

*République Démocratique du Congo*

ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET UNIVERSITAIRE

UNIVERSITE OFFICIELLE DE BUKAVU

U.O.B



B.P:570 BUKAVU/RDC

**ECOLE DES MINES**

**RECEUIL DES TRAVAUX PRATIQUES DU COURS  
D'INTRODUCTION A LA MINERALURGIE**  
*DESTINE AUX ETUDIANTS DE BAC 3 GENIE MNIER*

Appartenant à .....

Cours dispensé par : Prof. Dr. Ir Alidor SHIKIKA

Ass . Ir Clarisse MUNTU WA MWAMI

**Année Académique : 2023 – 2024**

## PLAN DU COURS

- Comminution
- Caractérisation des minerais (physique et chimique)
- Bilan matières
- Classification et classement dimensionnel (tamisage, hydrocyclone)
- Principes de sédimentations
- Méthodes d'enrichissement (concentration gravimétrique, flottation, séparation magnétique et électrique)
- Comptabilité métallurgique

## 2. RAPPEL DES QUELQUES FORMULES IMPORTANTES

### 1. La pulpe

La pulpe est un mélange solide – liquide (minerai + eau)

Pulpe = solide + liquide

$$m_p = m_s + m_L \quad V_p = V_s + V_L$$

$$Q_{m,p} = Q_{m,s} + Q_{m,L} \quad Q_{v,p} = Q_{v,s} + Q_{v,L}$$

$$\%_{p,m} = \%_{s,m} + \%_{L,m} \Rightarrow 100 \% = \%_{s,m} + \%_{L,m} \Rightarrow \begin{cases} \%_{s,m} = 100\% - \%_{L,m} \\ \%_{L,m} = 100 \% - \%_{s,m} \end{cases}$$

$$\%_{p,v} = \%_{s,v} + \%_{L,v} \Rightarrow 100 \% = \%_{s,v} + \%_{L,v} \Rightarrow \begin{cases} \%_{s,v} = 100\% - \%_{L,v} \\ \%_{L,v} = 100 \% - \%_{s,v} \end{cases}$$

$$\rho_{(A)} = \frac{m_{(A)}}{V_{(A)}} \Rightarrow m_{(A)} = \rho_{(A)} \times V_{(A)}$$

$$\text{Avec } V_{(A)} = \frac{m_{(A)}}{\rho_{(A)}}$$

$$V_P = V_S + V_L \Rightarrow \frac{m_{(P)}}{\rho_{(P)}} = \frac{m_{(S)}}{\rho_{(S)}} + \frac{m_{(L)}}{\rho_{(L)}} \Rightarrow \begin{cases} \frac{m_{(P)}}{\rho_{(P)}} = \frac{m_{(S)}}{\rho_{(S)}} + \frac{(m_P - m_{(L)})}{\rho_{(L)}} \\ \frac{m_{(P)}}{\rho_{(P)}} = \frac{(m_{(P)} - m_{(L)})}{\rho_{(S)}} + \frac{m_{(L)}}{\rho_{(L)}} \end{cases}$$

$$\frac{100 \%}{\rho_{(P)}} = \frac{\%_{S,m}}{\rho_{(S)}} + \frac{\%_{L,m}}{\rho_{(L)}} \Rightarrow \begin{cases} \frac{100 \%}{\rho_{(P)}} = \frac{\%_{S,m}}{\rho_{(S)}} + \frac{(100 \% - \%_{S,m})}{\rho_{(L)}} \\ \frac{100 \%}{\rho_{(P)}} = \frac{(100 \% - \%_{L,m})}{\rho_{(S)}} + \frac{\%_{L,m}}{\rho_{(L)}} \end{cases}$$

