

GLQ3401-3651
13h45 à 15h45

Géostatistique et géologie minière
Examen intra

7 oct. 2011

L'examen comporte 7 questions totalisant 80 points. Les points sont répartis de la façon suivante :
Q6 : 20 pts; Q1 : 15 pts; Q.2-3-4-7 : 10 pts; Q5 : 5 pts.

Toute documentation permise et calculatrices permises.
Vous répondez directement sur le formulaire.

Utilisez le verso si vous manquez d'espace. Écrivez lisiblement.

Nom de l'étudiant : _____

Signature : _____ **Matricule :** _____

Question 1 (15 points)

Un forage de 250 m a une direction de 20° (azimut) et plonge à 60° ; le forage ne dévie pas. On utilise un système main droite (x vers l'est, y vers le nord, z vers le haut)

- Calculez la coordonnée y du forage en fin de trou.
- Quelle est la plongée apparente du forage sur une section verticale Nord-Sud.
- On intersecte une veine sur 2 m le long du forage. On note un JO de 30° pour cette veine. Quelle est l'épaisseur vraie de la veine?

Question 2 (10 points)

Répondez par vrai ou faux (1 pt/bonne réponse; -0.5/mauvaise réponse; 0 si pas de réponse).

	Énoncé	V ou F
a)	En considérant la valeur de la production, les principales productions minérales en 2009 au Québec sont dans l'ordre décroissant: l'or, le nickel, et le fer.	
b)	Avec 3 forages parallèles intersectant un même horizon marqueur, on peut par stéréonet déterminer le pôle du plan puis le vecteur pendage du plan.	
c)	Selon la loi des mines actuelle, on peut théoriquement exploiter un gisement sur un terrain dont la propriété foncière (droits de surface) appartient à un tiers.	
d)	Pour plusieurs gisements, un graphe de la teneur du minerai sélectionné en fonction de la teneur de coupure apparaît approximativement comme une droite dont la pente et l'ordonnée à l'origine sont propres au gisement considéré.	

e)	<i>Le coût des travaux d'exploration à effectuer sur un claim diminue avec le temps pour inciter les compagnies d'exploration à conserver plus longtemps leurs claims.</i>	
f)	<i>Dans la théorie de Gy, le paramètre $g=0.25$ et le diamètre « d » correspondant au 5% retenu ont été déterminés empiriquement suite à l'étude de plusieurs minerais différents.</i>	
g)	<i>L'on peut affirmer que les impôts sur les profits des mines n'ont jamais d'impact sur la détermination de la teneur de coupure optimale d'une mine.</i>	
h)	<i>En tant qu'employé pour une compagnie d'exploration, on devrait refuser une clause d'un contrat de forage spécifiant un taux de récupération des carottes de 90% ou plus comme cible à atteindre.</i>	
i)	<i>Dans la théorie de Gy, la règle de 3 spécifie que tout objet servant à prélever ou manipuler un échantillon doit avoir une ouverture inférieure à 3 fois la taille des plus gros fragments présents dans celui-ci.</i>	
j)	<i>En terrain non arpenté, la superficie normale du claim obtenu par désignation sur cartes est de 40 hectares exactement au Québec.</i>	

Question 3 (10 points)

Vous voulez obtenir des analyses fiables pour le Cu présent dans des demi-carottes de 3 m de long. Le cuivre est contenu dans la chalcoppyrite. La masse de la demi-carotte est de 10 kg. La masse volumique de la gangue est 3 g/cm³, celle de la chalcoppyrite 4.1 g/cm³. La taille de libération des grains de chalcoppyrite est de 2 mm. La concentration du Cu dans la chalcoppyrite est de 35%. Vous pouvez supposer $f=0.5$, $g=0.25$.

- Quelle masse doit-on prélever lors du sous-échantillonnage, si les plus gros fragments font 0.5 cm, pour fournir un écart-type relatif de 1% sur la vraie teneur en Cu lorsque celle-ci est 0.5% ? Effectuez les calculs au long.*
- À quelle taille « d » devrait-on broyer la roche si l'on veut un écart-type relatif de 1% avec une masse prélevée de 1 kg et une vraie teneur de 0.5% Cu dans le lot initial?*

Question 4 (10 points)

Le tableau suivant présente les surfaces et les teneurs pour 2 sections parallèles espacées de 20 m dans un gisement de Zn. La masse volumique du minerai est de 3 t/m³ et elle ne varie pas avec la teneur.

