

## Travaux Pratiques

### TPI. Concassage du Zinc avec un Concasseur à Mâchoires

#### 1. Objectifs

- Comprendre le principe du concassage du zinc avec un concasseur à mâchoires.
- Étudier l'effet des paramètres de réglage sur la granulométrie du matériau broyé.
- Analyser le comportement du zinc sous l'effet de la compression et de l'écrasement.
- Évaluer l'efficacité du concassage en fonction du rendement et de la répartition granulométrique.

#### 2. Principe

Le concasseur à mâchoires fonctionne par compression : une mâchoire mobile écrase le matériau contre une mâchoire fixe, provoquant ainsi sa fragmentation. Le zinc étant un métal ductile, son comportement au concassage peut être différent de celui des matériaux minéraux classiques. L'objectif est donc d'observer la manière dont il se fragmente et d'adapter les paramètres en conséquence.

#### 3. Matériel et équipements

- Concasseur à mâchoires
- Échantillons de zinc (sous forme de lingots ou morceaux solides)
- Balance de précision
- Tamis de différentes mailles pour l'analyse granulométrique
- Gants, lunettes de protection, casque antibruit
- Pince pour manipulation des échantillons
- Pied à coulisse

#### 4. Manipulation

##### 4.1 Préparation

1. Vérifier l'état et le bon fonctionnement du concasseur.
2. Régler l'ouverture entre les mâchoires à une valeur initiale (ex. 5 mm).
3. Peser l'échantillon de zinc avant concassage (masse initiale).

##### 4.2 Concassage

1. Déterminer le diamètre initial des morceaux de Zinc ?

2. Démarrer le concasseur et observer le processus de fragmentation.
3. Introduire progressivement le zinc dans la trémie du concasseur.
4. Récupérer les morceaux concassés puis déterminer le nouveau diamètre des morceaux de zinc et peser l'échantillon après concassage.

#### 4.3 Analyse granulométrique

1. Tamiser les fragments obtenus avec différentes mailles (ex. 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm, 0,063 mm, 0,045 mm).
2. Noter les fractions massiques de chaque classe granulométrique.

#### 4.4 Effet du réglage des mâchoires

1. Modifier l'écartement des mâchoires (ex. 1 mm).
2. Refaire la procédure du concassage.

### 5. Compte rendu

1. Déterminer les rapports de réduction des deux opérations de concassage. Discuter et commenter les résultats obtenus.
2. Tracer la courbe granulométrique des refus et tamisât cumulés en fonction des diamètres des tamis.
3. Calculer les coefficients  $C_u$  et  $C_c$
4. Discuter la distribution des tailles et discuter l'étalement et la graduation du matériau du Zinc.
5. Observer si le zinc se déforme, s'écrase ou se fragmente facilement.
6. Évaluer si le zinc se casse de manière nette ou s'écrase sous la pression.
7. Comparer la distribution granulométrique en fonction de l'ouverture des mâchoires.
8. Analyser l'efficacité du concassage (quantité de fines produites, homogénéité des tailles).
9. Décrire le comportement du zinc lors du concassage.
10. Expliquer comment les réglages influencent la fragmentation du zinc.
11. Proposer des améliorations pour optimiser le concassage du zinc (ex. choix du profil des mâchoires, pression exercée).

## TP2. Influence de la vitesse de rotation sur l'efficacité du broyage avec un broyeur à boulets.

### 1. Objectifs pédagogiques

- Étudier l'impact de la **vitesse de rotation** du broyeur sur la finesse du broyage.
- Déterminer la **vitesse optimale** pour obtenir une granulométrie cible (ex. : 45  $\mu\text{m}$ ).
- Analyser les effets d'une vitesse trop faible ou trop élevée sur l'efficacité du broyage.

### 2. Matériel nécessaire

- Broyeur à boulets **avec réglage de vitesse**
- Minerai concassé (1 mm)
- Boulets de broyage (**acier, céramique, différents diamètres : Différents diamètres**)
- Tamis de différentes mailles (**ex. 500  $\mu\text{m}$ , 250  $\mu\text{m}$ , 125  $\mu\text{m}$ , 63  $\mu\text{m}$ , 45  $\mu\text{m}$ )**)
- Balance de précision
- Chronomètre
- Cylindre gradué\_ Tambour (pour échantillonnage)

### 3. Protocole expérimental

#### A. Préparation

1. **Peser une quantité fixe de minerai** (ex. 300 g).
2. **Charger le broyeur** avec un mélange de boulets de différents diamètres.
3. **Sélectionner une vitesse de rotation :**

○ La vitesse critique  $V_c$  est donnée par :  $V_c = [42.3/\sqrt{D}]$

Où D est le diamètre interne du broyeur (en mètres).