### 2. Pourcentage en masse et pourcentage en volume

$$\%_{S,m} = \frac{m_{(S)}}{m_{(P)}} \times 100 \Rightarrow m_{(S)} = \frac{\%_{S,m} \times m_{(P)}}{100} \quad \text{et} \quad m_{(P)} = \frac{m_{(S)}}{\%_{S,m}} \times 100$$

$$\%_{L,m} = \frac{m_{(L)}}{m_{(P)}} \times 100 \Rightarrow m_{(L)} = \frac{\%_{L,m} \times m_{(P)}}{100} \quad \text{et} \quad m_{(P)} = \frac{m_{(L)}}{\%_{L,m}} \times 100$$

$$\%_{S,v} = \frac{V_{(S)}}{V_{(P)}} \times 100 \Rightarrow V_{(S)} = \frac{\%_{S,v} \times V_{(P)}}{100} \quad \text{et} \quad V_{(P)} = \frac{V_{(S)}}{\%_{S,v}} \times 100$$

$$\%_{L,v} = \frac{V_{(L)}}{V_{(P)}} \times 100 \Rightarrow V_{(L)} = \frac{\%_{L,v} \times V_{(P)}}{100} \quad \text{et} \quad V_{(P)} = \frac{V_{(L)}}{\%_{L,v}} \times 100$$

### 3. Relation entre le pourcentage en masse ( $\%_{x,m}$ ) et le pourcentage en volume ( $\%_{x,v}$ )

$$\%_{S,v} = \frac{\%_{S,m} \times d_P}{\rho_{(S)}} \quad \%_{S,m} = \frac{\%_{S,v} \times \rho_{(S)}}{d_P}$$

$$\%_{L,v} = \frac{\%_{L,m} \times d_P}{\rho_{(S)}} \quad \%_{L,m} = \frac{\%_{L,v} \times \rho_{(S)}}{d_P}$$

### 4. Relation entre le pourcentage solide en masse, masse volumique du solide , densité pulpe et masse volumique du liquide

$$\%_{S,m} = \frac{100 \times \rho_{(S)} \times (d_P - \rho_{(L)})}{d_P \times (\rho_{(S)} - \rho_{(L)})}$$

### 5. Relation entre le débit massique d'un constituant (A) et son débit volumique

$$\rho_{(A)} = \frac{Q_{m(A)}}{Q_{V(A)}} \Rightarrow Q_{m(A)} = \rho_{(A)} \times Q_{V(A)}$$

$$\text{Avec} \quad Q_{V(A)} = \frac{Q_{m(A)}}{\rho_{(A)}}$$

### 6. Relation entre le débit massique du solide, son pourcentage en masse , le débit volumique de la pulpe et la densité de la pulpe

$$Q_{m,S} = \frac{Q_{v,P} \times d_P \times \%_{S,m}}{100}$$

$$Q_{m,S} = \frac{Q_{v,P} \times \rho_{(S)} \times (d_P - \rho_{(L)})}{(\rho_{(S)} - \rho_{(L)})}$$

$$V_S = \frac{\%_{S,m} \times d_P}{\rho_{(S)}}$$

### 7. Dilution d'une pulpe

La dilution ou taux de dilution est le rapport entre le poids (ou débit massique) du liquide (eau) et le poids (ou débit massique) des solides dans la suspension.

$$D = \frac{m_L}{m_S} = \frac{m_e}{m_s} \quad \text{ou} \quad D = \frac{Q_{m(L)}}{Q_{m(S)}} = \frac{Q_{m(E)}}{Q_{m(S)}}$$

### 8. Relation entre le taux de dilution (D) et le pourcentage solide en masse ( $\%_{s,m}$ )

$$D = \frac{100 - \%_{S,m}}{\%_{S,m}} \Rightarrow \%_{S,m} = \frac{100}{1+D}$$

### **9. Efficacité pour le passant non récupéré (perdu dans les grossiers)**

$$E_1 = 100 - b \text{ ou } E_i = \frac{\% \text{ (ou t/h) de refus dans l'alimentation pour la maille}}{\% \text{ (ou t/h) de refus dans l'alimentation réellement retenu}} \times 100$$

