigma_p$$

Et la relation de Von-Mises s'exprime ainsi :

$$|\sigma_{max}| = \left[ \frac{\sqrt{M_{fmax}^2 + 3M_t^2}}{I_{GZ}/y} \right] \leq \sigma_p \dots\dots (1'')$$

Où :

$\sigma_{max}$  : est la contrainte maximale de flexion en MPa,

$\sigma_p$  : est la contrainte pratique de flexion en MPa,

$M_t$  : est le moment de torsion idéal en N.m,

$y$  : est le rayon de l'arbre (section circulaire) en mm, avec :  $y = A$ ,

$I_{Gz}$  : est le moment d'inertie en  $mm^4$ .

Pour une section circulaire le moment quadratique polaire est :

$$I_0 = \frac{5A^4\sqrt{3}}{16} \dots\dots (2'')$$

On remplace dans la relation de Von-Mises (1'') et on ressort A :

$$A \geq \sqrt[3]{16. \left[ \frac{\sqrt{M_{fmax}^2 + 3M_t^2}}{5.\sqrt{3}.\sigma_p} \right]} \dots\dots (3'')$$



Et on aura :

$$A \geq 12.59 \text{ mm d'où } D \geq 25.19 \text{ mm}$$

Après vérification des sollicitations simples et composées auxquelles l'arbre est soumis, nous avons obtenus les valeurs minimales de l'arbre en forme hexagone qui doit résister aux différentes sollicitations.

Pour cela, nous admettons donc un diamètre obtenu par le calcul de la flèche, étant donné que sur le marché actuel les diamètres des aciers vendus sont normalisés, on a donc choisi un arbre de forme hexagone diamètre inscrit  $D \approx 44 \text{ mm}$  qui est équivalent à norme  $S = 38 \text{ mm}$ .

### **II.10. Calcul du rapport de transmission et calcul de dimensionnement du pignon (1) et la roue (2)**

Pour calculer le rapport de transmission du réducteur on a la formule suivante : [10]

$$r = \frac{N_2}{N_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{d_1}{d_2}$$

On a :

$$N_1 = N_m = 1500 \text{ tr/min} ; N_2 = N_s = 477.7 \text{ tr/min}$$

AN :

$$r = \frac{N_2}{N_1} = \frac{477.7}{1500} = 0.31$$

Donc le rapport de transmission s'avère être réducteur.

Calcul du nombre de dents de l'engrenage :

Pour le matériau de l'engrenage on a choisi le 42 Cr Mo 4 dont les propriétés sont déjà citées dans le (Chapitre I).

On prend :

$$Z_1 = 17 \text{ dents}$$

On reprend la formule initiale :

$$r = \frac{Z_1}{Z_2} \rightarrow Z_2 = \frac{Z_1}{r}$$

AN :

$$Z_2 = 55 \text{ dents}$$

Calcul des diamètres du pignon et roue dentée :

On a la formule suivante :

$$d = m \cdot Z$$

Avec :

m : module (m=2)

On calcule  $d_1$  :

$$d_1 = m \cdot Z_1$$

AN :

$$d_1 = 34 \text{ mm}$$

Le module m est déterminé par la formule suivante :

$$m \geq 2.34 \sqrt{\frac{60 \cdot P_m}{\pi \cdot N_m \cdot d_1 \cdot k \cdot Rpe}}$$

Avec : k : coefficient de largeur de la dent (k=10).

$$m \geq 1.8 \text{ on prend } m = 2$$

D'où :

$$d_2 = \frac{d_1}{r} = 110 \text{ mm}$$

Pour l'épaisseur des engrenages on utilise la formule suivante

$$b = m \cdot k$$

AN :

$$b = 20 \text{ mm}$$

### **II.11. Dimensionnement des roues dentées (3) et (4)**

Pour l'engrenage à couple constant placé pour la transmission du mouvement entre les arbres portes-disques on a adopté une dimension adéquate des deux roues dentées (2) et (3) et cela par rapport à l'entre-axes qui est de 150 mm, pour que ces deux roues puissent engrener tout en évitant des pertes de puissance lors de la transmission du mouvement.

Donc on aura pour la roue (3) :

$$Z_3 = 55 \text{ dents}$$

$$d_3 = 150 \text{ mm}$$

Et pour la roue (4) on aura :

$$Z_3 = 55 \text{ dents}$$

$$d_3 = 150 \text{ mm}$$

Pour une épaisseur commune qui est :

$$b = 20 \text{ mm}$$

### **II.12. Choix des éléments normalisés**

Le choix des éléments a été fait selon les dimensions obtenus et les formes souhaitées, et leurs dimensions ont été prises à partir de quelques annexes de dimensions normalisées.

Dimensionnement des roulements :

Pour le guidage en rotation nous avons choisi des roulements à billes (type BC) dont les dimensions sont comme suit :

$$D = 62 \text{ mm} ; d = 35 \text{ mm} ; e = 14 \text{ mm} ; N_{max} = 13000 \text{ tr/min}$$

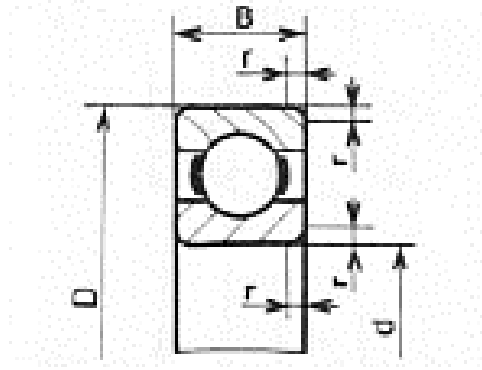


Fig.II.7. Dimensionnement des roulements BC.

Nous avons modélisé le blocage des roulements en fonction des efforts auxquels l'arbre est soumis, les charges se concentrent entre les roulements sur ce ; nous avons réalisé le montage en O comme suit :

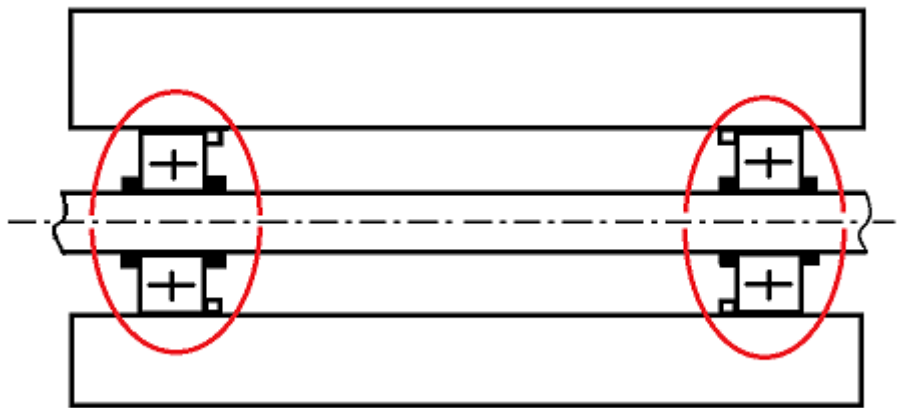


Fig.II.8. Montage des roulements en O.

Dimensionnement des clavettes :

Les dimensions des clavettes sont comme suit :

$$a = 8mm ; b = 7mm ; l_1 = 20mm ; l_{2-3} = 40mm ; l_4 = 20mm$$

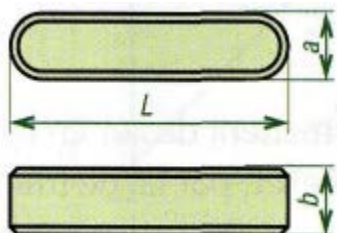


Fig.II.9. Dimensionnement des clavettes.

Dimensionnement des Rondelles élastiques :

Les dimensions des rondelles élastiques sont comme suit :

$$D = 52mm ; d = 30mm ; e = 4mm$$

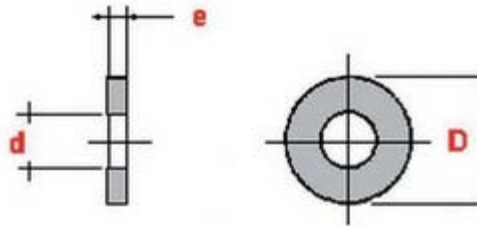


Fig.II.10. Dimensionnement des rondelles élastiques.

Dimensionnement des écrous :

Les dimensions des écrous sont comme suit :

$$a = 46mm \text{ de côté pour la forme hexagone ; } D = 30mm ; e = 25.6mm$$

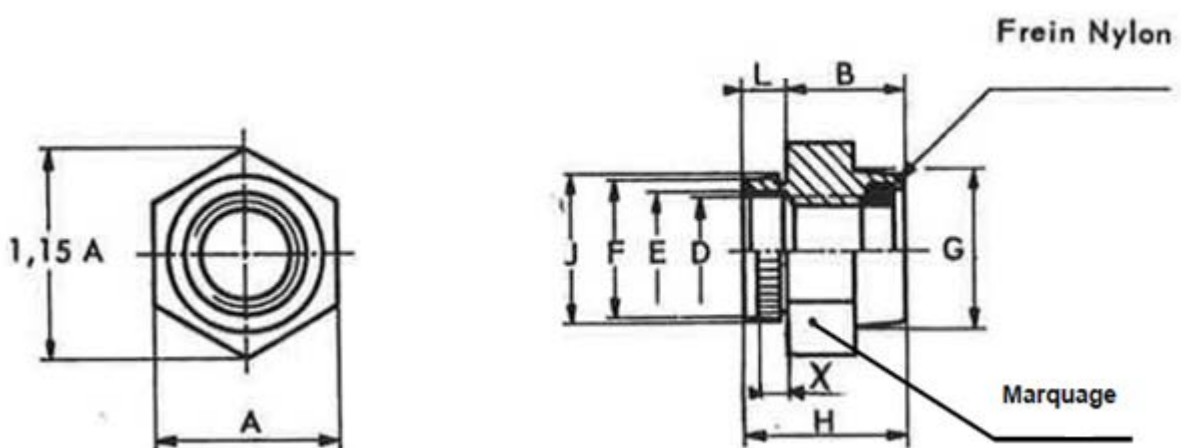


Fig.II.11. Dimensionnement des écrous.

Dimensionnement des circlips :

Les dimensions des circlips sont comme suit :

$$g = 28.6mm ; d = 30mm ; e = 1.5mm ; l = 1.6mm$$

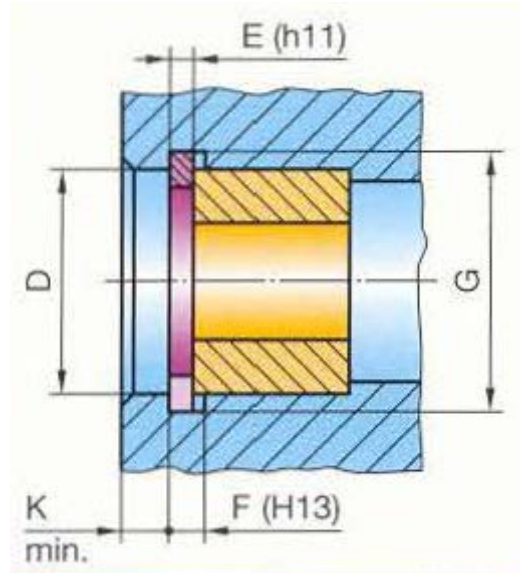


Fig.II.12. Dimensionnement des circlips.

En menant cette étude de calcul nous avons pu déterminer les dimensions des différentes pièces du broyeur, surtout leur résistance aux sollicitation auxquelles elles sont soumises. C'est une étape important dans la conception de la machine de broyage car il doit y avoir une grande précision dans le dimensionnement, et ce pour éviter les différents problèmes qui se présenteront une fois l'ensemble assemblé.

### II.13. Conclusion

En menant cette étude de calcul nous avons pu déterminer les dimensions des différentes pièces du broyeur, surtout leur résistance aux sollicitation auxquelles elles sont soumises. C'est une étape important dans la conception de la machine de broyage car il doit y avoir une grande précision dans le dimensionnement, et ce pour éviter les différents problèmes qui se présenteront une fois l'ensemble assemblé.

# **Chapitre III**

## **Modélisation et simulation**

**III.1. Introduction**

La conception des machines a nettement évolué avec la création des logiciels de conception, qui assurent un gain en temps et une précision dans la modélisation et la simulation surtout que certaines pièces à fabriquer imposent des exigences pour leur fabrication notamment les arbres et disques du broyeur qui doivent assurer leurs rôles sans failles.

Dans ce chapitre on présente quelques généralités sur la conception assistée par ordinateur, ensuite la modélisation géométrique puis la simulation sur logiciel de quelques éléments du broyeur et de l'ensemble fini.

**III.2. Définition de la CAO**

La conception assistée par ordinateur ou brièvement la CAO, rassemble l'outil informatique qui permettent de modéliser et simuler des tests en vue d'une fabrication d'un produit.