□ Définir **trois vitesses expérimentales** en fonction de  $V_c$  :

- **0,5 $V_c$**  (broyage lent)
- **0,75 $V_c$**  (broyage moyen)
- **0,9 $V_c$**  (broyage rapide)

#### B. Expérimentation

1. Régler le broyeur sur la première vitesse et **lancer le broyage pendant un temps fixe** (ex. 10 min).
2. À la fin du broyage, **prélever l'échantillon** et réaliser un tamisage.

3. **Peser les fractions granulométriques** obtenues.
4. Répéter l'expérience pour les autres vitesses de rotation.

### **C. Compte Rendu**

1. Tracer les courbes de distribution granulométrique **pour chaque vitesse**.
  - 1.1. Calculer les coefficients  $C_u$  et  $C_c$
  - 1.2. Discuter la distribution des tailles et discuter l'étalement et la graduation du matériau du Zinc.
2. Tracer la courbe de détermination de vitesse optimale de broyage ; **Fraction des particules inférieures à 45  $\mu\text{m}$  (%) en fonction de la vitesse de broyeur (% de  $V_c$ )**
3. Déterminer la **vitesse optimale** pour atteindre la granulométrie cible.
4. Interpréter les effets :
  - 3.1. Etudier l'effet d'une vitesse trop **basse** sur l'efficacité du broyage.
  - 3.2. Etudier l'effet d'une vitesse trop élevée sur l'efficacité du broyage.

## TP 01 : Concassage \_ Feuille de calcul

1. Quantité de matière de minerai de Zinc utilisée initialement :  $Q_i = 1000$  g
2. Déterminer le diamètre moyen initial pour l'opération 1 :  $d_{moy} = \dots\dots\dots$
3. Déterminer le diamètre moyen final pour l'opération 1 :  $d_{fmoy} = \dots\dots\dots$
4. Déterminer les rapports de réduction l'opération 1 de concassage ;  
 $D_r = \dots\dots\dots$
5. Tableau : Compléter par les résultats de l'expérimentation.

Diamètre = 5 mm		Diamètre = 1 mm
Diamètres	Refus	Refus
4 mm		
2 mm		
1 mm		
0,5 mm		
0,25 mm		
0,125 mm		
0,063 mm		
0,045 mm		
< 45 $\mu$ m		
Total		

Binôme :  
 Noms & Prénoms/Emargement

Responsable de TP :  
 Noms & Prénoms/Emargement

**TP 02 : Broyage\_ Feuille de calcul**

6. Quantité totale initiale à utilisée:  $Q_t = 1000 \text{ g}$ ,  $d_i < 1 \text{ mm}$
7. Quelle est la quantité initiale de minerai:  $Q_i = \dots\dots\dots(V1, V2, V3)$
8. Quel est le nombre de billets à utilisé en conformité avec la quantité initiale de minerai?  $n = \dots\dots\dots$
9. La vitesse critique  $V_c$  est donnée par :  $V_c = [42.3/\sqrt{D}]$

Où  $D$  est le diamètre interne du broyeur (en mètres).

- Déterminer le diamètre interne du tambour (en mètres).  $D = \dots\dots\dots$
- Calculer la vitesse  $V_c$ .  $V_c = \dots\dots\dots$

□ Définir **trois vitesses expérimentales** en fonction de  $V_c$  :

- **$0,5V_c$**  (broyage lent)  $V1 = \dots\dots\dots$
- **$0,75V_c$**  (broyage moyen)  $V2 = \dots\dots\dots$
- **$0,9V_c$**  (broyage rapide)  $V3 = \dots\dots\dots$

Tableau 01. Compléter par les résultats obtenus.