### **10. Efficacité pour le passant récupéré ou rendement de criblage**

$$E_2 = \frac{\% \text{ (ou t/h) de passant dans l'alimentation réellement passé}}{\% \text{ (ou t/h) de passant dans l'alimentation par maille}} \times 100 \text{ Ou}$$

$$E_2 = \frac{100 (a-b)}{a (100-b)} \times 100$$

Avec a : pourcentage du passant à la maille de criblage dans l'alimentation

b : pourcentage du passant à la maille de séparation présents dans le refus

### **11. Efficacité de la classification**

$$E = \frac{100 (p-a)(a-r)}{a (180-a)(p-r)} \times 100$$

Avec a : % alimentation ; p : % passant ; r : % refus

### **12. Energie de BOND**

$$W = W_i \left( \frac{10}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}} \right)$$

Avec  $W_i$  : indice de Bond

$F_{80}$ : dimension du tamis qui laisserait passer 80 % de matière à l'alimentation (en  $\mu\text{m}$ )

$P_{80}$  : dimension du tamis qui laisserait passer 80 % de matière après broyage ( en  $\mu\text{m}$ )

W : Energie nécessaire dispensée au broyeur en kwh /t

### **13. Critères de performances métallurgiques d'une unité de concentration**

**1<sup>er</sup> cas : cas d'un concentrateur qui donne 2 produits : un concentré et un rejet**

A : débit massique ou poids de l'alimentation

a : teneur du métal dans l'alimentation

$C$  : débit massique ou poids du concentré

$c$  : teneur du métal dans le concentré

$R$  : débit massique ou poids du rejet

$r$  : teneur du métal dans le rejet

$R_P(C)$  : Rendement poids au concentré

$R_P(R)$  : Rendement poids au rejet

**Rendement pondéral (ou rendement poids) au concentré ( C ) et (R)**

$$R_P(C) = \frac{c}{A} \times 100 \quad \text{ou} \quad R_P(C) = \frac{a-r}{c-r} \times 100 \quad R_P(R) = \frac{r}{A} \times 100 \quad \text{ou} \quad R_P(R) = 100 - R_P(C)$$

**Rendement de récupération du métal**

$$R_m = \frac{c \cdot C}{a \cdot A} \times 100 \quad R_m = \frac{c(a-r)}{a(c-r)} \times 100 \Rightarrow R_m = \frac{c}{a} \times R_P(C)$$

**Taux de ratio de concentration ( F ) et amélioration de la teneur (facteur d'enrichissement )**

**( $\tau$ )**

$$F = \frac{A}{c} = \frac{(c-r)}{(a-r)} \quad (\text{Taux de concentration})$$

$$\tau = \frac{c}{a} \quad (\text{Amélioration de la teneur})$$

*Débit massique ou poids du métal au concentré :  $c \times C$  Débit*

*massique ou poids du métal au rejet :  $r \times R$*

*Débit massique ou poids du métal à l'alimentation :  $a \times A$*

**2<sup>ieme</sup> cas : cas d'un concentrateur qui donne 3 produits : deux concentrés X et Y et un rejet**

$a_1$ : teneur du métal a contenu dans l'alimentation

$a_2$ : teneur du métal a contenu dans le concentré X

$a_3$ : teneur du métal a contenu dans le concentré Y

$a_4$ : teneur du métal a contenu dans le rejet

$b_1$ : teneur du métal b contenu dans l'alimentation

$b_2$ : teneur du métal b contenu dans le concentré X

$b_3$ : teneur du métal b contenu dans le concentré Y

$b_4$ : teneur du métal b contenu dans le rejet

**Rendement poids au concentré X**

$$R_p(C, X) = 100 \times \frac{(a_1 - a_4) (b_3 - b_4) - (b_1 - b_4) (a_3 - a_4)}{(a_2 - a_4) (b_3 - b_4) - (b_2 - b_4) (a_3 - a_4)}$$

**Rendement poids au concentré Y**

$$R_p(C, Y) = 100 \times \frac{(a_2 - a_4) (b_1 - b_4) - (b_2 - b_4) (a_1 - a_4)}{(a_2 - a_4) (b_3 - b_4) - (b_2 - b_4) (a_3 - a_4)}$$

### 3. EXERCICES

1. Les pertes de puissance d'un moteur de 850Kw disponible pour un broyeur alimenté au taux de 80t/h en minerais de plomb dont l'indice de Bond ( $W_i$ ) est de 15.44Kwh/t, sont estimées à 18%. Les distributions en masse de l'alimentation et du produit du broyeur sont données dans le tableau ci-dessous. Déterminer si la puissance du moteur est capable de faire fonctionner ce broyeur pour escompter les résultats du tableau.

