

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ ABDERRAHMANE MIRA BEJAIA



FACULTÉ DE TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE

MEMOIRE

PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

MASTER

FILIÈRE : GÉNIE MÉCANIQUE

SPÉCIALITÉ : FABRICATION MÉCANIQUE ET PRODUCTIQUE

PAR:

Mr. BENDRIS AMAR

Mr. FETTOUS KARIM

Thème

**CONCEPTION D'UN BROYEUR A BOULET POUR LABORATOIRE DE
RECHERCHE**

Soutenu le 03/07/2019 devant le jury composé de:

Mr. AMARI. DJ

Président

Mr. BELAMRI. A

Rapporteur

Mr. YAYA. K

Examineur

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2018-2019



Remerciements

*Nous remercions DIEU tout puissant de nous avoir donné la
force, la
santé, le courage et la patience de pouvoir accomplir ce
travail.*

*Un grand merci à toutes nos familles surtout nos parents pour
leurs
encouragement et leurs suivi avec patience du déroulement de
notre
projet.*

*Nous tenons à remercier vivement nos promoteurs Mr
A.BELAMRI ET M^{elle} L.HIMED d'avoir
accepté de nous guider tout au long du travail.*

*Nos remerciements vont également au responsable du HALL
TECHNOLOGIE*

*Nos sincères remerciements s'adressent aussi à tous ceux qui
ont*

contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

*Enfin, nous tenons aussi à remercier également tous les
membres de jury*

pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

Merci à tous



Dédicaces

Ce projet est achevé avec l'ALLAH le tout puissant,

Je dédie ce modeste travail :

À ceux qui n'ont jamais cessé de m'encourager et de me soutenir,

À mes chers parents

À ma femme SOUAD

À mon cher grand frère LYES qui n'a jamais cessé de m'aider

A mon frère Abderezak et ma sœur Cylia

À M^{elle} Rebiha cherfa

À toute ma famille.

À mon collègue AMAR

À tous les étudiants de la promotion 2018/2019

Option : Fabrication Mécanique et Productique

À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer.

FETTOUS KARIM

Dédicaces

DIEU tout puissant merci de nous avoir donné la force et La bonne santé toute au long de notre vie, et merci d'être avec nous et de nous donné de l'aide pour finir ce travail. Je dédie à toutes les personnes qui me sont chères :

Mon **Père** et ma **Mère** , que dieu les protèges .

Mon **Frère** , ma **Soeur** .

Et a *Toute Ma Famille*.

A mon collègue **karim**

Mes amis **Iyes**, **Boubekeur** et **ADLAN**

Mon **cousin** nadjib

Et a **Tous Mes Amis** et ma promotion **FMP**.

AMAR BENDRIS

Résumé

Le ciment est nécessaire pour la fabrication du béton elle est la matière la plus utilisées dans la construction.

L'opération fondamentale est le broyage, qui se fait par des déférentes machines destinées pour suivant les exigences du processus technologique. Parmi ces machines on trouve le broyeur à boulet qui est le plus utilisée dans l'industrie la cimenterie.

Le travail présenté dans ce mémoire consiste à concevoir un broyeur a boulet pour laboratoire de recherche à l'aide du logiciel « solidworks ».

Nous avons calculé les paramètres du broyeur et on a attribué des matériaux adéquats à chacune de ces pièces selon leurs fonctions, ainsi la transmission et dimensionnements de ses différents organes puis le choix du moteur d'entrainement qu'il convient.

A la fin de ce mémoire nous avons projeté l'ensemble du broyeur et ses différentes composantes sur des plans pour donner leurs démentions.

TABLE DES MATIERES

Remerciements.....	I
Résumé.....	II
Table des matières.....	III
Liste des figures.....	VII
Liste des tableaux.....	IX
Liste des symboles.....	X
Introduction Générale.....	1

CHAPITRE I: APERÇU GENERAL SUR LES CIMENTS

I.1 Définition d'un ciment.....	3
I.2 Modes de broyage du clinker.....	3
I.2.1 Broyage par percussion.....	3
I.2.2 Broyage par écrasement.....	4
I.2.3 Broyage par frottement.....	4
I.3 Méthodes et étapes de fabrication du ciment.....	4
I.3.1 Extraction et concassage les matières premières.....	5
I.3.2 Préparation de la matière première.....	5
I.3.2.1 Voie humide.....	5
I.3.2.2 Voie sèche.....	6
I.3.2.2.1 Carrière.....	6
I.3.2.2.2 Concassage.....	6
I.3.2.2.3 Le dépoussiérage.....	7
I.3.2.2.3 Pré homogénéisation.....	7
I.3.2.2.4 Broyage cru.....	8
I.3.2.2.5 Homogénéisation.....	8
I.3.2.2.6 Préchauffage.....	8
I.3.2.2.7 Cuisson ou Calcination.....	9
I.3.2.2.8 Broyage du ciment.....	9
I.3.2.2.9 Stockage et expédition.....	9

CHAPITRE II : APERÇU GENERAL SUR LES BROYEURS

II .1 Le broyage	12
II .1.1 La définition du broyage	12
II.1.2 Les régimes de fonctionnements	13
II.1.3 Types de broyage.....	13
II 1.3.1 Broyagesec	13
II.1.3.2 Broyage humide.....	14
II.2 Le broyeur.....	14
II .2.1 Définition d'un broyeur.....	14
II.2.2 Les différentes familles de broyeurs.....	14
II.2.3 Les différents types de broyeurs	15
II.2.3.1 Broyeur autogène.....	15
II.2.3.2 Broyeur a barres	16
II.2.3.3 Broyeur à boulets.....	16
II.2.3.4 Broyeur planétaire	17
II.2.3.5 Broyeur a cylindres.....	18

Chapitre III : APERÇU SUR LES BROYEURS A BOULETS

III.1 Les broyeurs culbuteurs	20
III .1.1 Le broyeur à boulets.....	20
III.1.2 Variables d'opération.....	22
III.1.2.1 La vitesse de rotation	22
III.1.2.2 La charge de boulets.....	22
III.1.2.3 La charge de minerai	24
III.1.2.4 Le blindage des broyeurs	24
III.1.2.5 L'effet de la forme des plaques de blindage sur le comportement de la charge	25
III.1.2.6 L'énergie de fragmentation du broyeur.....	25
III.1.2.7 Effet de la dimension des boulets sur le broyage.....	29

CHAPITRE IV : DIMENSIONNEMENT

IV.1.1 Calcul de la vitesse critique de broyeur	31
IV.1.2 Calcul du volume du broyeur.....	32
IV.1.3 Calculs de la charge	32
IV 1.4 Calculs les poids	32
IV.1.5 Calcul le nombre des boulets	32
IV.2 Calcul de la puissance absorbée par le broyeur	33
IV .6.1 Les étapes du calcul sont.....	36
IV .6.1.1 Le choix du type de la courroie.....	36
IV .6.1.2 Le choix du diamètre de la poulie la plus petite	37
IV .6.1.3 Le calcul du diamètre de la poulie la plus grande.....	37
IV.6.1.4 On choisit préliminairement la distance entre les axes A.....	37
IV.6.1.5 L'angle entre les branches de la courroie	37
IV.6.1.7 La longueur de la courroie à l'état libre.....	38
IV.6.1.10 La force périphérique transmise F	40
IV.6.1.11 La tension statique par courroie T (tension par brin).....	40
IV.6.1.12 La réaction statique sur les arbres	40
IV.7 Réducteur	40
IV.7.1 Transmission par engrenage	40
IV.7.1.1 Définition	40
IV .7.1.2 Les avantages	41
IV.7.1.3 Dimensionnement préliminaire des engrenages	41
IV.7.1.3.2 Calcul les paramètres du l'arbre d'entrée	41
IV.7.1.3.3 Calcul du module :	42
IV.7.1.3.4 Calcul du rapport de transmission pour le deuxième engrenage	42
IV.7.1.3.5 Dimensionnement préliminaire de premier engrenage (Roue 1, Roue 2)	42
IV .7.1.3.6 Dimensionnement préliminaire de deuxième engrenage (Roue 3, Roue 4) ...	43
IV.8 Accouplement	43
IV.9 calcul de la force de la clavette pour l'arbre de broyeur	44
IV .10 Calcule de RDM.....	45
IV .10 .1 Dimensionnement de l'arbre.....	45
IV.11 Calcul de roulement	48

CHAPITRE V : DESCRIPTION DU BROYEUR A BOULET

V.1 Objectifs de broyeur à boulets.....	51
V.2 Représentation du broyeur à boulets	51
V.2.1 Les éléments du broyeur à boulets	51
V.2.1.1 La virole	51
V.2.1.2 La porte de visite du broyeur.....	52
V.2.1.3 Les plaques circulaires	53
V.2.1.4 Arbre du broyeur	54
V.2.1.5 Palier et châssis	54
V.2.1.6 Les roulements	55
V.2.1.7 Les éléments de blindage	55
V.2.1.7.1 les plaques de blindages en caoutchouc.....	55
V.2.1.7.3 Le revêtement du fond du broyeur	58
V.3 Engins broyant (les boulets) :.....	60
V.4 Les types de broyeurs utilisés pour les applications de caoutchouc.....	60
V.4 .1 Avantage des revêtements des broyeurs en caoutchouc.....	60
Conclusion générale	63

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Modes de broyage d'un grain de poudre selon Rumpf, lors de broyages mettant en jeu des boulets et/ou les parois d'un broyeur	4
Figure I.2 : illustrant l'extraction	6
Figure I.3 : illustrant le concassage.....	7
Figure I.4 : Hall de stockage et pré homogénéisation de la cimenterie de Sour El Ghozlane. ..	7
Figure I.5: Broyeur du cru de la cimenterie de Sour El Ghozlane	8
Figure II.1 : les actions de sollicitation	12
Figure II.2 : types de mouvement dans un broyeur à boulets.....	13
Figure II.3 : broyeur autogènes (type aerofall)	15
Figure II.4 : broyeur autogène (type a cascade Harding	15
Figure II.5 : Broyeur à barres et barres de broyage de précision	16
Figure II.6 : Principe de broyeur à boulets	17
Figure II.7 : broyeur planétaire	17
Figure II.8 : broyeur à cylindre	18
Figure III. 1: Broyeur à boulets	21
Figure III.2 : Régimes de broyage dans un broyeur à boulets (axe horizontal), vitesse de rotation du broyeur croissante de gauche à droite	Erreur ! Signet non défini.
Figure III.3 : géométrie du remplissage de la charge de boulets	23
Figure III.4: Blindages des viroles des broyeurs à boulets	Erreur ! Signet non défini.
Figure III.5: formes prévues de la charge pour un broyeur à des plaques d'angles différents... Erreur ! Signet non défini.	
Figure III.6: broyeur à boulet	Erreur ! Signet non défini.
Figure IV.1 : position du boulet sur la barre de relevage.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure IV.2: Nomogramme pour le choix des courroies trapézoïdales étroites.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure IV.3: Forces dans les courroies trapézoïdales étroites.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure IV.4: Accouplement élastique compact.....	Erreur ! Signet non défini.

Figure IV.5: Représentation des efforts appliqués sur l'arbre	Erreur ! Signet non défini.
Figure IV.6: diagramme des moments fléchissant	Erreur ! Signet non défini.
Figure V. 1: Le broyeur à boulets	51
Figure V. 2: la virole	52
Figure V. 3: la porte de virole	52
Figure V. 4: la virole plus la porte de visite	52
Figure V. 5: plaques circulaires.....	53
Figure V. 6: plaques circulaire plus un anneau	53
Figure V. 7: Fixation des plaques circulaires sur les deux fonds de la virole avec des boulons	53
Figure V. 8: Arbre du broyeur.....	54
Figure V.9: plaque plane de fixation	54
Figure V.10: Palier plus le châssis	54
Figure V.11: les roulements	55
Figure V.12: Le revêtement de la virole	56
Figure V.13: la barre de relevage	56
Figure V.14: plaque de virole.....	56
Figure V.15 : Système de fixation.....	57
Figure V.16 : Système de fixation après le serrage.....	57
Figure V.17 : Le revêtement du fond du broyeur.....	58
Figure V.18 : Plaque de fond	58
Figure V.19 : Système de fixation.....	59
Figure V.20: Système de fixation après le serrage.....	59
Figure V.21 : Revêtement de la porte-visite	59
Figure V.22 : Les engins broyants	60
Figure V.23 : Broyeur a boulet.....	61

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1: Compositions chimiques de mélange cru	Erreur ! Signet non défini.
Tableau III. 1: Valeur du facteur correctif f2 pour différentes mailles de tamis.....		Erreur ! Signet non défini.
Tableau IV.1: Rendements de quelques couples de frottement.	35	
Tableau IV.2: les types des moteurs.....	35	
Tableau IV.3: Les caractéristiques du moteur.....	36	
Tableau IV.4 : Série des diamètres des poulies.....	37	
Tableau III.5 : Courroies trapézoïdales. Dimensions et longueurs initiales.....	39	
Tableau IIV.6: dimensions et longueurs initiales.....	39	
Tableau IV.7 Dimensionnement préliminaire de premier engrenage (Roue 1, Roue 2).....	42	
Tableau IV.8 Dimensionnement préliminaire de deuxième engrenage (Roue 3, Roue 4).....	43	
Tableau V. 1: Caractéristiques technique de notre broyeur à boulets.....	61	

LISTE DES SYMBOLES

a	: Profondeur entre le centre du broyeur et le dessus de la charge (m)
A	: L'entraxe entre les deux poulies
B	: Diamètre des boulets (mm)
C_1	: Le couple reçu par l'arbre 1
D	: le diamètre interne du broyeur
D_{in}	: Diamètre intérieur du blindage du broyeur
D_{P2}	: Diamètre primitif de la deuxième poulie
D_{P1}	: Diamètre primitif de la première poulie
F	: des facteurs correctifs
f	: fraction de la vitesse critique
h	: Hauteur au-dessus de la charge (m)
i_{eng2}	: La fraction pour le deuxième engrenage
i_{eng1}	: La fraction pour le premier engrenage
J	: taux de remplissage du broyeur
L_p	: La longueur de la courroie à l'état libre
M	: Le module
m_b	: Masse des boulets
V_c	: vitesse de rotation critique (tr/min)
N_M	: vitesse de rotation de moteur
$N_{N,R}$: La vitesse de rotation de l'arbre d'entrée
$N_{E,R}$: La vitesse de rotation de l'arbre de sortie
p_b	: Poids des boulets
p_M	: La puissance de moteur
p_C	: Poids de clinker
p_1	: La puissance reçue par l'arbre 1
r_b	: Le rayon du boulet
r_f	: Rayon interne de la fiole (broyeur)
S	: Longueur de la corde (m)
V_c	: Volume apparent de clinker
V_B	: Volume du broyeur
V_b	: Volume apparent des boulets
W_B	: L'énergie de fragmentation du broyeur

W_C	: l'énergie corrigée consommée (kWh/t)
W_i	: Indice énergétique (kWh/sht)
W_1	: La vitesse angulaire de premier arbre
V_{TCT}	: La vitesse périphérique de la courroie
Z_b	: facteur tenant compte de la taille des boulets
ρ_b	: Masse volumique des boulets
α	: Angle sous-tendu de la moitié de la corde au centre du broyeur (°)
ε	: La porosité formelle du lit de boulets
ρ	: masse volumique du corps broyant (g/cm ³)
ρ_c	: Masse volumique apparent de clinker
γ	: L'angle entre les branches de la courroie
β_1	: L'angle d'enroulement sur la poulie la plus petite
β_2	: L'angle d'enroulement sur la poulie la plus grande
$[\sigma]$: La limite d'élasticité de matériau

Introduction générale

Introduction générale

Introduction générale

Le ciment est un matériau de base qui trouve de nombreuses applications dans le génie civil. Son utilisation est généralisée dans le monde entier. Face à une population mondiale et à un développement croissants, les besoins en produits cimentiers pour la construction des bâtiments et des infrastructures de communication sont considérables.

D'autre part, l'économie de marché mondiale astreint les industriels à rester toujours plus compétitifs pour la survie de leurs activités. Ceci implique en partie de développer des moyens de production performants et économiquement viables.

Pour produire le ciment qui est un produit de base élaboré, mais ayant pourtant un prix de vente somme toute assez faible, l'industrie cimentière a dû optimiser son processus de fabrication. Il s'agit d'un procédé de fabrication très consommateur d'énergie électrique, surtout au niveau des opérations de broyage et du traitement thermique.

Le broyage est l'étape du traitement de minerai qui prépare la matière première pour l'extraction des minéraux ou métaux de valeur.

C'est dans cet objectif qu'on se propose de faire une étude de conception d'un broyeur à boulet de laboratoire.

Le mémoire est organisé en Cinq chapitres comme suit :

- Le premier chapitre est consacré à l'aperçu général sur les ciments.
- Le deuxième chapitre est réservé à l'aperçu général sur les broyeurs.
- Dans le troisième chapitre est dédié à l'aperçu sur broyeur a boulet.
- Dans le quatrième chapitre on procéder calcul de broyeur a boulet et transmission par courroie et dimensionnement préliminaire d'un réducteur.
- Le cinquième chapitre est réservé à la description de broyeur à boulets.

CHAPITRE I

APERÇU GENERAL SUR LES CIMENTS

Introduction

Afin de mieux cerner nous avons jugé utile de mettre en œuvre ce chapitre intitulé aperçu général sur les ciments, qu'on a consacré aux définitions des notions de base qui vont nous guider tout le long de notre travail.

D'abord, nous abordons ce chapitre par une définition du ciment, ajoutant à cela les modes de broyages, dans lequel nous évoquant les trois modes principales du broyage : Broyage par frottement, broyage par écrasement, broyage par percussion.

En suite nous allons mettre le terme sur les méthodes et étapes de la fabrication du ciment.

I.1 Définition d'un ciment

Le ciment est un produit moulu du refroidissement du clinker qui contient un mélange de silicates et d'aluminates de calcium porté à 1450 – 1550 °C, température du fusion.

Le ciment usuel est aussi appelé liant hydraulique, car il a la propriété de s'hydrater et de durcir en présence d'eau et par ce que cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium [1].

L'expression de « pâte de ciment durcissant » sera utilisée pour désigner la pâte de ciment dans la transformation d'un état plus ou moins fluide en un état solide.

I.2 Modes de broyage du clinker

Le clinker est un matériau dur, et les modes de broyage qui lui sont le plus adaptés sont la percussion, l'impact et la pression ou écrasement. (Figure I-1) [2]

I.2.1 Broyage par percussion

Le mode de broyage par percussion met en jeu l'énergie cinétique du milieu de broyage (parois et projectiles constitués de billes par exemple) ou celle des grains de poudre « en vol » dans l'enceinte du broyeur. Sous les sollicitations imposées par percussion ou par impact, les grains de clinker sont sujets à un mécanisme de fragmentation par rupture globale de leur volume. Cela réduit substantiellement la taille des grains [2].

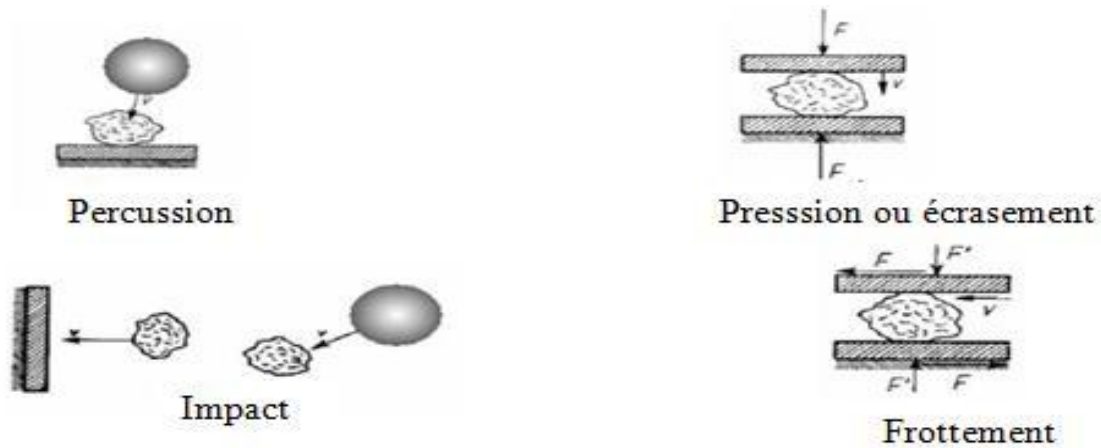


Figure I.1 : Modes de broyage d'un grain de poudre, lors de broyages mettant en jeu des boulets et les parois d'un broyeur [2]

I.2.2 Broyage par écrasement

Le mode par écrasement, les grains sont soumis à des forces normales. Les contraintes sont concentrées dans un volume partiel à la surface de la particule. Les broyeurs basés sur l'écrasement compriment les particules entre deux surfaces.

I.2.3 Broyage par frottement [2]

Le mode de broyage par frottement de grains de clinker entre eux ou entre deux billes existe aussi dans les broyeurs classiquement utilisés (broyeurs à boulets). Dans ce cas, la force appliquée est majoritairement tangentielle à la surface de la particule. Cela mène à la production de beaucoup de fines particules due à l'érosion progressive de la surface des grains.

I.3 Méthodes et étapes de fabrication du ciment

La fabrication de ciment se réduit schématiquement aux trois opérations suivantes : préparation du cru, cuisson, et broyage et conditionnement. Le principe de la fabrication du ciment est le suivant : calcaires 80 % et argiles 20 % sont extraits des carrières, puis concassés, homogénéisés, portés à haute température (1450 °C) dans un four rotatif. Le produit obtenu après refroidissement rapide (la trempe) est le clinker [3].

Il existe 4 méthodes de fabrication du ciment qui dépendent essentiellement du matériau :

- Fabrication du ciment par voie humide (la plus ancienne) ;
- Fabrication du ciment par voie semi-humide (en partant de la voie humide) ;
- Fabrication du ciment par voie sèche (la plus utilisée) ;
- Fabrication du ciment par voie semi-sèche (en partant de la voie sèche) ;

I.3.1 Extraction et concassage les matières premières

Les matières premières sont extraites de carrières généralement à ciel ouvert. Les blocs obtenus sont transportés vers l'atelier de concassage et réduits dans en éléments d'une dimension maximale de 20 mm. Ces concasseurs sont situés parfois sur les lieux mêmes de l'extraction [4].

I.3.2 Préparation de la matière première

Les grains de calcaire et d'argile sont mélangés par broyage et délayage, dans les proportions définies, en un mélange très fin ($< 200 \mu\text{m}$) le « cru ». À cette occasion, des corrections de composition peuvent être effectuées en incorporant des ajouts en faible proportion : (Alumine, oxyde de fer) (Tableau I.1). Le cru est préparé automatiquement sous forme de poudre (voie sèche) ou de pâte (voie semi-humide ou humide), en fonction de la technique de fabrication utilisée [5].

Chaux (CAO)	Silice (SiO ₂)	Alumine (Al ₂ O ₃)	Oxyde de fer (Fe ₂ O ₃)
60à70%	18à24%	4à8%	1à8%

Tableau I.1: Compositions chimiques de mélange cru [6].

I.3.2.1 Voie humide

Les blocs sont déversés dans un bassin de délayage (alimenté d'eau), à l'intérieur duquel tourne une herse qui effrite et divise la matière. La pâte ainsi obtenue qui est encore grossière est ensuite broyée et envoyée dans des bassins de stockage pour y être homogénéisée mécaniquement [4].

I.3.2.2 Voie sèche

I.3.2.2.1 Carrière

La carrière en cimenterie constitue la source en matières premières lesquelles subiront des transformations pour fabriquer le produit fini. Les matières premières doivent contenir certains éléments chimiques (carbonate de calcium, oxyde de fer, alumine et silice) et sont généralement des calcaires et des argiles. Elles sont extraites au niveau de la carrière sous forme de blocs de dimensions très variées (1 m à 3 m). Ces matières premières après extraction sont acheminées par des dumpers au concasseur (Figure I.2) [7].

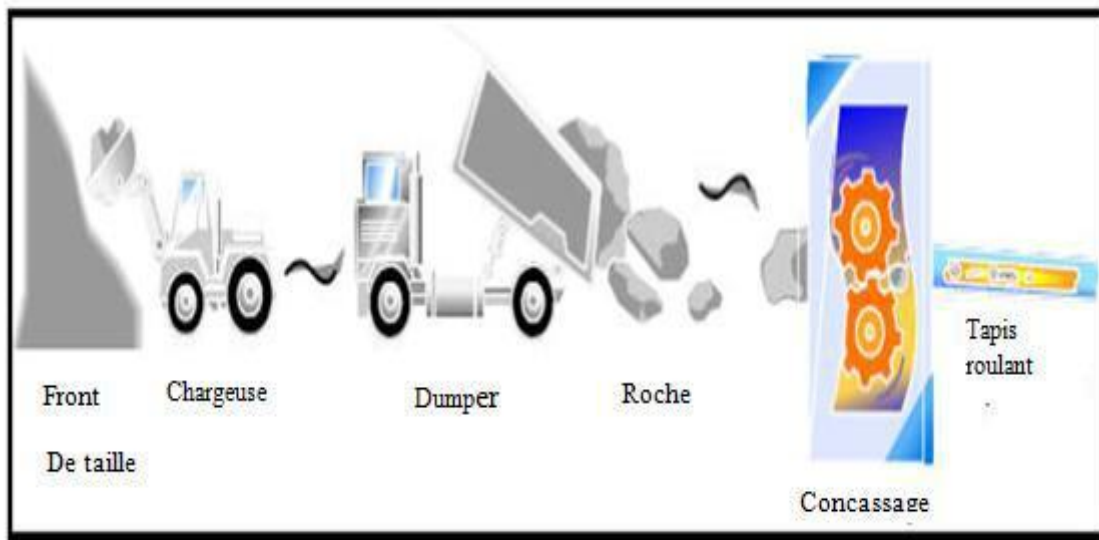


Figure I.2 : Illustrant l'extraction [7].

I.3.2.2.2 Concassage

En vue d'optimiser et faciliter le stockage et la manutention des matières premières, les blocs extraits au niveau de la carrière sont introduits dans un concasseur pour réduire leurs dimensions (5 cm à 2 cm) (figure I.3), le concassage consiste à soumettre les matières premières à des efforts d'impact, de cisaillement ou de compression. Le type du concasseur est choisi en fonction du procédé de concassage adopté par la cimenterie [7].

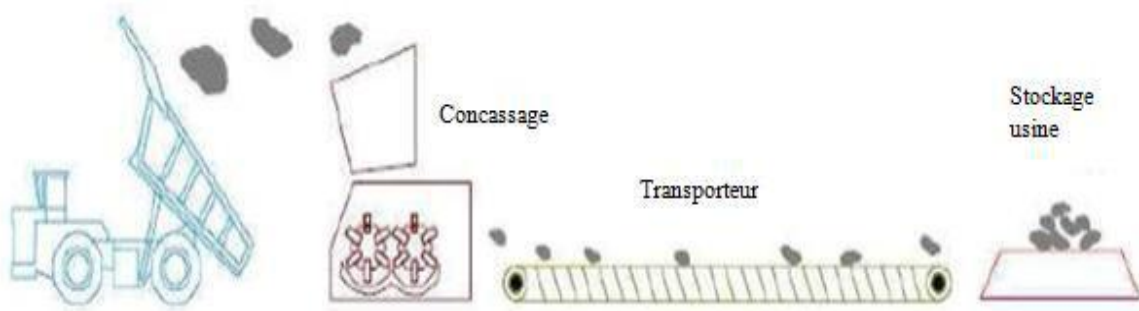


Figure I.3 : Illustrant le concassage.

I.3.2.2.3 Le dépoussiérage

Le dépoussiérage de l'atelier de concassage est assuré par un filtre à manches qui permet la récupération des matières très fines pour les remettre dans un circuit. Ceci permet à la fois un gain en productivité et une réduction des nuisances engendrées par les poussières aussi bien pour l'installation que pour le personnel.

I.3.2.2.3 Pré homogénéisation

Après le concassage de la matière première, on mélange de façon aussi homogène que possible les composants. La pré homogénéisation des matières premières est une opération qui consiste à assurer une composition chimique régulière du mélange des matières premières. Des échantillons du mélange des matières premières sont prélevés lors de la constitution des tas dans une station d'échantillonnage (Figure I.4) [7].



Figure I.4 : Hall de stockage et pré homogénéisation de la cimenterie de Sour El Ghoulane.

I.3.2.2.4 Broyage cru

Les matières préparées par le procédé du concassage et le pré homogénéisation doivent être maintenues réduites à la finesse requise pour la cuisson.

Le broyage et le séchage des matières premières se font dans un broyeur vertical à deux paires de galets avec un séparateur incorporé (Figure I.5). Le séchage de la matière est assuré par les gaz chauds en provenance de la tour de préchauffage et du refroidisseur en cas de besoin. La matière fine à la sortie du séparateur est récupérée sous forme de farine dans les cyclones et dans le filtre cru [7].



Figure I.5: Broyeur du cru de la cimenterie de Sour El Ghozlane

I.3.2.2.5 Homogénéisation

L'atelier de l'homogénéisation a pour rôle d'assurer un stock tampon de farine entre le four et l'atelier cru, ainsi que rendre le plus stable possible la composition chimique et granulométrique de la farine à l'alimentation du four pour que la cuisson soit régulière. Le cru est homogénéisé et ensuite stocké dans le silo d'Homogénéisation d'une de capacité 4500 tonnes [7].

I.3.2.2.6 Préchauffage

Afin de récupérer la chaleur de gaz sortant du four, la matière dans cinq cyclones montés en série grâce à un élévateur. Un ventilateur à la base propulse les gaz chauds et les fait tournoyer dans chaque cyclone assurant ainsi un bon échange thermique. Ces cyclones servent à déshydrater, chauffer, décarbonater partiellement la matière et aussi ils récupèrent la poussière contenue dans le gaz. On considère que 95 % sont ainsi retenues, les 5 % restant se dirigent vers un filtre.

I.3.2.2.7 Cuisson ou calcination

La cuisson est un ensemble de réactions physico-chimiques endothermiques et exothermiques réalisées à haute température qui déterminent les propriétés effectives du produit fini, qui est le ciment [5].