Vitesse 1: .....		Vitesse 2: .....	Vitesse 3: .....
Diamètre	Masse refus	Masse refus	Masse refus
500 $\mu\text{m}$			
250 $\mu\text{m}$			
125 $\mu\text{m}$			
63 $\mu\text{m}$			
45 $\mu\text{m}$			
<45 $\mu\text{m}$ (f.t)			
Totale			

Tableau 02. Compléter par les résultats obtenus.

% de $V_c$	Vitesse (Tr/min)	% de particules < 45 $\mu\text{m}$

Binôme:  
 Noms & Prénoms/Emargement

Responsable de TP:  
 Noms & Prénoms/Emargement

## TPI. CONCASSAGE

### 7. Théorie sur le concassage

Les **paramètres de réglage** d'un **concasseur à mâchoires** influencent directement la taille des particules obtenues après concassage, ainsi que l'efficacité du processus. Voici les principaux paramètres à ajuster :

#### 1. Ouverture des mâchoires (écartement ou réglage de sortie)

- **Définition** : Distance minimale entre les deux mâchoires (fixe et mobile) à la fin du cycle de concassage.
- **Impact** :
  - Une ouverture plus **grande** produit des particules plus **grossières**.
  - Une ouverture plus **petite** permet d'obtenir des particules plus **fines**.
- **Réglage** : Souvent ajustable mécaniquement ou hydrauliquement en fonction du modèle de concasseur.

---

#### 2. Réalisation d'une courbe granulométrique et calcul des paramètres associés

La **courbe granulométrique** est une représentation graphique de la distribution des tailles de particules après un tamisage. Elle permet d'évaluer l'état du matériau concassé et d'en déduire certains paramètres granulométriques.

##### 2.1. Matériel nécessaire

- Série de tamis normalisés (ex. : 25 mm, 12.5 mm, 10 mm, 5 mm, 2 mm, 1 mm, 0.5 mm, 0.1 mm).
- Vibreur ou agitateur de tamis (optionnel).
- Balance de précision.
- Échantillon du matériau concassé.
- Papier millimétré ou logiciel Excel/Origin pour tracer la courbe granulométrique.

##### 2.2. Procédure expérimentale

###### 2.2.1 Tamisage du matériau

1. Sécher l'échantillon si nécessaire.
2. Peser l'échantillon total avant tamisage ( $M_t$ ).
3. Empiler les tamis par ordre décroissant de maille et y placer l'échantillon.
4. Tamiser pendant une durée définie (ex. 15 min).
5. Peser la masse de matériau retenu sur chaque tamis ( $M_i$ ).

##### 2.3. Calculs granulométriques

###### 2.3.1 Fraction tamisée et refus

- **Masse retenue sur un tamis  $M_i$ (%)** :  $\%Re_{fusi} = (M_i) / (M_t) \times 100$

- **Masse tamisée cumulée (%)** :  $\% \text{Tamisé}_i = 100 - (\% \text{Re fusé})$
- Le **rendement cumulatif** correspond à la fraction tamisée cumulée.

### 2.3.2 Traçage de la courbe granulométrique

- **Axe des abscisses** : Diamètre des tamis (échelle logarithmique).
- **Axe des ordonnées** : Pourcentage cumulé passant (% Tamisé).
- **Méthodes** :
  - Utiliser Excel en insérant les points et générant une courbe en :
  - **$X = \log(\text{Diamètre})$ ,**
  - **$Y = \% \text{ Tamisé et refus cumulé}$**

## 2.4. Paramètres granulométriques clés

### 2.4.1 Diamètres caractéristiques

- **$d_{10}$**  : Diamètre pour lequel 10% du matériau passe.
- **$d_{30}$**  : Diamètre pour lequel 30% passe.
- **$d_{60}$**  : Diamètre pour lequel 60% passe.

Ces valeurs sont obtenues à partir de la courbe granulométrique.

### 2.4.2 Coefficient de courbure (Hazen) $C_c$ et uniformité $C_u$

- **Coefficient d'uniformité** :  
 $C_u = d_{60} / d_{10}$ 
  - $C_u > 4$  : Matériau bien gradué.
  - $C_u < 4$  : Matériaux mal gradué.
- **Coefficient de courbure** :  
 $C_c = (d_{30})^2 / (d_{10} * d_{60})$ 
  - $1 \leq C_c \leq 3$  : Matériau bien gradué.
  - Hors de cette plage : Granulométrie irrégulière.