Alimentation		Produit		% masse sur les fractions de l'alimentation	% masse sur les fractions du produit	% cumule des fractions de l'alimentation	% cumule des fractions du produit
Dim ( $\mu\text{m}$ )	Masse (g)	Dim ( $\mu\text{m}$ )	Masse (g)				
1000	54.9	425	10.5				
850	37.1	300	70.4				
600	94.3	212	19.1				
425	86.3	150	44.1				
300	47.2	106	21.9				
212	41.9	75	84				
150	30.8	45	105				
106	20	38	34.2				
75	29.8	-38	110.4				
45	16.4						
38	25.1						
-38	16.2						
Tot	500	Tot	500				

2. Soit l'analyse granulométrique suivante :

Fraction (mesh)		Refus cumulés (%)	Passants cumulés (%)
+65		0.50	99.5
-65	+100	1.50	98.50



-100	+150	4.26	95.74
-150	+200	11.03	88.97
-200	+270	13.29	86.71
-270	+325	21.89	78.11
-325	+400	23.56	76.44
-400		100	0

- a) Avec combien de tamis cette analyse a été faite ?
  - b) Déterminez les proportions pondérales des différentes fractions en % ?
  - c) Donnez les dimensions de 2 fractions entre lesquelles se situe le k80 et déterminez la dimension (en mesh) du tamis correspondant.
3. La distribution granulométrique d'un produit broyé obéit à la loi de GAUDIN et SCHUMAN, une analyse granulométrique est effectuée sur un échantillon de ce produit à l'aide des tamis : 100, 150, 200, 270 et 400 mesh.
- a) Quel est le nombre de fraction granulométrique qu'on va obtenir ?
  - b) Si le module  $\alpha$  et K80 sont connus, montrer comment on peut trouver les proportions des passants et refus cumulés de cette analyse granulométrique
  - c) Donner les chiffres de ces rapports pour  $\alpha=1$  et  $k_{80} = \frac{74+53}{2} \mu m$
  - d) Pourquoi il faut toujours indiquer la méthode d'analyse granulométrique utilisée ?
4. Un concasseur de rapport de réduction de 5 est alimenté en minerais de cuivre (distribution de 80% -60 $\mu m$ ) pour une flottation ultérieure. La matière doit ensuite alimenter un broyeur pour réduire à 100  $\mu m$  pour libérer les particules. L'indice de Bond est de 14 KWh par tonne réduite et la capacité du broyeur est 4500t/24hrs. Calculez la puissance requise pour ce broyeur
5. A quoi sert l'énergie de BOND ? utilise la pour le cas suivant :
- Broyage d'une matière dont  $W_i = 46.63$
  - Module k80 de l'alimentation 1675  $\mu m$

- Granulométrie du produit broyé : + 65 mesh = 53.64 % ; - 65 +200 mesh = 26.42% ;  
-200 mesh = 19.94 %.
- 6. Un crible de maille un pouce est alimentée par 100 t/h de tout venant. L'analyse granulométrique montre que dans l'alimentation 90 % sont inférieurs à la maille de séparation alors que n'en récupérons que 81 % dans le passant du criblage.
  - a) Quelle est la fraction du passant dans l'alimentation ?
  - b) Quelle est la fraction du rejet dans l'alimentation ?
  - c) Quelle est la fraction passée réellement ?
  - d) Quelle est la fraction refusée réellement ?
  - e) Quelle est la fraction du passant qui a été refusée ?
  - f) Quelle est la valeur « a » du pourcentage du passant à la maille du criblage dans l'alimentation ?
  - g) Quelle est la valeur « b » du pourcentage du passant à la maille de séparation présent dans le rejet ?
  - h) Quel est l'efficacité du criblage pour le passant refusé par les deux formules ?