Section	Aire	Teneur
S1	300 m ²	4%
S2	700 m ²	2%

Sur les sections, les zones minéralisées apparaissent approximativement comme des cercles et l'on suppose qu'entre les sections les zones minéralisées sont aussi des cercles dont les rayons varient linéairement entre les deux sections. On suppose aussi que la teneur varie linéairement entre les sections

a) Quelle méthode d'estimation vous semble la plus appropriée compte-tenu de la description précédente?

b) Appliquant la méthode trouvée en a), calculez le tonnage de métal compris entre les 2 sections.

Question 5 (5 points)

Décrivez 2 avantages qu'il peut y avoir à effectuer le relevé d'un trou de forage à l'aide d'une sonde magnétique munie d'un inclinomètre plutôt que par l'instrument classique qu'est le Pajari (ou Tropari).

Question 6 (20 points)

Une mine de Cu de 100 Mt (tonnes minéralisées) exploitée dans un skarn présente les paramètres suivants :

Taux de récupération $y=0.95$;

Prix du métal $p=1500\$/t$ Cu;

Coût de mise en marché $k=200\$/t$ Cu;

Coûts de minage $m=3\$/t$ minéralisée

Coûts de traitement : $h=6\$/t$ minerai

Coûts fixes $f=50$ M\$/an

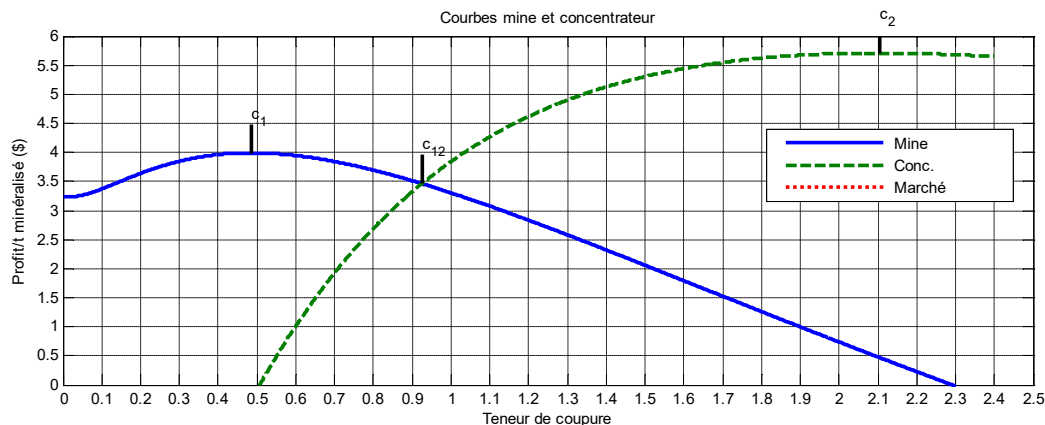
Coût d'opportunité $F=0\$/an$

Capacité de minage $M=5$ Mt minéralisée/an;

Capacité de traitement $H=2.5$ Mt minerai/an;

Capacité du marché (fonderie) $K=0.2$ Mt Cu/an;

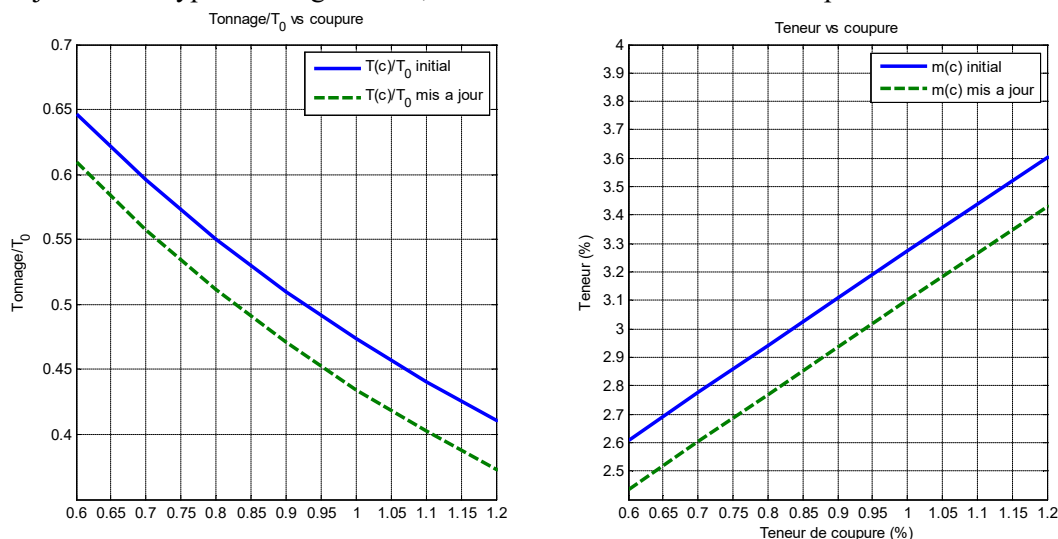
La figure suivante montre les courbes de Lane et Taylor calculées avec ces paramètres. On suppose qu'un excellent estimateur (très précis et sans biais conditionnel) est disponible. On suppose de plus que le minerai qui a été délaissé initialement est disponible pour le futur.