**III.3. Principe et utilisation de la CAO**

La CAO offre d'abord une grande visibilité du produit avant même qu'il ne soit créé. Les objets peuvent être représentés en deux et en trois dimensions (2D/3D), leurs apparences peuvent être filaire, surfacique ou bien volumique, elle inclut des fonctions multiples comme le calcul numérique, la modélisation.

La CAO est très utilisée dans les industries mécaniques par les bureaux d'études afin de modéliser et évaluer le comportement de matériau ainsi que la capacité d'assemblage et la fabrication des pièces.

**III.4. Etude géométrique**

Pour réaliser les différentes pièces de notre broyeur on a utilisé le logiciel SolidWorks à travers lequel on a réalisé la conception de notre travail en trois étapes :

- Création des dessins des pièces en 2D.
- Création de modèle de pièces en 3D.
- Assemblage des pièces.



**III.4.1. Etude géométrique de l'arbre**

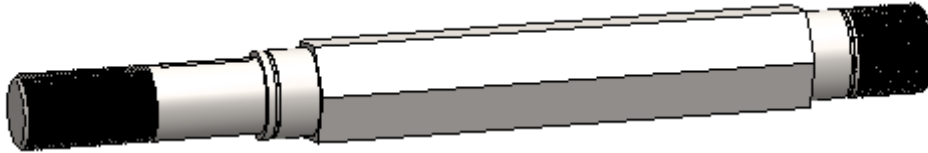


Fig .III. 1. Etude géométrique de l'arbre.

**III.4.2. Etude géométrique du disque**

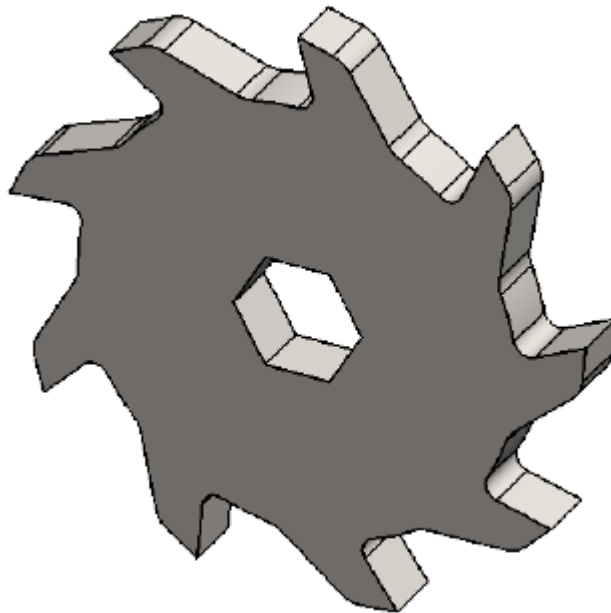


Fig.III.2. Etude géométrique du disque.

### III.4.3. Etude géométrique de l'assemblage fini

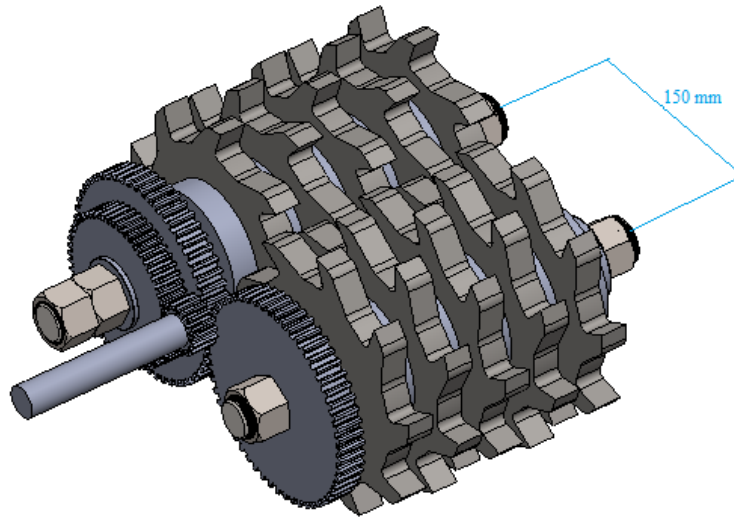


Fig.III.3. Etude géométrique de l'assemblage.

### III.5. Etude numérique

#### III.5.1. Eléments finis

La méthode des éléments finis est un outil de mathématiques appliquées. Il s'agit de mettre en place, à l'aide des principes hérités de la formulation faible, un algorithme discret mathématique permettant de rechercher une solution approchée d'une équation aux dérivées partielles (ou EDP) sur un domaine compact avec conditions aux bords et/ou dans l'intérieur du compact.

Il s'agit donc avant tout de la résolution approchée d'un problème, où, grâce à la formulation variationnelle, les solutions du problème vérifient des conditions d'existence plus faibles que celles des solutions du problème de départ et où une discrétisation permet de trouver une solution approchée.

Le calcul par éléments finis a pour but de déterminer les déplacements puis les contraintes dans la structure de manière à valider la conception.

Et nous avons choisi le calcul par (EF) pour déterminer aussi le comportement des pièces du broyeur (arbre et disques) face aux sollicitations qui s'exercent, pour ce faire nous avons choisi le logiciel de simulation numérique SolidWorks. [11]

**III.5.2. Maillage**

La (MEF) est basée sur un découpage de l'espace selon un maillage ; ce n'est pas nécessaire que ce dernier soit régulier, on a souvent resserré le maillage près des endroits d'intérêt. Cependant il faut veiller à avoir des éléments proches d'un polygone régulier. Plus le maillage est resserré plus les résultats obtenus par la méthode des éléments finis seront précise plus proches de la vraie solution aux dérivées partielles. [12]

**III.5.3. Types de maillage****III.5.3.1. Maillage linéaire**

C'est un maillage qui comporte généralement deux degrés de liberté par nœud ( $u, v, w$ ) pour pouvoir déterminer son énergie élastique.

**III.5.3.2. Maillage surfacique**

C'est un élément bidimensionnel dans lequel les contraintes sont supposées uniformes dans l'épaisseur et qu'elles sont perpendiculaires au plan de l'élément. Il est utilisé pour modéliser des structures minces travaillant sans rigidité de flexion.

**III.5.3.3. Maillage volumique**

Dans cet élément, il nécessaire de poser des hypothèses sur l'évolution du champ de déplacement à l'intérieur de l'élément. Cependant pour les contraintes et les déformations il n'y a pas d'hypothèses simplificatrices posées.

**III.5.4. Génération d'un maillage**

Pour la génération d'un maillage sur le logiciel de simulation SolidWorks ; ces étapes sont à suivre :

- Compléments de SolidWorks.
- SolidWorks simulation.
- Simulation.
- Nouvelle étude.
- Static.
- Maillage.
- Créer le maillage.

### III.5.5. Maillage de l'arbre et du disque

Nom d'étude : Static
Nom du modèle : Arbre
Type de maillage : Volumique
Mailleur utilisé : Maillage basé sur la courbure
Points Jacobien : 4 points
Taille d'élément : 1.814 mm
Nombre total de noeuds : 81677
Nombre total d'éléments : 52862

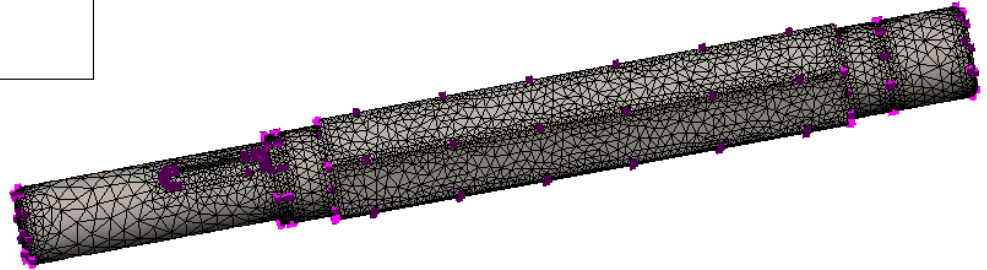


Fig.III.4. Maillage volumique de l'arbre.

Nom d'étude : Static
Nom du modèle : Disque
Type de maillage : Volumique
Mailleur utilisé : Maillage basé sur la courbure
Points Jacobiens : 4 points
Taille d'élément : 1.864
Nombre de noeuds : 69693
Nombre d'éléments : 43317

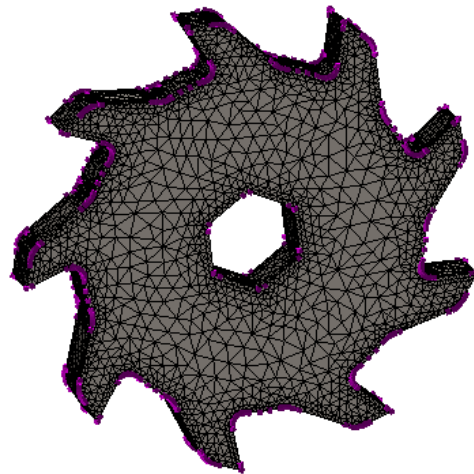


Fig.III.5. Maillage volumique du disque.

## III.6. Application des conditions aux limites

### III.6.1. Déplacements imposés

Nous considérons que l'arbre et les disques sont parmi les éléments les plus importants du broyeur, pour mieux étudier les disques nous devons éliminer tous les degrés de liberté.

### III.6.2. Efforts imposés

Les sollicitations auxquels les disques sont soumis sont plus importantes en dynamique ; nous avons donc deux sollicitations pour les disques :

- Efforts axiaux : qui sont dus au poids des disques ainsi qu'aux charges qui s'imposent lors de l'action de coupe.
- Moment de torsion : qui est dû aux charges durant l'action de coupe ainsi qu'au mouvement de rotation du disque.

### III.7. Vérification des résultats de simulation des arbres et du disque

#### III.7.1. Simulation à l'état statique

Nous utiliserons ces informations des résultats avec des données expérimentales, nous tenons à préciser que des tests réels seront indispensables afin de valider le produit final. Cependant, la simulation étudiée nous aidera à réduire le nombre d'essais sur les pièces.

#### III.7.2. Analyse statique de l'arbre à la flexion

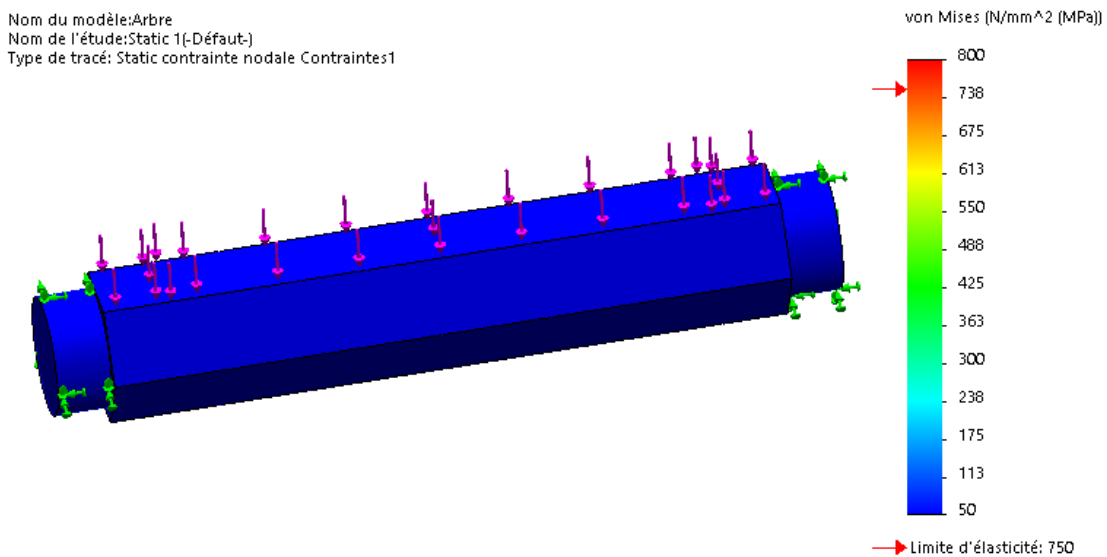


Fig.III.6 Distribution des contraintes Von-Mises de l'arbre à la flexion.

L'arbre est complètement en bleu ce qui correspond, dans le diagramme de contrainte de Von Mises, à une fourchette de contrainte qui varie entre 50 et 175 MPa, cela nous permet de constater que les sollicitations qui lui sont appliquées n'influent pas sur sa structure, cependant sa résistance dans le cas statique est vérifiée.