Le processus de cuisson peut se décomposer en plusieurs phases successives :

- Déshydratation. Séchage (100 à 500 °C) ;
- Décarbonatation. Calcination (800 à 1100 °C) ;
- Clinkérisation. Fusion partielle (1200 à 1500 °C)

I.3.2.2.8 Broyage du ciment

Pour obtenir un ciment aux propriétés hydrauliques actives, le clinker doit être à son tour broyé très finement. Ce broyage s'effectue dans des broyeurs à boulets. Les corps broyants sont constitués de boulets d'acier qui, par choc, font éclater les grains de clinker progressivement le ciment à l'état de fine farine, ne comportant que très peu de grains supérieurs à 80 microns. À la sortie du broyeur, un cyclone sépare les éléments suffisamment fins des autres qui sont renvoyés à l'entrée du broyeur. C'est également lors du broyage que l'on ajoute au clinker le gypse (3 à 5 %) indispensable à la régulation de prise du ciment.

Les ciments aux ajouts sont obtenus par addition, lors du broyage du clinker, du gypse et des éléments minéraux comme les laitiers de hauts fourneaux, les cendres de centrales thermiques, les fillers calcaires, les pouzzolanes naturelles ou artificielles. Ainsi sont obtenues les différentes catégories de ciments qui permettront la réalisation d'ouvrages allant du plus courant au plus exigeant [8].

I.3.2.2.9 Stockage et expédition

Les expéditions comprennent le stockage du ciment, son conditionnement (ensachage). En cas de livraison par sacs et son chargement sur l'outil de transport (camion, train). Acheminés vers les silos de stockage par transport pneumatique ou mécanique, les ciments quittent l'usine en sacs (92.81% de l'expédition) ou en vrac (7,19 % de l'expédition). Les sacs contiennent généralement 50 kg de ciment et l'ensachage atteint fréquemment 100 tonnes par heure. Les sacs sont acheminés vers des palettiseurs qui constituent des palettes de 1500 kg transportées par camion. Le ciment livré en vrac est transporté par camion-citerne.

Conclusion

Nous avons consacré ce chapitre à la définition du ciment, les modes de broyage, les méthodes et les types de la fabrication du ciment.

Nous avons commencé ce chapitre par une brève définition du ciment, ensuite nous avons touché aux modes de broyage (broyage par percussion, broyage par écrasement et broyage par frottement)

Après nous avons cité les méthodes et les étapes de fabrication du ciment.

CHAPITRE II
APERCU GENEAL SUR LES BROYEURS

Introduction

Comme notre travail consiste à la conception d'un broyeur à boulets, il nous est paru indispensable de réserver ce chapitre à l'aperçu général sur les broyeurs, qui contient deux parties essentielles qui sont en relation avec les notions du broyage et du broyeur.

En premier lieu nous allons faire un rappel sur le concept du broyage, les régimes de fonctionnements et les types de broyage qui est à son tour repartie en deux catégories : le broyage sec et le broyage humide.

En suite nous définirons le broyeur, ainsi nous évoquons les différentes familles de broyeurs, les différents types de broyeurs (Broyeur autogène, Broyeur a barres, Broyeur à boulets, Broyeur planétaire, Broyeur a cylindres).

II .1 Le broyage

II .1.1 La définition du broyage

Broyer quelque chose ; c'est-à-dire réduire la matière en petits fragments ou en poudre, Pour cela il faut la soumettre à des forces de contrainte supérieure à sa résistivité, et on appelle cette action dans l'RDM dépasser le domaine d'élasticité et critique de la matière et la ramener à son domaine de rupture [9].

Dans la nature il existe cinq types d'actions principales qui nous permettent de solliciter une matière : compression, traction, cisaillement, flexion ou la torsion. Mais aussi on peut la sollicité à une fusion de ces actions (figure II.1).

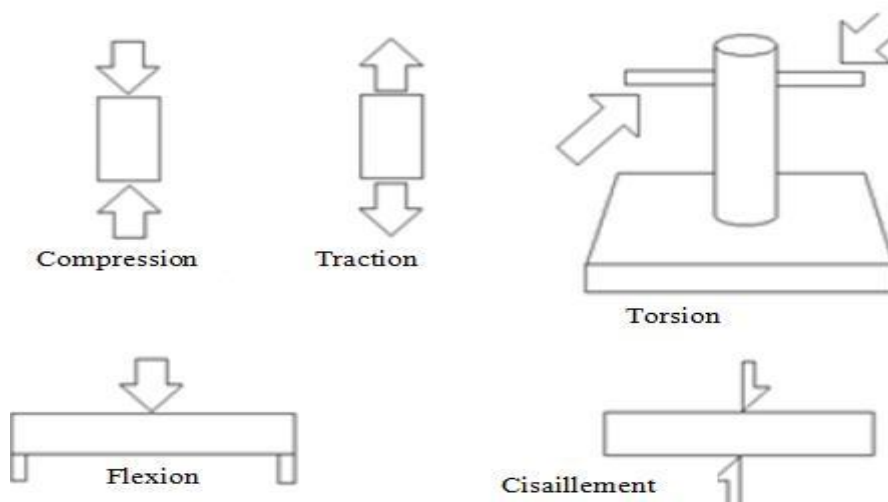


Figure II.1 : Les actions de sollicitation [9].

Dans ce but (broyage) on dispose des machines qui ont un principe généralement basé sur le cisaillement ou la compression qui accomplissent le broyage, et on les appelle les broyeurs.

II.1.2 Les régimes de fonctionnements

La vitesse à laquelle le broyeur tourne est un élément déterminant du processus de broyage. C'est ce paramètre qui va déterminer le régime de fonctionnement du broyeur.

- À vitesse réduite, le régime est dit « en cascade ». Dans ce cas, la charge broyante a tendance à rouler jusqu'au point bas du cylindre.
- À plus haute vitesse, le régime est dit « en cataracte ». La charge broyante est dans ce cas projetée sur les granulats à broyer en une série de paraboles et s'écrase sur ces derniers.

Lorsque la vitesse augmente encore, la charge broyante ainsi que les granulats sont plaqués contre les parois et il n'y a plus aucune réduction de taille. Ce point correspond à la vitesse critique du système [10].

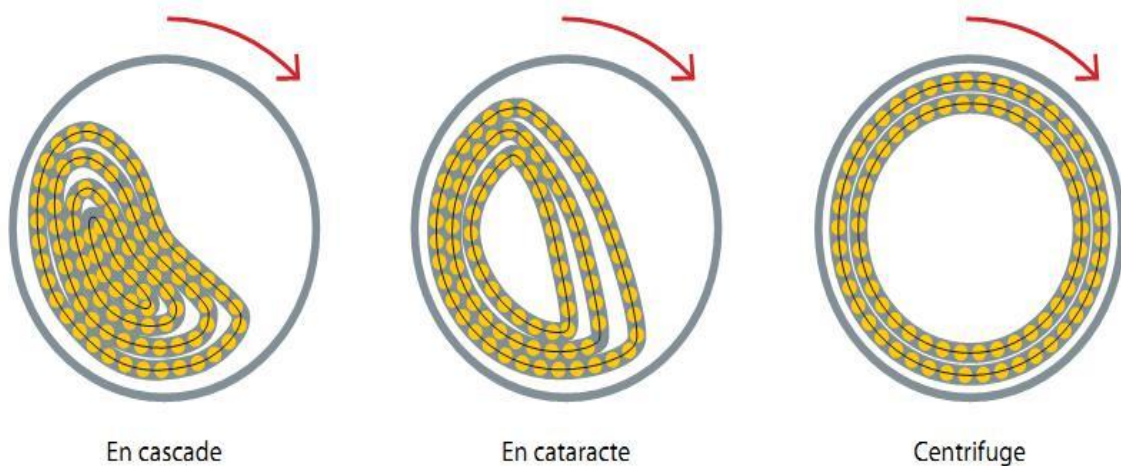


Figure II.2 : Types de mouvement dans un broyeur à boulets [10]

II.1.3 Types de broyage

II 1.3.1 Broyage sec [11]

Il est surtout utilisé depuis plus de 70 ans. Un broyage qui diminue les frais de séchage des produits broyés, quand la roche doit être séchée ou calcinée avant d'être transportée. Toutefois, un séchage est indispensable pour amener le taux d'humidité à environ 2 %.

II.1.3.2 Broyage humide [11]

Les broyeurs opèrent sur des pulpes minérales et remplacent les concasseurs secondaires et les broyeurs à barres dans des installations de minerais non ferreux en effectuant une réduction de taille avec une production d'un minimum de fine afin de faciliter les traitements ultérieurs.

II.2 Le broyeur**II.2.1 Définition d'un broyeur**

Un broyeur est une machine de broyage des matériaux qui est réalisé par un mariage de deux parties suivantes :

- Partie électrique qui contient un circuit de commande (tableau de commande) et un circuit de puissance (moteur électrique ou thermique).
- Partie mécanique qui comporte une trémie, des axes, des outils de broyage (Couteaux, lames, marteaux... etc.), un réducteur de vitesse, et une carcasse qui assure l'assemblage de tous ces éléments... etc. [12].

II.2.2 Les différentes familles de broyeurs

Quel que soit le type de broyage, sec ou humide, les mécanismes mis en jeu lors de la fragmentation sont identiques, la seule différenciation est liée à l'utilisation finale du produit le premier classement proposé est lié au mode de fonctionnement. Selon Meric (25) ce classement peut se faire de la façon suivante :

- les broyeurs travaillant par écrasement lent : broyeurs à meules,
- les broyeurs agissants par percussion, par compression ou par chocs : broyeurs à boulets,

En réalité la variété des broyeurs existants est infinie. La plupart ont un mode de fonctionnement complexe qui fait intervenir plusieurs mécanismes. C'est pour cette raison que les classifications récentes sont basées sur un groupement par famille de broyeurs :

- les broyeurs à chute : broyeurs à boulets, à barres, semi-autogènes et autogènes.
- les broyeurs à écrasement vertical : broyeurs à meules, à cylindres.
- les broyeurs à écrasement vertical : broyeurs à meules, à cylindres.

Les broyeurs de conception très récente ont deux grandes caractéristiques : une diminution des pièces mécaniques en mouvement et une augmentation, au moins locale, de l'énergie effectivement consacrée à la fragmentation [13].

II.2.3 Les différents types de broyeurs

II.2.3.1 Broyeur autogène

Le broyage autogène consiste à utiliser comme corps broyant le minerai lui-même. (Voir figure II.3 et II.4 ci-dessous) Lorsque le milieu broyant est constitué par des morceaux de minerai auxquels on ajoute des boulets d'acier, le broyage est dit semi-autogène. Le broyage autogène a deux avantages évidents :

- Il est moins consommateur d'acier que les procédés classiques.
- Il réduit le nombre d'étages de concassage et de broyage.

Le minerai entrant dans le broyeur autogène doit contenir au moins 25 % en masse de morceaux de taille supérieure à 150-200 mm.

Le produit sortant est caractérisé par l'importance des particules correspondant à des éléments constitutifs de la roche non affectés par la fissuration [14].

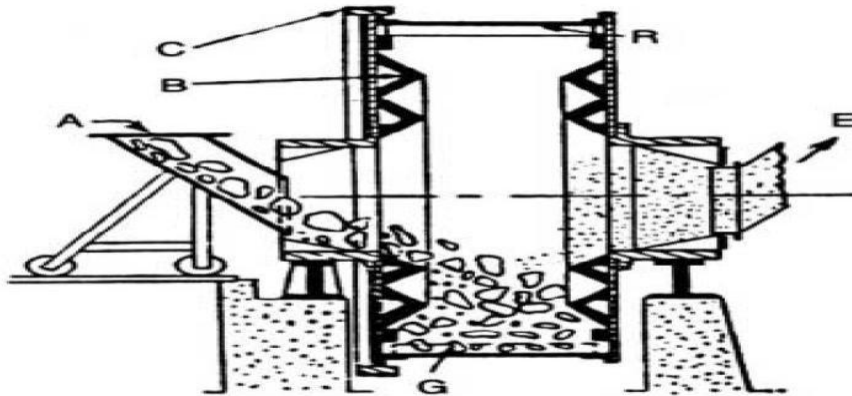


Figure II.3 : Broyeur autogènes (type aerofall) [14].

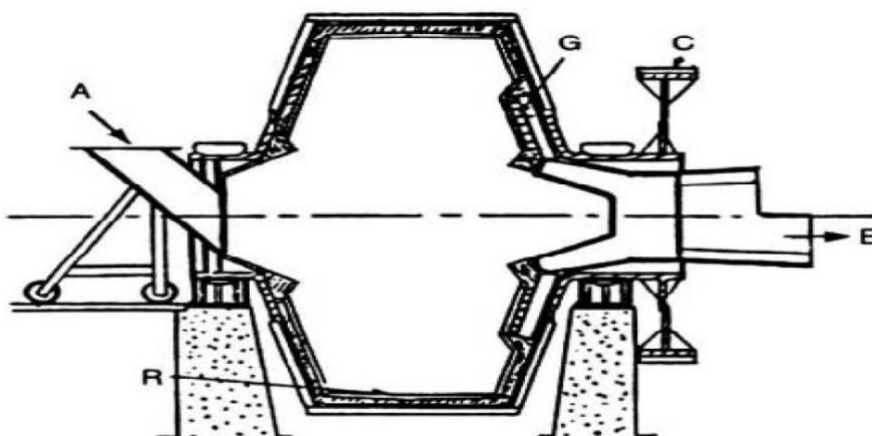


Figure II.4 : Broyeur autogène (type a cascade Harding) [14].

- A- Alimentation ;
- B- Blindages latéraux (déflecteurs)
- C- Couronne dentée d'entraînement ;
- E- Extraction par air ;
- G- Grille ;
- R- Rails de relevage ;

II.2.3.2 Broyeur a barres

Le broyeur à barres repose sur le même principe que le broyeur à boulets. La différence vient simplement de l'utilisation de barre plutôt que de boulet. Les barres sont généralement faites en acier très résistant (haut % Carbone) [10].



Figure II.5 : Broyeur à barres et barres de broyage de précision

[10]. II.2.3.3 Broyeur à boulets

Les broyeurs à boulets sont destinés à moudre des solides en poudres très fines. Ils sont donc habituellement très prisés pour le broyage fin.

Les broyeurs industriels fonctionnent généralement en continu : ils sont chargés à une extrémité et déchargés à l'autre.

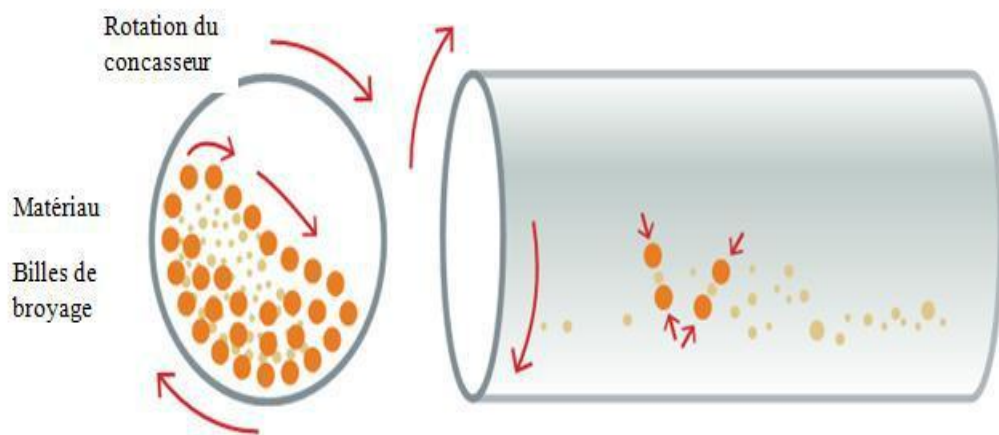


Figure II.6 : Principe de broyeur à boulets [10]

II.2.3.4 Broyeur planétaire

La caractéristique d'un broyeur planétaire est de présenter deux rotations combinées effectuées selon des axes verticaux : celle du plateau et celle des bols de broyage excentrés par rapport au centre du plateau (figure II.7). Les bols de broyage sont placés en opposition sur leur poste respectif pour ne pas déséquilibrer l'appareil, la rotation des bols se fait dans le sens opposé à celui du plateau. Les bols de broyage contiennent des billes comme corps broyant.

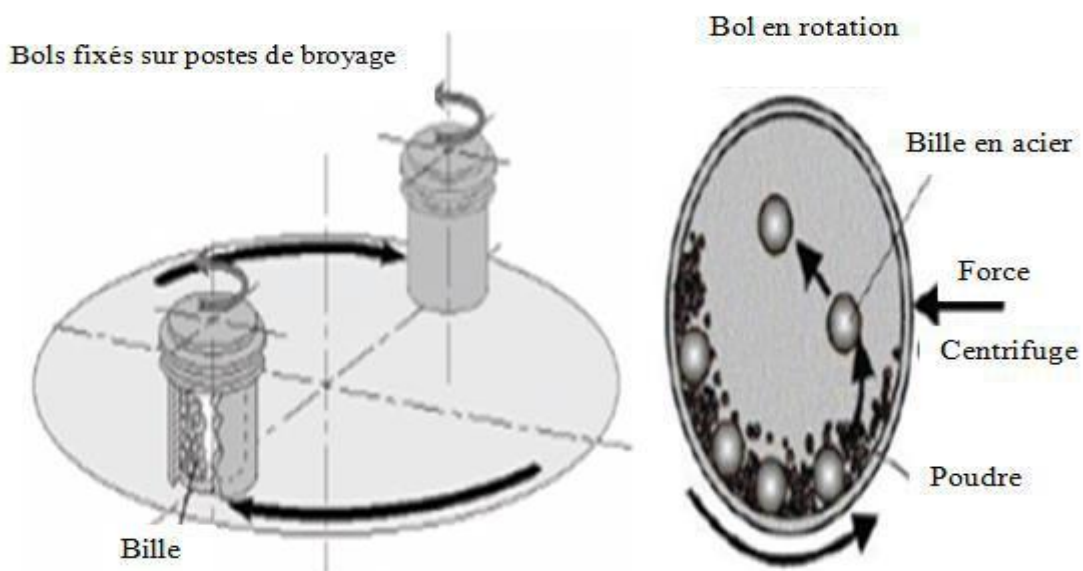


Figure II.7 : Broyeur planétaire [15]

II.2.3.5 Broyeur a cylindres

Les cylindres peuvent être lisses ou striés de fines cannelures et tournent presque l'un au contact de l'autre à des vitesses différentielles ou synchrones (voir la figure II. 8 ci-dessous). Dans certains appareils où les surfaces doivent être soigneusement polies, une rectifieuse automatique montée sur le broyeur permet de maintenir l'état de surface des cylindres.

De même, pour le traitement des produits collants, des racloirs réglables sont prévus sur les appareils. Le réglage de l'écartement des cylindres se fait par un système de coins ou par vis micrométrique. La pression de broyage est généralement obtenue par voie hydraulique [14].

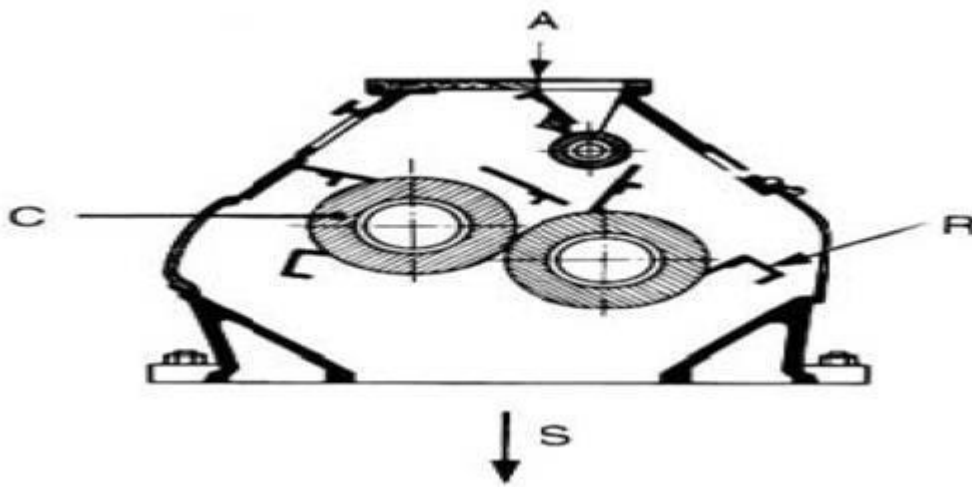


Figure II.8 : Broyeur à cylindre [14].

A : Alimentation

C : Cylindre

R : Racloir

S : Sortie

Conclusion

Nous avons consacré ce chapitre à donner un aperçu général du broyage et du broyeur, nous avons entamé par une définition du broyage, les régimes de fonctionnement, types de broyage (le broyage sec, le broyage humide).

Ensuite nous avons retracé la définition du broyeur, les différentes familles de broyeurs et les différents types de broyeurs.

CHAPITRE III

APERCU SUR BROYEUR A BOULES

Introduction

Ce présent chapitre est entièrement consacré au broyeur à boulet, sa définition, Variables d'opération qui sont des paramètres de base qui vont nous guider dans la construction du notre broyeur a boulets (La vitesse de rotation, la charge de boulets, le blindage des broyeurs...etc.).

III.1 Les broyeurs culbuteurs

Les broyeurs culbuteurs sont constitués d'une coquille cylindrique horizontale, recouverte avec un blindage renouvelable qui s'use au fur et à mesure de ses utilisations. Les modèles imposants sont généralement motorisés par leur axe tandis que les plus modestes sont déposés sur des cylindres en rotation. Le diamètre du broyeur va déterminer la pression exercée sur les granulats solides lors du broyage. Ainsi, plus les granulats contiendront de gros blocs, plus le rayon du broyeur sera grand.

Les broyeurs culbuteurs sont susceptibles de contenir une charge broyant (boulets, barres ...) et libre de se mouvoir dans le cylindre. Le frottement de cette charge contre les parois permet de les mettre en mouvement. La plupart de l'énergie est alors dépensée pour mettre en mouvement la charge broyant. De plus, il y a de très fortes pertes en énergie en chaleur, bruit, et autres. Au décompte final, seule une fraction minime est réellement utilisée pour fragmenter les particules [10].

III .1.1 Le broyeur à boulets

Les étapes finales de la comminution sont accomplies dans les broyeurs à culbute utilisant des boulets en acier comme corps broyant : il s'agit des broyeurs à boulets. Ils sont appropriés pour donner un produit fin. (Voir la figure III.1).

Le broyage à l'intérieur d'un broyeur à culbutes est influencé par différentes variables dont la vitesse de rotation, la charge de boulets, la charge de matière à broyer, la forme des releveurs, la granulométrie d'alimentation, le diamètre du broyeur, la longueur du broyeur, la présence d'une grille de décharge, la viscosité de la pulpe, la forme des boulets, le diamètre des boulets et la concentration en solides de la pulpe d'alimentation [16].

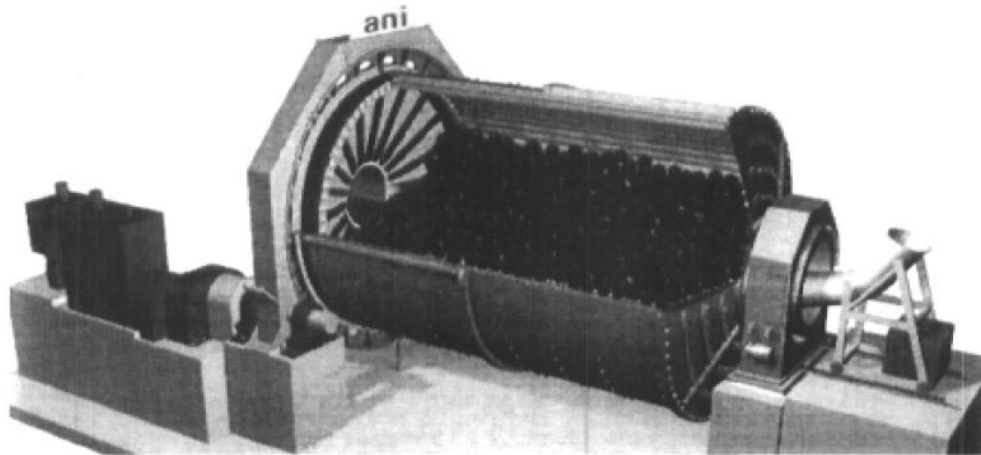


Figure III. 1: Broyeur à boulets [16].

Dans un broyeur à boulets classique, le mouvement des boulets est fonction de la vitesse de rotation et du diamètre interne du broyeur. Ce mouvement a une influence sur les modes de broyage mis en jeu pour broyer la poudre. Pour un même diamètre de broyeur, lorsque la vitesse augmente, les billes passent d'un régime de glissement à un régime dans lequel elles restent plaquées contre les parois du broyeur (figure III.2) [15].

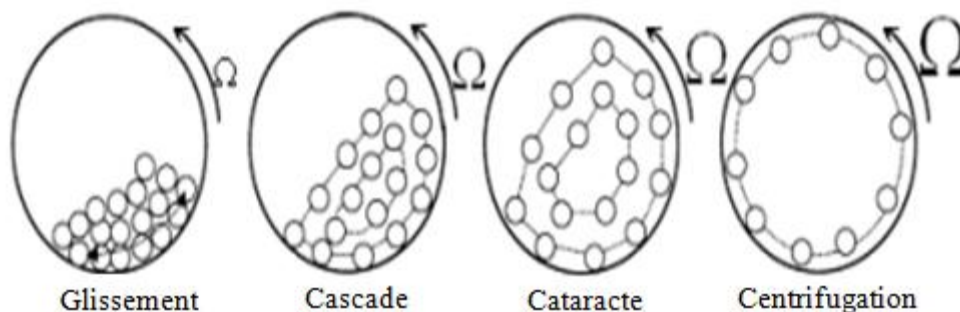


Figure III.2 : Régimes de broyage dans un broyeur à boulets (axe horizontal), vitesse de rotation du broyeur croissante de gauche à droite [15].

Dans les broyeurs à boulets industriels la vitesse est fixée pour que le mouvement des boulets soit en cascade. En effet dans ce cas les boulets retombent perpendiculairement à la surface du broyeur, ce qui correspond à l'énergie de choc maximale [15].

III.1.2 Variables d'opération

III.1.2.1 La vitesse de rotation

La vitesse de rotation du broyeur est exprimée comme un pourcentage de la vitesse (V_c), définie comme la vitesse de rotation à laquelle la charge se retrouve collée à la surface du blindage. Les broyeurs à boulets sont opérés à une vitesse aussi élevée que possible mais en évitant la centrifugation des corps broyant, c'est-à-dire autour de 70-80% de la vitesse critique. La vitesse critique peut-être exprimée par les relations suivantes :

$$v_c = 42,3/\sqrt{D - d} \quad (D, d \text{ en m}) \quad (1)$$

Où, D est le diamètre interne du broyeur et d le diamètre maximal des boulets. Lorsque la vitesse de rotation est relativement faible, l'action de culbutage des boulets est relativement douce ; le mouvement du corps broyant est en cascade et il conduit à un broyage fin qui augmente la production de schlamms et l'usure du blindage. Lorsque la vitesse de rotation est élevée, le mouvement du corps broyant est en cataracte et il conduit à la comminution par impact qui donne un produit final plus grossier, avec une usure réduite du blindage (Wills, 2006).

La vitesse à laquelle un broyeur tourne est importante parce qu'elle gouverne la granulométrie du produit et la quantité d'usure du blindage de la coquille [16].

III.1.2.2 La charge de boulets

La charge de boulets est l'ensemble de boulets contenu dans le broyeur. Le volume de la charge (boulets et pulpe) représente environ 40 à 50% du volume interne du broyeur (Wills, 2006). La puissance exigée par le moteur du broyeur est habituellement utilisée pour mesurer la charge de boulets. On charge régulièrement les broyeurs avec de nouveaux corps broyant à une puissance cible selon une certaine cédule. Cette puissance cible devrait être augmentée quand l'usure du blindage de la coquille (en quelques semaines) et des extrémités du broyeur (de six à douze mois) augmente (Austin et al. 1984).

Il est possible d'arrêter le broyeur et de mesurer la hauteur comprise entre l'ensemble des boulets (lit de boulets) et le sommet du broyeur. Cela permet d'estimer la fraction volumique de boulets, J , en utilisant les courbes de la figure III.3 [16].

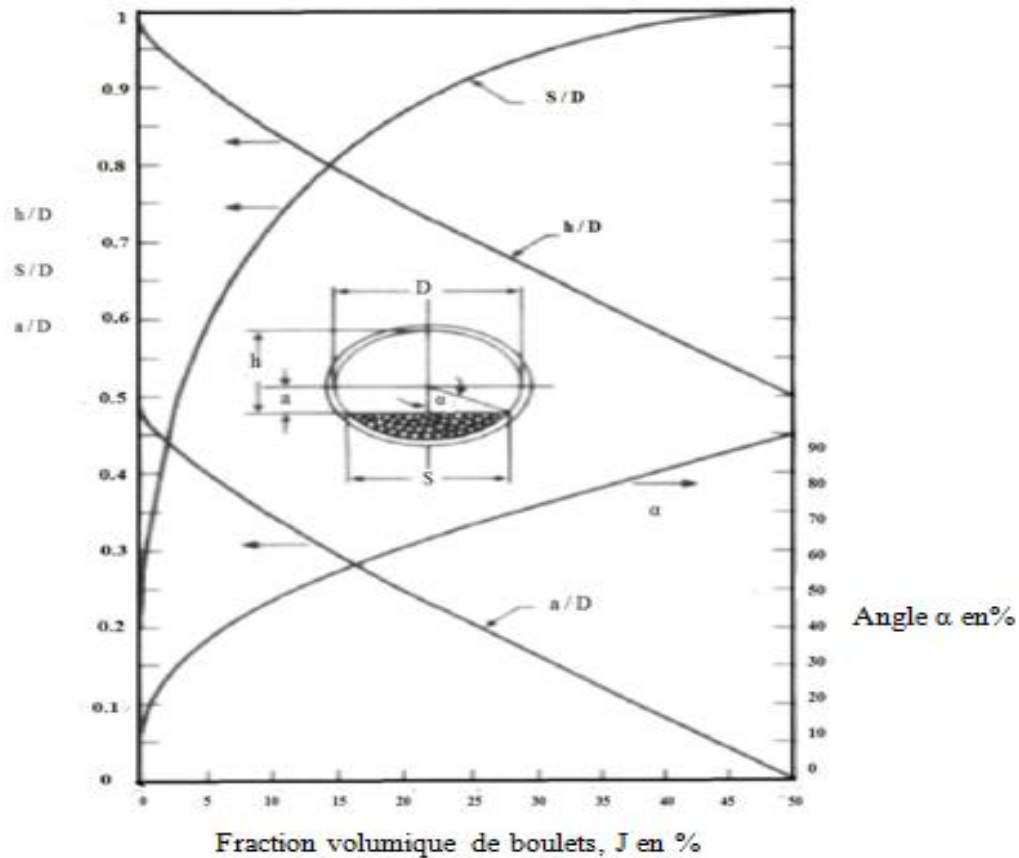


Figure III.3 : Géométrie du remplissage de la charge de boulets [16].