a) Quelle est la teneur de coupure optimale? De quel type de teneur de coupure s'agit-il?

b) Quelle serait la durée de vie de la mine selon les paramètres actuels de l'exploitation.

Après 5 ans d'exploitation, on met à jour la distribution des teneurs en tenant compte du minerai déjà extrait. L'on trouve une moyenne de 1.61% (initialement 1.8%) et une variance de $7.17\%^2$ (initialement $9\%^2$). Toujours sous hypothèse lognormale, l'on obtient les fonctions de récupération suivantes :



c) Avec cette nouvelle distribution, quelle sera la nouvelle teneur de coupure optimale et quel profit, par tonne minéralisé, la mine peut-elle espérer ? (Note : la nouvelle teneur de coupure optimale est ici du même type que dans la question a).

d) Comparez la solution initiale avec la nouvelle solution et discutez en regard de l'évolution généralement observée de la teneur de coupure (et des profits) dans les exploitations minières.

e) Supposons que la teneur moyenne de la mine continue de baisser dans le temps.

i. Que risque-t-il de se passer éventuellement concernant la teneur de coupure optimale ?

ii. Cette évolution aura-t-elle une conséquence sur la durée de vie de la mine ? Justifiez.

f) Quelle option d'investissement semble présentement, à première vue, la plus profitable pour la mine : augmenter sa capacité de minage (M) ou augmenter sa capacité de traitement (H) ? Justifiez.

Question 7 (10 points)

Une roche contient de la chalcopryrite (CuFeS_2 : 35% Cu, 30% Fe, 35% S; densité de 4.1), de la chalcocite (Cu_2S : 50% Cu, 50% S; densité de 5.6), de la bornite (Cu_5FeS_4 : 63% Cu, 11% Fe, 26% S; densité de 5.1), et de la galène (PbS : 86.6% Pb, 13.4% S; densité de 7.5). La gangue contient 5% Fe et 2% S et une densité de 2.7. L'analyse chimique a donné 15% Cu, 10% Fe, 4% Pb, 16% S.

a) Écrivez sous forme matricielle le système d'équations linéaires permettant de calculer les % poids des différents minéraux sulfures et de la gangue sachant l'analyse chimique; indiquez toutes les valeurs connues suite à l'énoncé. N'oubliez pas l'équation de fermeture. **Ne pas résoudre**

b) Une roche contient 10% de galène, 5% de chalcopryrite, 85% de gangue. La porosité est de 1%. Quelle est la densité de cette roche?

Corrigé :

- 1- a) $250 \cdot \cos(60) \cos(20) = 117.46 \text{ m}$
 b) $\text{atan}(\sin(60) \cdot 250 / 117.46) = 61.52^\circ$
 c) $2 \text{ m} \cdot \sin(30) = 1 \text{ m}$

- 2 a) F, c'est l'ordre inverse
 b) faux car les forages sont parallèles. Sur stéréonet on va avoir un seul cercle.
 c) vrai
 d) vrai
 e) faux, il augmente
 f) vrai
 g) vrai
 h) vrai, on devrait exiger 100%
 i) faux c'est l'inverse
 j) faux, la superficie dépend de la latitude