---

## 3. Influence du Rapport de Réduction sur le Concassage des Matériaux

Le **rapport de réduction** est un paramètre clé dans le processus de concassage. Il influence la taille des particules obtenues, la qualité du produit final et l'efficacité du concasseur.

### 3.1. Définition du Rapport de Réduction

Le rapport de réduction ( $R_r$ ) est défini comme le rapport entre la **taille initiale** ( $D_i$ ) et la **taille finale** ( $D_f$ ) des particules après concassage :

$$R_r = D_i / D_f$$

## 3.2. Influence du Rapport de Réduction

### 3.2.1 Taille et distribution granulométrique

- **Faible rapport de réduction ( $R_r < 4$ )**
  - Produit des morceaux relativement gros.
  - Moins de fines générées.
  - Convient pour un concassage primaire (ex. : concassage de blocs bruts).
- **Rapport de réduction intermédiaire ( $4 < R_r < 10$ )**
  - Produit une granulométrie équilibrée (moins de particules très fines).
  - Convient aux concasseurs secondaires.
- **Rapport de réduction élevé ( $R_r > 10$ )**
  - Produit beaucoup de fines.
  - Peut entraîner une usure prématurée du concasseur.
  - Convient pour les étapes de concassage tertiaire ou final.

## TP2. BROYAGE

### Théorie

- Relation entre quantité de matière à broyer et le nombre de billes à utiliser.

#### 1. Volume total du tambour

$V_t$ : Volume total du tambour

$V_t = \pi r^2 * h$ , Avec :  $r$ : Rayon du tambour et  $h$ : hauteur du tambour.

- #### 2. En générale, les boulets occupent environ 30 à 50% du volume total du tambour. Le volume occupé par les boulets est donc donné par la relation suivante:

$V_b = f_b * V_t$ , Avec ;  $f_b = 0,3$  (30%) à  $0,5$  (50%) et  $F_b$ : Facteur de remplissage en tambour.

#### 3. Fraction de matière occupée par la matière

La matière à broyer occupe généralement 20 à 40 % du volume total du tambour, mais elle doit être toujours en dessous du niveau des boulets pour assurer un bon broyage ; donc le volume matière est donné par la relation suivante :  $V_m = f_m * V_t$ ,  $f_m = 0,25$  (25%) à  $0,4$  (40%)

### Résultats

#### Courbe pour déterminer la vitesse optimale d'un broyeur à boulets

La vitesse optimale d'un broyeur à boulets est souvent déterminée en traçant une **courbe de l'efficacité du broyage en fonction de la vitesse de rotation** (exprimée en % de la vitesse critique  $V_c$ ).

**Exemple de données expérimentales :**

On effectue plusieurs essais en variant la vitesse du broyeur (en % de  $V_{cV\_cVc}$ ) et on mesure la fraction de particules fines obtenue ( $< 45 \mu\text{m}$ ).

% de $V_c$	Vitesse (tr/min)	% de particules $< 45 \mu\text{m}$
40 %	14	30 %
50 %	17	50 %
60 %	21	75 %
70 %	24	<b>90 % (optimale)</b>
80 %	28	85 %
90 %	31	60 % (sur-broyage, moins efficace)

**Interprétation :**

- À **40-50% de  $V_c$** , le broyage est **trop lent**, peu de fines sont produites.
- À **60-70% de  $V_c$** , on atteint une **zone optimale** où la production de fines ( $< 45 \mu\text{m}$ ) est **maximale**.
- Au-delà de **80% de  $V_c$** , les boulets sont trop entraînés par la force centrifuge, ce qui **diminue l'efficacité du broyage**.

**Analyse de la courbe :**

- L'efficacité du broyage augmente jusqu'à **70% de  $V_{cV\_cVc}$** , où on atteint une production maximale de fines ( $< 45 \mu\text{m}$ ).
- Au-delà de 70-80% de  $V_{cV\_cVc}$ , l'efficacité diminue à cause de la **centrifugation des boulets**, réduisant leur impact.

**Conclusion :** La vitesse optimale pour ce broyage est autour de **70% de la vitesse critique**.

Besoin d'ajuster la courbe avec vos propres données