S : longueur de la corde (m) ;

D : diamètre interne du broyeur (m) ;

h : hauteur au-dessus de la charge (m) ;

a : profondeur entre le centre du broyeur et le dessus de la charge (m) ;

α : angle sous-tendu de la moitié de la corde au centre du broyeur ($^{\circ}$) ;

Le remplissage fractionnaire des boulets J (en abscisse, dans la figure III.20) est conventionnellement exprimé comme la fraction du volume du broyeur occupé par les boulets lorsque le broyeur est au repos. Pour convertir le lit volumique en lit massique de boulets, il est nécessaire de connaître la densité apparente du lit de Boulets.

La porosité du lit varie faiblement avec la dimension des boulets, le Remplissage de minerai, etc. Pour les calculs, on considère un lit de porosité formelle constante de 0,4.

Dans ce cas :

$$J = \frac{\text{Masse de boulets} / \text{Densité des boulets}}{\text{Volume du broyeur}} * \frac{1}{1-0.4} \quad (2)$$

III.1.2.3 La charge de minerai (f_c)

La charge de minerai est la matière à broyer. Le volume formel (effectif) apparent de minerai U, permet de relier la charge de minerai f_c à la charge de boulets J, par la porosité formelle du lit de boulets :

$$U = \frac{f_c}{0.4J} \quad (3)$$

Par analogie, le remplissage du broyeur par le minerai s'exprime comme une fraction du volume du broyeur rempli par le lit de minerai f_c .

En utilisant donc une porosité formelle de 0,4 :

$$f_c = \frac{\text{Masse de boulets} / \text{Densité de la poudre}}{\text{Volume du broyeur}} * \frac{1}{1-0.4} \quad (4)$$

III.1.2.4 Le blindage des broyeurs [17]

Le blindage des broyeurs doit être suffisamment épais pour supporter l'usure et rugueux pour éviter les glissements excessifs de la charge constituée par les corps broyants et la matière à broyer. Il est constitué de matériaux métalliques (fontes et aciers alliés), de caoutchouc ou de céramique. Ce dernier type de blindage est employé lorsqu'une pollution par le fer de la matière à broyer est indésirable.

Il existe une bonne corrélation entre la taille des boulets et la forme de blindage du broyeur. Pour les gros boulets (broyage grossier), le revêtement est épais avec d'importantes et nombreuses ondulations ou cannelures pour assurer leur relevage.

Cependant lorsque les boulets sont de petite taille (broyage fin), le blindage est moins épais et comporte de faibles ondulations moins nombreuses ou moins de plaques releveuses. La figure III.4 représente les formes de blindage les plus utilisées pour la virole du broyeur.

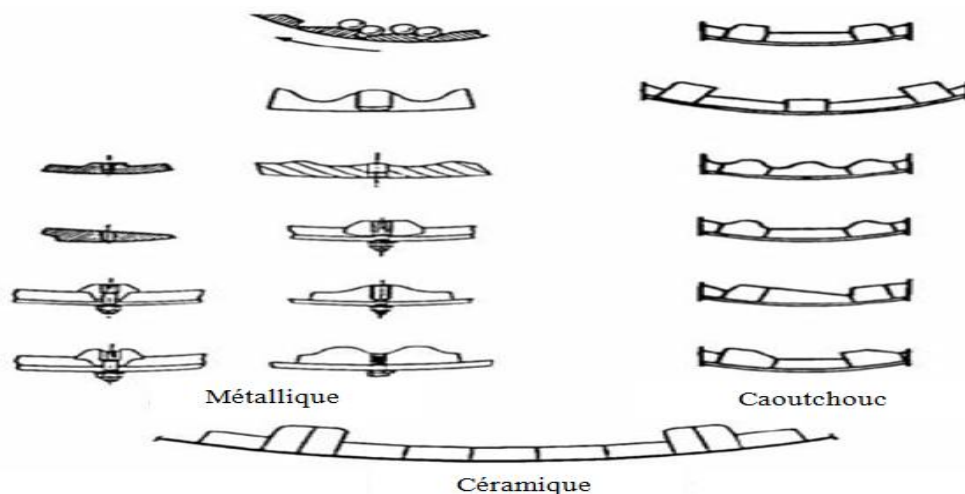


Figure III.4: Blindages des viroles des broyeurs à boulets [17].

III.1.2.5 L'effet de la forme des plaques de blindage sur le comportement de la charge

Paul W. Clearya fait une étude sur l'influence de la forme géométrique des plaques du blindage sur le comportement de la charge utilisant un broyeur à boulets de 5m de diamètre et fraction volumique de 40% avec 23 plaques. Quatre simulations ont été réalisées avec des angles de visages différents, les résultats sont représentés sur la (figure III.5).

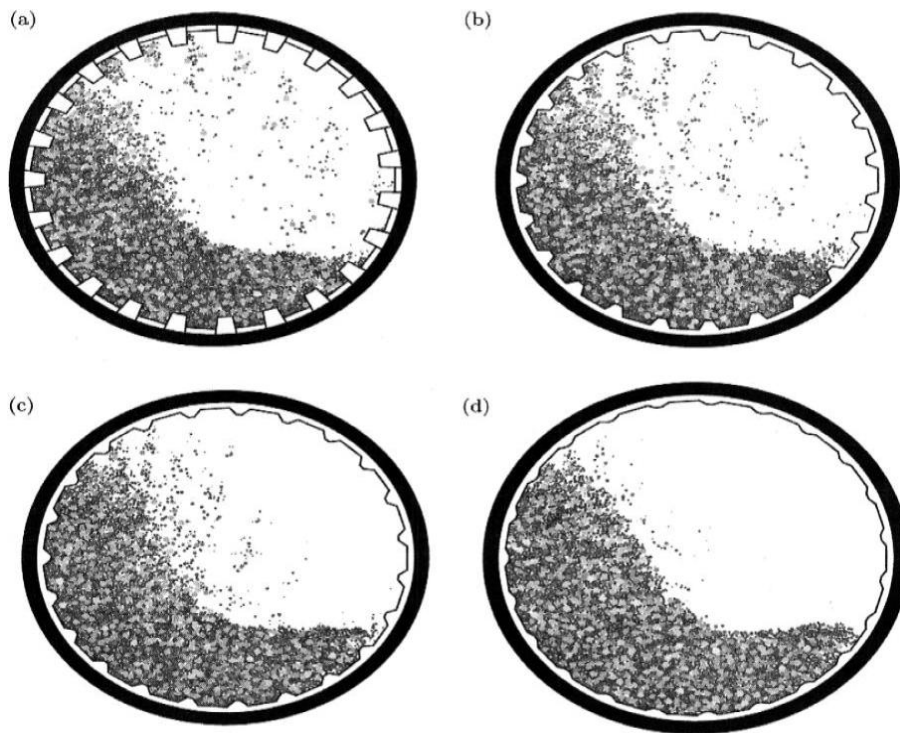


Figure III.5: Formes prévue de la charge pour un broyeur à des plaques d'angles différents.

Le broyeur à boulets tourne à 80% de la vitesse critique et chargé à 40% de roches et de boulets, pour des plaques d'angles de visage (a) 85°, (b) 60°, (c) 45°, (d) 22.5° [18].

III.1.2.6 L'énergie de fragmentation du broyeur

L'énergie (en kWh) nécessaire à l'arbre du moteur pour entraîner l'appareil à vide est calculée par tonne de corps broyant pour les broyeurs à boulets (ω_b) (voir Figure III.6 ci-dessous) à partir de relation suivante :

$$\omega_b = 4.879 D^{0.3} (3.2 - 3j) \left(1 - \frac{0.1^{(9-10F)}}{2}\right) + Z_b \quad (5)$$

Avec : j taux de remplissage du broyeur (fraction du volume du broyeur occupée par les corps broyant), variant entre 0,40 et 0,50 pour les broyeurs à boulets;

F : Fraction de la vitesse critique NC à laquelle tourne le broyeur, fonction du diamètre inter blindage du broyeur 0,66 à 0,80 pour les broyeurs à boulets) ;

Z_b : Est un facteur tenant compte de la taille des boulets pour les broyeurs de diamètre blindage supérieur à 3,3 m, déterminé par la relation [18] :

$$Z_b = 0.022 (B - 12.5D) \quad (6)$$

Avec : Φ en mètres et B diamètre des boulets en millimètres ;

Cette énergie doit être corrigée par un facteur multiplicatif de :

- 1.16 pour les broyeurs à boulets travaillant en voie humide, à décharge par grille à niveau bas.
- 1.08 pour les broyeurs à boulets travaillant en voie sèche, à décharge par grille par débordement.
- 1.06 si le blindage n'est pas neuf.

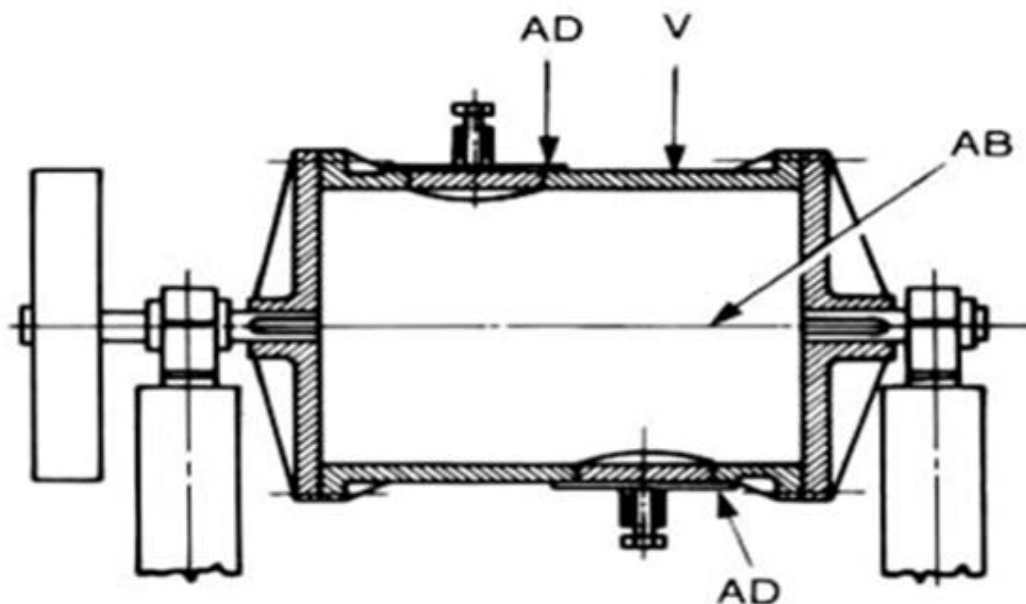


Figure III.6: Broyeur à boulet [18].

AB : axe du broyeur ;

AD : alimentation ;

V : virole ;

L'énergie nécessaire à la fragmentation du matériau est déterminée à partir de la formule de Bond, moyennant quelques corrections comme il sera indiqué ci-après. Le dimensionnement des broyeurs se fait alors en confrontant l'énergie consommée corrigée W_c avec les énergies W_B et en ajustant la longueur du broyeur, si nécessaire, puisque l'énergie consommée est proportionnelle à cette longueur.

$$W = 10W_i \left(\frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right) \quad (7)$$

Où

$$W_i = \frac{44.5}{d_{80}^{0.23}} M^{0.82} \left(\frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right) \quad (8)$$

- M (gramme) : la masse moyenne de la matière qui passe dans la maille choisie aux trois derniers essais ;
- D_{80} et d_{80} : les diamètres des mailles (μm) correspondant à 80 % de passant en masse de la matière avant et après fragmentation ;
- W et W_i sont couramment pris en kWh/sht ;
- 1 sht = 0,907 t ;

Compte tenu des conditions de détermination de l'indice énergétique et des résultats expérimentaux observés industriellement, il ressort que l'énergie calculée par la formule de Bond n'est valable que dans les conditions spécifiques suivantes :

- broyeur à boulets : 2.44 m de diamètre inter blindage, voie humide, circuit fermé.

Pour généraliser la relation (5), des facteurs correctifs sont nécessaires. Ils sont au nombre de sept (f_1 à f_7) et l'énergie corrigée consommée W_c (en kWh/t de minerai) est : [18]

$$w_c = 1.102 w f_1 f_2 f_3 f_4 f_5 f_6 f_7$$

- Le facteur $f_1=1.3$ pour le broyage à sec (nécessite 1.3 fois l'énergie d'un broyage humide).
- Le facteur f_2 Intervient pour le broyeur à boulets travaillant en circuit ouvert ; il est fonction du degré de contrôle requis sur le produit obtenu. Le tableau III.1 donne les valeurs de f_2 en fonction du passant à la maille de référence.

Pourcentage massique de passant A la maille de référence	50	60	70	80	90	92	95	98
f_2	1.035	1.05	1.10	1.20	1.40	1.46	1.57	1.70

Tableau III. 1: Valeur du facteur correctif f_2 pour différentes mailles de tamis.

- Le facteur f_3 est un facteur d'efficacité, lié au diamètre inter blindage du broyeur (D_{in} en m) ; il est obtenu par la relation :

$$f_3 = \left(\frac{2.44}{D_{in}} \right)^{0.2} \quad (9)$$

- Le facteur f_4 intervient pour une alimentation de granularité supérieure à la granularité optimale utilisée pour la détermination du work index (3 350 μm pour le broyeur à boulets). Il est donné par la relation : [18].

$$f_4 = \frac{[R + (W_i - 7) \frac{(D_a - D_{a0})}{D_{a0}}]}{R} \quad (10)$$

Avec D_a dimension de l'alimentation (D_{a0} dimension optimale), R rapport de réduction (Égal à D_{80}/d_{80}).

D_{a0} Est déterminé par les relations :

$$D_{a0} = 4000 \left(\frac{13}{W_i} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

- Le facteur f_5 de finesse est valable pour le broyage fin lorsque la dimension d_{80} est inférieure à 75 μm . Il est donné par la relation :

$$f_5 = \frac{(d_{80} + 10.03)}{1.145 d_{80}} \quad (12)$$

- Le facteur f_6 est relatif au rapport de réduction R :

$$f_6 = 1 + \left[\frac{(R - R_0)^2}{150} \right] \quad (13)$$

Il s'applique toujours lorsque les rapports de réduction sont petits, mais son utilisation pour des valeurs élevées de R n'est pas forcément nécessaire ; néanmoins, il doit être appliqué chaque fois que W_i est supérieur à 7 kWh/sht.

Le facteur f_7 intervient pour des rapports de réduction inférieurs à 6, comme cela est le cas du rebroyage des concentrés ou des mixtes minéralogiques ; il est déterminé à partir de la relation :

$$f_7 = 1 + \frac{0.26}{2(R-1.35)} \quad (14)$$

III.1.2.7 Effet de la dimension des boulets sur le broyage

Le choix de la dimension des boulets dépend de la distribution granulométrique du minerai alimenté, de la dimension désirée du produit de broyage et de la dureté du minerai. Les coûts de l'énergie et des corps broyant sont aussi à prendre en considération lors de la sélection de la taille des corps broyant. La règle développée par Allis Chalmers pour la sélection du diamètre des boulets à ajouter dans un broyeur est donnée par Rowland (1978) :

$$b = \left[\frac{D_{80}}{K} \sqrt[3]{\frac{W_i \cdot \rho}{100f \cdot \sqrt{3.281 D_{in}}}} \right] 25.4 \quad (15) \quad .$$

Ou :

- b : Diamètre de boulets [mm];
- W_i : Work index, [kW-h/tc];
- D_{80} : Dimension de 80% passant de l'alimentation [μm];
- ρ : masse volumique du corps broyant (g/cm^3)
- f : Fraction de la vitesse critique (vitesse de rotation);
- D_{in} : Diamètre intérieur du blindage du broyeur [m] ;
- K : Un facteur ajustable qui prend une valeur entre 335 à 350 ;

Les corps broyant habituellement utilisés en usine pour les broyeurs à boulets ont des dimensions qui varient entre 2,5 et 7,5 cm [19].

Conclusion

Nous avons spécifié ce chapitre a la description du broyeur a boulets sa définition et les paramètres (La vitesse de rotation la charge de boulets la charge de minerai) et ses composantes le blindage des broyeurs, l'effet de la forme des plaques de blindage sur le comportement de la charge et l'énergie de fragmentation du broyeur.

CHAPITRE IV

DIMENSIONNEMENT

Introduction

Le dimensionnement du broyeur à boulets nécessite de prendre en considération plusieurs paramètres afin de répondre au cahier des charges imposé par le client, et pour ce faire des calculs des vitesses, des puissances et les caractéristiques géométriques ainsi que le choix des roulements.

IV.1 Paramètres de broyages du broyeur à boulets

Les broyeurs à boulets ont un rapport : [17]

$$L / D \leq 1.5$$

L : longueur intérieure du broyeur ;

D : diamètre intérieur du broyeur ;

IV.1.1 Calcul de la vitesse critique de broyeur [16]

$$V_c = \frac{42.3}{\sqrt{D_{in} - d}}$$

D_{in} : Diamètre interne du broyeur ;

d : diamètre maximal des boulets ;

➤ Calcul de diamètre du plus gros boulet

Pour le calcul, on utilise la formule de Bond [20]

$$d_{max} = A * \sqrt{\frac{d_{20}}{K}} * \sqrt[3]{\frac{\rho W_i}{C\sqrt{D}}}$$

d_{max} : Le diamètre maximal des billes de broyage (mm) ;

A : Le facteur de correction (pour le broyage des billes $A = 20,17$; pour la marge

$A = 18,15$) ;

$d_{20} = 13.5 \mu m$: Granulométrie de la matière alimentée pour 20 % de refus en μm [18] ;

K : Le coefficient de correction du broyage (pour le broyage humide - 350 ; pour le broyage à sec - 355) ;

ρ : Masse volumique des boulets, g / cm^3 ;

$W_i = 13.6$ consommations d'énergie spécifique, kWh /t, Clinker ;

C : La vitesse de rotation, tr/m ;

D : Le diamètre interne du broyeur, m ;

$$d_{\max} = 20.17 * \sqrt{\frac{13050}{350}} * \sqrt[3]{\frac{3.09 * 13.6}{75\sqrt{0.91}}}$$

$$d_{\max} = 103 \text{ mm}$$

Donc La vitesse critique de broyeur est :

$$V_C = \frac{42.3}{\sqrt{0.91-0.103}} = 47 \text{ tours/min}$$

Les cimentiers travaillent avec des vitesses de rotation de l'ordre de 75% de la vitesse critique.

Donc :

$$V_c = 35.25 \text{ tours/min}$$

IV.1.2 Calcul du volume du broyeur

$$v_B = \pi r^2 L = \pi (0.445)^2 * 1.41 = 0.877180 \text{ m}^3$$

IV.1.3 Calculs de la charge

- **Volume de la charge du broyeur**

On fixe, J, le taux de remplissage et connaissant le volume utile de broyeur, on déduit :

$$V_{\text{charge}} = v_B * j = 0.877180 * 0.32 = 0.280676 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{charge}}(100\%) = \text{produits}(30\%) + \text{boulets}(70\%)$$

- **Volume de clinker**

La charge de clinker 30 %.

$$v_c = v_{\text{charge}} * 0.3 = 0.073683 \text{ m}^3$$

- **Volume des boulets**

La charge des boulets 70 %.

$$v_{bs} = v_{\text{charge}} * 0.7 = 0.171927 \text{ m}^3$$

IV 1.4 Calculs les poids

- **Le poids des boulets**

$$p_b = \rho_b * v_{bs} * g = 7200 * 0.171927 * 9.81 = 12143.55 \text{ N}$$

- **Le poids de clinker**

$$P_c = \rho_c * v_c * g = 3090 * 0.073683 * 9.81 = 2233.55 \text{ N}$$

IV.1.5 Calcul le nombre des boulets

$$N_b = v_{\text{boulets}} / v_{\text{boulet}}$$

- **Calcul volume de boulet**

$$v_b = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi (0.0515)^3 = 5.7 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

Donc :
$$N_b = \frac{0.171927}{5.7 * 10^{-4}} = 302 \text{ boulets}$$

- La masse d'un seul boulet

$$m_b = v_b * \rho_b = 5.7 * 10^{-4} * 7200 = 4.12 \text{ kg}$$

IV.2 Calcul de la puissance absorbée par le broyeur

La formule empirique ci-dessous, liant la puissance absorbée à la taille du broyeur et à sa charge broyant [18].

k_j : Coefficient tenant compte du taux de remplissage, pour $j=30\%$, $k_j=1$.

k_d : Varie entre 9.5 et 10.5, généralement $k_d = 10$.

$$P = m_b * \frac{\% \text{ vitesse critique}}{75} * k_j * \frac{\sqrt{D_{in}}}{1.366} * k_d$$

$$P = 1.23787 * \frac{75}{75} * 1 * \frac{\sqrt{0.91}}{1.366} * 10 = 9 \text{ KW}$$

IV.3 Calcul nombre des boulons pour la fixation une barre de relevage

On concéder que les boulets sont répartis uniformément sur la barre de relevage

- La longueur de la barre de relevage : 370 mm
- Diamètre de boulet : 103 mm
- $370/103 = 3.59$ on prend 4 boulets

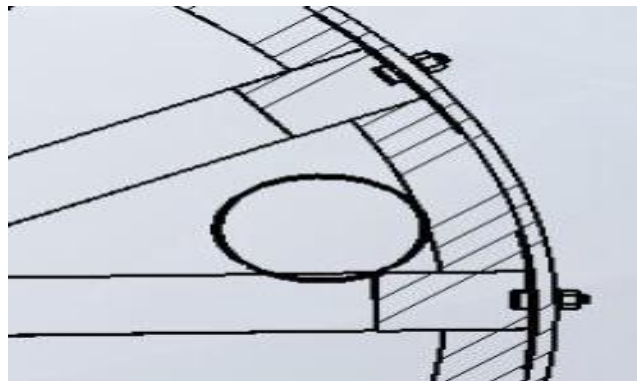


Figure IV.1: Position du boulet sur la barre de relevage.

Le poids d'un boulet qui est en fonte : $m_b = 4.12 \text{ Kg}$

Le poids appliqué sur la barre de relevage est :

$$P_{br} = (m_b * 4 + m_{pv} + m_{br}) * g = (4.12 * 4 + 3.58 + 1.9) * 9.81 = 215.43 \text{ N}$$

Avec :

m_b : Masse de boulet.

m_{pv} : Masse de la plaque de virole.

m_{br} : Masse de la barre de relevage.

g : accélération de la pesanteur.

La force F_a dite la force d'adhérence qu'il faut appliquée pour fixer la barre est :

$$F_a = \frac{P_{br}}{F_{ad}} = \frac{215.43}{0.15} = 1436.184 \text{ N}$$

F_{ad} : Coefficient d'adhérence acier-acier.

La vis choisie pour la fixation des barres de relevage est : Q M 10-29 U, son matériau est le X5 Cr Ni 18-10 qui a une limite d'élasticité $R_e = 190 \text{ MPa}$

La condition de résistance :

$$\sigma = \frac{F_a}{d_n^2 \pi} \leq R_e$$

$$\sigma = \frac{4 * 1436.184}{8.4^2 \pi} = 25.9 \text{ MPA} < 190 \text{ MPA} \text{ uniformément}$$

Dans le cas statique, nous remarquons qu'un seul boulon peut résister. Par contre dans le cas dynamique, il est difficile de définir les forces qui agissent sur les plaques, et pour éviter la flexion de la barre de relevage et pour une bonne fixation des plaques de virole on utilisera quatre boulons.

IV.4 Choix du moteur électrique [21]

$$P_M = \frac{P}{\eta_{tot}} = \frac{P}{\eta_{TCT} \eta_r^4 \eta_{RV}^2}$$

P_M : La puissance nécessaire au moteur ;

P : la puissance consommée par le broyeur ;

η_{tot} : est le rendement total de la transmission mécanique ;

η_{TCT} : est le rendement de la transmission par des courroies trapézoïdales ;

η_r : est le rendement d'une paire de roulements ;

η_{RV} : est le rendement de l'engrenage ;

Couples de frottement	Rendement
Engrenage cylindrique	0.97 ... 0.99
Transmission par courroies trapézoïdales	0.94 ... 0.97
Paire de roulements	0.99 ... 0.995

Tableau IV.1: Rendements de quelques couples de frottement [21].

- le rendement total de la transmission mécanique :

$$\eta_{\text{tot}} = \eta_{\text{TCT}} \eta_{\text{r}}^4 \eta_{\text{RV}}^2 = 0.94 (0.99)^4 (0.97)^2 = 0.85$$

- La puissance nécessaire au moteur :

$$P_{\text{M}} = \frac{9}{0.85} = 10.6 \text{ kW}$$

Le broyeur à boulets nécessite l'utilisation d'un moteur d'une puissance 10.6 kW.

D'après les types moteurs on choisit un moteur de 11 kW. (Voir le tableau VI. 2)

Types de disjoncteur magnétothermique	Types des moteurs	
	Moteur triphasé 380v	Moteur monophasé 220v
1,6 à 2,5 A	0,55kw à 1,1 kW	0,25 kW
2,5 à 4 A	1,5 kW	0,37kw à 0,55 kW
4 à 6,3	2,5kw à 3 kW	0,75 kW
6 à 10 A	4 kW	1,1kw à 1,5 kW
9 à 14 A	5,5 kW	2,2 kW
13 à 18 A	7,5 kW	3 kW
17 à 25 A	11 kW	4 kW
25 à 40 A	15kw à 32 kW	-
40 à 63 A	30 Kw	-

Tableau IV. 2 : Les types des moteurs.

IV.5 Détermination des rapports de transmission [21]

$$i_{\text{tot}} = \frac{V_c}{N_M} = \frac{35.25}{720} = 0.047$$

i_{tot} : Le rapport de transmission total de la transmission mécanique;

V_c : La vitesse critique ;

Caractéristiques du moteur choisi	
Type	LS 180 L
Puissance nominale	11 Kw
Vitesse nominale	720 tr. min-1
Couple nominal	146 N.m

Tableau IV.3: Les caractéristiques du moteur [22].

- Le rapport de transmission des courroies est :

$$i_{\text{TCT}} = \frac{i_{\text{tot}}}{i_{\text{RV}}} = \frac{0.047}{0.1} = 0.47$$

IV.6 Calcul de la transmission par courroies trapézoïdales

Le calcul de la transmission par courroies trapézoïdales à arbres parallèles est standardisé.

Les grandeurs d'entrée sont: la puissance à l'arbre du moteur d'entraînement $P_C = P_M$ (kW), la vitesse de rotation N_M (tour/min), le rapport de la transmission par courroies [21].

IV .6.1 Les étapes du calcul sont

IV .6.1.1 Le choix du type de la courroie

se fait sur base du nomogramme de la figure pour les courroies trapézoïdales étroites, en fonction de la puissance à l'arbre moteur $P_M = 11$ kW et de la vitesse de rotation $N_M = 720$ tours /min, la courroie qu'on va choisir est de type SPA [21].

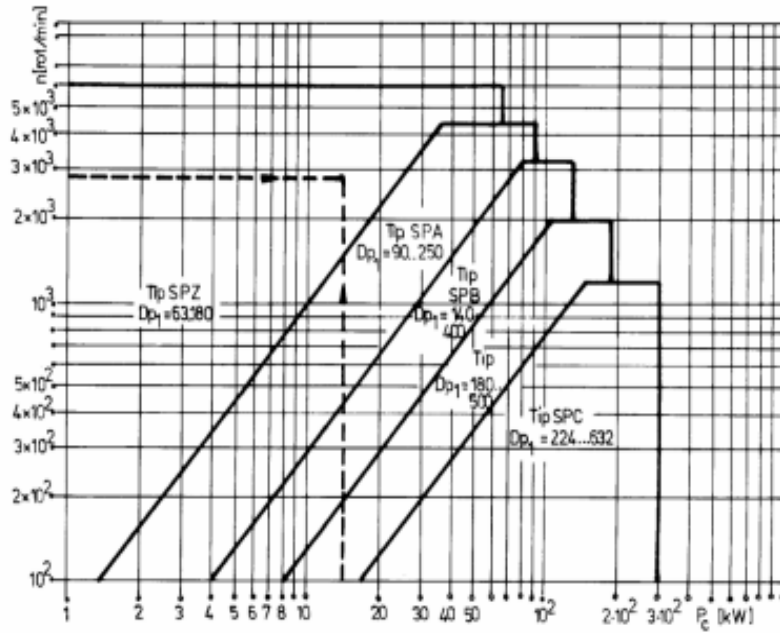


Figure IV.2: Nomogramme pour le choix des courroies trapézoïdales étroites.