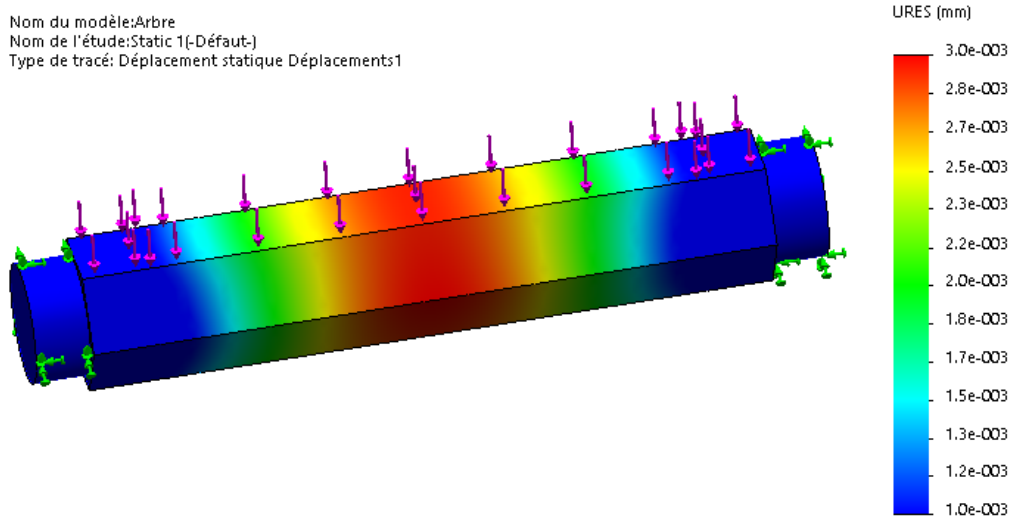


Fig.III.7. Distribution des déplacements de l'arbre à la flexion.

L'analyse de de la figure nous montre que le déplacement maximal se situe sur la face utile de l'arbre une chose qui est attendu vu que les sollicitations sont concentrées au milieu de la partie utile, le déplacement de l'arbre est de l'ordre 0.003 mm .

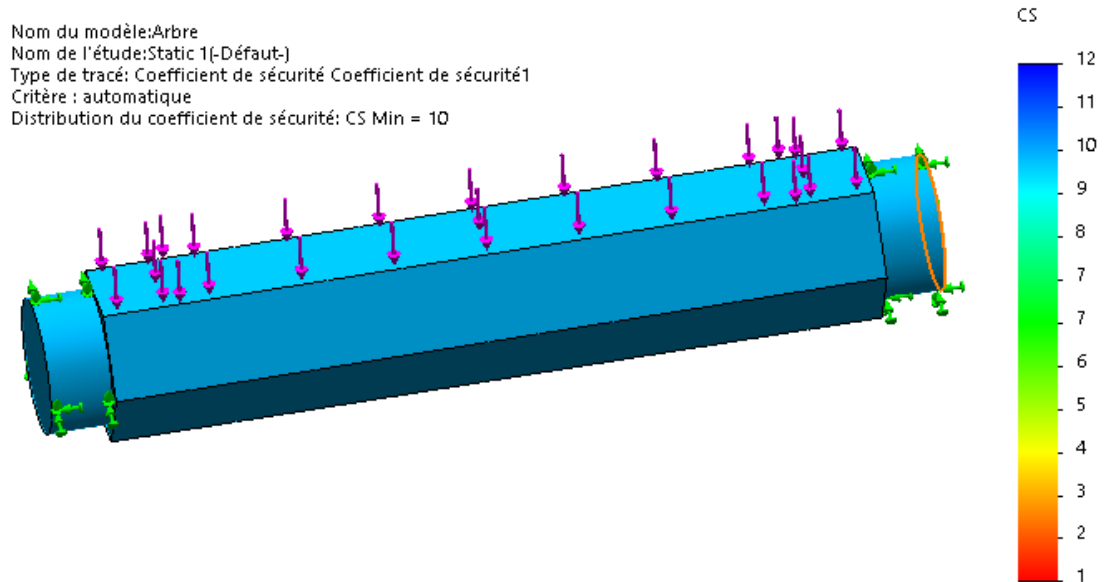


Fig.III.8. Distribution du Coefficient de sécurité de l'arbre à la flexion.

D'après l'analyse, on a constaté que la valeur du coefficient de sécurité minimal est de 10 ce qui fait que les charges sur l'arbre en flexion sont importantes et l'arbre est résistant, donc il est vérifié.

### III.7.3. Analyse statique de l'arbre à la torsion

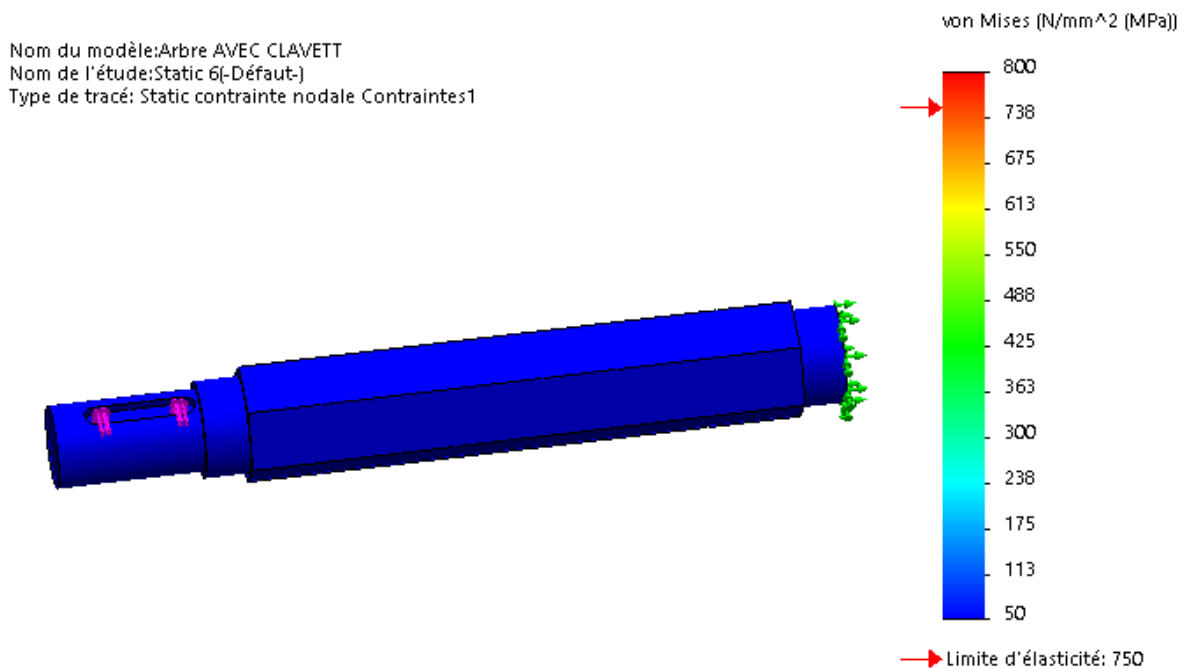


Fig.III.9. Distribution des contraintes Von-Mises de l'arbre à la torsion.

La concentration des contraintes maximum est enregistré au niveau du contact entre l'arbre et l'engrenage du réducteur, elle est comprise entre 50 et 175 MPa.

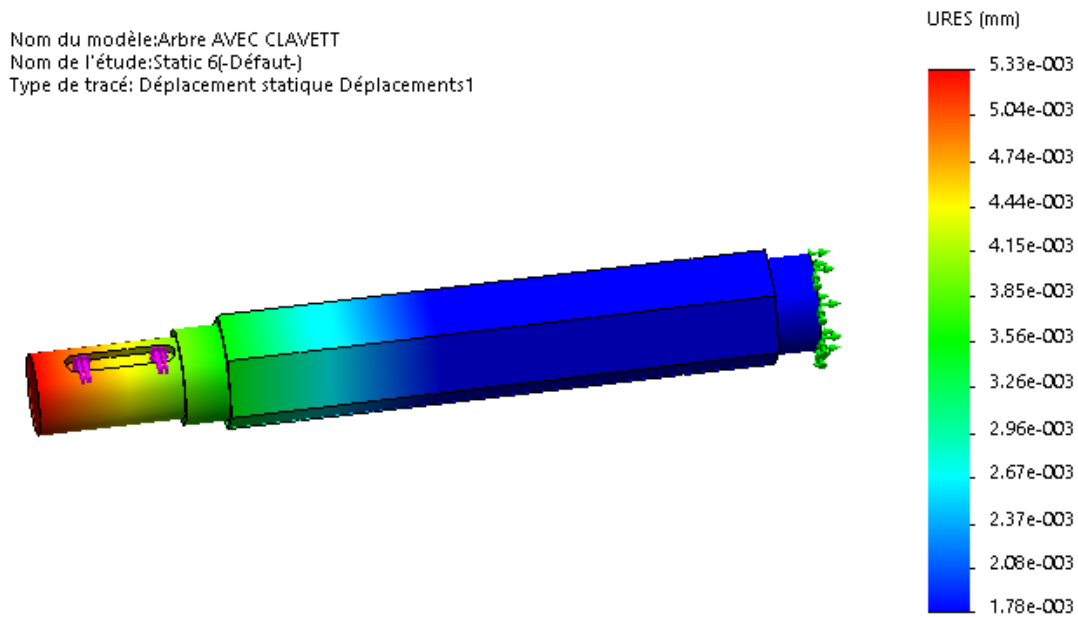


Fig.III.10. Distribution des déplacements de l'arbre à la torsion.

L'analyse de la figure nous montre que le déplacement maximum se situe au niveau du contact entre l'arbre et l'engrenage ce qui est attendu puisque la charge impose et une déformation maximale au bord de la face cylindrique de l'arbre qui est de l'ordre de 0.00533 mm

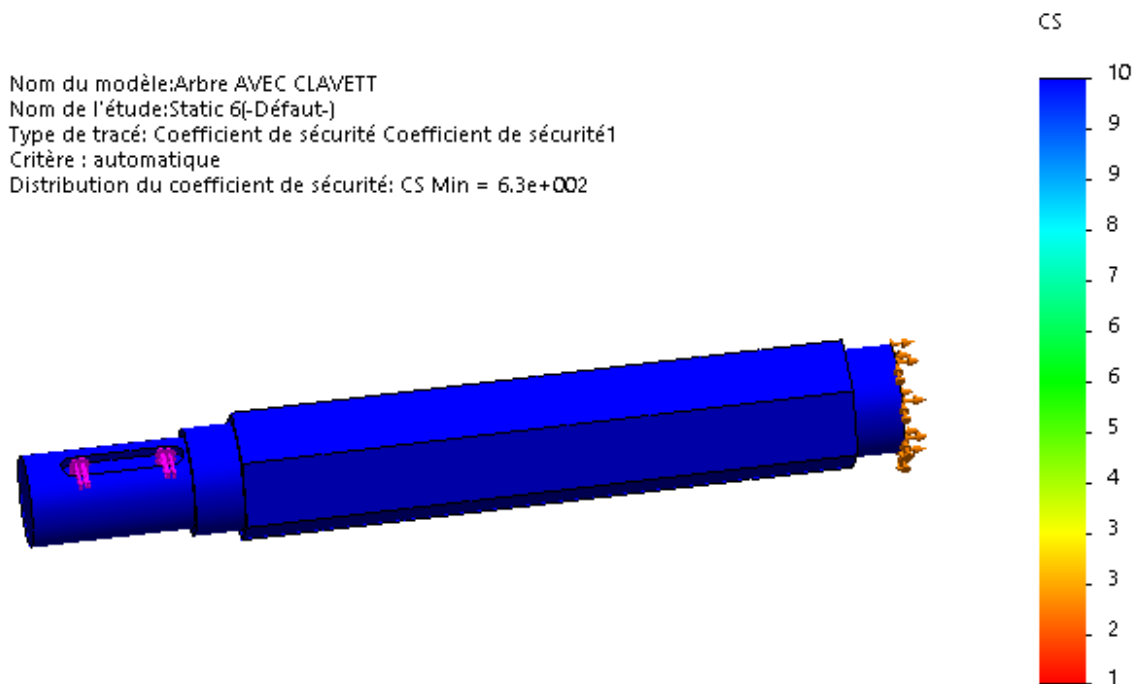


Fig.III.11. Distribution du coefficient de sécurité de l'arbre à la torsion.



D'après l'analyse, on a constaté que la valeur du coefficient de sécurité minimal est de  $6.3.10^2$  ce qui fait que la charge sur l'arbre en torsion n'est pas très importante, l'arbre est donc résistant, donc il est vérifié.