7. On veut cribler 350 tonnes. On a les fractions suivantes :

0mm- 8 mm : 40 % de l'échantillon

12 mm- 15 mm : 30 % de l'échantillon

L'ouverture de maille du crible est de 12 mm. Le passé pèse 196t après le criblage

Calculer :

- a) Le rendement du criblage
- b) Le rendement d'épuration des refus
- c) L'efficacité

8. Un hydrocyclone de laboratoire est alimenté avec une suspension de quartz (densité 2650 kg/m<sup>3</sup>) a une densité de pulpe de 1130 kg/m<sup>3</sup>. l'U.F a une densité de 1280 kg/m<sup>3</sup> et l'O.F de 1040 kg/m<sup>3</sup>. Un échantillon de 2 litres de U.F a été prélevé en 3.1 secondes. Calculez le débit massique d'alimentation de l'hydrocyclone.

9. L'aire des ouvertures d'un tamis alimente en pulpe a un débit de  $150\text{m}^3/\text{h/m}$  (pour chaque mètre de largeur) représente 21.1% de l'aire totale du tamis. On envisage remplacer ce tamis par un autre tamis dont l'aire des ouvertures est de 15.4%. Si ces tamis doivent fournir une pulpe au taux de  $220\text{m}^3/\text{h}$  a un cyclone, quel doit être le débit de la pulpe pour le nouveau tamis et quelle sera sa largeur si les deux tamis doivent avoir la même longueur.
10. Si la masse d'un volume de pulpe donné (96 litres) est de 128 kg et si la dilution est de 0.7, trouver la masse volumique du solide.
11. On ajoute 76 l d'eau à une quantité de minerai à déterminer (masse volumique de  $3000\text{kg/m}^3$ ) pour donner une densité de pulpe de 1.38 kg/l. Trouver le pourcentage de solide en volume de la pulpe, le volume et la masse de pulpe ;
12. On veut faire un essai de lixiviation en cuve sur 330 kg d'un minerai d'or. Si le pourcentage de solide en masse désirée est de 55 %, trouver le volume de pulpe en litres et la densité de celle-ci en kg/l. La masse volumique du solide est de  $2800\text{kg/m}^3$ .
13. Un minerai cupro-cobaltifère doit être concentré par les appareils gravimétriques et par flottation en concentré avant d'être exporté.
- Quelles sont les fractions granulométriques qui seront traités respectivement par les appareils gravimétriques et par flottation en concentré ?
  - Si le cuivre et le cobalt sont sous forme des minerais oxydés, quels sont les réactifs de flottation qui seront utilisés ?
  - Si on passe d'un minerai titrant 2 % Cu et 0,5% Co, à un concentré global titrant 25 % Cu et 10 % Co avec un rendement poids de 3,19 %. Calculer les teneurs en Cu et en Co du rejet global de ses étapes de concentration.
14. Trouver la masse de solide et la masse d'eau requises pour préparer 85 litres d'une pulpe à 27 % de solide en masse (masse volumique du solide =  $2700\text{Kg}/\text{m}^3$ ).

15. Un flux de pulpe a été dérivé dans une cuve de 100 litres. Le temps pris pour la remplir est de 7 secondes. La densité de la pulpe a été déterminée par pesage et a donné  $1,4 \text{ t/m}^3$ . La densité du minerai est de  $2,65 \text{ t/m}^3$ . Calculez :

a) La concentration solide de la pulpe.

b) Le débit volumique de la pulpe et le débit massique solide

16. Dans une batch arrivent deux flux. Le premier a un débit volumique de  $28 \text{ m}^3/\text{h}$  avec une concentration solide de 40 % alors que le deuxième flux a un débit de  $19 \text{ m}^3/\text{h}$  avec une concentration solide de 55 %. Calculer le débit massique solide total qui arrive dans la batch sachant que la masse volumique du solide vaut  $3000 \text{ kg/m}^3$ .