IV .6.1.2 Le choix du diamètre de la poulie la plus petite :

À partir du tableau IV.4 Série des diamètres des poulies, on a choisis $D_{P1} = 125$ mm

63	71	80	90	112	125	140	160	180	200	224	250	280	315
450	500	560	630	700	800	900	1120	1250	1400	1600	1800	2000	2500

Tableau IV.4 : Série des diamètres des poulies

IV .6.1.3 Le calcul du diamètre de la poulie la plus grande

$$D_{P2} = \frac{D_{P1}}{i_{TCT}} = \frac{125}{0.47} = 266 \text{ mm}$$

IV.6.1.4 On choisit préliminairement la distance entre les axes A

$$0.7(D_{P2} + D_{P1}) \leq A \leq 2(D_{P2} + D_{P1})$$

$$273.7 \leq A \leq 782 \text{ on choisit } A = 450 \text{ mm}$$

IV.6.1.5 L'angle entre les branches de la courroie

$$\gamma = 2 \arcsin \frac{D_{P2} - D_{P1}}{2A} = 2 \arcsin(0.1622) = 18^\circ$$

IV.6.1.6 L'angle d'enroulement [21]

- $\beta_1 = 180^\circ - \gamma = 162^\circ$
- $\beta_2 = 180^\circ + \gamma = 198^\circ$

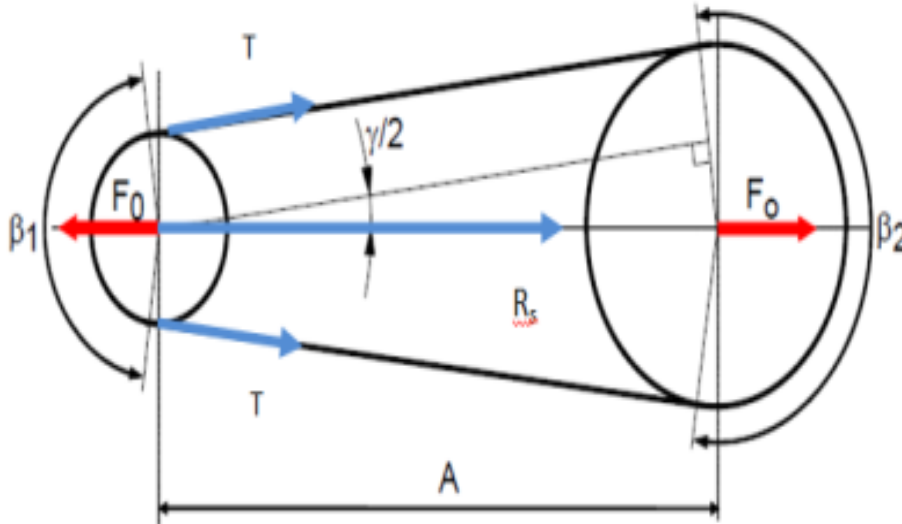


Figure IV.3 : Forces dans les courroies trapézoïdales étroites.

IV.6.1.7 La longueur de la courroie à l'état libre

$$L_P = 2A + \frac{\pi(D_{P2} + D_{P1})}{2} + \frac{(D_{P2} - D_{P1})^2}{4A} = 1427 \text{ mm}$$

A partir du tableau ci-dessous, on choisit une valeur normalisée $L_P = 1600 \text{ mm}$

Ensuite on va recalculer A, en utilisant la relation suivante :

$$L_P = 2A \cos \frac{\gamma}{2} + \frac{\pi}{360} (\beta_1 D_{P1} + \beta_2 D_{P2})$$

$$A = \frac{L_P - \frac{\pi}{360} (\beta_1 D_{P1} + \beta_2 D_{P2})}{2 \cos \frac{\gamma}{2}}$$

$$A = \frac{1600 - 636.33}{1.975} = 488 \text{ mm}$$

Type Courroie	Dimensions Caractéristiques de la section $L_p \times h$	a mm	$h \pm \delta h$ mm	D_{max}	α Degrés	Longueurs initiales		$D_{P \min}$	Section de la courroie A_0
						L_p mm			
						Minimum	Maximum		
SPZ	8,5 x 8	-	8±0,4	2,0	40±0,1	630	3550	71	0,54
SPA	11 x 10	-	10±0,5	2,8		800	4500	100	0,90
SPB	14 x 13	-	13±0,5	3,5		1250	8500	160	1,5
16x15	16 x 15	-	15±0,5	4,0		1600	10000	200	1,98
SPC	19 x 18	-	18±0,6	4,8		2000	12500	224	2,78

Tableau II.5 : Courroies trapézoïdales. Dimensions et longueurs initiales [21].

Longueurs initiales L_p	Préférées	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
		A éviter	2500	3150	4000	5000	6200	8000	10000
		450	560	700	900	1120	1400	1800	2240
		2800	3550	4500	5600	7100	9000	11200	-

Tableau IV.6 : Dimensions et longueurs initiales [21].

IV.6.1.8 La vitesse linéaire de la courroie [21]

$$V_{TCT} = \frac{\pi D_{P1} N_M}{60000} = \frac{3.14.125.720}{60000} = 4.71 \text{ m/s}$$

La vitesse linéaire des courroies trapézoïdales étroites ne doit pas dépasser 30 m /s.

IV.6.1.9 Nombre de courroies n_{TCT} [23]

$$n_{TCT} = \frac{P_{cor}}{P_o \cdot a \cdot C_1} = \frac{P_M \cdot K_S}{P_o \cdot a \cdot C_1} = \frac{11 \cdot 1.32}{3.3 \cdot 0.96 \cdot 0.92} = 5 \text{ courroies.}$$

On va utiliser une poulie à cinq gorges (pour les dimensions des gorges et pour le choix des facteurs et la puissance brute voir l'annexe B).

P_M : La puissance du moteur ;

P_o : Puissance brute ;

k_s : Facteur de service ;

a: Facteur de correction d'arc ;

C_1 : Facteur de correction de longueur de courroie ;

IV.6.1.10 La force périphérique transmise F

$$F = 10^3 \frac{P_M}{V_{TCT}} = 1000 * \frac{11}{4.71} = 2335.5 \text{ N}$$

IV.6.1.11 La tension statique par courroie T (tension par brin)

$$T = \frac{50(2.5-a)P_M}{a * n_{TCT} * V_{TCT}} + K_m * V_{TCT}^2$$

$$T = \frac{50(2.5-0.96) 11}{0.96 * 5 * 4.71} + 0.012 * (4.71)^2 = 37.73 \text{ daN}$$

Coefficient lié à la masse linéaire des courroies : $K_m = 0.012$ (voir l'annexe B) [26]

IV.6.1.12 La réaction statique sur les arbres

$$\cos \theta = 90 - \frac{\beta_1}{2} = 90 - \frac{162}{2} = 9$$

$$R_s = 2 * T * n_{TCT} * \cos \theta = 2 * 37.73 * 5 * \cos(9) = 372.65 \text{ daN}$$

Le rapport $\frac{R_s}{F}$ doit être entre 1.5 et 2 et $R_s = F_0$

$$\frac{R_s}{F} = \frac{3726.5}{2335.5} = 1.59 \quad \longrightarrow \quad 1.5 < \frac{F_0}{F} < 2$$

IV.7 Réducteur

Un réducteur est un élément permettant de transmettre une puissance entre un moteur et une machine en réduisant la vitesse (c'est-à-dire avec un rapport de réduction inférieur à 1).

Cette transmission de puissance a pour but d'adapter les caractéristiques du moteur à celles de la machine tout en augmentant le couple de sortie. Les multiplicateurs de vitesse sont aussi il existe différents types de réducteurs : mécaniques, hydrauliques, pneumatiques.

Parmi les réducteurs mécaniques, on rencontre, les systèmes poulies/courroies, les trains d'engrenage ordinaire (parallèle, conique, gauche) ou encore les trains épicycloïdaux (plan, sphérique).

IV.7.1 Transmission par engrenage

IV.7.1.1 Définition

Un engrenage est un organe mécanique élémentaire qui assure la liaison entre arbres, transmettant le mouvement de rotation d'arbre (arbre moteur) à l'autre arbre (arbre récepteur) Avec un rapport de vitesse constant. Il est composé de deux roues dentées mobiles autour d'axes de position relative invariable. L'une des deux roues entraîne l'autre par l'action des dents successivement en contact suivant la position relative des axes des roues.

IV .7.1.2 Les avantages

- Leur usinage est simple.
- Le prix de revient est moins élevé par rapport aux autres types.
- Ils sont interchangeables.
- Leurs couples importants.
- Il ne donne pas une poussée axiale qui provoque la compression sur les arbres, ce qui réduit l'encombrement.

IV.7.1.3 Dimensionnement préliminaire des engrenages

IV.7.1.3.1 Choix du matériau pour les roues dentées [21]

Les roues dentées cylindriques à denture droite qui sont utilisées pour les réducteurs sont des organes de machines fortement sollicités. Par conséquent, pour le dimensionnement des engrenages, on doit connaître les caractéristiques mécaniques générales des matériaux utilisés (la limite de rupture, la limite d'élasticité, la dureté, etc.).

L'acier utilisé pour la construction des roues est un acier non allié (C45), il est durci par le fait qu'il a subi un traitement thermique (trempe après chauffage à la flamme), sa limite d'élasticité est $[\sigma] = 360 \text{ MPA}$.

IV.7.1.3.2 Calcul les paramètres du l'arbre d'entrée

a-Calcul de la vitesse de rotation de l'arbre d'entrée $N_{E,R}$:

$$N_{E,R} = \frac{N_{S,R}}{i_{RV}} = \frac{35.25}{0.1} = 352.5 \text{ Tours.min}^{-1}$$

b-Calcul de la puissance reçue par l'arbre 1 :

$$P_1 = P_M * \eta_{TCT} = 11 * 0.94 = 10.34 \text{ KW}$$

c-Calcul du couple reçu par l'arbre 1:

$$C_1 = \frac{P_1 * 30}{\pi N_{E,R}} = \frac{10.34 * 1000 * 30}{\pi 352.5} = 280.11 \text{ N m}$$

d-Calcul de la force supporté par une dent :

$$F = \frac{2 C_1 1000}{\cos \alpha d_{p1}} = \frac{2 * 280.11 * 1000}{\cos 20 * 45.5} = 13102.7 \text{ N}$$

IV.7.1.3.3 Calcul du module :

$$m = \sqrt[3]{\frac{10 * c_1}{\lambda * Z_1 * [\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{10 * 10^3 * 280.11}{10 * 13 * 360}} = 3.91$$

On choisit une valeur normalisée égale ou supérieure à la valeur calculée, $m = 4$ (Voir l'annexe B).

IV.7.1.3.4 Calcul du rapport de transmission pour le deuxième engrenage**IV.7.1.3.5 Dimensionnement préliminaire de premier engrenage (Roue 1, Roue 2)**

Caractéristiques et formules usuelles	Résultats (mm)
Pas primitif $P = P_1 = P_2 = \pi m$	$P = 10.995$
Nombre de dents $Z_2 = \frac{Z_1}{i_{eng1}}$	$Z_1 = 13$ et $Z_2 = 52$ dents
Diamètre primitif $d_{pi} = m * Z_i$	$d_{p1} = 45.5$ et $d_{p2} = 182$
Entraxe entre les deux roues : $a = \frac{d_{p1} + d_{p2}}{2}$	$a = 113.75$
Largeur de la dent $b = k * m$	Pour $k = 10$; $b = 35$
Saillie $h_a = m$	$h_a = 3.5$
Creux $h_f = 1.25 m$	$h_f = 4.375$
Hauteur de dent $h = h_a + h_f$	$h = 7.875$
Diamètre de tête $d_{ai} = d_{pi} + 2m$	$d_{a1} = 52.5$ et $d_{a2} = 189$
Diamètre de pied $d_{fi} = d_{pi} - 2.5 m$	$d_{f1} = 36.75$ et $d_{f2} = 173.25$
Epaisseur de la dent $s = \frac{\pi m}{2}$	$S = 5.497$

Tableau IV.7 Dimensionnement préliminaire de premier engrenage (Roue 1, Roue 2)

IV .7.1.3.6 Dimensionnement préliminaire de deuxième engrenage (Roue 3, Roue 4)

Caractéristiques et formules usuelles	Résultats (mm)
Pas primitif $P = P_3 = P_4 = \pi m$	$P = 10.995$
Nombre de dents $Z_4 = \frac{Z_3}{i_{eng2}}$	$Z_3 = 14$ et $Z_4 = 35$ dents
Diamètre primitif $d_{pi} = m * Z_i$	$d_{p3} = 49$ et $d_{p4} = 122.5$
Entraxe entre les deux roues : $a = \frac{d_{p3} + d_{p4}}{2}$	$a = 85.75$
Largeur de la dent $b = k * m$	Pour $k = 10$; $b = 35$
Saillie $h_a = m$	$h_a = 3.5$
Creux $h_f = 1.25 m$	$h_f = 4.375$
Hauteur de dent $h = h_a + h_f$	$h = 7.875$
Diamètre de tête $d_{ai} = d_{pi} + 2m$	$d_{a3} = 56$ et $d_{a4} = 129.5$
Diamètre de pied $d_{fi} = d_{pi} - 2.5 m$	$d_{f3} = 40.25$ et $d_{f4} = 113.75$
Epaisseur de la dent $s = \frac{\pi m}{2}$	$S = 5.497$
Intervalle $e = p - s$	$e = 5.497$
Angle de pression α	$\alpha = 20^\circ$

Tableau IV.8 Dimensionnement préliminaire de deuxième engrenage (Roue 3, Roue 4)**IV.8 Accouplement**

Se dit d'une liaison établie entre deux organes d'un système, généralement deux arbres, de telle manière que la rotation de l'un entraîne celle de l'autre.

Pour transmettre le couple d'un arbre menant à un arbre mener, un accouplement élastique:

- Absorbe et amortit les irrégularités de couple.
- Déplace les régimes critiques.
- Accepte les désalignements et les décalages entre les arbres.
- Autorise certaines déformations des châssis.
- Supprime les contraintes parasites éventuelles d'un accouplement rigide utilisé dans les mêmes conditions.
- Permet de construire plus léger, avec des tolérances plus larges, donc plus économiquement.



Figure IV.4:Accouplement élastique compact

(Pour les dimensions de l'accouplement voir l'annexe B)

IV.9 Calcul de la force de la clavette pour l'arbre de broyeur :

La clavette est en acier inoxydable (X20Cr13).

Les dimensions d'une clavette pour un arbre de 60 mm sont :

(Voir l'annexe B)

- $b = 11 \text{ mm}$
- $a = 18 \text{ mm}$
- $J = d - 6 = 53 \text{ mm}$
- Coefficient de sécurité : $C_s = 2$
- Diamètre de l'arbre du broyeur : $d = 60 \text{ mm}$
- La limite d'élasticité de l'acier inoxydable $[\sigma] = 550 \text{ MPa}$
- $[\tau] = 0.5 [\sigma] = 0.5 * 550 = 275 \text{ MPa}$

La limite élastique au cisaillement de l'acier inoxydable $[\tau] = 275 \text{ MPa}$

➤ **Calcul d'une clavette rectangulaire :**

Si la puissance à transmettre p est connue, on peut déduire le couple de torsion M_t en utilisant la relation suivante :

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

ω : Vitesse de rotation rd/s

P : Puissance à transmettre tr/min

DONC : $M_t = 312 \text{ Nm}$

Ce couple transmet une force F entre l'arbre et la clavette sachant que

$$M_t = F \frac{d}{2}$$

Donc : $F = M_t * \frac{2}{d}$

AN :

$$F = 10400 \text{ N}$$

Avec F et la force exercée sur la clavette, cette force F engendre des contraintes de compression (écrasement) sur les surfaces et des contraintes de cisaillement dans le plan.

IV .10 Calcule de RDM

IV .10 .1 Dimensionnement de l'arbre

a. Calcul des réactions

Poutre reposant sur deux appuis simple avec charge concentrée au milieu.

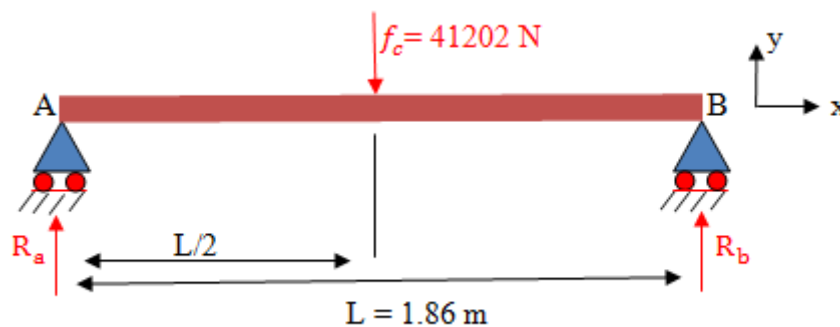


Figure V.5: Représentation des efforts appliqués sur l'arbre

Donc on va calculer les réactions au point A et B :

$$\sum F_X = 0$$

$$\sum F_Y = R_a + R_b = F_c$$

$$R_a = R_b = F_c / 2$$

Donc : $F_r = R_a = 20.601 \text{ KN}$

b. Calcule les moments fléchissants

On :

Tronçon (1) : $0 < x < L/2$

$$R_a * x + M(x) = 0$$

AN:

$$x=0 : M(0) = 0$$

$$x=L/2 : M(L/2) = -19158930 \text{ N.mm}$$

Tronçon (2) : $L/2 < x < L$

$$\begin{cases} R_a * x - F_c * \left(x - \frac{L}{2}\right) + M(x) \\ M(x) = -R_a * x + F_c * \left(x - \frac{L}{2}\right) \end{cases}$$

AN :

$$\begin{cases} x = \frac{L}{2} : M\left(\frac{L}{2}\right) = -19158930 \text{ N.mm} \\ x = L : M(L) = 0 \end{cases}$$

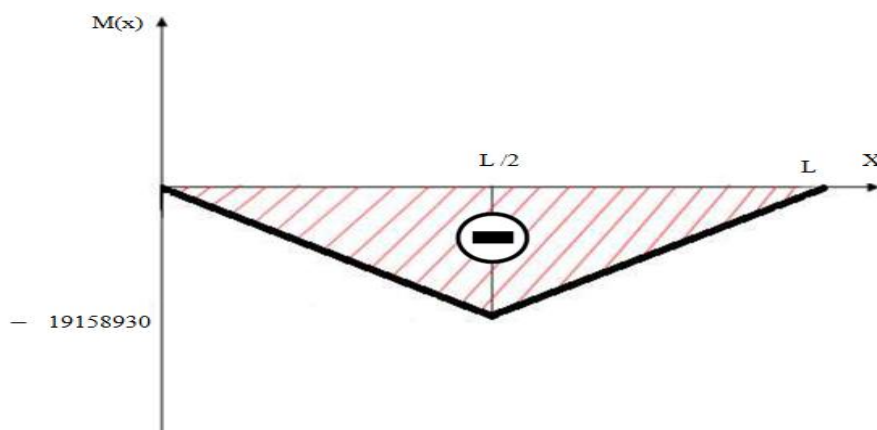


Figure V. 6: diagramme des moments fléchissant

A partir de la figure(V.6), on déduit $M_{fmax} = 19158930 \text{ N.mm}$.

c. Calcul du diamètre de l'arbre à la flexion :

- La limite d'élasticité de l'acier inoxydable $[\sigma] = 550 \text{ MPa}$ (voir l'annexe B)

$$\sigma = \frac{M_{f\max}}{I/R} \leq \tau$$

Et
$$I = \frac{\pi R^4}{2}$$

Donc :
$$R \geq \sqrt[3]{\frac{2 M_{f\max}}{\pi \sigma}}$$

AN :
$$R \geq 28 \text{ mm}$$

$$D \geq 56 \text{ mm}$$

D'où on retient un diamètre de l'arbre à la flexion :

$$D = 56 \text{ mm}$$

d. Calcul du diamètre de l'arbre à la torsion

Premièrement nous allons calculer le moment de torsion de l'arbre :

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

Où M_t est le moment de torsion de l'arbre en Nm.

$$M_t = \frac{11000}{35.25} = 312 \text{ Nm}$$

- $[\tau] = 0.5 [\sigma] = 0.5 * 550 = 275 \text{ MPa}$

La limite élastique au cisaillement de l'acier inoxydable $[\tau] = 275 \text{ MPa}$

$$R \geq \sqrt[3]{\frac{2 M_t}{\pi [\tau]}}$$

AN :

$$R \geq 9$$

D'où on retient un diamètre de l'arbre à la torsion :

$$D = 18 \text{ mm}$$

IV.11 Calcul de roulement

Nous avons choisis des roulements à billes à un ranger à contacte radiale, nous allons par la suite calculer la durée de vie des ces derniers, et la relation suivante nous donne la durée de vie de notre roulement [24] .

$$L_{10} = (C/P)^n$$

$n=3$ pour les roulements à billes ;

L_{10} : est la durée de vie d'un roulement(en million de tour). ;

C : est la charge dynamique que supporte le roulement en N ;

P : est la charge dynamique équivalente que supporte le roulement en N qui est calculé par la relation suivante :

$$P = x * F_r + y * F_a$$

Où

F_a : est la force axiale supportée par le roulement ;

F_r : est la force radiale supportée par le roulement ;

x et y : sont des coefficients normalisés liés à la nature de roulement et à ses

Dimensions.

La valeur de la charge dynamique est donnée par le constructeur tout en connaissant les données relatives à chaque roulement a savoir :

d : diamètre intérieur de roulement est donner par la RDM ;

D : diamètre extérieur du roulement que on choisi selon la place disponible ;

B : épaisseur du roulement ;

Le roulement que nous avons choisi possède les dimensions suivantes :

$$d = 60 \text{ mm} \quad D = 110 \text{ mm} \quad \text{et} \quad B = 22 \text{ mm}$$

D'où nous permet de déduire la valeur de la charge dynamique($C = 5530 \text{ daN}$).

AN :

$$L_{10} = \left(\frac{5530 * 10}{20.601 * 10^3} \right)^3 \text{ millions de tour}$$

$$L_{10} = 19.34 \text{ millions de tours.}$$

- La durée de vie L_{10H} en heures de fonctionnement :

$$L_{10H} = L_{10} * 10^6 / 60 * N$$

N : est la vitesse de rotation de arbre ($V_C = 35.25 \text{ tr/mm}$) ;

AN :

$$L_{10H} = (19.34 * 10^6 / 60 * 35.25) \text{ heures}$$

$$L_{10H} = 9145.34 \text{ heures.}$$

• Calcul de durée de vie L_{10E} en année pour un régime de 8 heures/jour et de 240 jours/année et on aura :

AN :

$$L_{10E} = 9145.34 / (8 * 240) \text{ année}$$

$$L_{10E} = 4.7 \text{ années.}$$

• Calcul de durée de vie L_{10E} en jour :

$$L_{10E} = 4.7 * 240 = 1143 \text{ jours.}$$

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons calculé les paramètres broyante du broyeur à boulets ainsi que les charges et la puissance équivalente, nous avons également désignées le modèle des roulements et la boulonnerie a utilisé.

CHAPITRE V

DESCRIPTION DE BROYEUR A BOULETS

Introduction

Bien que notre travail consiste à la conception d'un broyeur à boulets nous allons commencer par l'objectif du broyeur à boulets puis nous allons faire une représentation du notre broyeur a boulets à l'aide du logiciel « SolidWorks ».

V.1 Objectifs du broyeur à boulets

Broyer la matière crue, le clinker et les solides au niveau d'une fine poudre adaptée aux besoins.

Le broyeur doit produire aussi une finesse régulière avec une consommation d'énergie minimum et une bonne fiabilité.

V.2 Représentation du broyeur à boulets

La figure ci-dessous montre une vue de l'assemblage du broyeur à boulets. Les mises en plans de toutes les pièces conçues sont représentées dans l'annexe B.

Le broyeur à boulets (Figure V.1) est formé d'un cylindre.

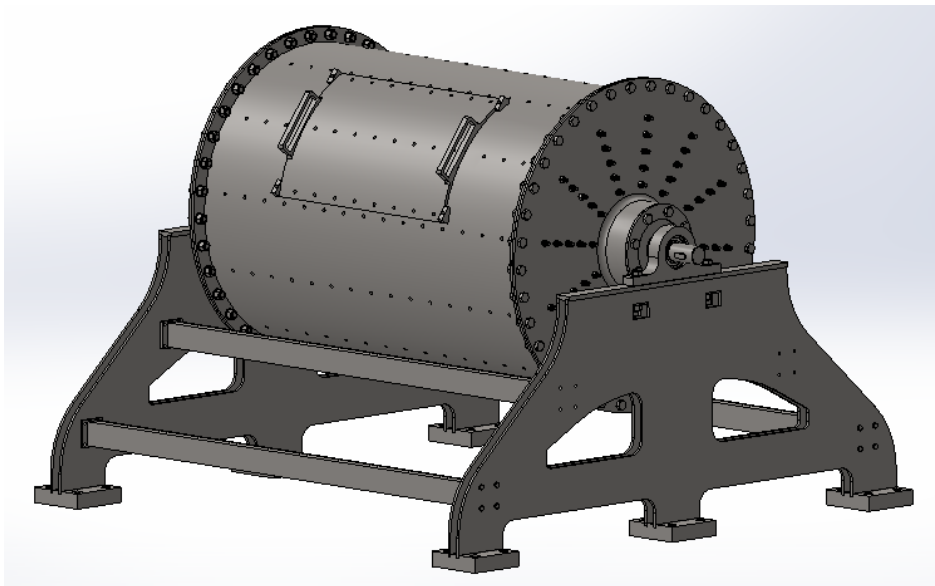


Figure V. 1 : Le broyeur à boulets

V.2.1 Les éléments du broyeur à boulets

Il existe plusieurs types en fonction de leur utilisation :

V.2.1.1 La virole

La virole est en acier inoxydable (X6 Cr 13), elle a 1000 mm de diamètre, 1500 mm de longueur et 10 mm d'épaisseur, celle-ci supporte les éléments internes des blindages en caoutchoucs, elle est percée le long de la surface pour fixer les plaques de blindage.

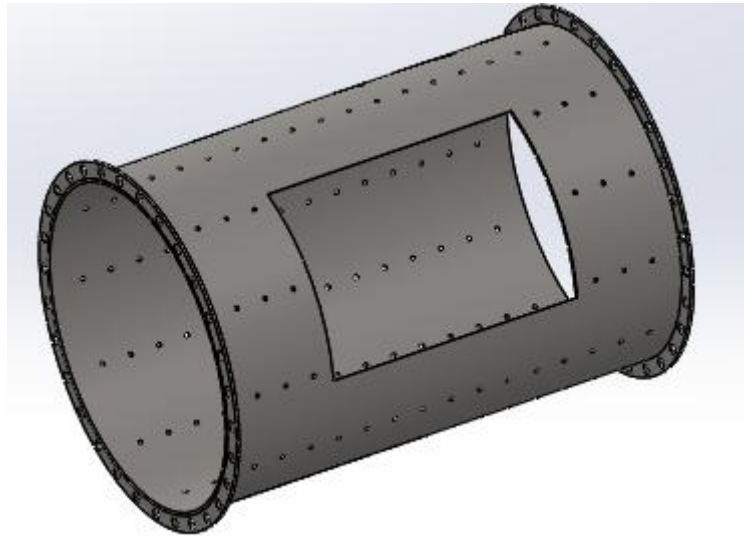


Figure V. 2 : La virole

V.2.1.2 La porte de visite du broyeur

Elle donne un accès au broyeur pour les visites, la maintenance et les réfections de la charge. Le parti de la virole entourant la porte est plus épaisse que le reste de la virole .Elle est conçue pour accepter l'augmentation des contraintes mécaniques.

La porte-visite est fixée sur la virole à l'aide de quatre boulons (M12-65) pour assurer une bonne liaison rigide et démontable.

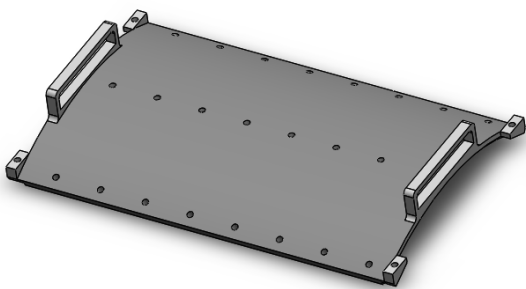


Figure V. 3 : La porte de virole

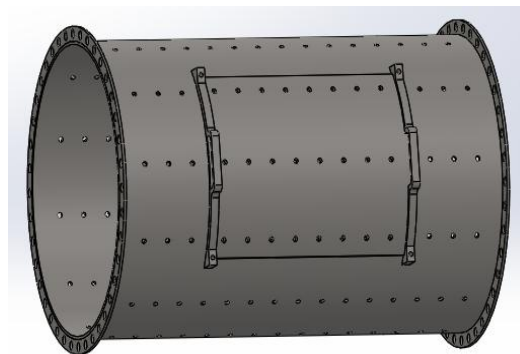


Figure V. 4 : La virole plus la porte de visite

V.2.1.3 Les plaques circulaires

Ceux sont deux disques percés en surface afin de fixer les blindages figure (V.5), chaque disque est muni d'un anneau fixé par soudage comme le montre la figure(V.6), ils sont fixés sur les deux coté de la virole à l'aide des boulons (M20-40). (Figure V.7).