#### III.7.4. Analyse statique du disque

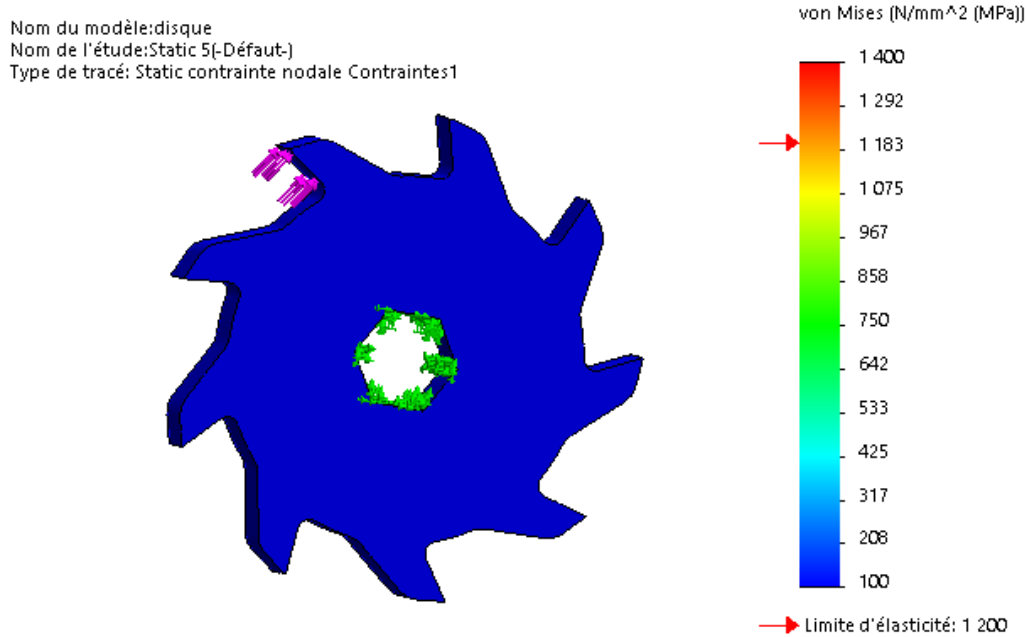


Fig.III.12. Distribution des contraintes Von-Mises du disque.

D'après la figure la dent du disque est complètement de couleur bleu ce qui correspond, dans le diagramme de contraintes de Von Mises, à une fourchette de contraintes qui varie entre 100 (MPa) et 425 (MPa), ce qui est largement en dessous de la limite élastique du matériau qui est de 1200 (MPa), cela nous permet de constater que les sollicitations auxquelles le disque est soumis n'influent pas sur sa structure, cependant sa résistance dans le cas statique est vérifiée.

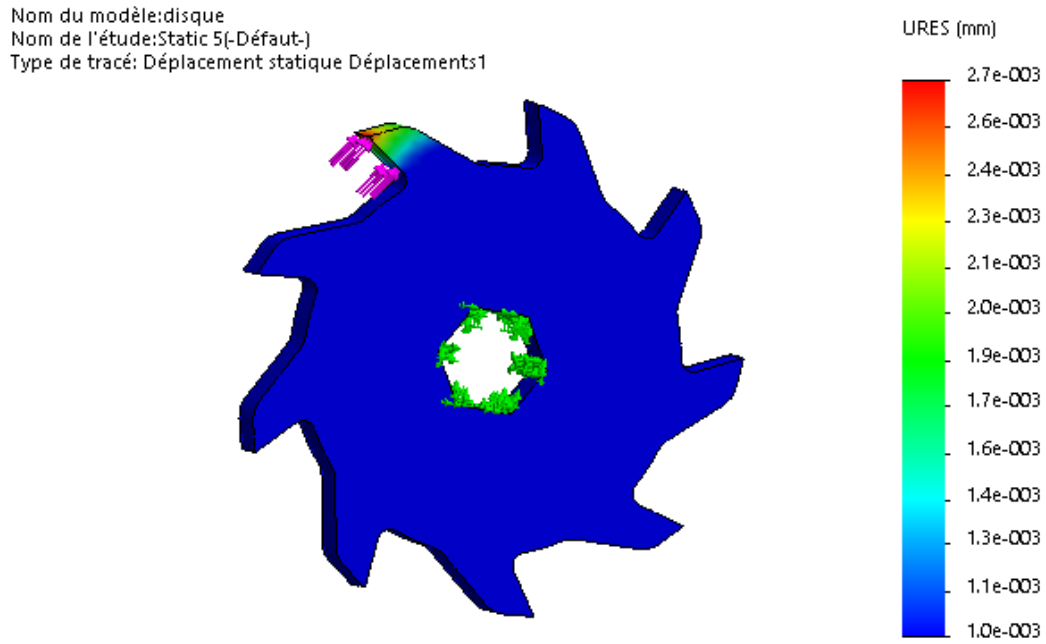


Fig.III.13. Distribution des déplacements du disque.

L'analyse de la figure nous montre que le déplacement maximum se situe sur la face supérieure de la dent ce qui est attendu puisque la charge imposée est une déformation maximale au bord de la face supérieure de la dent du disque, le déplacement est de l'ordre de 0.0027 mm

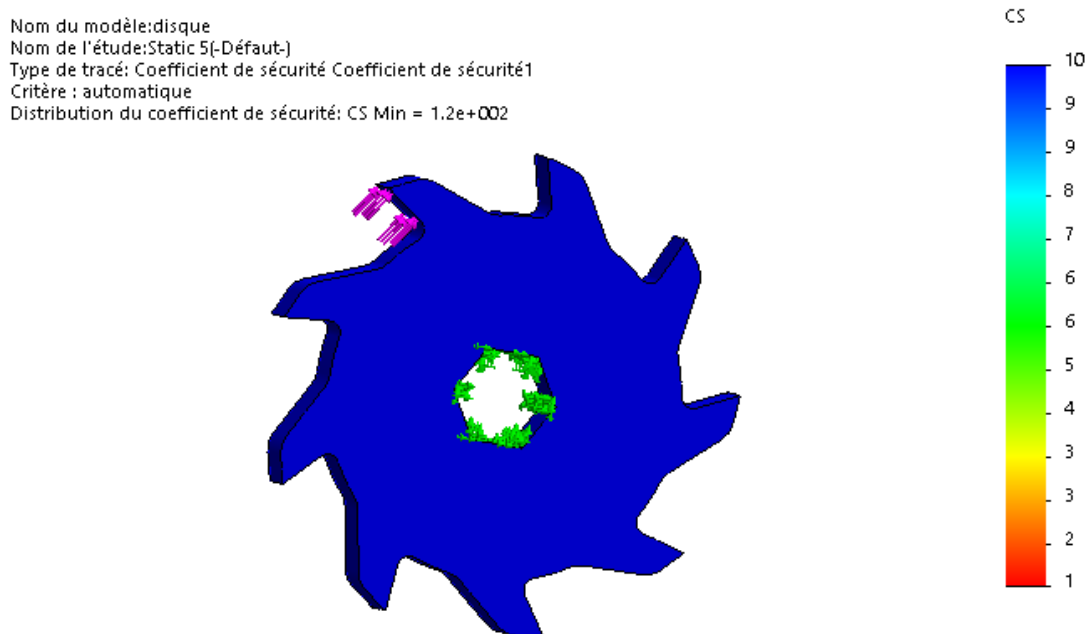


Fig.III.14. Distribution du coefficient de sécurité du disque.

D'après l'analyse, on a constaté que la valeur du coefficient de sécurité minimal est de  $1.2 \cdot 10^2$  ce qui fait que les charges sur le disque ne sont pas très importantes, le disque est donc résistant, donc il est vérifié

### **III.8. Conclusion**

Dans la conception, la modélisation et la simulation sont une étape cruciale pour chaque élément. Cette étape est basée sur les arbres et disque du broyeur de plastique qui consiste à caractériser leurs géométries et leurs dimensions afin d'assurer le correct déchiquetage de la matière sans usure prématurée des dents ni de déformations des arbres.

Un autre intérêt aussi c'est de savoir et comprendre le comportement des pièces et la transmission du mouvement généré par le moteur.

La conception du broyeur ne se limite pas à son bon fonctionnement, mais à concevoir un broyeur qui soit d'abord fait dans les normes instaurées, puis il doit être adapté au marché actuel pour ce qui est rapport qualité-prix.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

Ce présent travail est porté sur la conception d'un broyeur de plastique à disques, en effet ce modeste travail contient trois parties principales.

Tout d'abord, nous avons commencé par introduire des généralités sur les plastiques et le broyage, en seconde partie, on a présenté les calculs et le dimensionnement des éléments importants du broyeur, ce qui est la partie la plus intéressante de ce travail, et en dernier lieu on est passé à la modélisation et simulation de ces éléments et de l'ensemble fini.

Nous avons entamé en première partie par présenter l'impact du matériau plastique sur l'environnement puis la problématique et la solution qu'on a proposé, ensuite on a défini le recyclage et expliqué les différentes étapes de ce dernier. Encore on a présenté la définition du plastique et ses différents types, par la suite on a défini le procédé de broyage et les types de broyeurs, enfin nous avons présenté les matériaux utilisé pour les parties importantes du broyeur (arbres et disques).

Dans la seconde partie, qui est la partie la plus intéressante de notre travail, où il s'est porté sur le calcul et le dimensionnement des pièces du broyeur. On a présenté le cahier de ce travail et le schéma cinématique du broyeur, ensuite on est passés aux calculs de force et de puissance du broyeur, puis on a entamé le calcul de l'arbre en flexion, le diamètre de l'arbre en fonction de la flèche, aussi on a calculé l'arbre en torsion et vérifié l'arbre aux sollicitations composées, enfin nous avons calculé le rapport de réduction et dimensionner les engrenages du réducteur.

Enfin, nous avons aborder la dernière partie qui est celle de la modélisation géométrique et de la simulation où nous avons modélisé géométriquement à l'aide du logiciel SolidWorks, les différentes pièces constituant le broyeur de plastique, puis avec le même logiciel nous avons simulé les pièces importantes de la machine dont le disque et les arbres. Enfin nous avons analysé les résultats de la simulation dont on a vérifié en comparaison avec nos données expérimentales.

## **Conclusion générale**

Ce travail nous a ouvert les yeux et nous a permis de voir loin, même si ce n'est qu'un travail d'étude et conception sans avoir l'opportunité de pratiquer sur des machines, mener cette étude nous a permis aussi de travailler en équipe et de gérer nos tâches et d'être plus organisés, et surtout d'acquérir plus d'expérience dans ce domaine.

En perspective, nous souhaitons que le système universitaire apporte des changements notamment à la formation des étudiants qui consacre plus de temps sur la théorie que sur la pratique, et doit mettre plus de moyens à la disposition des étudiants pleins d'idées ambitieuses et innovatrices sachant que cette formation est une porte qui s'ouvre vers le monde professionnel.

# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

[1] : Les différentes étapes de recyclage : 18 Décembre 2018, Valorplast, les 9 grandes étapes du recyclage des emballages en PET.

[2] : Propriétés des matières plastiques : Les matières plastiques, ALLOPROF.

[3] : Différents types de plastiques : 27 Octobre 2020, ASTUCES ECOLOGIQUES, ZÉRO DÉCHET.

[4] : Broyage : TABOOLA, LAROUSSE, broyage.

[5] : Caractéristiques principales et types de broyeur : Mémoire de fin d'études, université de Bejaia, option électromécanique, thème : étude et réalisation d'un broyeur pour les bouteilles en plastique. Mr : BACHIRI SALIM et FERHANE ZAHIR. Promotion (2011/2012).

[6] : Acier Z200 : 21 Août 2021, article ACIER Z200 C12 – X200 Cr 12, PROFILAGE.NET

[7] : Acier 42 Cr Mo 4 : 02 Avril 2021, ACIER DIN 42CRMO4 / 1.7225, WALDUNSTEEL.COM

[8] : Calcul RDM : Cours de RDM en 3ème année Licence, construction mécanique. M. YAYA.

[9] : Calcul du diamètre de l'arbre à la torsion et sollicitations composées : Mémoire de fin d'études, université de Tlemcen, option : Construction mécanique, thème : étude et conception d'un broyeur pour les matériaux plastiques. Mr : DERRAS Mohamed. Promotion (2019/2020).

[10] : Rapport de réduction et dimensionnement des engrenages : Cours de génie mécanique, 3ème année secondaire (2014/2015) ; M. ARAB Boualem.



