

# ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE MAI 2018

Toute documentation permise  
Calculatrices : modèles autorisés seulement  
Durée de l'examen : 3 heures

## 14-MT-A3 Procédés d'extraction des métaux

Cet examen compte trois pages, incluant celle-ci. Comptez les pages avant de débiter.

**Sauf indication contraire:**

- Une tonne réfère à une tonne métrique;
- \$ réfère au dollar canadien;
- Les concentrations sont en poids par poids (p/p).

Utilisez les masses molaires suivantes (g/mol) :

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aluminium : 27</li> <li>• Azote : 14</li> <li>• Carbone : 12</li> <li>• Chlore : 35</li> <li>• Cuivre 63.5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fer : 55.8</li> <li>• Lithium : 6.9</li> <li>• Nickel : 58.7</li> <li>• Niobium : 92.9</li> <li>• Oxygène : 16</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plomb 207.2</li> <li>• Silicium : 28.1</li> <li>• Sodium : 23</li> <li>• Soufre : 32</li> <li>• Zinc : 65.4</li> </ul>
--	--	---

<b><u>Unités de longueur</u></b> 1 pouce = 2.54 centimètres (cm) 1 pied = 12 pouces 1 verge = 3 pieds = 36 pouces 1 m = 100 cm = 1 000 000 microns (µm)	<b><u>Unités de poids</u></b> 1 kg = 2.204 livres 1 tonne courte = 2000 livres 1 livre = 16 onces 1 once troy = 31.105 g
<b><u>Unités de volume</u></b> 1 m <sup>3</sup> = 1000 litres = 1 000 000 cm <sup>3</sup> 1 gallon (US) = 0.1336 pi <sup>3</sup> USGPM : gallons US par minute	<b><u>Unités de température</u></b> °C = °K - 273 = (°F-32)·5/9 <b><u>Unités de concentration</u></b> ppm = parties par million = grammes par tonne (g/t)

<b><u>Other information :</u></b> Point de fusion de la ferraille : 1536°C; Cp de la ferraille: 0.4 joule/g-°C Cp fer liquide: 0.8 joule/g-°C Chaleur fusion : 13 800 joules/kg à 1536°C	Nombre de Faraday: 96 500 coulombs/mole R = 0,08206 L·atm·K <sup>-1</sup> ·mol <sup>-1</sup> 1 mole de gaz parfait à 0°C et 1atm = 22.4L
--	--

**Question #1 (25 points): Réponses courtes. Vous pouvez appuyer avec un schéma.**

- a) Nommez le coût variable le plus important dans la fabrication d'aluminium, autre que l'alumine (2.5 pts).
- b) Nommez deux propriétés des minéraux utilisées dans la séparation du minerai de fer (2.5 pts).
- c) Nommez le sous-produit vendable qui résulte de la production de cuivre impur à partir de la chalcopirite ( $\text{CuFeS}_2$ ) (2.5pts).
- d) Quel autre élément doit être présent afin de solubiliser l'or dans le traitement par le cyanure (2.5 pts)?
- e) Nommez les **trois** composantes requises pour que se produise le drainage minier acide (DMA) (2.5 pts).
- f) Quelle est la différence entre la flottation directe et la flottation inverse (2.5 pts)?
- g) Expliquez brièvement le principe d'une spirale de séparation gravimétrique ou spirale de Humphrey (2.5pts).
- h) Qu'advient-il des métaux nobles (Au, Ag) lors de l'affinage électrolytique (2.5 pts)?
- i) Pourquoi l'électrolyse de certains métaux doit-elle s'effectuer en sels fondus (2.5 pts)?
- j) Selon la troisième théorie de la comminution de Fred Bond, qu'est ce qui requiert le plus d'énergie: broyer une particule de 300  $\mu\text{m}$  à 200  $\mu\text{m}$  **ou** la broyer de 200  $\mu\text{m}$  à 100  $\mu\text{m}$  (2.5 pts)?