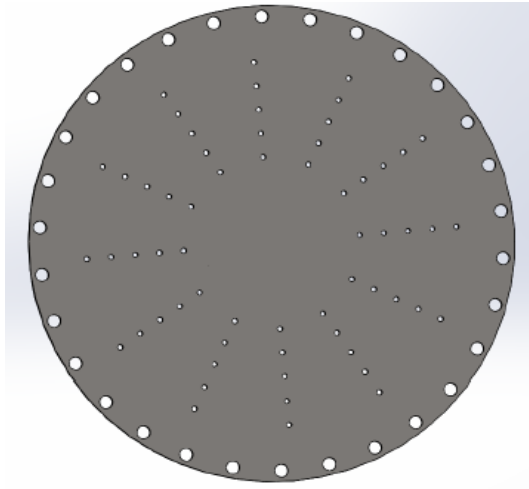


Figure V. 5 : Plaques circulaires

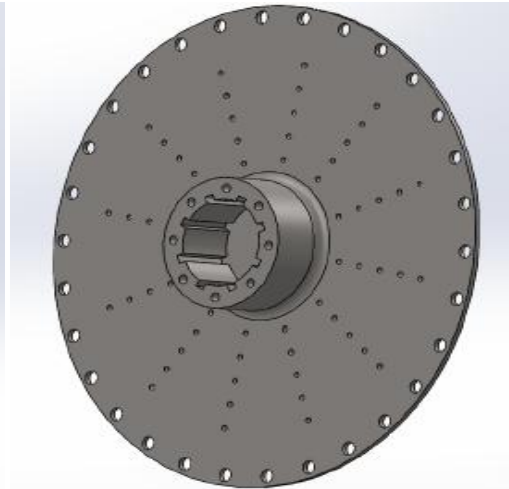


Figure V. 6 : Plaques circulaire plus un anneau

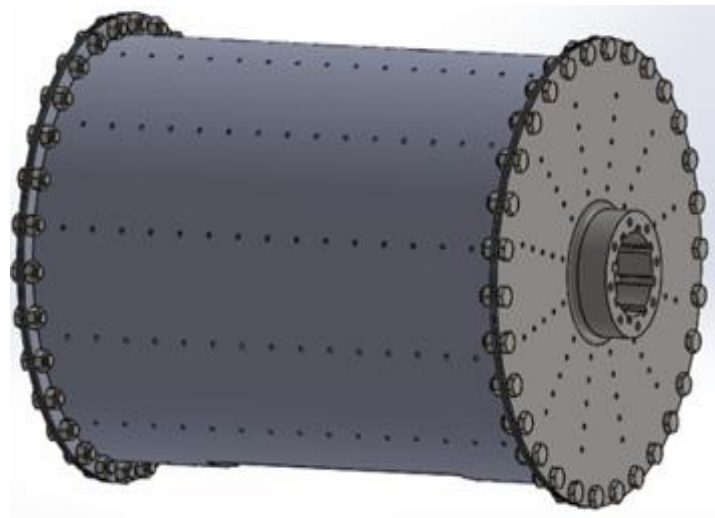


Figure V. 7 : Fixation des plaques circulaires sur les deux fonds de la virole avec des boulons

V.2.1.4 Arbre du broyeur

Le broyeur est constitué de deux arbres (figure V.8), chacun d'eux est fixé sur un anneau des plaques circulaires (disques) grâce à des plaques planes de fixation (fixation avec boulons), ces anneaux sont coaxiaux avec la virole pour éviter le désaxé des arbres du broyeur. Voir la Figure (V.9)

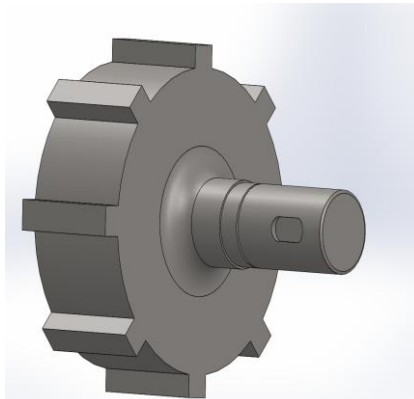


Figure V. 8: Arbre du broyeur

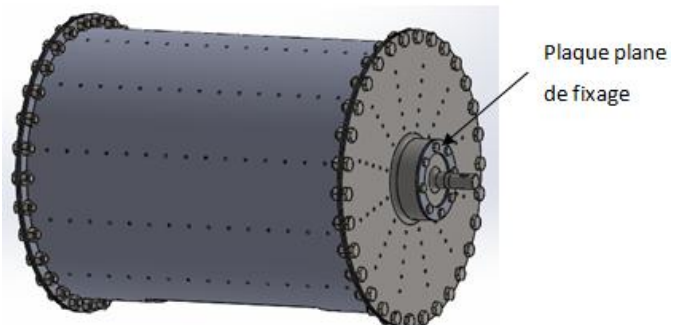


Figure V.9: Plaque plane de fixation

V.2.1.5 Palier et châssis

On monte deux paliers sur le broyeur, chacun d'eux a une gorge à l'intérieur de l'alésage pour bloquer l'anneau élastique, ce dernier va empêcher la bague extérieure du roulement de se déplacer, l'autre côté de la bague s'appuie sur l'épaule du palier. (Voir la figure V.10), ces paliers sont fixés sur le châssis avec des boulons (M20-120) et avec deux rondelles pour chaque écrou (M20) afin d'améliorer la répartition de la pression de contact.

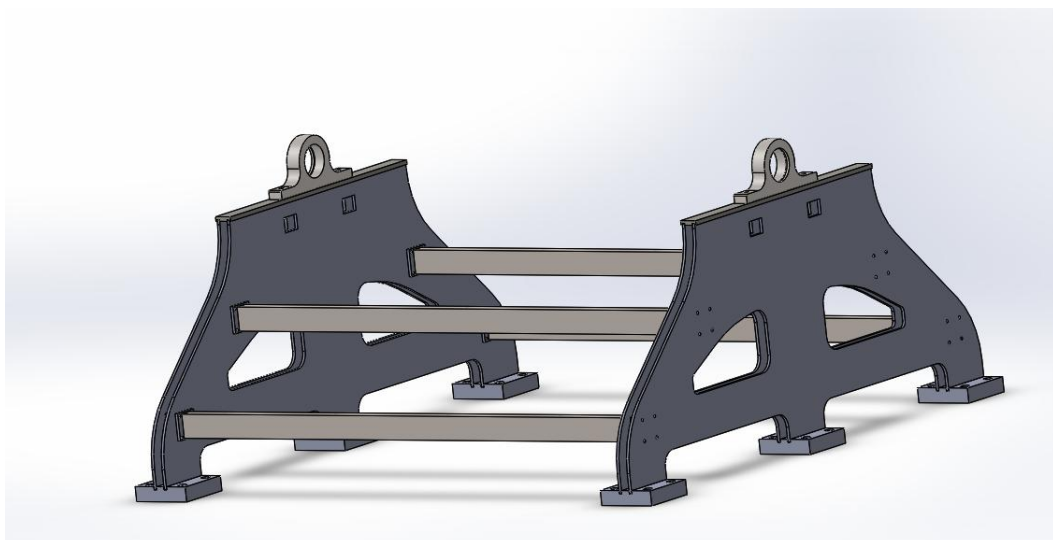


Figure V. 10: Palier plus le châssis

V.2.1.6 Les roulements

Sur chaque arbre du broyeur, on a monté un roulement à billes radial dans les quatre cotés sont bloqués .la bague intérieure du roulement est fixée par serrage sur l'arbre avec une tolérance de n6 et la tolérance de la bague extérieure avec le palier de H7.

L'un des deux côtés des bagues intérieures s'appuie sur l'épaulement de l'arbre, et l'autre côté est bloqué par un anneau élastique.

Le diamètre intérieur du roulement est $d=55\text{mm}$, $D=100\text{mm}$ et $B=21\text{mm}$.

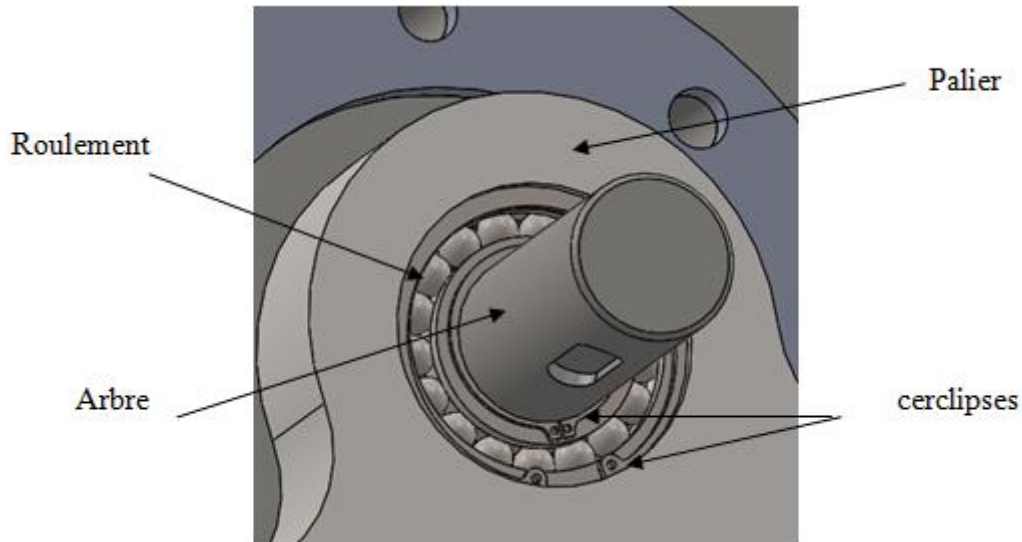


Figure V. 11 : Les roulements

V.2.1.7 Les éléments de blindage

V.2.1.7.1 les plaques de blindages en caoutchoucs

Parmi toutes les matières, le caoutchouc a des propriétés de résistance importante à l'usure aussi qu'une diminution du niveau sonore qu'autre matière.

C'est un matériau mou à faible résistance mécanique. Sa propriété anti-abrasive ne provient pas de sa résistance (dureté) à la déformation, mais plutôt de sa qualité d'effacement élastique, au besoin, en absorbant élastiquement l'énergie libérée par l'impact des particules.

- **Les avantages**

- Réduction du niveau sonore, facteur important pour un appareil qui sera utilisé dans le Laboratoire.
- Diminution du poids 7 fois moins que l'acier.
- moins de consommation d'énergie et facilité de montage.

V.2.1.7.2 Le revêtement de la virole

La figure V.12 représente le revêtement de la virole par du blindage en caoutchouc.

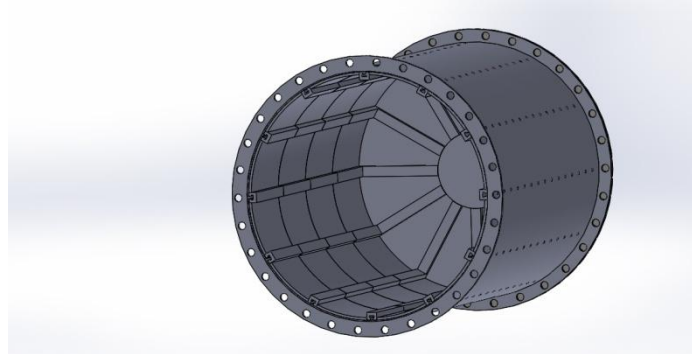


Figure V. 12 : Le revêtement de la virole

➤ Les barres de relevages

C'est un élément en caoutchouc, comme le montre la figure V.13 ci-dessous.

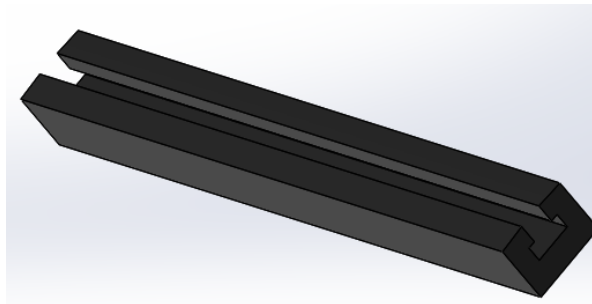


Figure V.13: La barre de relevage

➤ Plaque de virole

Elles se composent d'éléments en caoutchouc collés sur des bandes en acier inoxydable 10Cr13, voire la figure V.14 ci-dessous.

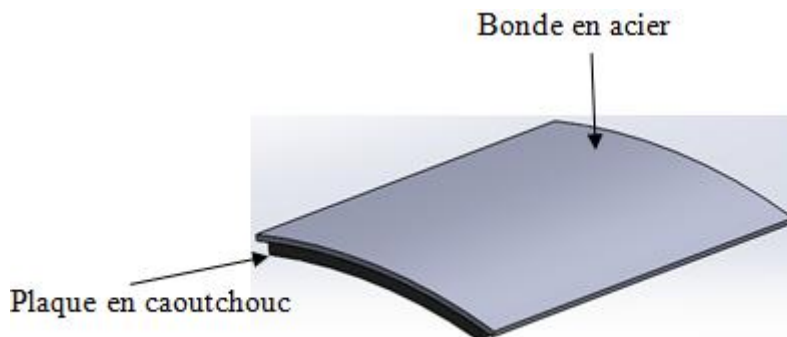


Figure V.14: Plaque de virole

➤ **Système de fixation :**

Pour une meilleure fixation, notre système illustré sur la figure V.15 doit comprendre les éléments suivants :

- La barre de relevage a une rainure en **T**.
- Trois boulons dont les têtes carrées sont prévus pour glisser facilement dans la rainure en **T**.
- Des plaques de viroles en caoutchoucs vulcanisés sur des bandes en acier inoxydable.

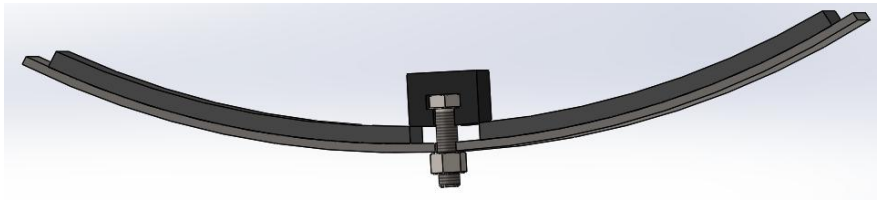


Figure V. 15: Système de fixation

Après serrage des boulons comme le montre la figure V.16, y a une fixation du revêtement sur la virole par la barre de relevage et les plaques de virole vulcanisées sur les bandes en acier.

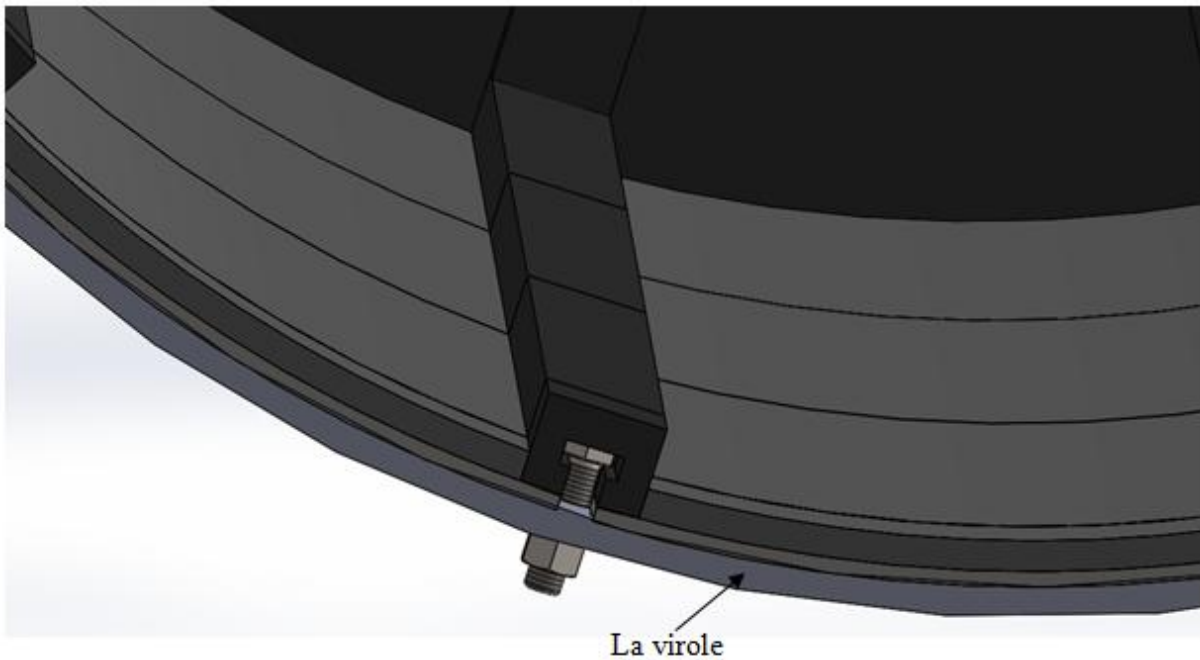


Figure V.16 : Système de fixation après le serrage

V.2.1.7.3 Le revêtement du fond du broyeur

Sur la figure, on montre le revêtement du fond du broyeur par des plaques en caoutchoucs.

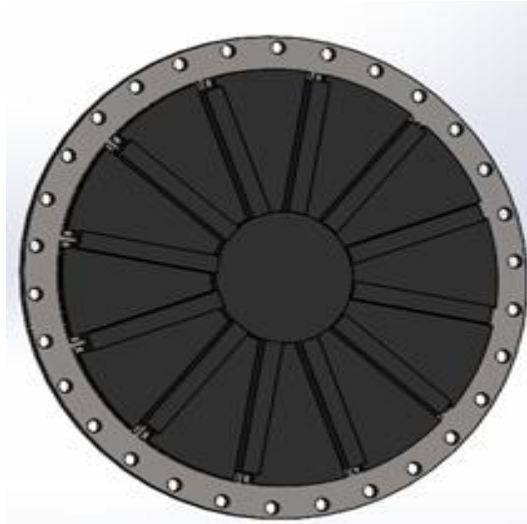


Figure V. 17 : Le revêtement du fond du broyeur

➤ **Plaque de fond**

Ces plaques de fond sont constituées d'éléments en caoutchoucs vulcanisé et collé sur les bandes en acier inoxydable, comme le montre la figure V. 18.

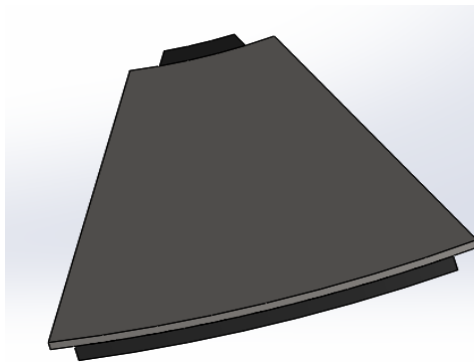


Figure V. 18 : Plaque de fond

➤ **Système de fixation**

Afin d'une bonne fixation, voire figure V.19, nous avons besoin des éléments suivants :

- La barre de relevage a une rainure en **T**.
- cinq boulons dont les têtes carrées sont prévus pour glisser facilement dans la rainure en **T**.
- Des plaques de fond vulcanisé sur des bandes en acier.

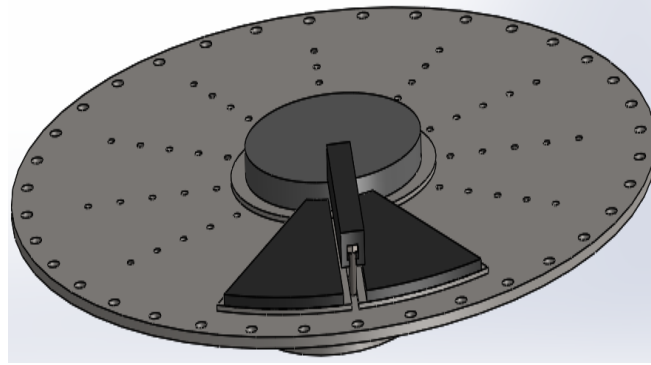


Figure V. 19: Système de fixation

Après serrages des boulons, le revêtement est fixé sur le fond par l'intermédiaire du profilé et des bandes en acier. La plaque qui y a une bande sous forme d'anneau est serrée sur le fond à l'aide des profilés, comme le montre la figure V. 20.

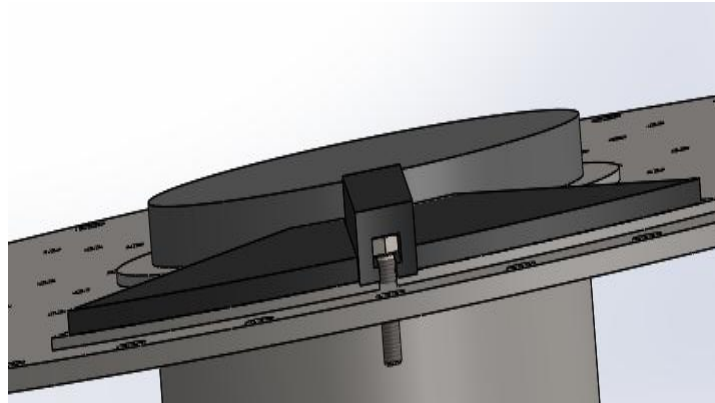


Figure V.20:Système de fixation après le serrage

➤ **Revêtement de la porte-visite**

La porte-visite est protégée par des plaques du blindage en caoutchoucs, chacune de ces plaques a une rainure sous forme de T ou on fait glisser les boulons à tête carrés, figure V. 21.

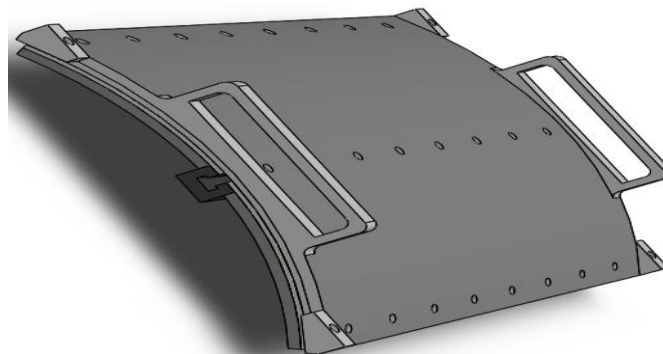


Figure V. 21 : Revêtement de la porte-visite

V.3 Engins broyant (les boulets) :

La taille des boulets est habituellement comprise entre : 25 mm et 103 mm. Elle peut être aussi de différents longueurs et diamètres

- Diamètre des boulets de 103 à 60 mm pour briser les grosses.
- Diamètre des boulets de 25 à 50 mm pour broyer les fines particules.

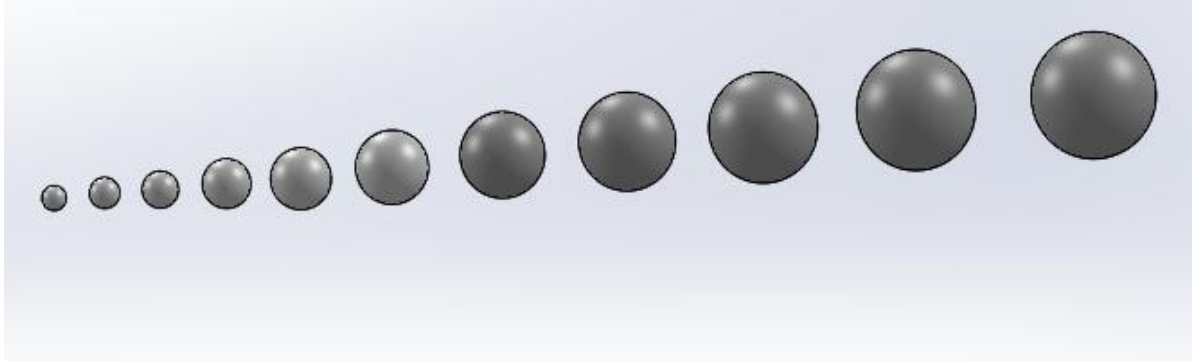


Figure V.22 : Les engins broyants

V.4 Les types de broyeurs utilisés pour les applications de caoutchouc

En général, les broyeurs où se fait le broyage humide sont adaptés pour les revêtements en caoutchouc. Alimentés par les plus gros matériaux jusqu'aux broyeurs en billes pour le broyage le plus fin.

Pour le broyage à sec, c'est le revêtement en caoutchouc qui est peut-être utilisé avec succès mais dans cette situation, il faut bien étudier les conditions de broyage et sa chaleur pour choisir la formulation convenable aux broyeurs.

V.4 .1 Avantage des revêtements des broyeurs en caoutchouc

- Adaptation par rapport aux conditions de froid.
- Force et durabilité à l'abrasion.
- Facteur de haute disponibilité.
- Environnement de travail amélioré grâce à la réduction du niveau sonore.
- Opération en sécurité.
- Résistance à la corrosion.
- Résistance de la chaleur allant jusqu'à 80°C.
- Poids léger.
- Montage rapide, simple et fiable.
- Baisse du coût unitaire du broyage par rapport à l'acier.

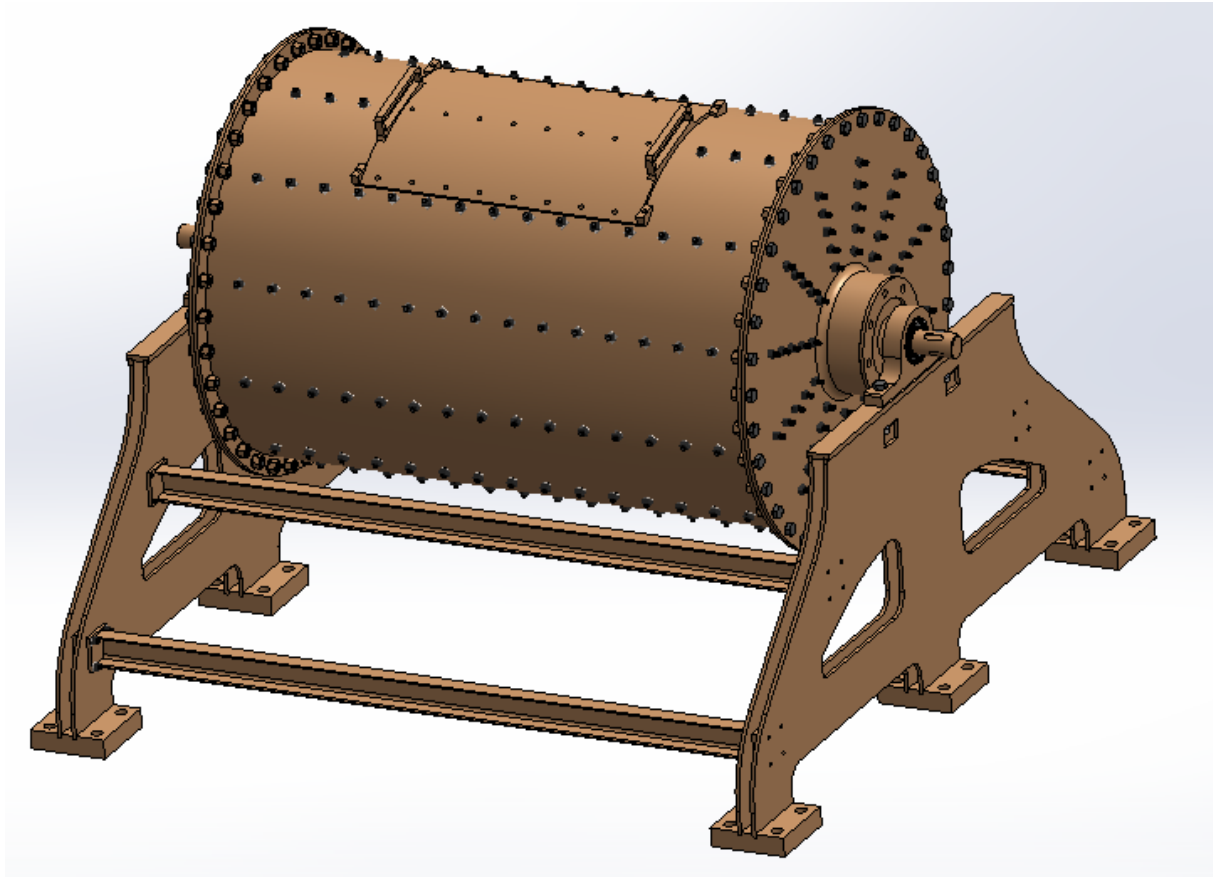


Figure V. 23: Broyeur a boulet

➤ **Paramètre technique**

Modèle	Taille de cylindre (mm)	Vitesse de rotation (t/min)	Poids Max Des boulets (t)	Poids De broyeur (t)	Type De moteur	Puissance De Moteur
BF1015	φ1000x1500	35.25	1.237	4.2	LSN180L	11KW

Tableau V. 1: Caractéristiques technique de notre broyeur à boulets.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'importance des essais de broyage dans les laboratoires sollicite d'avantage l'utilisation d'un broyeur à boulets fiable, performant et ergonomique. Concevoir un tel broyeur incite à toucher plusieurs branches de la mécanique.

Cela nous a motivé à réaliser le présent travail qui rentre dans le cadre d'une conception générale d'un broyeur à boulets pour des différents essais de broyage fin, à savoir la détermination des principaux paramètres de broyeur, la puissance et le type de moteur et les différents organes de transmission.

Les différents choix proposés s'appuyant sur des critères favorisant la rentabilité et la sécurité des différents organes de notre broyeur.

Nous avons fait appeler logiciel « SolidWorks » pour faire réaliser l'ensemble des pièces du broyeur à boulet. La faible vitesse de rotation du broyeur et la vitesse assez élevée du moteur qui répond à nos contraintes (couple et puissance), nous a obligé d'utiliser une transmission par courroie et engrenages, cela mène à la réduction de la taille des organes de la transmission.

Références bibliographiques

- [1]Thèse de doctorat sur l'optimisation du système de gestion de l'homogénéisation du cru et du processus technologique de fabrication du ciment dans le système carrière usine de fabrication, application aux cimenteries algériennes. Présentée par le Professeur MOUSSACEB.K. 19 février 2007.
- [2] elodie romilliat,étude des modes d'action des agents de mouture sur le broyage du clinker,2006
- [3] K. MOUSSACEB et D. MERABET, Modélisation et quantification des minéraux dans les minérales à ciment, Revue : ciment, béton, plâtres et chaux, no877 février – mars 2006.
- [4] M. N. DE NOIREFONTANE, Etude structurale et cristallographie du composé majoritaire du ciment : le silicate tricalcique, thèse de doctorat, Ecole polytechnique, Palaiseau, France, 2000.
- [5] Techniques de l'Ingénieur ; Les ciments, Document délivré le 15/04/2014 Pour le compte 7200092269-cerist // 193.194.76.5.
- [6] L. PLISKIN, la fabrication du ciment, 216, Paris, Eyrolles, 1993.
- [7] CECORAMA, Cours de cimenterie : Théorie et technologie, Edition Cecorama, liège, Belgique, 1994.
- [8] CHIHAOUI Ramdane : Durabilité des matériaux cimentaires vis-à-vis d'un environnement chimiquement agressif (Mémoire de Magister-USTMB d'Oran-2008).
- [9] pdf amélioration de caract.
- [10] S. Gaydardzhiev, Mineral Processing I, Support de cours ULG, 2015.
- [11] E.-A.J. Pierre Blazy, Fragmentation, applications, Technique de l'ingénieur, A5070.
- [12] Internet <http://www.isve.com> (2009).
- [13] Hukki, R.T. ; Reddy, I.G .. The relationship between energy input and fineness in comminution. Dechema Monograph, 1967, vol.57, p.313-339.
- [14] ZEBBOUDJI AMMAR et DJOUDER FATAH et TIDJET MEHANNI, Influence des paramètres de broyage sur les caractéristiques minéralogiques et texturales de minerai de phosphate noir de la mine de Djebel Onk (Tébessa). mémoire master, université A MIRA , 2013-2014.
- [15] Elodie Romilliat, Etude des modes d'action d'agents de mouture sur le broyage du clinker, Thèse, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, pp 8-37 (2006).
- [16] Patricia OBIANG,EVALUATION DES INTERACTIONS DIMENSION DE BOULETS - CONCENTRATION EN SOLIDES DE LA PULPE SUR L'EFFICACITÉ DE BROYAGE,2007.