## Références bibliographiques

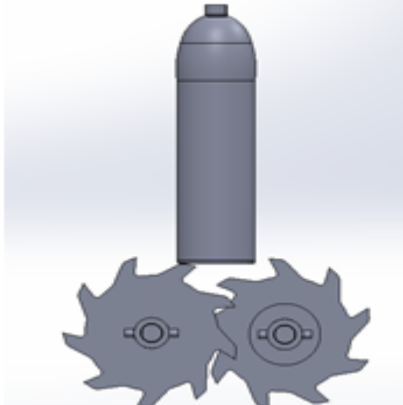
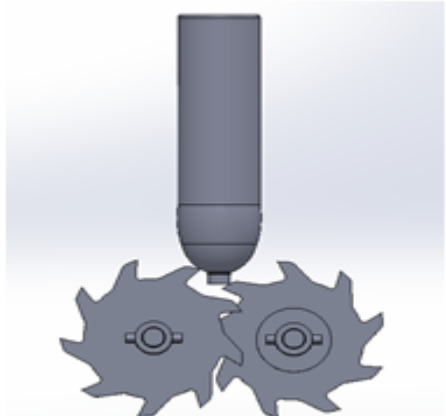
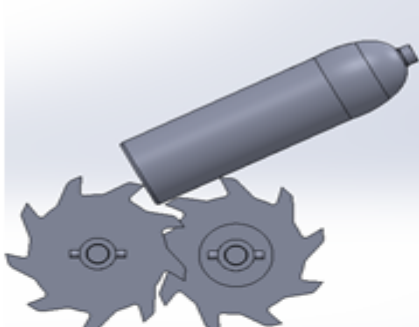

[11] : Eléments finis : Physique, Méthode des éléments finis – Définition et explication, TECHNO-SCIENCES.NET

[12] : Maillage : Mémoire de fin d'études, université de Bejaia, option Fabrication mécanique et productique, thème : étude et conception et réalisation d'un broyeur pour le recyclage de déchets plastiques. Mr : CHENNINE Dalil et BOUAFAI Boualem. Promotion (2017/2018).

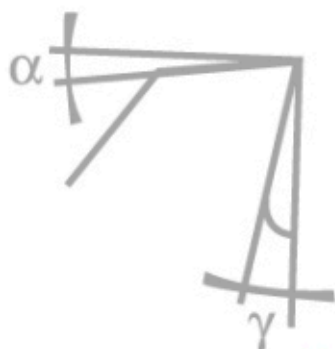
# **Annexes**

**Disques à 9 dents :**

Distance entre-axes : 150 mm

Bouteille sur la base	
Bouteille sur le bouchon	
Bouteille inclinée	
Bouteille posée sur le côté	

## Fraisage



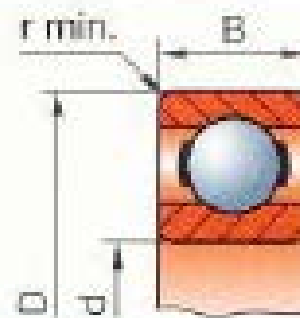
	Angle de dépouille $\alpha$	Pente d'affûtage $\gamma$	Vitesse de coupe $V(m/mn)$	Avance $S(mm/Rev)$
PA 6 / PA 66	5 - 15	0 - 15	200 - 500	$\leq 0,05$
PA 66 GF30	5 - 15	0 - 15	50 - 150	$\leq 0,05$
PA 12	5 - 10	10 - 15	200 - 400	$\leq 0,05$
PA 4-6	5 - 15	0 - 15	200 - 500	$\leq 0,05$
POM / POM H-TF	5 - 15	0 - 15	200 - 400	$\leq 0,05$
POM-GF30	5 - 15	0 - 15	50 - 150	$\leq 0,05$
PETP PET-SL	5 - 15	0 - 15	150 - 300	$\leq 0,05$
PE HD/PE HMW/PP PEHD500	5 - 15	0 - 15	200 - 500	$\leq 0,05$
PE UHMW PEHD1000 PE8000	5 - 15	0 - 15	200 - 500	$\leq 0,05$
PEEK	5 - 15	0 - 15	150 - 300	$\leq 0,05$
PEEK-SL, GF30, CA30	5 - 15	0 - 15	50 - 150	$\leq 0,05$
PI Vespel®	5 - 15	0 - 15	50 - 100	$\leq 0,05$
PAI	5 - 15	0 - 15	150 - 300	$\leq 0,05$
PAI-SL	5 - 15	0 - 15	50 - 150	$\leq 0,05$
PTFE	5 - 15	3 - 30	100 - 1000	90 - 130
PVDF	5 - 15	0 - 15	200 - 500	$\leq 0,05$
PPS-SL	5 - 15	0 - 15	50 - 150	$\leq 0,05$
PEI	5 - 15	0 - 15	200 - 400	$\leq 0,05$
PSU / PPSU	5 - 15	0 - 15	200 - 400	$\leq 0,05$
PVC	5 - 10	0 - 10	1000	
PC	5 - 15	0 - 15	200 - 400	$\leq 0,05$
PMMA	2 - 10	2 - 10	2000	
PUR 90 sh	15 - 30	5 - 20	> 300	$\leq 0,05$
Toile bakélisée	12 - 15		200	$\leq 0,05$

## Coefficients de sécurité

Coefficient de sécurité (s)	Conditions générale de calculs (sauf réglementation particulière)
1,5 à 2	Cas exceptionnels de grande légèreté. Hypothèse de charges surévaluées.
2 à 3	Construction où l'on cherche la légèreté (aviation). Hypothèse de calcul la plus défavorable (charpente avec vent ou neige, engrenages avec une seule dent en prise...).
3 à 4	Bonne construction, calculs soignés, haubans fixes.
4 à 5	Construction courante (légers efforts dynamiques non pris en compte. Treuils.)
5 à 8	Calculs sommaires, efforts difficiles à évaluer (cas de chocs, mouvements alternatifs, appareils de levage, manutention).
8 à 10	Matériaux non homogènes. Chocs, élingue de levage.
10 à 15	Chocs très importants, très mal connus (presse). Ascenseurs.

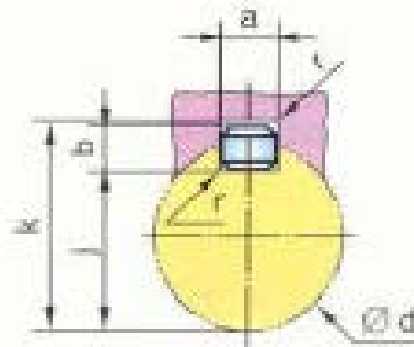
**Roulements ouverts**  
**Roulements à flasques**  
**Roulements à joints**

$C_0$  : charge statique de base  
 $C$  : charge dynamique de base



d	D	B	r	$C_0$ N	C N	n max. tr/min
17	47	14	1	6 550	13 500	19 000
20	42	12	0,6	5 000	9 360	20 000
20	47	14	1	6 550	12 700	18 000
20	52	15	1,1	7 800	15 900	16 000
25	47	12	0,6	6 550	11 200	18 000
25	52	15	1	7 800	14 000	15 000
25	62	17	1,1	11 600	22 500	14 000
30	55	13	1	8 300	13 300	35 000
30	62	16	1	11 200	19 500	13 000
30	72	19	1,1	16 000	28 100	11 000
35	62	14	1	10 200	15 900	13 000
35	72	17	1,1	15 300	25 500	11 000
35	80	21	1,5	19 000	33 200	10 000
40	80	18	1,1	19 000	30 700	10 000
40	90	23	1,5	24 000	41 000	9 000
45	85	19	1,1	21 600	33 200	9 000
45	100	25	1,5	31 500	52 700	8 000
50	90	20	1,1	23 200	35 100	8 500
50	110	27	2	38 000	61 800	7 500

## Clavettes parallèles

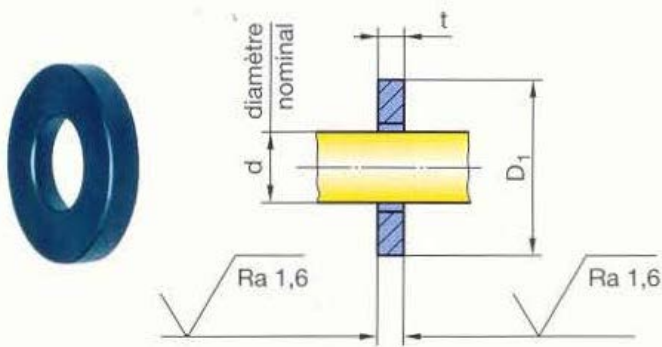


d	a	b	s	j	k	d	a	b	s	j	k
de 6 à 8 inclus	2	2	0,16	$d - 1,2$	$d + 1$	58 à 65	18	11	0,6	$d - 7$	$d + 4,4$
8 à 10	3	3	0,16	$d - 1,8$	$d + 1,4$	65 à 75	20	12	0,6	$d - 7,5$	$d + 4,9$
10 à 12	4	4	0,16	$d - 2,5$	$d + 1,8$	75 à 85	22	14	1	$d - 9$	$d + 5,4$
12 à 17	5	5	0,25	$d - 3$	$d + 2,3$	85 à 95	25	14	1	$d - 9$	$d + 5,4$
17 à 22	6	6	0,25	$d - 3,5$	$d + 2,8$	95 à 110	28	16	1	$d - 10$	$d + 6,4$
22 à 30	8	7	0,25	$d - 4$	$d + 3,3$	110 à 130	32	18	1	$d - 11$	$d + 7,4$
30 à 38	10	8	0,4	$d - 5$	$d + 3,3$	130 à 150	36	20	1,6	$d - 12$	$d + 8,4$
38 à 44	12	8	0,4	$d - 5$	$d + 3,3$	150 à 170	40	22	1,6	$d - 13$	$d + 9,4$
44 à 50	14	9	0,4	$d - 5,5$	$d + 3,8$	170 à 200	45	25	1,6	$d - 15$	$d + 10,4$
50 à 58	16	10	0,6	$d - 6$	$d + 4,3$	200 à 230	50	28	1,6	$d - 17$	$d + 11,4$

Nota : L'emploi d'une clavette, sur un arbre de dimension supérieure, est possible.

**Rondelles plates**

NF EN ISO 10673



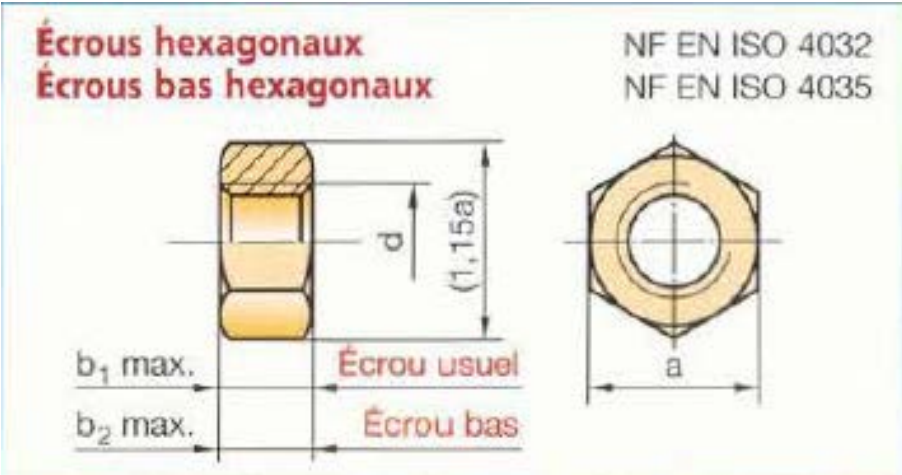
Matières : voir chapitre 55.

Série	Étroite	Normale	Large
Type	S	N	L

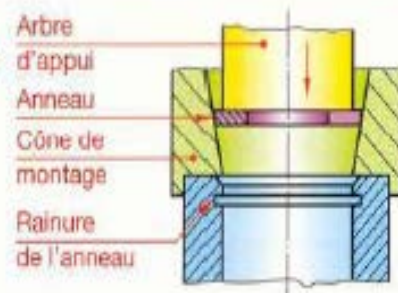
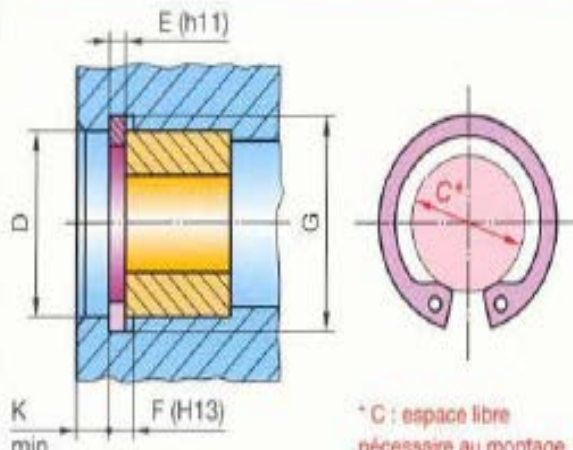
Type	S		N		L	
d	t	D	t	D	t	D
1,6	0,5	3,5	0,5	5	0,5	6
2	0,6	4,5	0,6	5	0,6	6
2,5	0,6	5	0,6	6	0,6	8
3	0,6	6	0,6	7	0,8	9
4	0,8	8	0,8	9	1	12
5	1	9	1	10	1	15
6	1,6	11	1,6	12	1,6	18
8	1,6	15	1,6	16	2	24
10	2	18	2	20	2,5	30
12	2	20	2,5	24	3	37
16	3	30	3	32	3	40
20	3	36	3	40	3	50
24	4	45	4	50	4	60
30	4	52	4	60	4	70
36	-	-	5	70	5	80