**Question #2 (20 points)**

Un concentré de zinc titre 52% Zn and 7% Fe, sous forme de sphalérite ( $\text{ZnS}$ ) et de pyrite ( $\text{FeS}_2$ ). Le reste du concentré est de la silice ( $\text{SiO}_2$ ). Le concentré est grillé dans un lit fluidisé afin de convertir les sulfures en oxydes ( $\text{ZnO}$  et  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  seulement). Calculer:

- a) Les teneurs en sphalérite, pyrite et quartz de l'alimentation (5 points).
- b) La concentration en  $\text{ZnO}$ ,  $\text{FeS}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and  $\text{SiO}_2$  du produit grillé, sous l'hypothèse que toute la sphalérite est convertie en  $\text{ZnO}$  et que 50% de la pyrite est convertie en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  alors que 50% demeure sous forme de  $\text{FeS}_2$  (10 points).
- c) Quel est le débit minimal d'air (20%  $\text{O}_2$ , 80%  $\text{N}_2$  par volume) requis ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) à  $0^\circ\text{C}$ , 1 atmosphère, pour griller 100 t/h de ce matériel? Utilisez l'hypothèse selon laquelle l'air est un gaz parfait (5 points).

**Question #3 (15 points)**

- a) Qu'est-ce que le broyage autogène? (5 points)
- b) Nommez en 2 avantages et 1 inconvénient associés à ce procédé (10 points).

#### Question #4 (25 points)

Un appareil de séparation est utilisé dans un circuit de broyage, montré à la figure 1, afin de séparer les fines particules des grossières qui sont retournées au broyeur pour être rebroyées. L'appareil est échantillonné et les échantillons sont tamisés afin de séparer les particules en taille granulométriques. Les résultats de cette analyse sont présentés au tableau 1. La masse volumique des particules est de  $2.7 \text{ g/cm}^3$ .

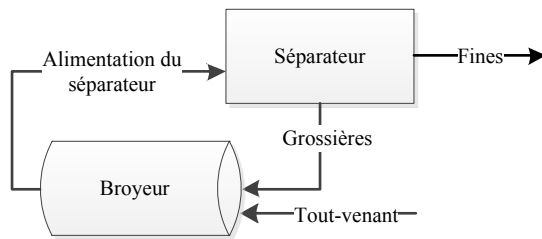


Figure 1: Diagramme d'écoulement pour la question 2

Table 1: Analyse granulométrique des flux

Fraction granulométrique	Alimentation du séparateur	Grossier	Fines
+212 $\mu\text{m}$	55 %	70 %	12 %
-212/+106 $\mu\text{m}$	17 %	16 %	35 %
-106/+53 $\mu\text{m}$	9 %	7 %	21 %
-53 $\mu\text{m}$	19 %	7 %	32 %

- Calculer la récupération (% ou fraction de l'alimentation du séparateur) au flux grossier (7 points).
- Calculer le débit massique (t/h) vers le flux grossier pour une alimentation du séparateur de  $150 \text{ m}^3/\text{h}$  à 30% solides par poids (7 points). Utilisez les réponses trouvées en 1). Si vous n'avez pas de réponses en 1) utilisez les récupérations suivantes au produit grossier:
  - +212  $\mu\text{m}$ : 98%
  - -212/+106  $\mu\text{m}$ : 90%
  - -106/+53  $\mu\text{m}$ : 60%
  - -53  $\mu\text{m}$  : 42%
- Estimer le court-circuitage de particules fines (%) vers le flux grossier (5 points).
- Nommez trois facteurs qui ont un effet sur la taille de coupure ( $D_{50}$ ) d'un hydrocyclone (6 points).

#### Question #5 (15 points)

Une usine d'aluminium opère 300 cellules à une intensité de 250 000 ampères à travers chaque cellule. Durant un certain mois de 31 jours d'opération continue 14050 tonnes d'aluminium ont été produites.

- Quel est l'efficacité de courant selon la loi de Faraday (7.5 points)?
- Expliquer pourquoi ce rendement est inférieur à 100% (7.5 points).