Références bibliographiques

[17] Pierre Blazy, El-aïd Jdid, Jacques Yvon, Fragmentation-Technologie, Techniques de l'ingénieur, j3051, pp 10-13 (2006).

[18] FETTIOUNE Amara ET DJABALI Sofiane, CONCEPTION D'UN BROYEUR A BOULETS DESTINE AUXESSAIS DE LABORATOIRE. mémoire master, , université A MIRA,2012-2013.

[19] Rolando Quispe Quispe, Effets des conditions d'opération d'un broyeur à boulets 40x40 cm sur la rétention des corps broyant de petite taille université laval, 2014.

[20] Austin, L. G., Klimpel, R. R., &Luckier, P. T., [1984], "Process engineering of size reduction: ball milling", Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, New York.

[21] Gina Stoica, Bernard Leduc, Méthodologie de calcul et de conception d'un réducteur d'engrenage cylindrique ou conique, Université Politehnica de Bucarest, Université libre de Bruxelles, Mémoire, pp 1-22 (2009).

[22] Leroy Somer, Moteurs asynchrones triphasés atmosphères explosibles poussiéreuses, Catalogue, 3215 F-2.33, p 83 (2001).

[23] Tex ope, Méthode de calcul des courroies trapézoïdales, Manuel, pp 12-34 (2006)

[24] cour 3^{ème} année (calcul de roulement).

ANNEXE B

➤ Catalogue succinct des principaux matériaux :

- Fontes

Désignation : Nouvelle (ancienne)	Identification	σ_r (MPa)	$\sigma_{e0.2}$ (MPa)	σ_{rc} (MPa)	$\sigma_{,1}$ (MPa)	A%	HB	E	ρ (kg.m ⁻³)
EN-L-250 (FGL 250)	Fonte à graphite lamellaire	250	165	840	115	>0,8	180-250	125000	7200
EN-L-400 (FGL 400)	Fonte à graphite lamellaire	400	260	1200	152	>0,8	245-320	150000	7350
EN-M-200 (FB)	Fonte blanche de 2eme fusion	200-400		1500-1800			350-600	180000	7650
EN-M-Cr26 Mo Ni (FBCr26MoNi)	Fonte blanche alliée	700		2000			800	175000	7800
MB 400 7	Fonte malleable à coeur blanc	400	260	900	200	7	220	180000	7200
MN 350 10	Fonte malleable à coeur noir	350	230	700	195	10	150	170000	7300
MN 700 2	Fonte malleable à coeur noir	700	530	1400	300	2	265	175000	7300
EN-S-350 (FGS-350-20)	Fonte à graphite sphéroïdal	350	220		190	22	150	170000	7100
EN-S-700 (FGS 700 2)	Fonte à graphite sphéroïdal	700	420		290	2	265	176000	7300

➤ Caractéristiques du moteur :

Type	Puissance nominale	Vitesse nominale	Moment nominal	Intensité nominale	Facteur de puissance			Rendement CEI 60034-2; 1996			Courant démarrage/ Courant nominal	Moment démarrage/ Moment nominal	Moment maximum/ Moment nominal	Moment d'inertie	Masse	Bruit
	P_N kW	N_N min ⁻¹	M_N N.m	I_N (400V) A	Cos ϕ			η			Id / In	Md/Mn	M_{max}/M_n	J kg.m ²	IM B3 kg	LP db(A)
LSN 80 L	0,18	705	2,44	0,79	0,63	0,54	0,45	52	48	43	2,9	1,5	1,9	0,0031	9,7	41
LSN 80 L	0,25	700	3,41	0,98	0,68	0,6	0,51	54	52	45	2,8	1,7	1,9	0,0041	11,3	41
LSN 90 L	0,37	685	5,16	1,2	0,72	0,63	0,52	62	62	56	3,8	1,7	1,8	0,0038	13,5	43
LSN 90 S	0,37	685	5,16	1,2	0,72	0,63	0,52	62	62	56	3,8	1,7	1,8	0,0038	13,5	43
LSN 90 L	0,55	670	7,84	1,7	0,72	0,61	0,52	63,5	62	59	3,5	1,7	1,7	0,0047	15,2	43
LSN 100 L	0,75	670	10,7	2,4	0,71	0,58	0,47	63,5	61,5	55	3,5	1,8	2,2	0,0047	18	43
LSN 100 L	1,1	670	15,7	3,7	0,68	0,6	0,49	63	62,5	58	3,7	2,0	2,2	0,0068	21,8	43
LSN 112 MG	1,5	710	20,2	4,7	0,64	0,55	0,43	72	69	62,5	3,8	2,0	2,1	0,015	24	49
LSN 132 SM	2,2	713	29,5	6,1	0,68	0,56	0,45	77,1	77,5	71	4,0	1,7	2,0	0,025	45,6	54
LSN 132 M	3	712	40,2	8	0,65	0,56	0,45	79,8	82,9	79	4,3	1,9	2,2	0,033	53,9	54
LSN 160 M	4	718	53,2	11	0,63	0,55	0,43	83,3	83,4	81,3	3,9	1,7	2,3	0,068	84	66
LSN 160 M	5,5	716	73,4	15,1	0,63	0,55	0,43	83,3	83,5	81,8	3,9	1,7	2,3	0,071	89	66
LSN 160 L	7,5	714	100	20,6	0,63	0,55	0,43	83,4	84	82,6	3,9	1,9	2,3	0,09	101	66
LSN 180 L	11	720	146	25,6	0,72	0,68	0,57	86	86,3	84,2	3,8	1,4	1,9	0,205	140	68
LSN 200 L	15	725	198	32,9	0,75	0,7	0,57	87,7	87,9	86,3	4,4	1,6	2,1	0,27	185	65
LSN 225 ST	18,5	725	244	42,4	0,72	0,66	0,54	87,5	87,7	86,2	4,2	1,6	2,1	0,33	210	65
LSN 225 MR	22	725	290	51,9	0,7	0,63	0,51	87,4	87,2	85,1	4,4	1,9	2,3	0,4	240	65
LSN 250 ME	30	730	392	60,3	0,79	0,73	0,63	90,9	91,2	90,1	5,8	1,9	2,7	0,99	330	65
LSN 280 SC	37	730	484	74,3	0,79	0,73	0,63	91	91,4	90,7	5,6	1,8	2,6	1,19	370	65
LSN 280 MD	45	728	590	91,4	0,78	0,73	0,63	91,1	91,7	91,1	5,4	1,8	2,6	1,39	430	65

- Poulies à gorges trapézoïdales étroites :

Type	l_p	h	b	f	e	d_p	$2\beta''^\circ$
SPZ	8,5	9	2,0	8	12	≤ 112	34
						> 112	38
SPA	11	11	3,75	10	15	≤ 150	34
						> 150	38
SPB	14	14	4	12	19	≤ 190	34
						> 190	38
SPC	19	19	5	16	25	≤ 250	34
						> 250	38

- Choix de facteur de service k_s :

Facteurs de service k_s	Conditions de fonctionnement								
	8 heures/jour			16 heures/jour			24 heures/jour		
	Couple uniforme U	Couple variable V	Couple très variable TV	Couple uniforme U	Couple variable V	Couple très variable TV	Couple uniforme U	Couple variable V	Couple très variable TV
Moteur électrique usuel couple de démarrage normal	1	1,12	1,25	1,12	1,25	1,40	1,18	1,32	1,50
Démarrages fréquents ou inversions de sens fréquentes	1,12	1,25	1,40	1,25	1,40	1,60	1,32	1,40	1,70
Moteur électrique à couple de démarrage élevé ou moteur synchrone, Moteur diesel à 1 ou 2 cylindres	1,18	1,32	1,50	1,32	1,50	1,70	1,40	1,60	1,80
Inversions de sens ou démarrages fréquents avec moteur à fort couple de démarrage	1,32	1,50	1,70	1,50	1,70	1,90	1,60	1,80	2

➤ Courroies de type SPA :

Puissance brute transmissible p_0 par courroie (kW) sur la base d'une durée de vie théorique de 24000 heures.

$P_0 =$ puissance brute transmissible (kW) pour $L = 2360$ mm et $\alpha = 180^\circ$ (arc de contact)																			
n_d (tr/min)	$R = \frac{D}{d}$	d (mm) =																	
		90	95	100	106	112	118	125	132	140	150	160	170	180	200	212	224	236	250
200	$R < 1,06$	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2
	$1,06 \leq R < 1,11$	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2
	$1,12 \leq R < 1,24$	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2
	$1,25 \leq R < 1,59$	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3
	$1,6 \leq R$	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3
400	$R < 1,06$	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	3,1	3,3	3,6	3,8	4,1
	$1,06 \leq R < 1,11$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	3,1	3,4	3,6	3,9	4,2
	$1,12 \leq R < 1,24$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	3,2	3,4	3,7	3,9	4,2
	$1,25 \leq R < 1,59$	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,2	3,4	3,7	3,9	4,2
	$1,6 \leq R$	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,5	1,6	1,8	1,9	2,2	2,4	2,6	2,8	3,2	3,5	3,8	4,0	4,3
730	$R < 1,06$	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	2,8	3,1	3,4	3,8	4,2	4,6	5,3	5,7	6,1	6,6	7,0
	$1,06 \leq R < 1,11$	1,2	1,4	1,6	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,1	3,5	3,9	4,3	4,6	5,3	5,8	6,2	6,6	7,1
	$1,12 \leq R < 1,24$	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,4	2,6	2,9	3,2	3,6	3,9	4,3	4,7	5,4	5,8	6,3	6,7	7,2
	$1,25 \leq R < 1,59$	1,3	1,5	1,7	1,9	2,2	2,4	2,7	2,9	3,3	3,6	4,0	4,4	4,7	5,5	5,9	6,3	6,8	7,3
	$1,6 \leq R$	1,3	1,5	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0	3,3	3,7	4,1	4,5	4,8	5,6	6,0	6,4	6,9	7,4
970	$R < 1,06$	1,5	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9	3,2	3,6	3,9	4,4	4,9	5,4	5,8	6,8	7,3	7,9	8,4	9,0
	$1,06 \leq R < 1,11$	1,6	1,8	2,1	2,4	2,6	2,9	3,3	3,5	4,0	4,5	5,0	5,4	5,9	6,8	7,4	7,9	8,5	9,1
	$1,12 \leq R < 1,24$	1,6	1,9	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,7	4,1	4,6	5,0	5,5	6,0	6,9	7,5	8,0	8,6	9,2
	$1,25 \leq R < 1,59$	1,7	1,9	2,2	2,5	2,8	3,1	3,4	3,8	4,2	4,6	5,1	5,6	6,1	7,0	7,6	8,1	8,7	9,3
	$1,6 \leq R$	1,7	2,0	2,2	2,5	2,8	3,1	3,5	3,8	4,2	4,7	5,2	5,7	6,2	7,1	7,7	8,3	8,8	9,5

➤ Facteur de correction de longueur :

En fonction de la longueur de la courroie ($L=L_p=1600$ mm) on choisit l_c .

L (mm)	800	900	1000	1120	1250	1400	1600	1800	2000	2360	2500	2800	3150	3550	4000
l_c	0,79	0,81	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92	0,94	0,97	1,00	1,01	1,03	1,05	1,08	1,10

➤ Facteur de correction d'arc :

✓ En fonction de $\frac{D-d}{E}$ et, on choisit α

✓ $\frac{D-d}{E} = \frac{D-d}{A} = 0.31$

$\frac{D-d}{E}$	α	α
0,00	180	1,00
0,04	178	0,99
0,11	173	0,98
0,19	169	0,97
0,26	165	0,96
0,32	161	0,95
0,39	158	0,94
0,45	154	0,93
0,51	151	0,92
0,56	147	0,91
0,62	144	0,90
0,67	141	0,89
0,72	138	0,88
0,77	135	0,87
0,82	132	0,86
0,86	129	0,85
0,91	126	0,84
0,95	123	0,83
0,99	121	0,82
1,03	118	0,81
1,07	116	0,80
1,10	113	0,79
1,14	111	0,78
1,17	108	0,77
1,21	106	0,76
1,24	104	0,75
1,27	101	0,74
1,30	99	0,73
1,32	97	0,72
1,35	95	0,71
1,38	93	0,70
1,40	91	0,69
1,43	89	0,68
1,45	87	0,67
1,48	85	0,66
1,50	83	0,65
1,52	81	

➤ Coefficient K_m :

SPZ	0,007	XPZ	0,069	Z	0,006
SPA	0,012	XPA	0,122	A	0,011
SPB	0,019	XPB	0,192	B	0,019
SPC	0,038	XPC	0,328	C	0,031
				D	0,059

➤ Gamme des modules :

Valeur en mm :

I	II	I	II
1			4,5
	1,25	5	
1,25			5,5
	1,375	6	
1,5			7
	1,75	8	
2			9
	2,25	10	
2,5			11
	2,75	12	
3			14
	3,5	16	
4			18

I : Valeurs recommandés

II : Valeurs Admis

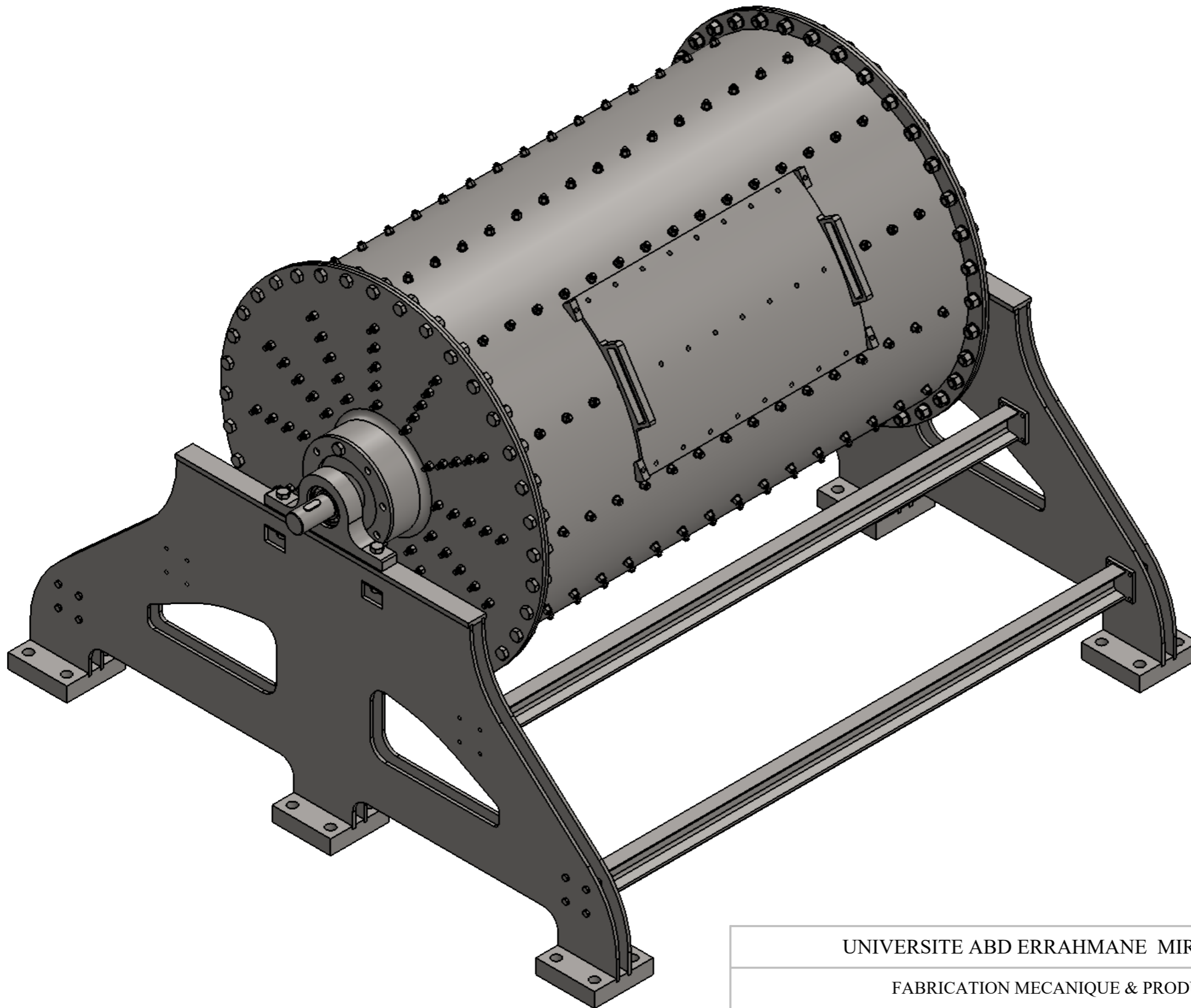
➤ Clavettes parallèles : dimensions normalisées

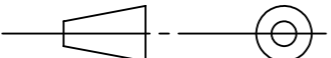
<i>d</i> de – à (inclus)	série normale				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>s</i>	<i>J</i>	<i>K</i>
6 à 8	2	2	0,16	<i>d</i> – 1,2	<i>d</i> + 1
9 à 10	3	3	à	<i>d</i> – 1,8	<i>d</i> + 1,4
11 à 12	4	4	0,25	<i>d</i> – 2,5	<i>d</i> + 1,8
13 à 17	5	5	0,25	<i>d</i> – 3	<i>d</i> + 2,3
18 à 22	6	6	à	<i>d</i> – 3,5	<i>d</i> + 2,8
23 à 30	8	7	0,40	<i>d</i> – 4	<i>d</i> + 3,3
31 à 38	10	8	0,40	<i>d</i> – 5	<i>d</i> + 3,3
39 à 44	12	8	à	<i>d</i> – 5	<i>d</i> + 3,3
45 à 50	14	9	0,60	<i>d</i> – 5,5	<i>d</i> + 3,8
51 à 58	16	10	0,60	<i>d</i> – 6	<i>d</i> + 4,3
59 à 65	18	11	à	<i>d</i> – 7	<i>d</i> + 4,4
66 à 75	20	12	0,80	<i>d</i> – 7,5	<i>d</i> + 4,9
76 à 85	22	14	1	<i>d</i> – 9	<i>d</i> + 5,4
86 à 95	25	14	à	<i>d</i> – 9	<i>d</i> + 5,4
96 à 110	28	16	1,2	<i>d</i> – 10	<i>d</i> + 6,4
111 à 130	32	18	1,5	<i>d</i> – 11	<i>d</i> + 7,4
131 à 150	36	20	à	<i>d</i> – 12	<i>d</i> + 8,4
151 à 170	40	22	2	<i>d</i> – 13	<i>d</i> + 9,4
171 à 200	45	25	2	<i>d</i> – 15	<i>d</i> + 10,4
201 à 230	50	28	à	<i>d</i> – 17	<i>d</i> + 11,4
231 à 260	56	32	3	<i>d</i> – 20	<i>d</i> + 12,4
261 à 290	63	32	3	<i>d</i> – 20	<i>d</i> + 12,4
291 à 330	70	36	à	<i>d</i> – 22	<i>d</i> + 14,4
331 à 380	80	40	4	<i>d</i> – 25	<i>d</i> + 15,4
381 à 440	90	45	4	<i>d</i> – 28	<i>d</i> + 17,4
441 à 500	100	50	4	<i>d</i> – 31	<i>d</i> + 19,5

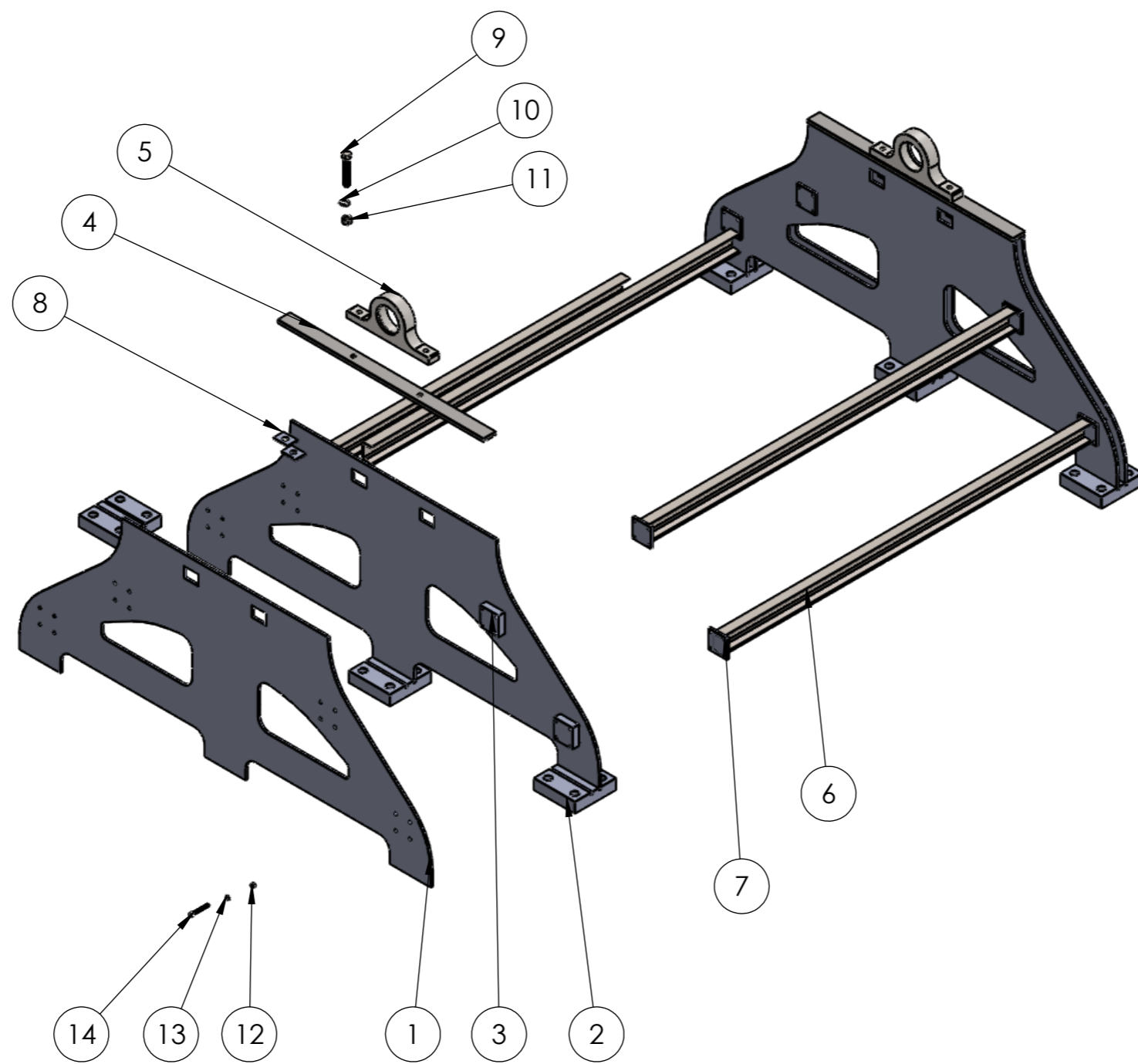
➤ La limite élastique (MPa)

Matériau	Limite Elastique [MPa]
Acier ASTM A36	250
Acier ASTM A514	690
Acier de construction S235 (Ac37-2)	235
Acier de construction E295 (Ac50-2)	295
Acier de construction E295K (Ac50-2K)	410
Acier de cimentation C10	340
Acier d'amélioration C35E (Ck35)	400
Acier d'amélioration C45E (Ck45)	460
Acier Inox X10CrNiS18 9	200
Acier Inox X20Cr13	550

ANNEXE C

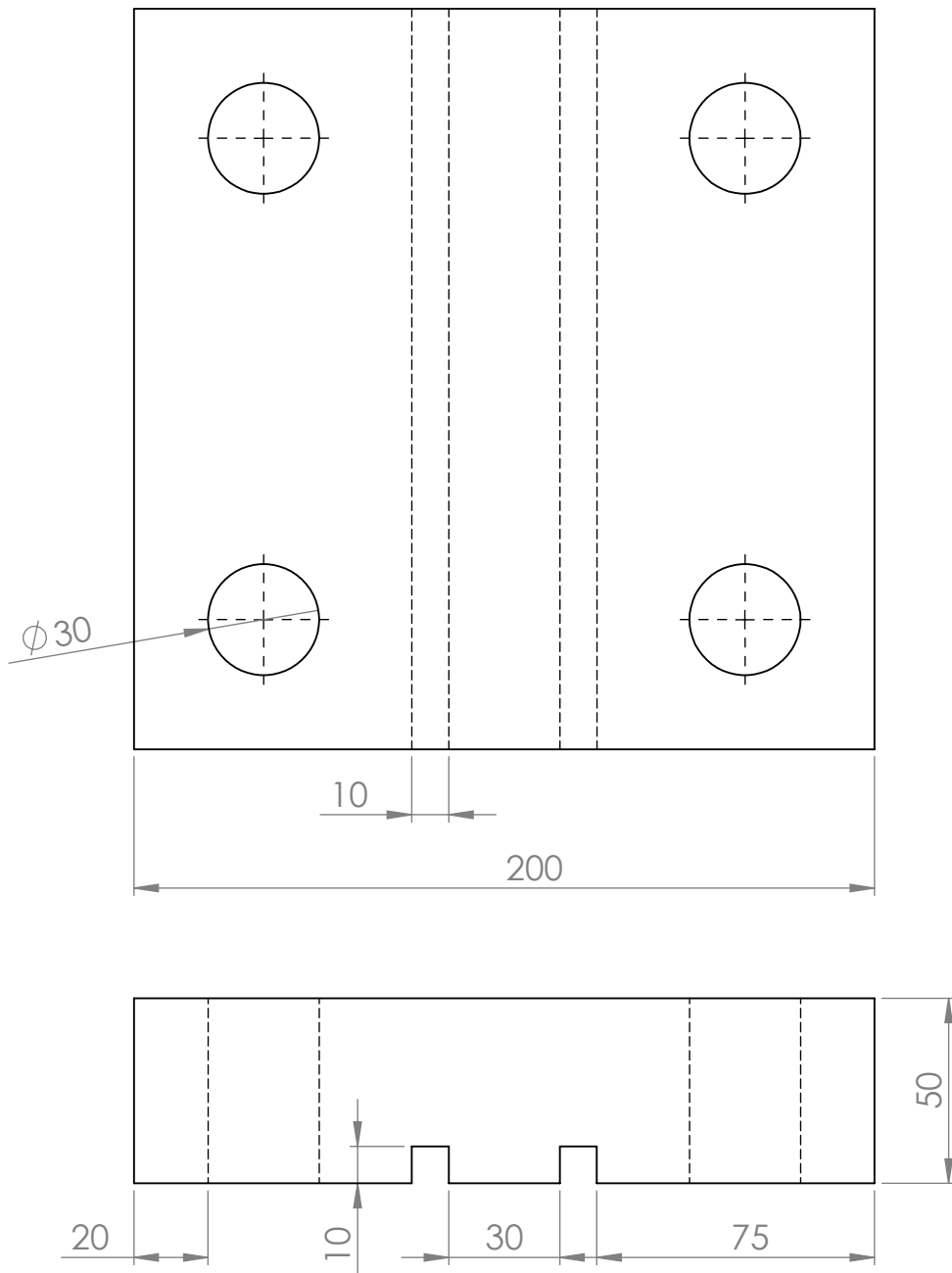


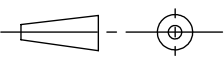
UNIVERSITE ABD ERRAHMANE MIRA BEJAIA		BENDRIS & FETTOUS
FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE		
ECHELLE:1:10	BROYEUR A BOULET	NUM: 1
		25/06/2019

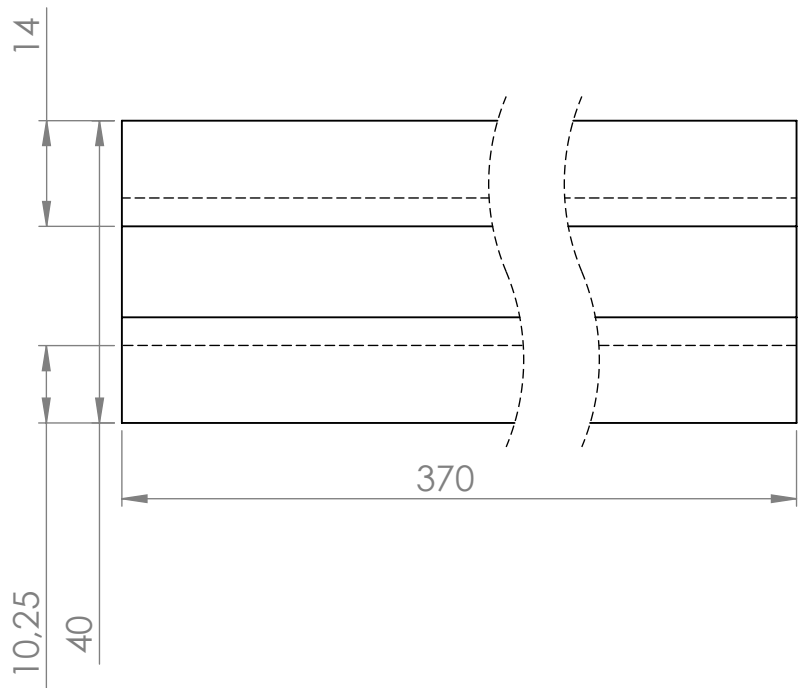
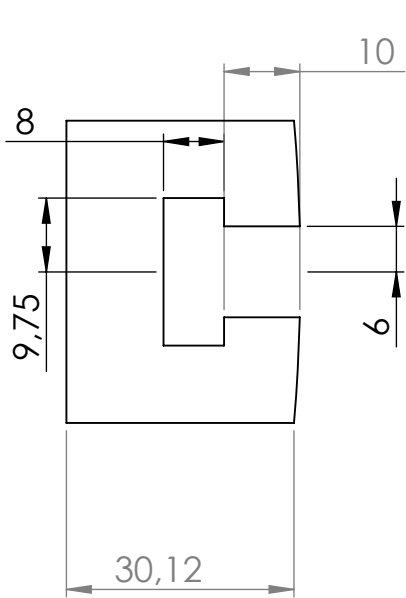