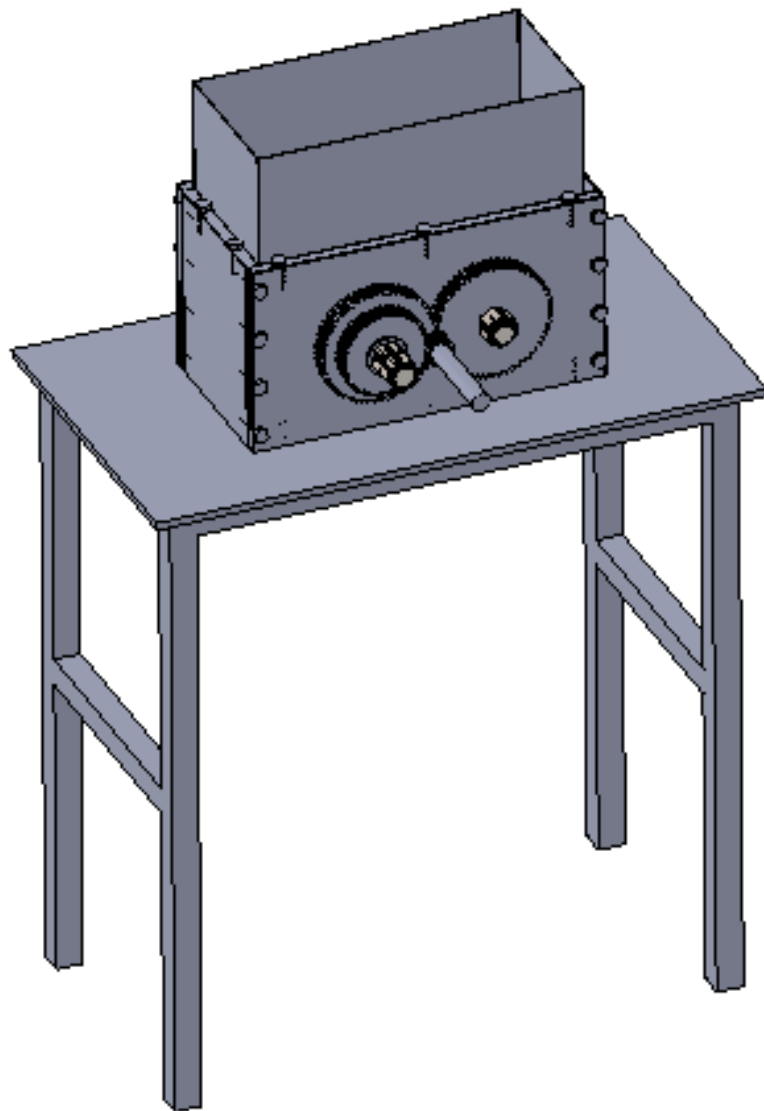
NF E 25-514 pour d = 1,6 et d ≥ 16.

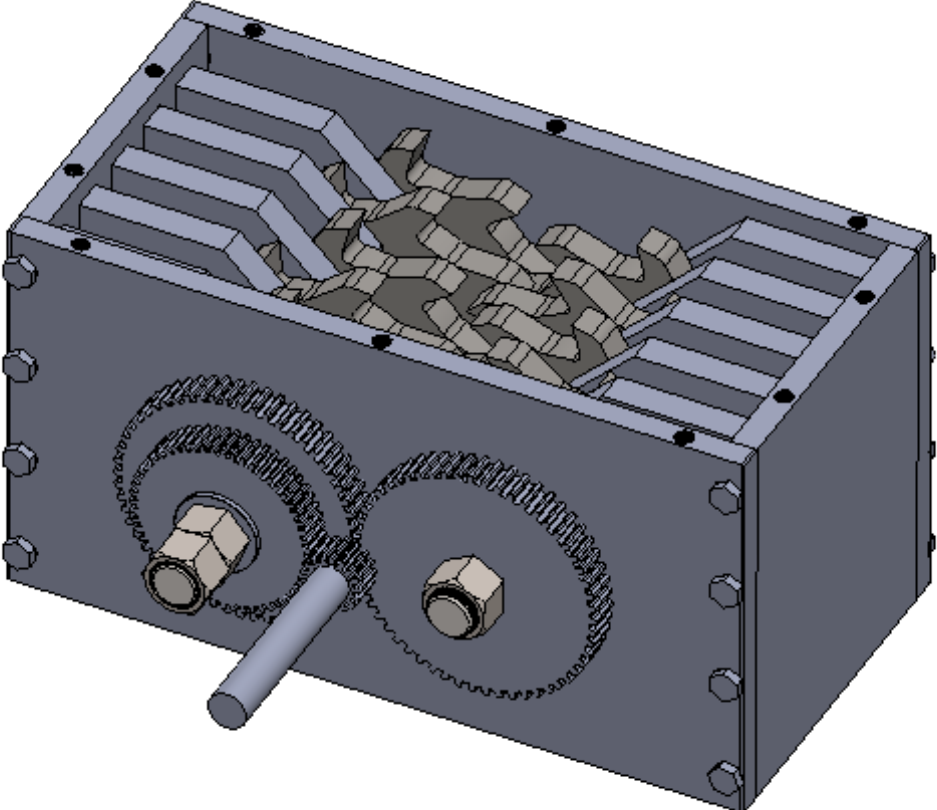


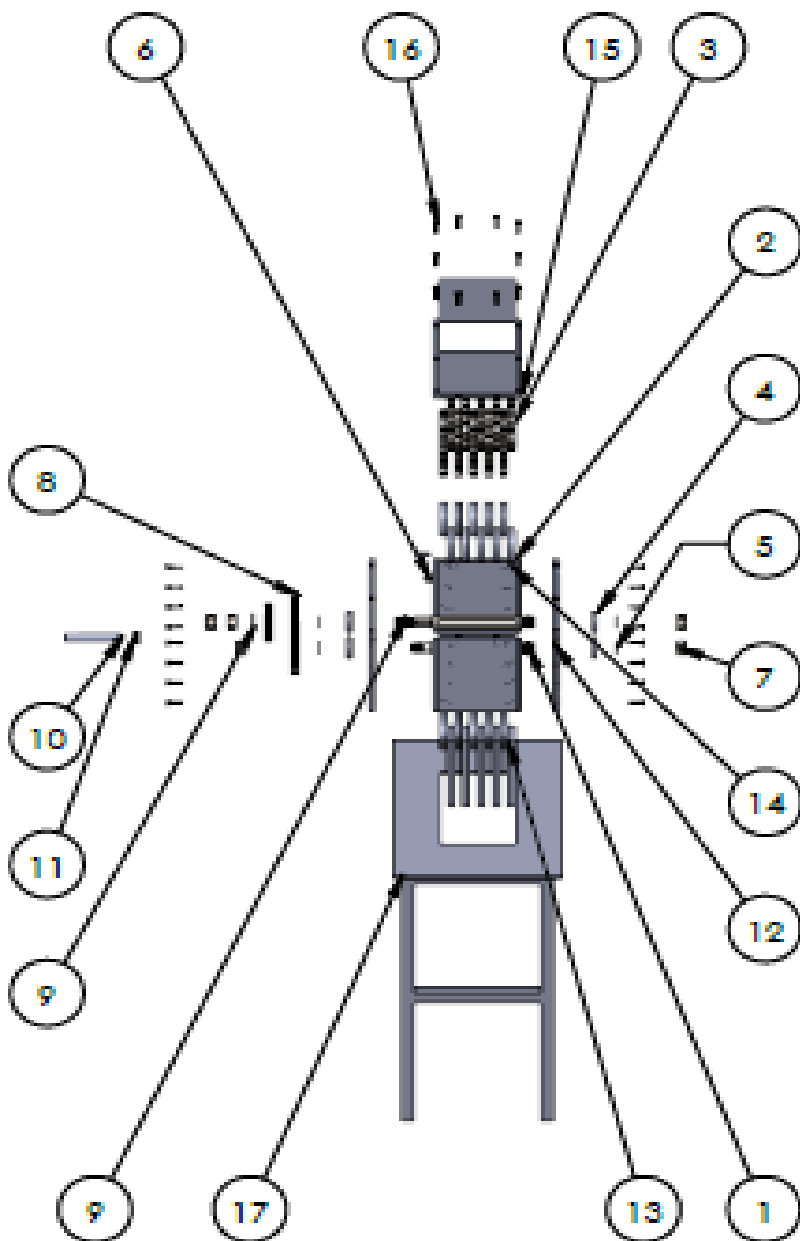


d	a	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	e	f	g	i	j	k	R	u
M1,6	3,2	1,3	1	-	-	-	-	-	-	-	-
M2	4	1,6	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-
M2,5	5	2	1,6	-	-	-	-	-	-	-	-
M3	5,5	2,4	1,8	2,4	5,1	-	-	-	-	-	-
M4	7	3,2	2,2	3,2	6,7	-	-	-	-	-	-
M5	8	4,7	2,7	4	8	11,8	5	15	9,25	7	2,5
M6	10	5,2	3,2	5	10	14,2	8	17	11	14	4
M8	13	6,8	4	6,5	13	17,9	11	23	24,5	14	5
M10	16	8,4	5	8	16,5	21,8	13	28	18,5	22	5
M12	18	10,8	6	10	19,5	26	15	35	20	22	6
M16	24	14,8	8	13	25	34,5	21	45	26	30	7
M20	30	18	10	16	31	42,8	25	50	31	44	8
M24	36	21,5	12	19	37	-	29	60	37	44	10
M30	46	25,6	15	24	47	-	35	68	48	66	10

Anneaux élastiques pour alésages NF E 22-165																
<b>Montage recommandé</b>																
<b>EXEMPLE DE DÉSIGNATION :</b> Anneau élastique pour alésage, d × e, NF E 22-165									* C : espace libre nécessaire au montage.							
D	E	C	F	G	Tol. G	K	Fa*	D	E	C	F	G	Tol. G	K	Fa*	
8	0,8	3,2	0,9	8,4	+ 0,09	0,6	2	45	1,75	31,6	1,85	47,5	0 + 0,25	3,75	43,1	
9	0,8	4	0,9	9,4	0	0,6	2	50	2	36	2,15	53	+ 0,30	4,5	60,8	
10	1	3,7	1,1	10,4	+ 0,11	0,6	4	55	2	40,4	2,15	58		4,5	60,3	
12	1	4,7	1,1	12,5		0,75	4	60	2	44,4	2,15	63		4,5	61	
15	1	7	1,1	15,7	0	1,05	5	65	2,5	48,8	2,65	68	0	4,5	121	
17	1	8,4	1,1	17,8	0 + 0,13	1,2	6	70	2,5	53,4	2,65	73		4,5	119	
20	1	10,6	1,1	21		1,5	7,2	75	2,5	58,4	2,65	78		4,5	118	
22	1	13,6	1,1	23	+ 0,21	1,5	8	80	2,5	62	2,65	83,5	+ 0,35	5,25	120	
25	1,2	15	1,3	26,2		1,8	14,6	85	3	66,8	3,15	88,5		5,25	201	
28	1,2	18,4	1,3	29,4	0	2,1	13,3	90	3	71,8	3,15	93,5		5,25	199	
30	1,2	19,4	1,3	31,4	+ 0,25	2,1	13,7	95	3	76,4	3,15	98,5	0	5,25	195	
32	1,2	20,2	1,3	33,7		2,55	13,8	100	3	81	3,15	103,5		5,25	188	
35	1,5	23,2	1,6	37	0	3	26,9	105	4	86	4,15	109		+ 0,54	6	436
40	1,75	27,4	1,85	42,5		3,75	44,6	110	4	88,2	4,15	114	0	6	415	







No. ARTICLE	NUMERO DE PIECE	QTE
1	Arbre porte disques	1
2	Entretoise	10
3	Disque	10
4	Roulement	4
5	Circ clips	4
6	Clavette	1
7	Ecrou	5
8	Roue dentée	2
9	Rondelle	1
10	Arbre pignon	1
11	Pignon	1
12	Cadre roulements	2
13	Entre-disque	10
14	Cadre broyeur	2
15	Trémie	1
16	Vis	26
17	Table de broyeur	1