17. Ci-dessous les résultats de l'analyse granulométrique d'un échantillon de sol grenu, de masse totale 530 g.

Diamètre de tamis (mm)	Refus (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât (%)
0.10	29			
0.16	56			
0.25	94			
0.40	49			
0.63	110			
1.00	59			
2.00	66			
3.15	39			
4.00	0			

a) Compléter le tableau ci –dessus.

b) Tracer la courbe granulométrique et commentez sa forme.

18. Calculer le pourcentage solide de la nouvelle pulpe obtenue en mélangeant deux pulpes de caractéristiques suivantes :

Première pulpe : 10 kg ; 30 % de solide

Deuxième pulpe : 10 kg ; 65 % de solide.

19. Deux pulpes mélangées, dont les caractéristiques sont : A. 32 litres de pulpe, densité de 1.32 ; teneur de 28 % Fe, masse volumique du solide de 3.3 ; B. 3 kg de solides, 12.5 litres d'eau, teneur de 32 % Fe, masse volumique du solide de 3.3. Trouver le volume final de pulpe, le pourcentage de solides en masse finale de la pulpe et la masse (kg) de fer contenu final.

20. Un procédé comporte les caractéristiques suivantes :

- Alimentation : 325 tonnes de solide et 7.8 % de teneur.
- Concentré : 64.3 % de teneur
- Rejet : 1.4 % de teneur.

21. Déterminer les rendements poids et métal au concentré, le taux de concentration et l'amélioration de la teneur.

22. Soit le bilan métallurgique d'un concentrateur à deux produits. Compléter le tableau suivant :

Matière	Débit massique (Tonnes)	Rendement poids (%)	Teneur (%)	Débit métal (tonne)	Rendement métal (%)
Alimentation	2988.5	?	14	?	?
Concentré	150	?	26	?	?
Rejet	?	?	0.1	?	?

23. Soit le bilan métallurgique d'un concentrateur à 3 produits. Compléter le tableau ci-après.

Matière	Débit massique (Tonnes)	Rendement poids (%)	Teneur (%)	Débit métal (tonne)	Rendement métal (%)
Bilan cuivre					
Alimentation	1000	?	2.7	?	?
Concentré Cu	87	?	25.3	?	?
Concentré Zn	?		1.2		

Rejet	565	?	0.15	?	?
Bilan Zinc					
Alimentation	1000	?	19.3	?	?
Concentré Cu	87	?	5.1	?	?
Concentré Zn	348		52.7		
Rejet	?	?	0.95	?	?

24. Utiliser la méthode des bilans matières pour trouver la teneur de l'alimentation et le débit de concentré ; faire le tableau du bilan métallurgique.

- Débit de l'alimentation et du rejet : 3400 tonnes et 2100 tonnes
- Teneurs du concentré et du rejet : 64,7 % Fe et 23 % Fe

25. On ajoute 76 l d'eau à une quantité de minerai à déterminer (masse volumique de 3000 kg/m<sup>3</sup>) pour donner une densité de pulpe de 1.38 kg/l. Trouver le pourcentage de solide en volume de la pulpe, le volume et la masse de pulpe.

26. Une unité de concentration et de purification sépare un mélange d'eau et d'élément X en X enrichi et en eau résiduaire. L'alimentation contient 20 % massiques de X. Le pourcentage de l'élément X est de 3 % massiques dans l'eau résiduaire et 85 % massiques dans la solution de X enrichi.

a) Si le débit de l'alimentation est de 45 tonnes/h, quels seront les débits de X enrichi et de l'eau résiduaire ?

b) Quel est le rendement de cette unité en pourcentage ?

27. L'alimentation d'une usine de flottation contient 0,8 % de cuivre. Le concentré produit titre 25% de cuivre et les résidus 0,15 % de cuivre. Calculez :

a) La récupération du cuivre dans le concentré.