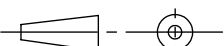
NUMERO	QUANTITE	DESCRIPTION
1	4	Pied
2	6	Plaquefixation
3	8	Plaque 1
4	2	Support pallier
5	2	palie
6	4	CH 80 x 8x1790.0
7	8	plaque 2
8	4	Plaque 3
9	4	VIS H M20-120
10	4	RENDELLE M20
11	4	ECROU M20
12	32	ECROU M10
13	32	RENDELLE M10
14	32	VIS H M10-80

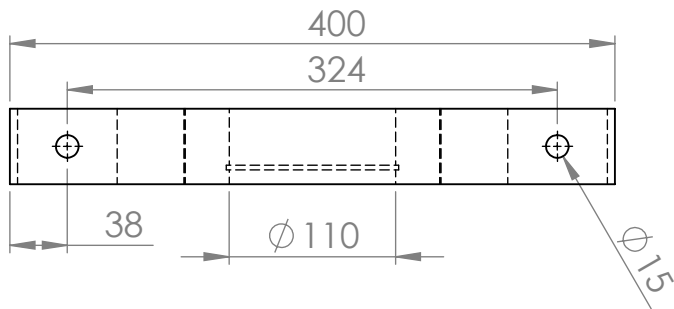
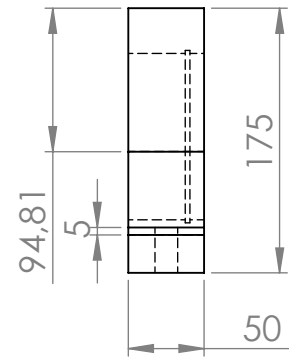
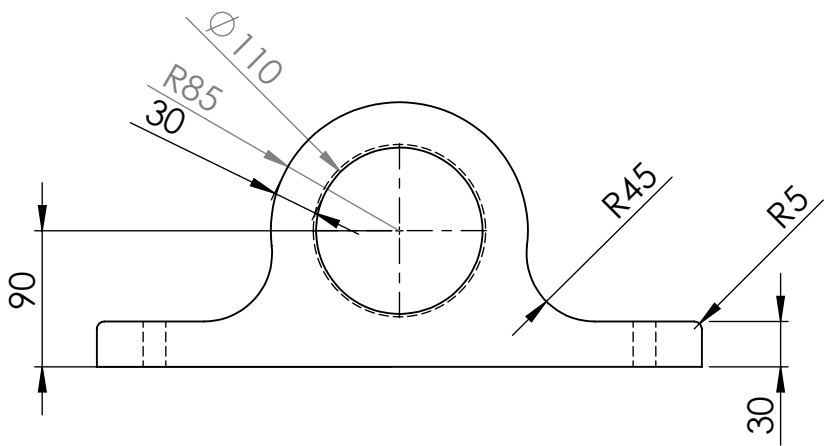
UNIVERSITE ABD ERRAHMANE MIRA BEJAIA		BENDRIS & FETTOUS
FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE		
ECHELLE:1:20		NUM : 2
		CHASSIS

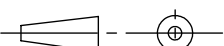


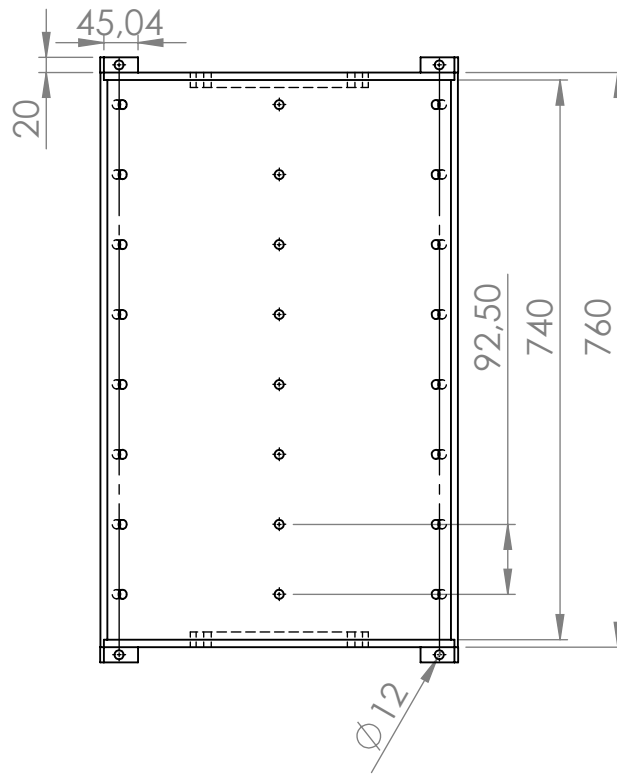
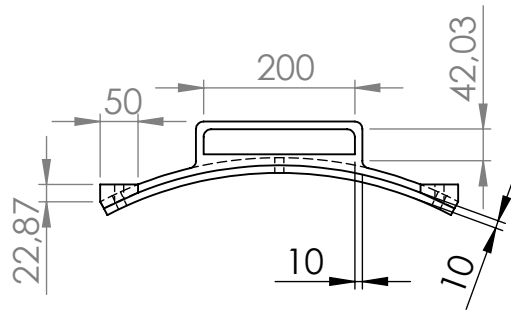
UNIVERSITE ABDREHMANE - MIRA BEJAIA		BENDRIS & FETTOUS
C35	FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE	
ECHELLE: 1: 2	plaque fixaion de chassis	NUM : 3
		25/06/2019



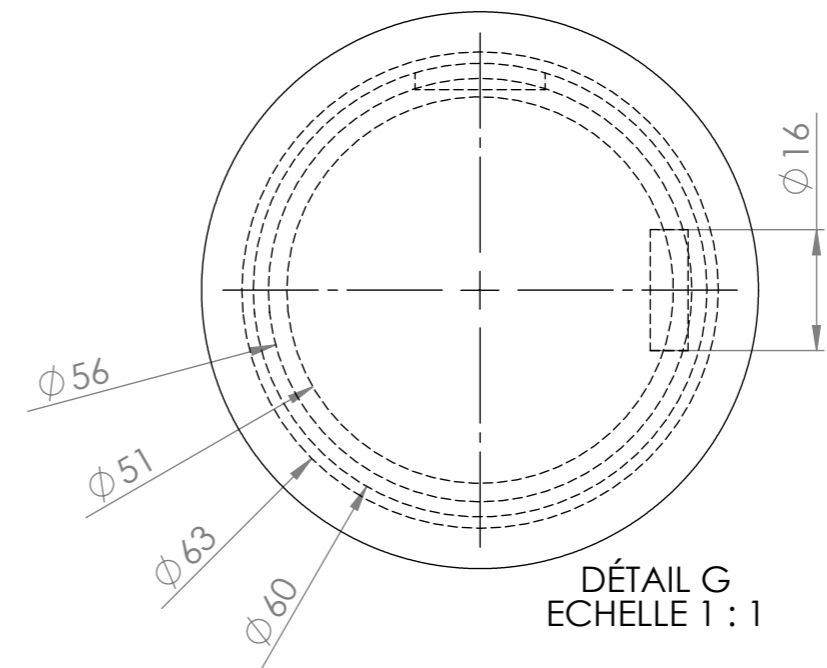
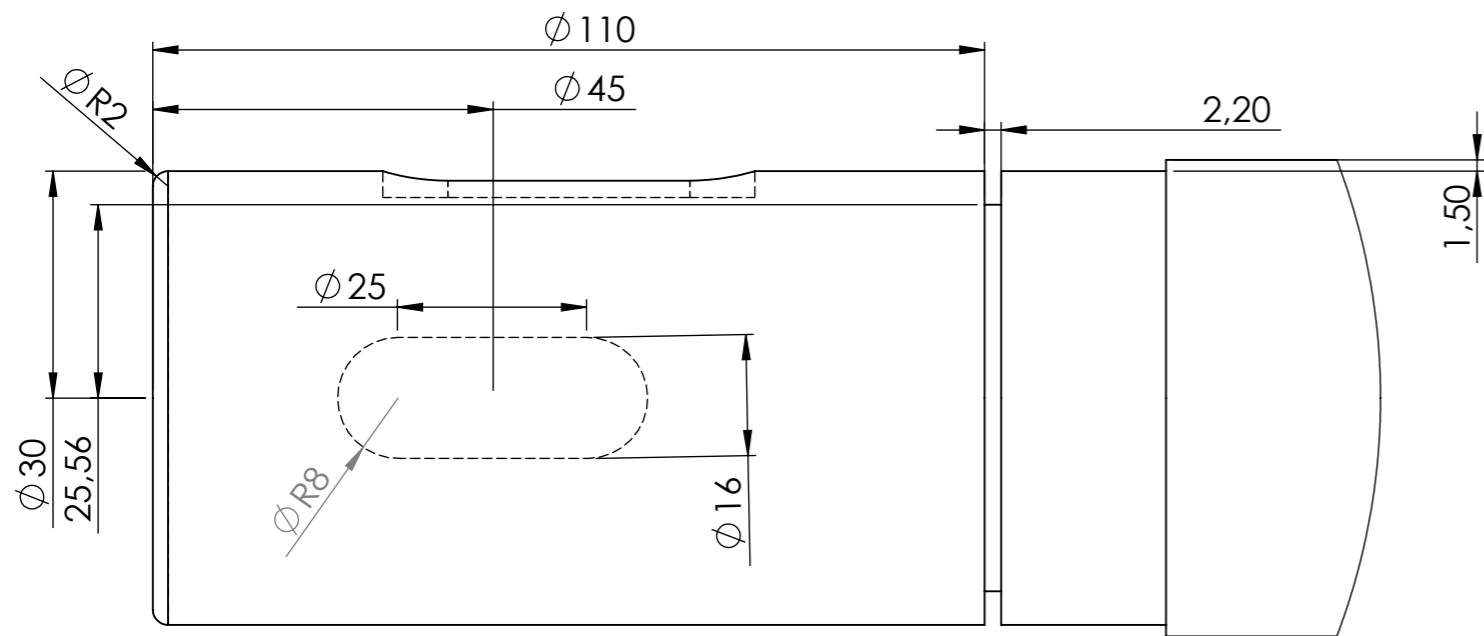
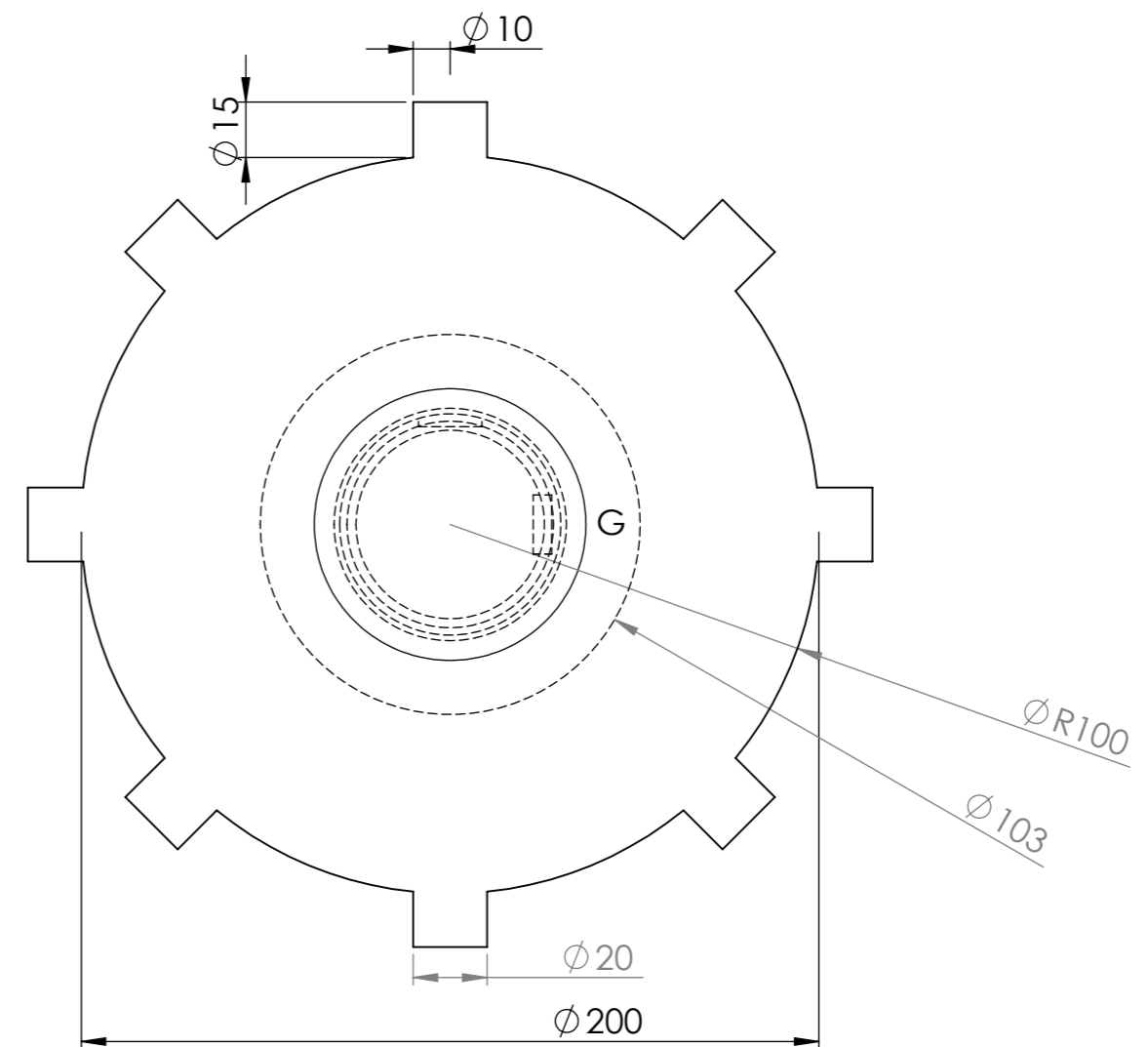
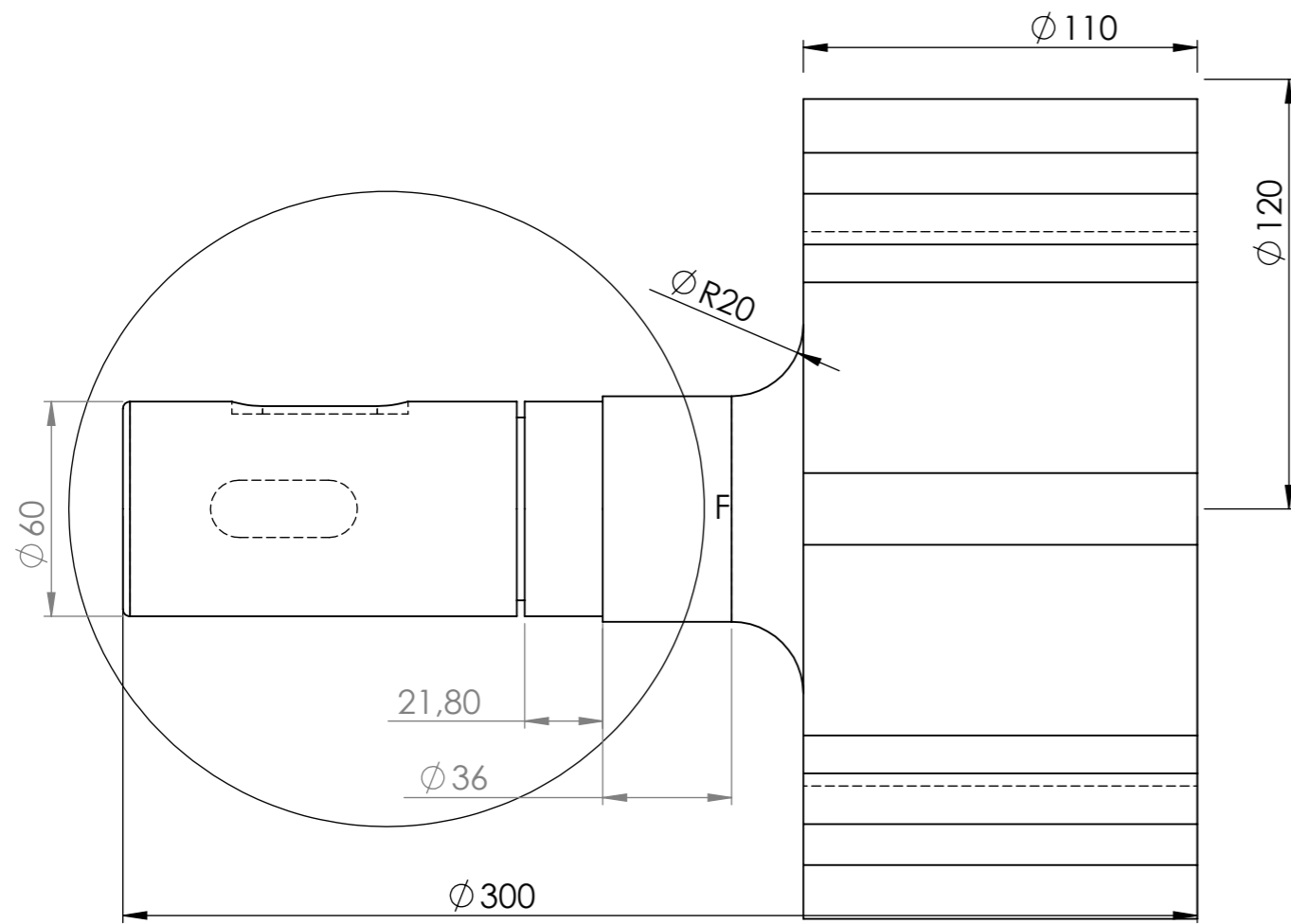
UNIVERSITE ABDREHMANE - MIRA BEJAIA		BENDRIS & FETTOUS
CAOUTCHOUC	FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE	
ECHELLE: 1:1	BARRE DE RELEVAGE	NUM : 4
		25/06/2019



UNIVERSITE ABDREHMANE - MIRA BEJAIA		BENDRIS & FETTOUS
C35	FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE	
ECHELLE: 1:5	PALIER	NUM : 5
		25/06/2019

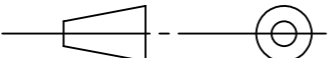


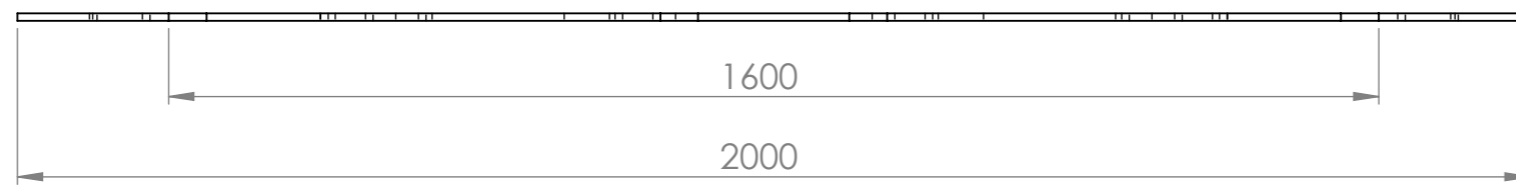
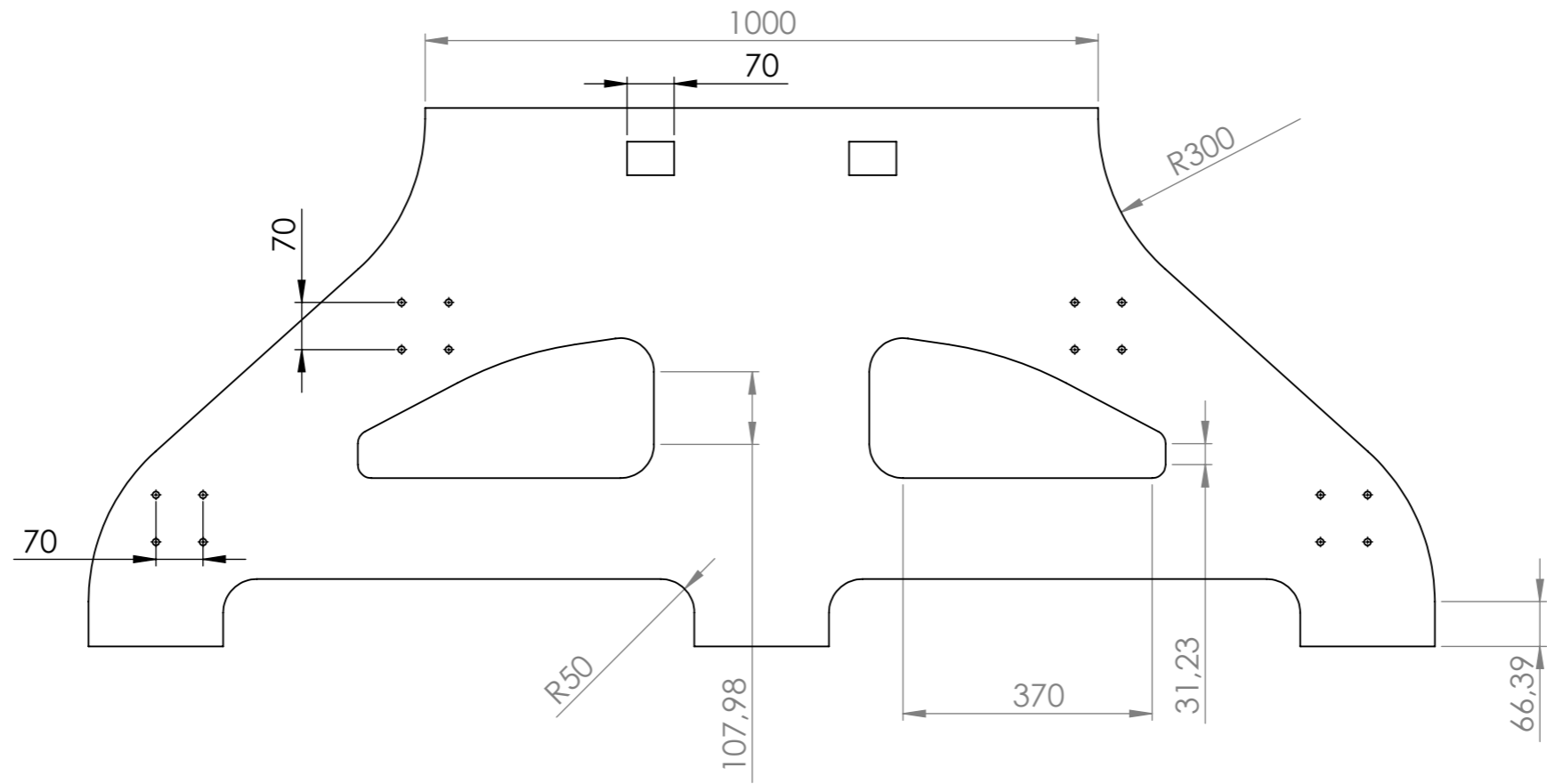
UNIVERSITE ABDREHMANE - MIRA BEJAIA		BENDRIS & FATTOUS
C35	FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE 2018	
ECHELLE: 1:10	PORTE DE VISITE	NUM : 6
		

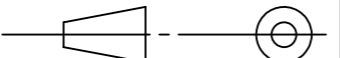


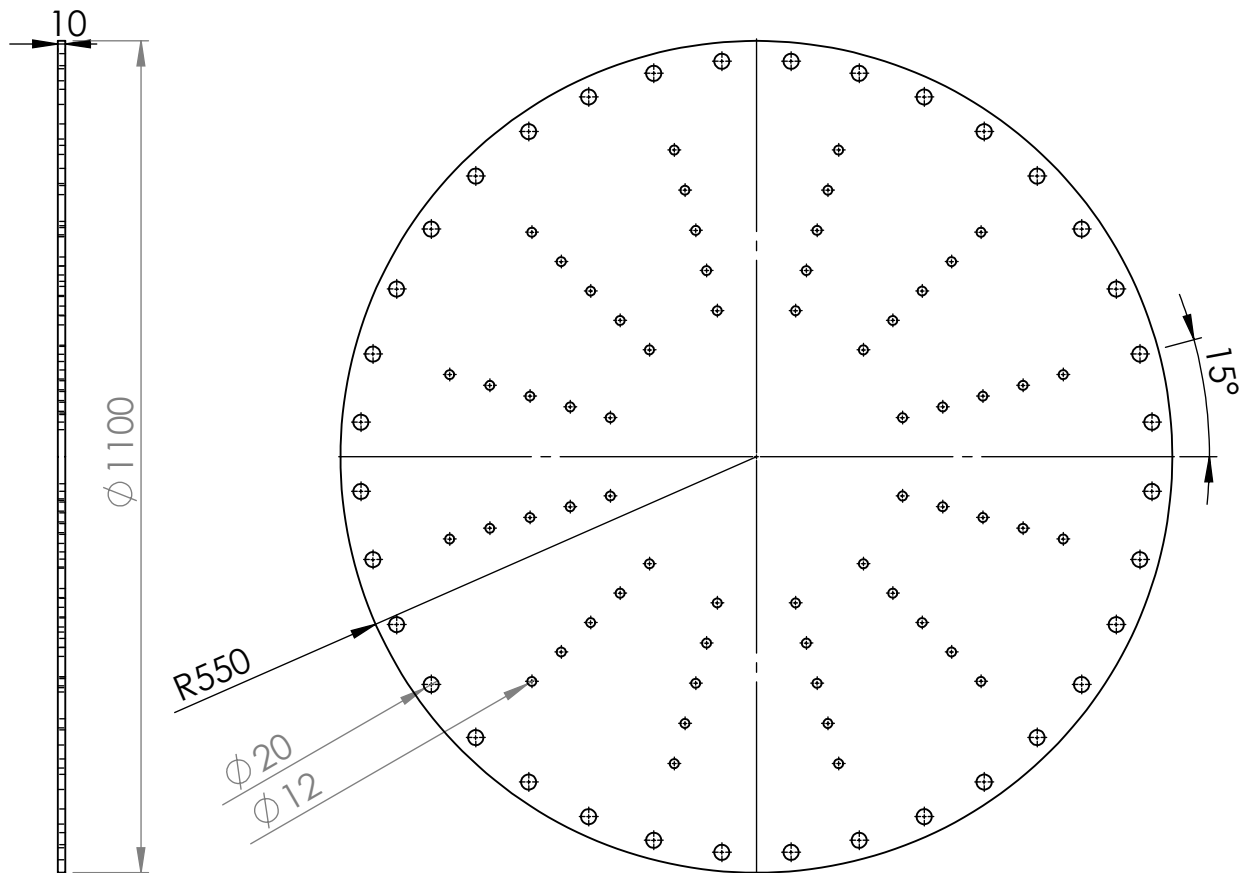
DÉTAIL F
ECHELLE 1 : 1

DÉTAIL G
ECHELLE 1 : 1

UNIVERSITE ABD ERRAHMANE MIRA BEJAIA		BENDRIS & FETTOUS
X20 Cr13	FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE	
ECHELLE:1:2	ARBRE DE TRANSMISSION	NUM: 7
		25/06/2019



UNIVERSITE ABD ERRAHMANE MIRA BEJAIA		BENDRIS & FETTOUS
C35	FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE	
ECHELLE:1:10	pied	NUM: 8
		25/06/2019