ECH : 1: 20

UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA-BEJAIA

DATE : 7/22

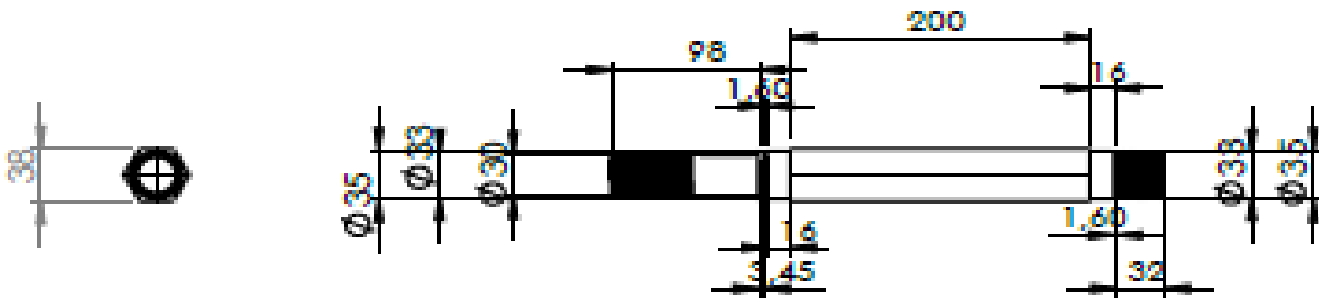


## ASSEMBLAGE

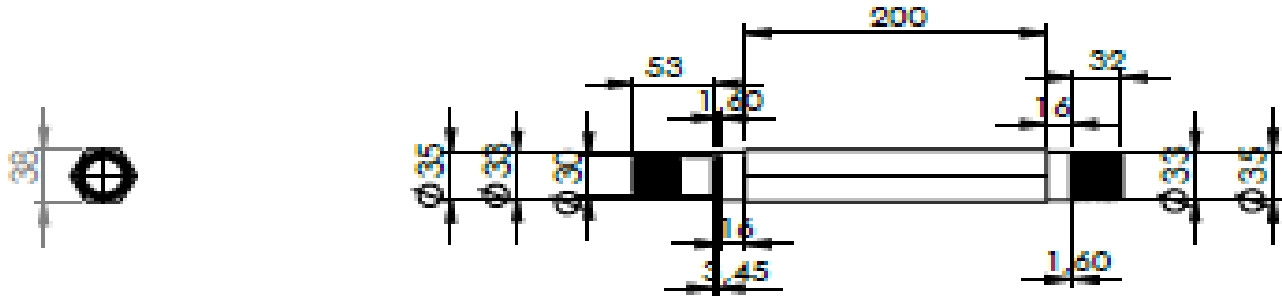
M2 FMP


A4

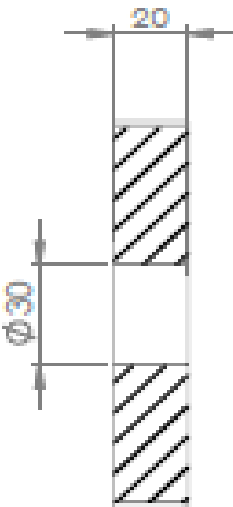
KHALED Houssam / YAHIAOUI Arezki



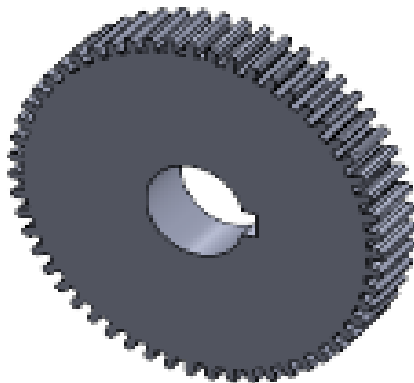
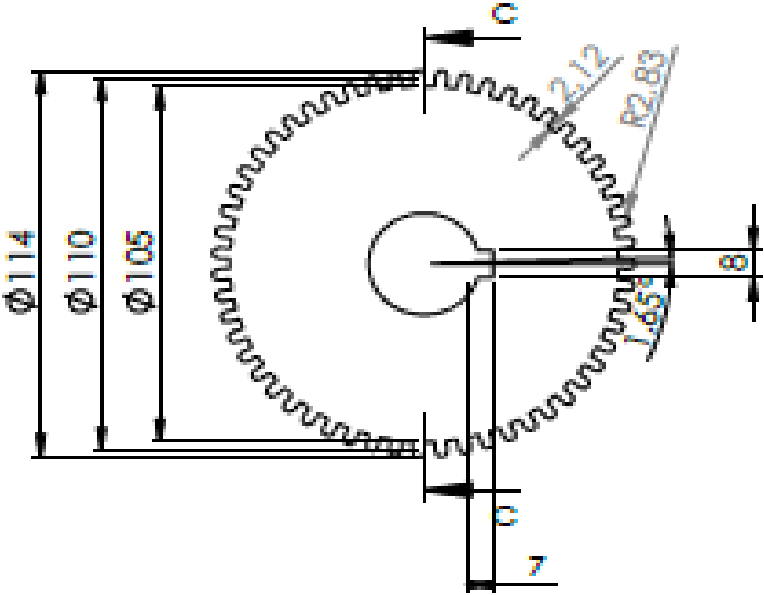
ECHL : 1 : 5	UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA-BEJAIA	DATE : 7 / 22
	<b>Arbre transmeteur</b>	M2 FMP
A4		Acier
KHALED Houssam / YAHIAOUI Arezki		



ECHELL : 1 : 5	UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA-BEJAIA	DATE : 7/22
	<b>Arbre récepteur</b>	M2 FMP
A4	KHALED Houssam / YAHIAOUI Arezki	Acier

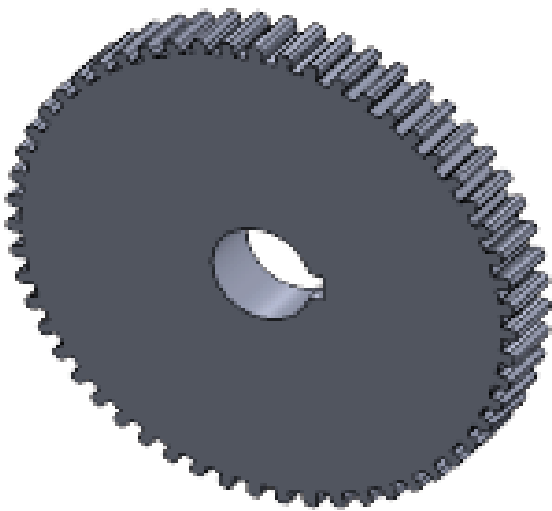
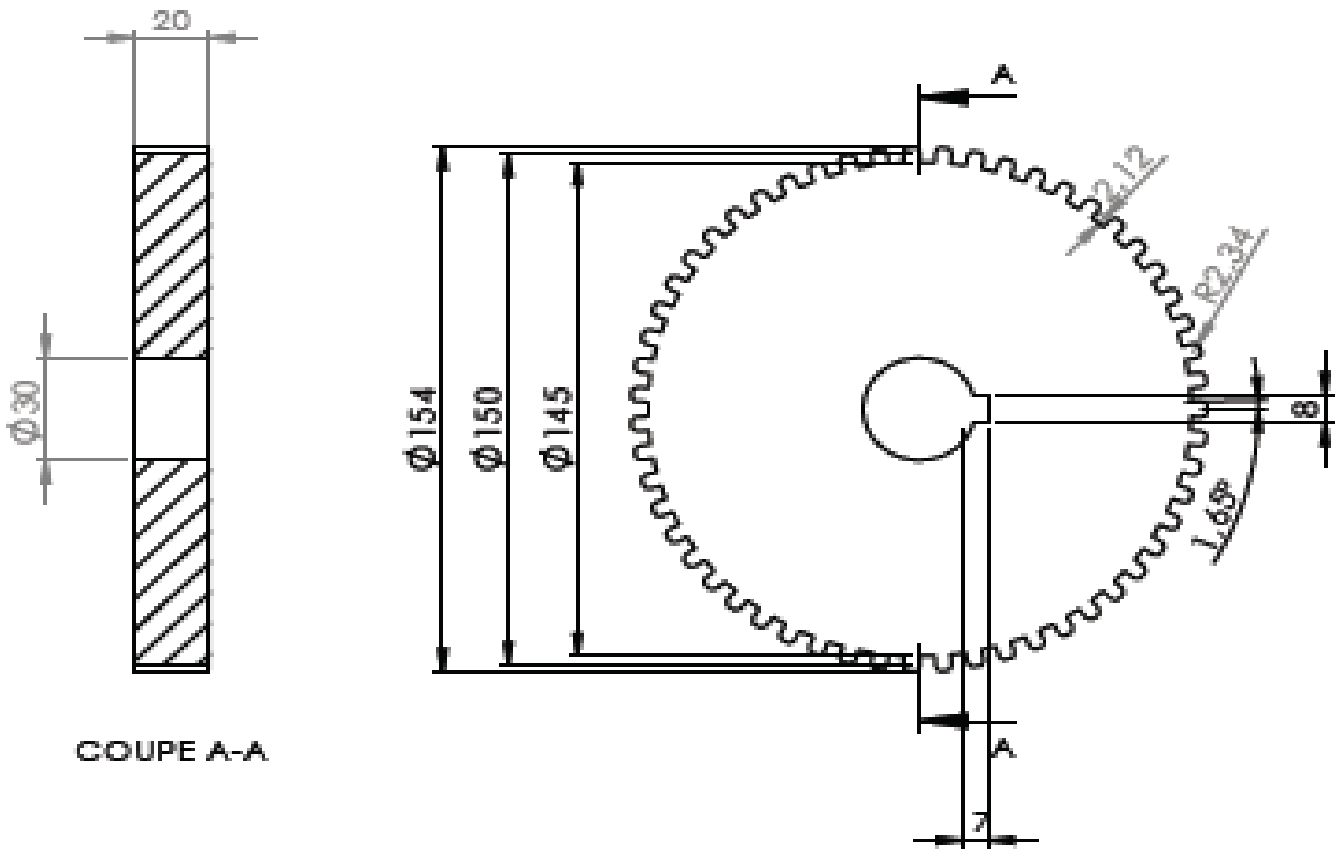



COUPE C-C

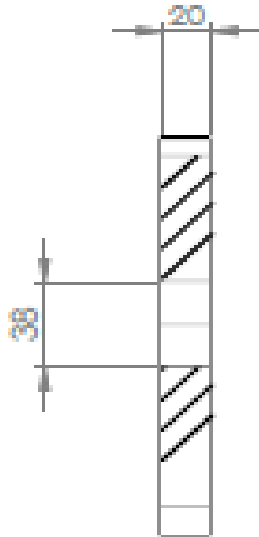


ECHELL : 1 : 2	UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA-BEJAIA	DATE : 7/22
	<b>Roue dentée 1</b>	M2 FMP
A4	KHALED Houssam / YAHIAOUI Arezki	