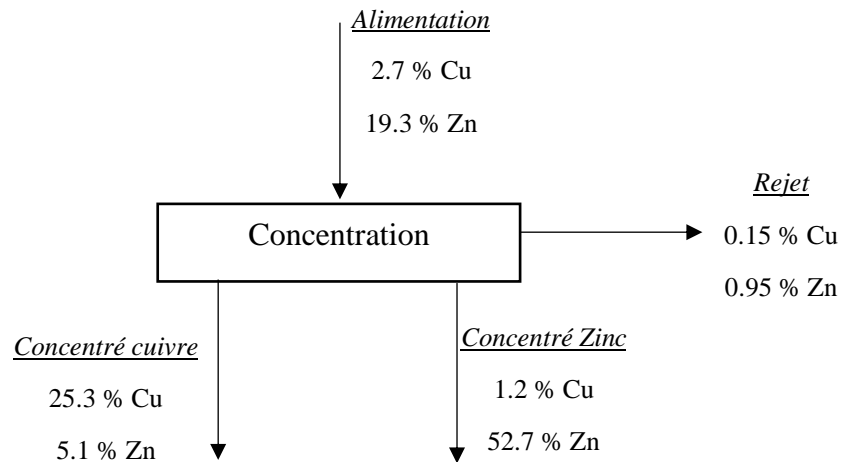
b) Le rapport de concentration.

c) Le taux d'enrichissement.

28. Un cyclone est alimenté à raison de 20 t/h de solides secs. L'alimentation du cyclone contient 30 % de solides, la sousverse (Under flow UF) 50 % de solides et la surverse (Over

flow OF) 15 % de solides en poids. Calculez le tonnage de solides par heure dans le Under flow.

29. 25t/h de minerai titrant 5 % de Plomb sont acheminés vers une banque des cellules de flottation. Un concentré de haute qualité (high-grade) est produit, titrant 45 % de plomb. Les résidus de haute qualité titrant 0,7 % de plomb et alimentent les cellules de faible qualité (Low-grade), qui produisent un concentré titrant 0,7 % de plomb. Les résidus qualité inférieure contiennent 0,2 % de plomb. Calculez le poids des concentrés de haute et basse qualité produits par heure et la récupération du plomb produit dans la banque de flottation.
30. Le débit de solides de l'alimentation est de 1000 tnpd. Les autres données sont indiquées sur la figure ci-dessous :



a) Calculer :

1. Le rendement poids au concentré cuivre ;
2. Le rendement poids au concentré zinc ;
3. Le rendement poids au rejet ;
4. Le rendement de récupération de cuivre au concentré cuivre ;

5. Le rendement de récupération de cuivre au concentré zinc ;
  6. Le rendement de récupération de cuivre au rejet ;
  7. Le rendement de récupération de zinc au concentré cuivre ;
  8. Le rendement de récupération de zinc au concentré zinc ;
  9. Le rendement de récupération de zinc au rejet ;
  10. Le débit massique de concentré de cuivre ;
  11. Le débit massique de concentré de zinc ;
  12. Le débit massique de rejet ;
  13. Le débit de cuivre dans l'alimentation ;
  14. Le débit de cuivre dans le concentré cuivre ;
  15. Le débit de cuivre dans le concentré zinc ;
  16. Le débit de cuivre dans le rejet ;
  17. Le débit de zinc dans l'alimentation ;
  18. Le débit de zinc dans le concentré cuivre ;
  19. Le débit de zinc dans le concentré zinc ;
  20. Le débit de zinc dans le rejet ;
- b) Evaluer l'amélioration de la teneur et de la sélectivité du concentrateur.

## *Références*

- Barry A. Wills, T. N.-M. (Ovtobre 2006). Mineral Processing Technology. Elsevier Science & Technology Books.*
- Metso. (2015). Basics in Minerals Processing. metso Corporation .*
- Villar, R. D. (2015). Procédés minéralurgiques , GMN- 2006 ( volume 1).*



*BLAZY P., 1970. La valorisation des minerais, Manuel de Minéralurgie, Presse Universitaire de France, Paris.*