UNIVERSITE ABDREHMANE - MIRA BEJAIA

BENDRIS
&
FETTOUS

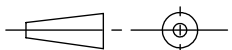
X6 Cr13

FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE

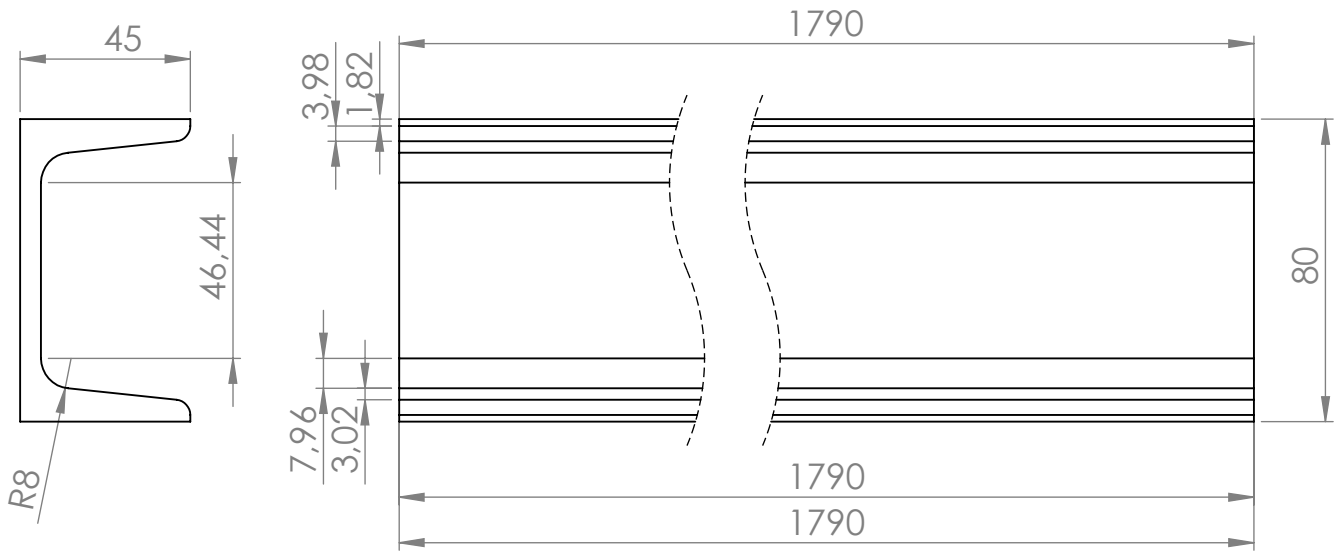
ECHELLE: 1:10

PLAQUE CIRCULAIRE

NUM : 9



25/06/2019



UNIVERSITE ABDREHMANE - MIRA BEJAIA

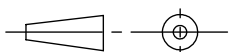
BENDRIS
&
FETTOUS

FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE

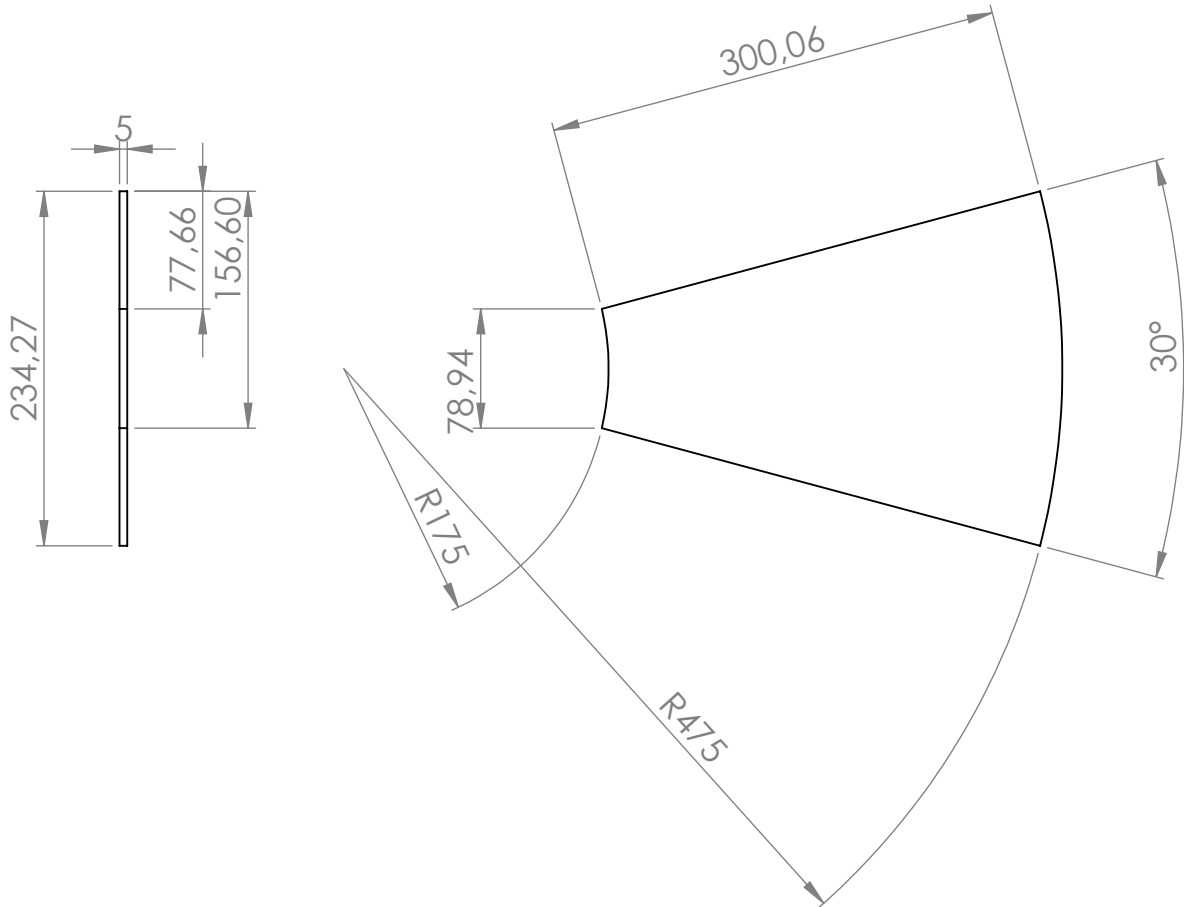
ECHELLE: 1: 2

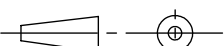
poutre en c

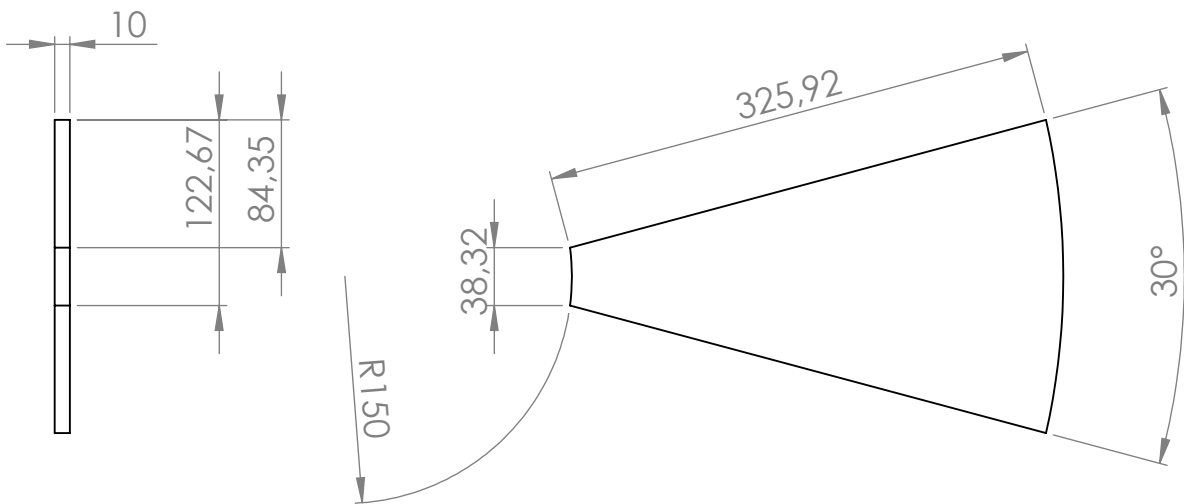
NUM : 10

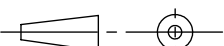


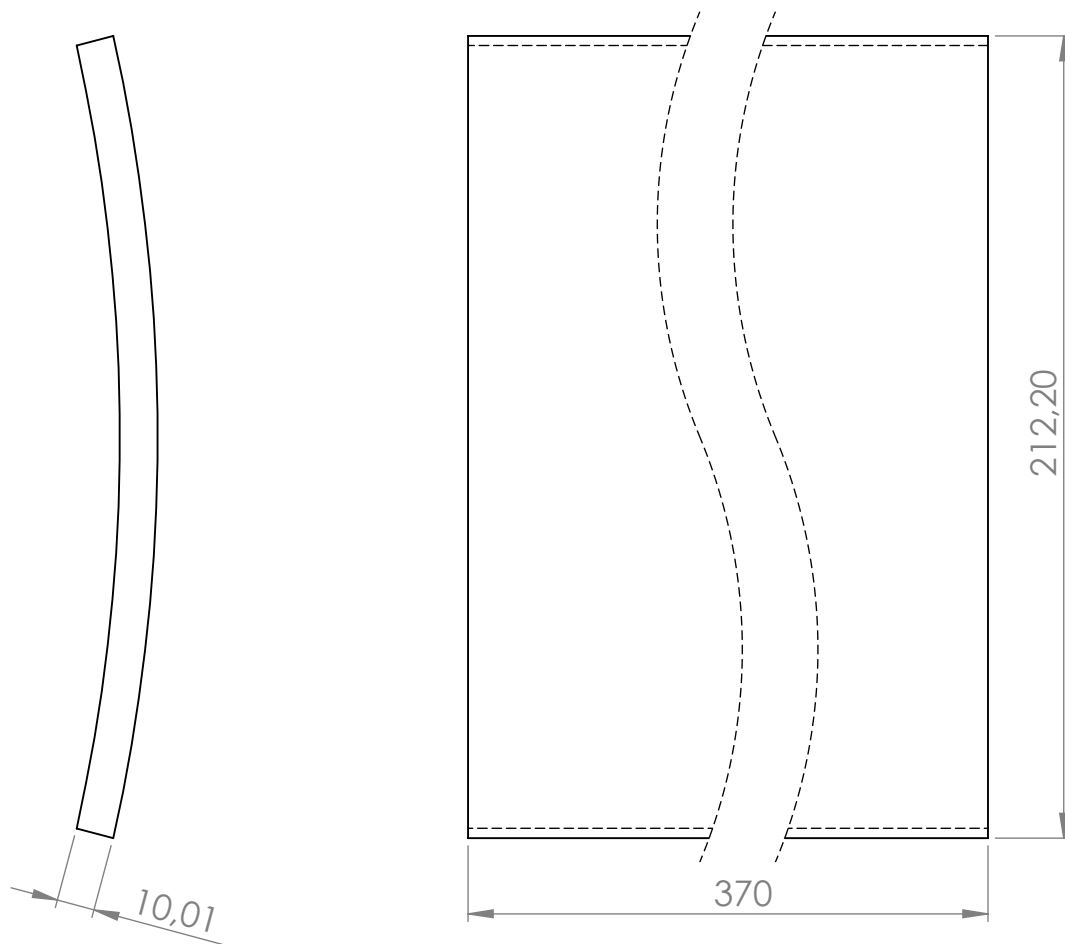
25/06/2019

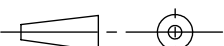


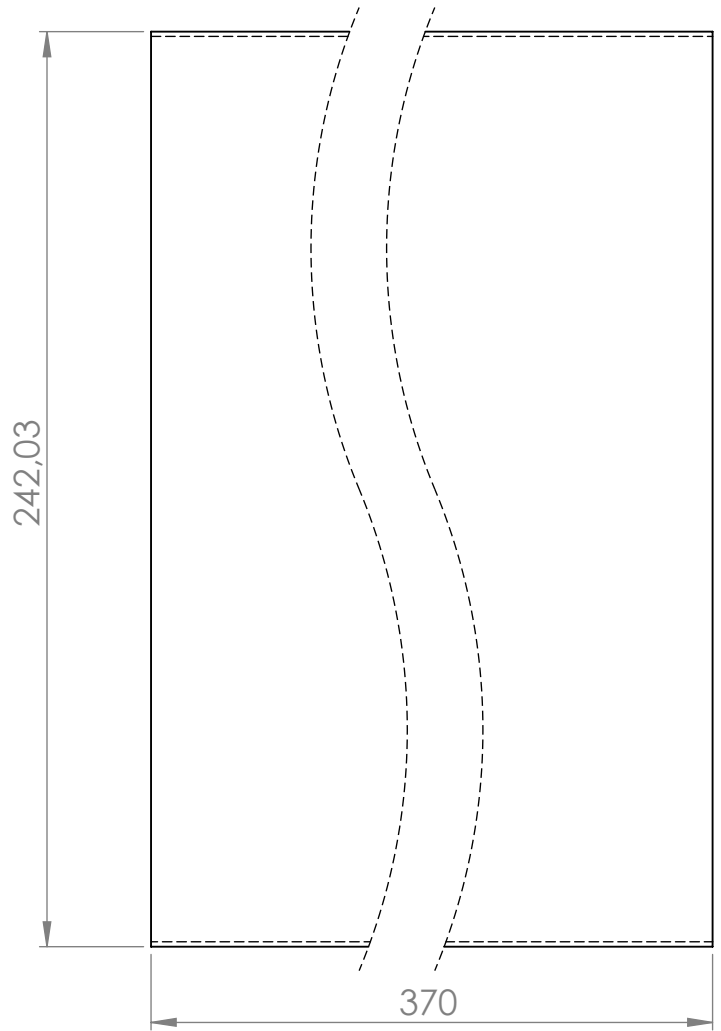
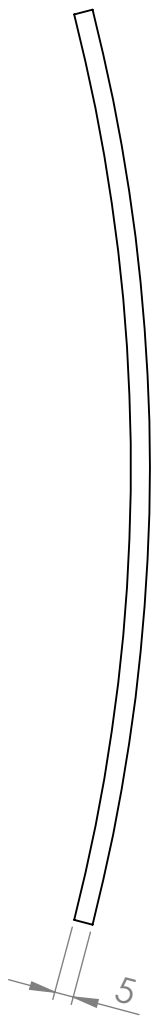
UNIVERSITE ABDREHMANE - MIRA BEJAIA		BENDRIS & FETTOUS
X10Cr13	FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE	
ECHELLE: 1:5	BANDE EN ACIER	NUM : 11
		25/06/2019

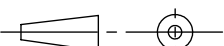


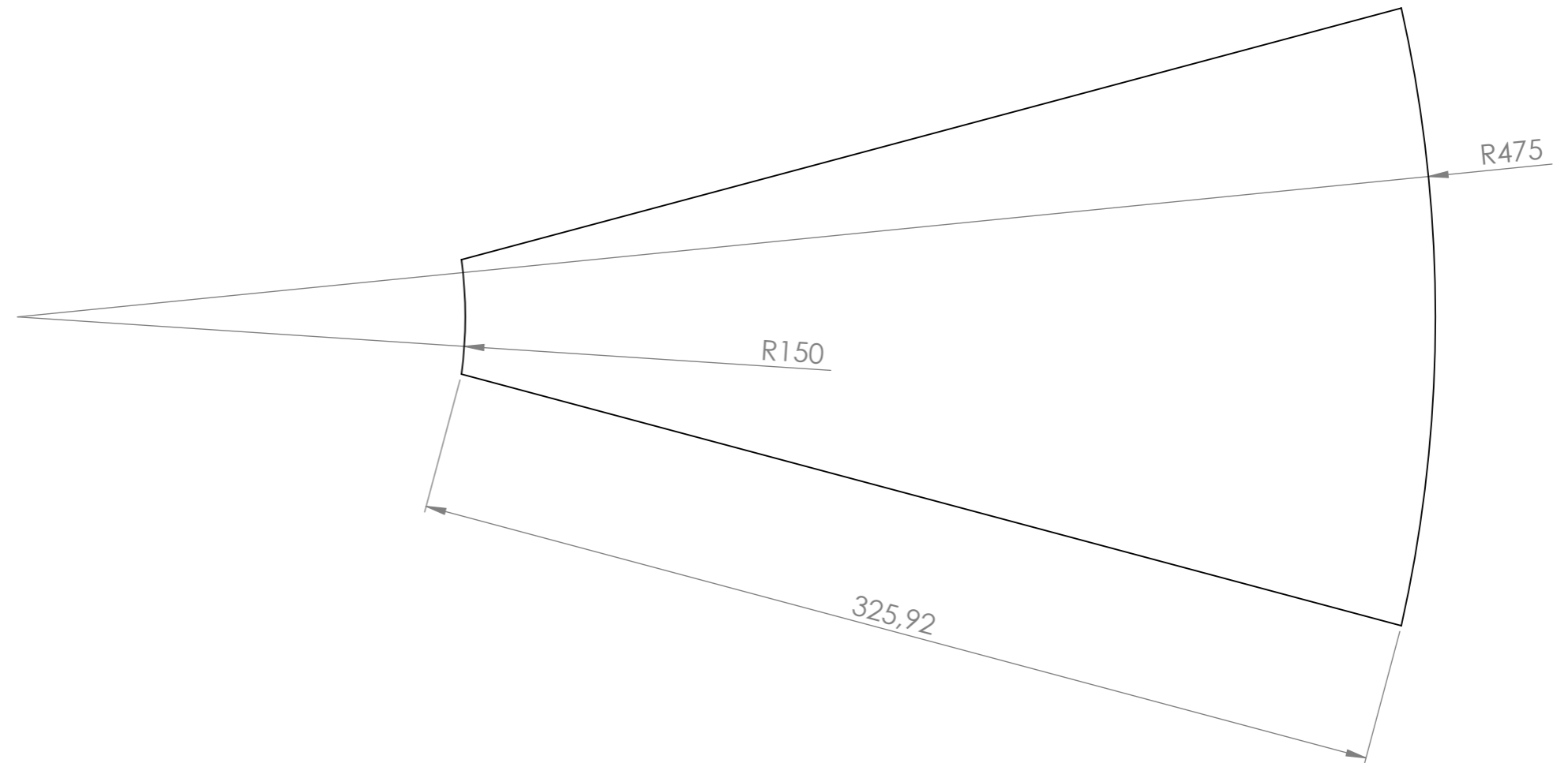
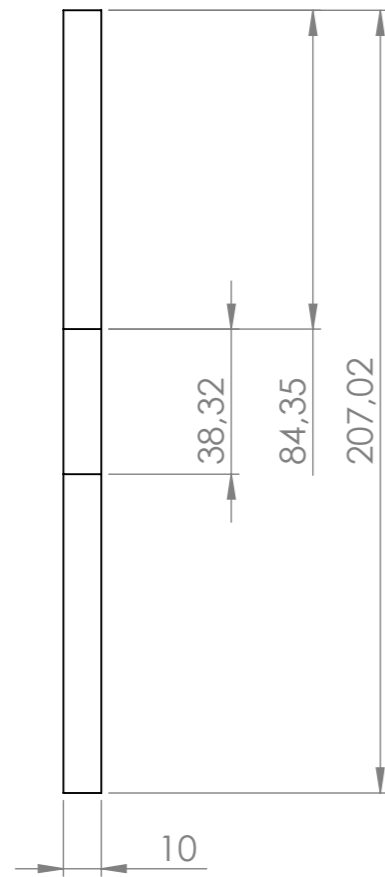
UNIVERSITE ABDREHMANE - MIRA BEJAIA		BENDRIS & FETTOUS
CAOUTCHOUC	FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE	
ECHELLE: 1:5	PLAQUE DE BLINDAQUE POUR LE FOND	NUM : 12
		25/06/2019

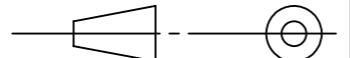


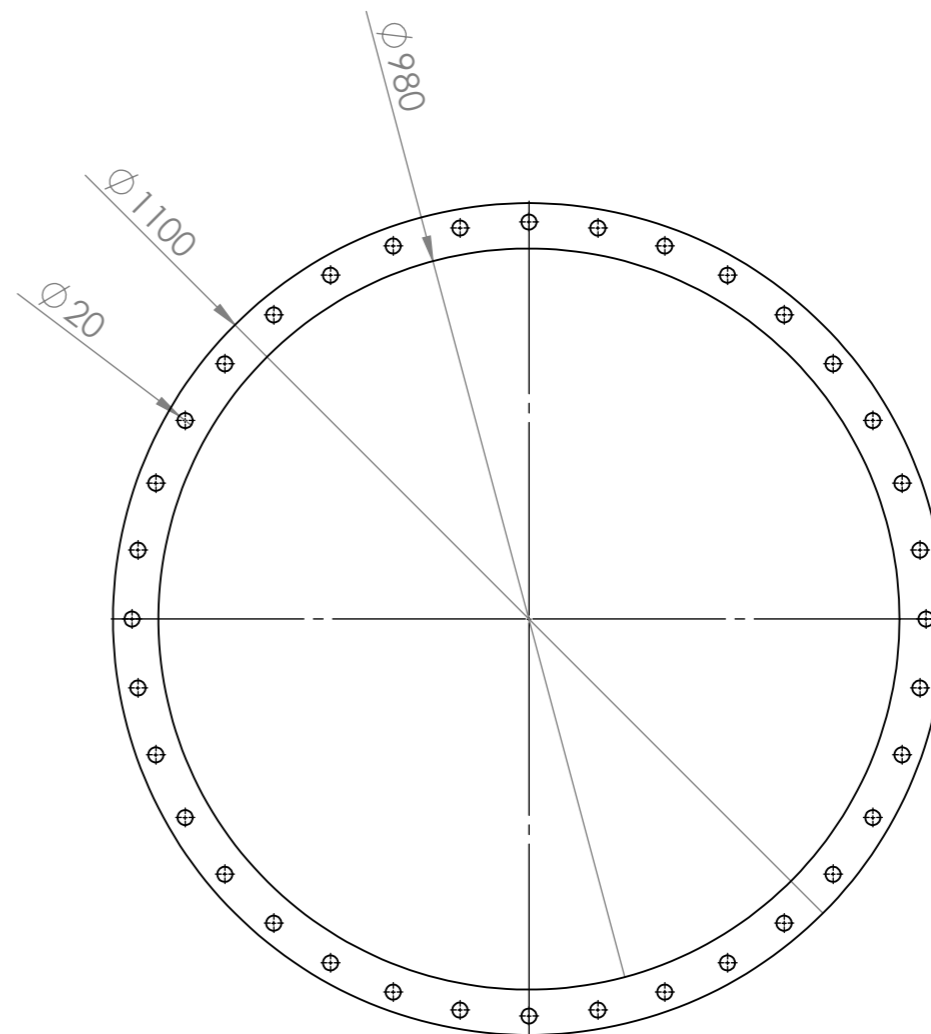
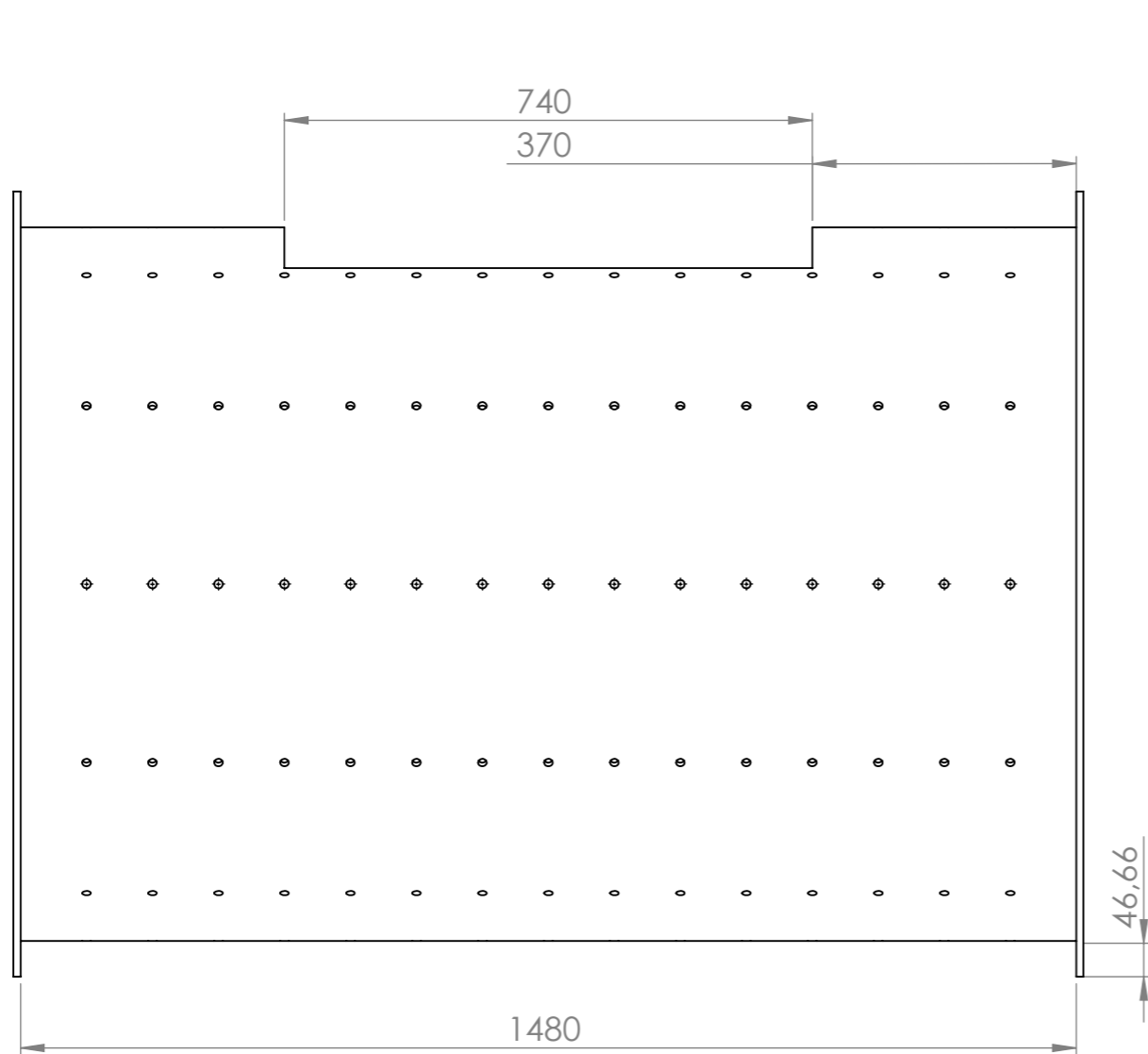
UNIVERSITE ABDREHMANE - MIRA BEJAIA		BENDRIS & FETTOUS
CAOUTCHOUC	FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE	
ECHELLE: 1:2	PLAQUE VIROLE POUR LE FOND	NUM : 13
		25/06/2019

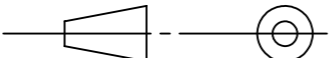


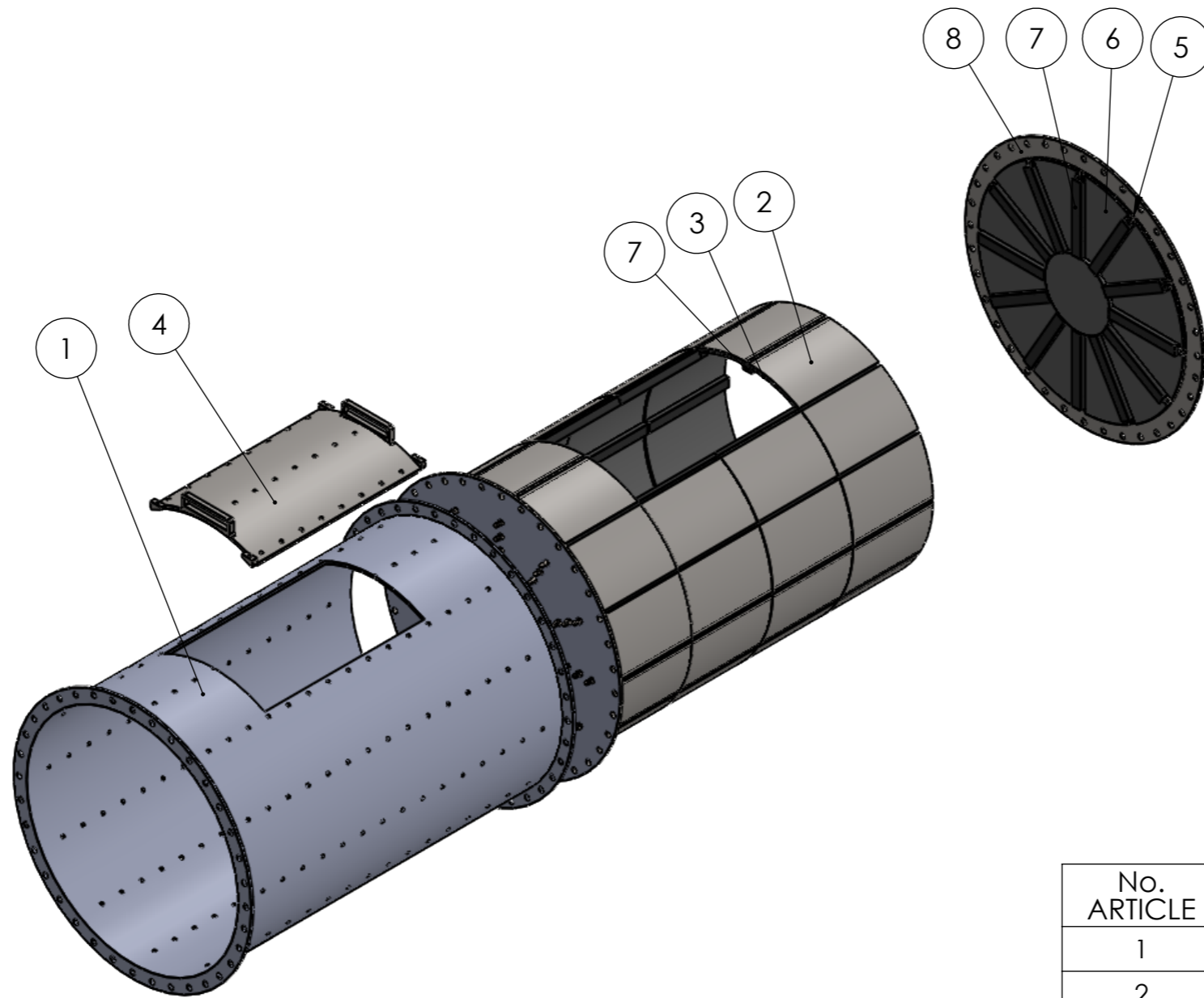
UNIVERSITE ABDREHMANE - MIRA BEJAIA		BENDRIS & FETTOUS
X10Cr13	FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE	
ECHELLE: 1:2	PLAQUE VIROLE	NUM : 14
		25/06/2019



UNIVERSITE ABD ERRAHMANE MIRA BEJAIA		BENDRIS & FETTOUS
CAOUTCHOUC	FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE	
ECHELLE:1:2	PLAQUE CIRCULAIR POUR LE FOND	NUM: 15
		25/06/2019



UNIVERSITE ABD ERRAHMANE MIRA BEJAIA		BENDRIS & FETTOUS
X20 Cr13	FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE	
ECHELLE:1:10	VIROLE	NUM: 16
		25/06/2019

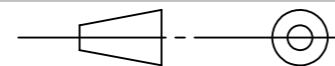


No. ARTICLE	NUMERO DE PIECE	QUANTITE
1	Virole	1
2	bonde en acier 1	48
3	Plaque virole pour le fond	48
8	Porte de visite	1
5	bonde en acier 2	24
6	Plaque blindaque	24
7	Barre de relvage	72
8	plaque cyrculaire	2

UNIVERSITE ABD ERRAHMANE MIRA BEJAIA

FABRICATION MECANIQUE & PRODUCTIQUE

ECHELLE:1:20



STRUCTURE DE LA CUVE

BENDRIS
&
FETTOUS

NUM : 17

25/ 06 / 2019