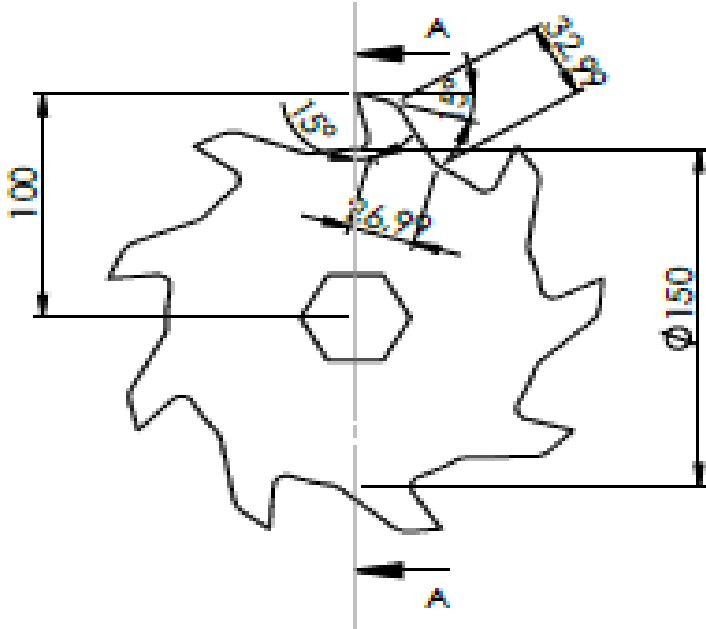





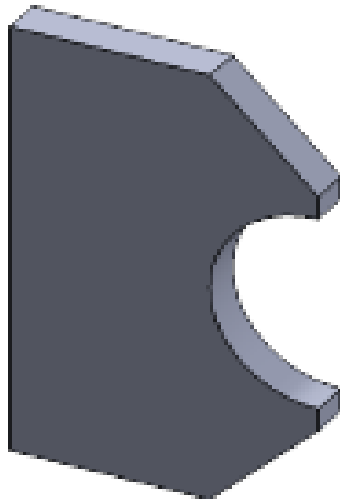
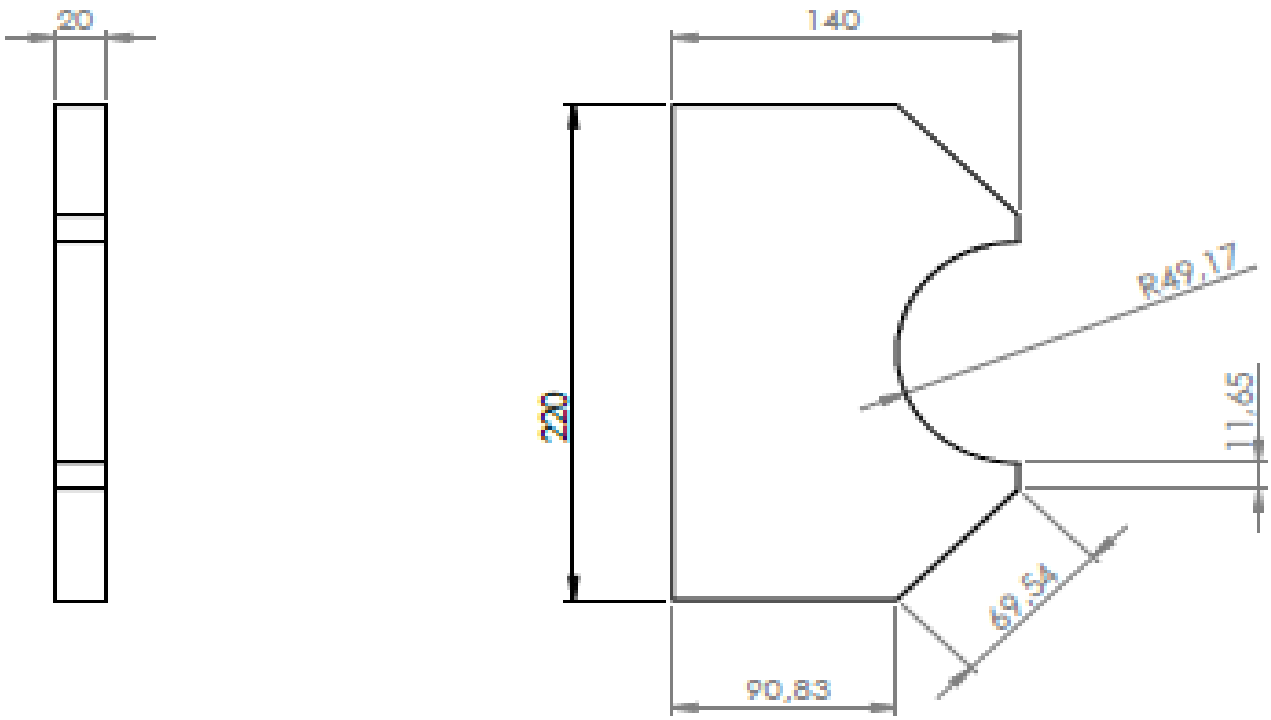
ECHELL : 1: 2	UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA-BEJAIA	DATE : 7/22
	<b>Roue dentée 2</b>	M2 FMP
A4	KHALED Houssam / YAHIAOUI Arezki	




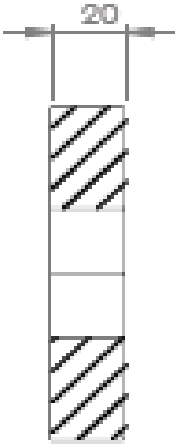
COUPE A-A



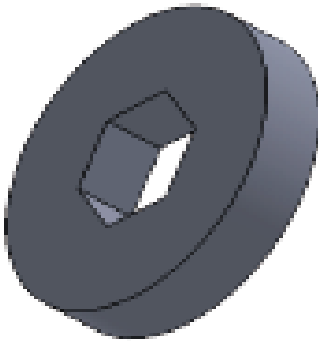
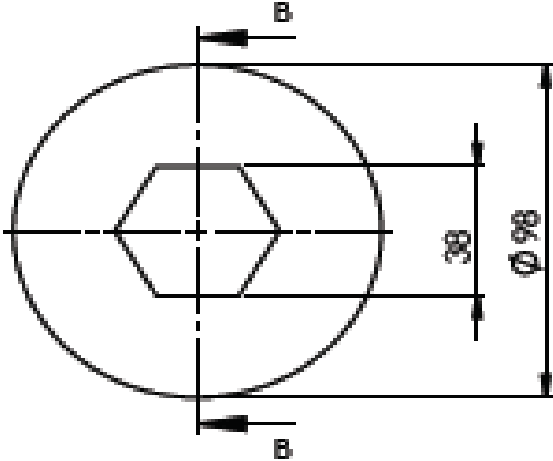
ECHELL : 1:3	UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA-BEJAIA	DATE : 7/22
	<b>Disque</b>	M2 FMP
A4		X200cr12
	KHALED Houssam / YAHIAOUI Arezki	



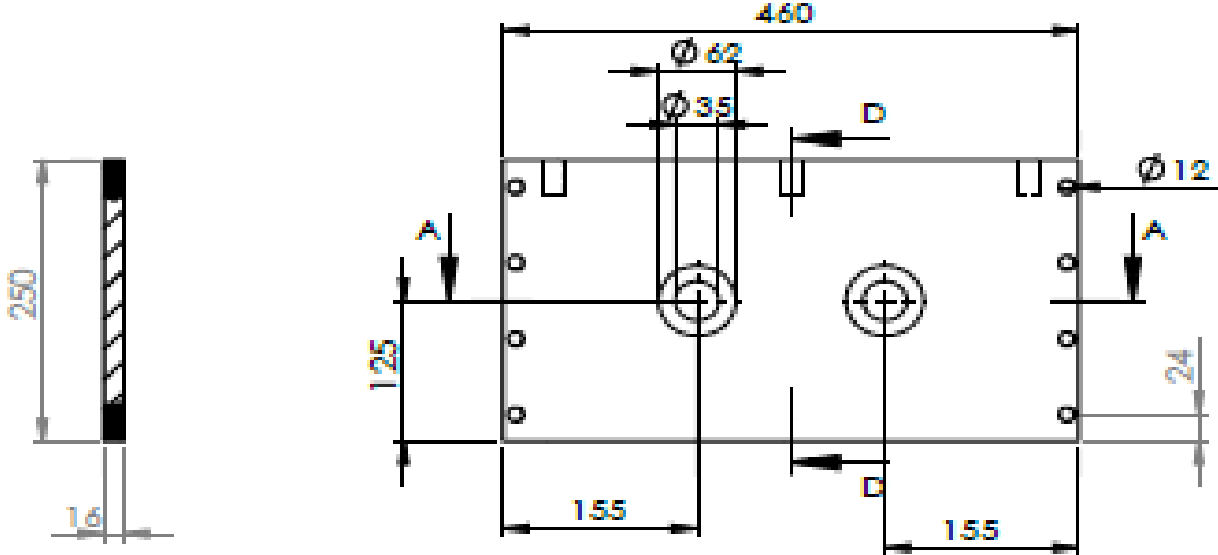
ECHL : 1 : 3	UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA-BEJAIA	DATE : 7/22
	<b>Contre disque</b>	M2 FMP
A4		
KHALED Houssam / YAHIAOUI Arezki		



COUPE B-B



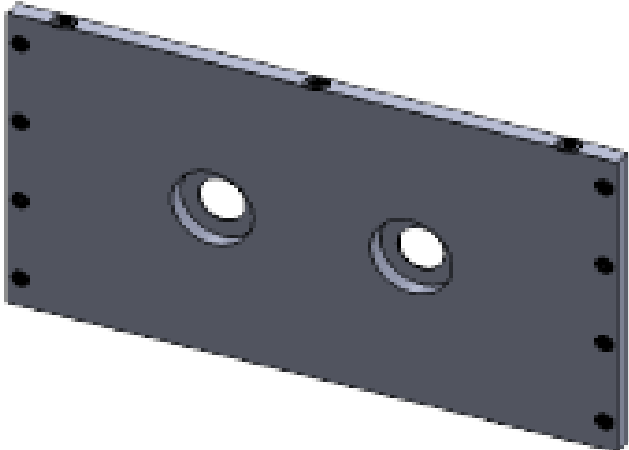
ECHELL : 1:2	UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA-BEJAIA	DATE : 7/22
	<b>Entre Disque</b>	M2 FMP
A4	KHALED Houssam / YAHIAOUI Arezki	




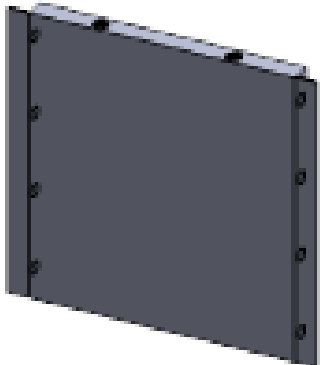
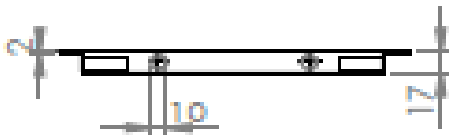
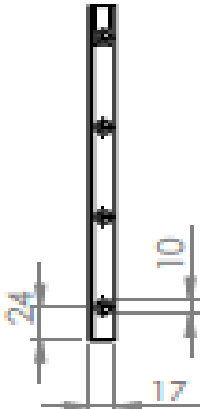
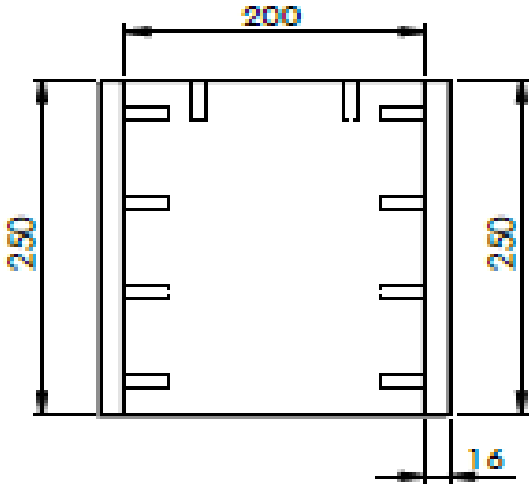
COUPE D-D




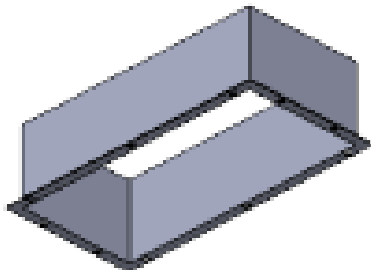
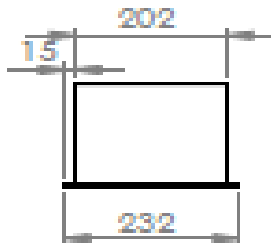
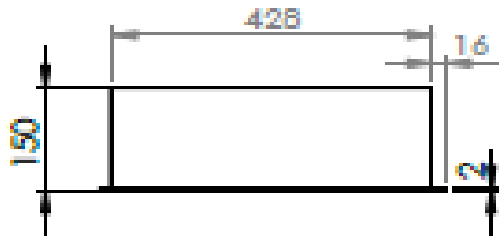
COUPE A-A




ECHELL : 1 : 6	UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA-BEJAIA	DATE : 7/22
	<b>Cadre broyeur</b>	M2 FMP
A4	KHALED Houssam / YAHIAOUI Arezki	



ECHELL : 1:5	UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA-BEJAIA	DATE : 7/22
	<b>Cadre broyeur</b>	M2 FMP
A4	KHALED Houssam / YAHIAOUI Arezki	



ECHELL : 1 : 10	UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA-BEJAIA	DATE : 7 / 22
	<h1>Trémie</h1>	M2 FMP
A4		Acier
KHALED Houssam / YAHIAOUI Arezki		

## **Résumé :**

Ce modeste travail de fin d'études s'inscrit sous le cadre de recyclage de plastique, et plus précisément sur l'étude de la conception de la machine qui exécute la partie la plus importante des étapes du recyclage à savoir le broyage des matériaux plastiques.

En premier lieu, ce travail définit le recyclage, le plastique et ces types, ainsi que le broyage et tout type de broyeurs existants, après vient l'étape de calculs et dimensionnements des différentes pièces du broyeur, qui met en évidence et en détaille toutes les parties qui constituent le broyeur de matériaux plastiques et en dernier lieu la modélisation géométrique et la simulation des pièces les plus importantes du broyeur à savoir les arbres et le disque.

Ce broyeur est conçu d'une manière méticuleuse pour qu'il soit bien adapté au marché algérien et aux normes de sécurité industrielle.

## **Abstract :**

This modest end-of-studies work falls under the framework of plastic recycling, and more precisely on the study of the design of the machine which performs the most important part of the recycling stages, namely the crushing of plastic materials.

First, this work defines recycling, plastic and these types, as well as shredding and all types of existing shredders, after comes the stage of calculations and sizing of the different parts of the shredder, which highlights and details all the parts that make up the plastic materials crusher and finally the geometric modeling and simulation of the most important parts of the crusher, namely the shafts and the disc.

This crusher is meticulously designed to be well suited to the Algerian market and industrial safety standards.