3. $a_l = 0.005 / 0.35 = 0.0143$
 $(1 - a_l) / a_l = 69$
 $(1 - a_l) d a + a_l d g = (1 - 0.0143) \cdot 4.1 + 0.0143 \cdot 3 = 4.084 \text{ g/cm}^3$
 $l = (0.2 / 0.5)^{1/2} = 0.6325$
 $K = 69 \cdot 4.084 \cdot 0.5 \cdot 0.25 = 35.22$

a) $M_e = \left(\frac{s_r^2}{K l d^3} + \frac{1}{M_L} \right)^{-1} \Rightarrow M_e = \left(\frac{(0.01)^2}{35.22 \cdot 0.6325 \cdot 0.5^3} + \frac{1}{10000} \right)^{-1} = 7357 \text{ g}$

- b) comme il faut une masse de 7.36 kg avec $d = 0.5$, on sait qu'avec 1kg on devra broyer plus finement que

0.5cm. Supposons $d < d_0$, donc on utilise l'équation : $d = \left(\frac{s_r^2}{K \left(\frac{1}{M_e} - \frac{1}{M_L} \right)} \right)^{1/3} \Rightarrow$

$d = \left(\frac{(0.01)^2}{35.22(1/1000 - 1/10000)} \right)^{1/3} = 0.15 \text{ cm}$ comme c'est $< 0.2 \text{ cm}$ on a pris la bonne formule

- 4- a) On utilise la méthode du cône tronqué avec teneur qui varie linéairement. On trouve un volume de :
 $(300 + 700 + (300 \cdot 700)^{0.5}) \cdot 20 / 3 = 9722 \text{ m}^3$
 Soit un tonnage de $9722 \cdot 3 = 29165 \text{ t}$

- b) La teneur moyenne est :

$$\frac{(3S_1 + S_2 + 2(S_1 S_2)^{1/2})t_1 + (3S_2 + S_1 + 2(S_1 S_2)^{1/2})t_2}{4[S_1 + S_2 + (S_1 S_2)^{1/2}]}$$

$$= \frac{[(3 \cdot 300 + 700 + 2\sqrt{300 \cdot 700})4\% + (3 \cdot 700 + 300 + 2\sqrt{300 \cdot 700})2\%]}{4(300 + 700 + \sqrt{300 \cdot 700})} = 2.86\%$$

Le tonnage de métal est : $29165 \cdot 2.86\% = 834.1 \text{ t}$

5 Avantages :

- 1- Mesures en continu plutôt que ponctuelle
- 2- Permet de détecter la présence d'anomalies magnétiques et donc de savoir quand les lectures ne sont pas fiables.

6- a) Selon le graphe : $c=0.93$. Il s'agit de la teneur d'équilibre entre la mine et le concentrateur.

b) On exploite à la capacité de la mine, la durée de vie serait donc $100/5=20$ ans.

c) Comme on est encore à l'équilibre, on a $x_c = 2.5/5=0.5$. Sur la nouvelle courbe, on trouve une teneur de coupure de 0.827%. La teneur du minerai est 2.814%. On calcule avec la courbe $v(\text{mine})$:

$$v = (p-k) \cdot y \cdot x_c \cdot g_c - m \cdot x_c \cdot h - (f+F)/M$$

$$= 1300 \cdot 0.95 \cdot 0.5 \cdot 2.814\% - 3 \cdot 6 \cdot 0.5 - 50/5 = 1.37\$$$

d) La teneur de coupure a diminué et le profit par tonne minéralisée aussi. Il s'agit du comportement habituel pour une mine. Exploitation initiale à plus forte teneur de coupure puis, au fur et à mesure que la mine s'épuise, on baisse la teneur de coupure.

e) éventuellement, la t.c. optimale va rejoindre la t.c. limite de la mine. à partir de là, elle ne baissera plus, la durée de vie de la mine reste la même puisqu'on est toujours à la capacité de la mine. Toutefois comme l'exploitation ne paye pas les frais fixes, l'exploitation est sur le point de cesser.

f) Le potentiel de gain par tonne min. ralisée est plus important en augmentant la capacité de la mine. On pourrait atteindre jusqu'à 5.6\$/t miner. au lieu de seulement 3.5\$/t miner.

$$7 \text{ a) } \begin{bmatrix} 35 & 50 & 63 & 86.6 & 0 \\ 30 & 0 & 11 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 35 & 50 & 26 & 13.4 & 2 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{chalcopryrite} \\ \text{chalcocite} \\ \text{bornite} \\ \text{galène} \\ \text{gangue} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 15 \\ 10 \\ 4 \\ 16 \\ 1 \end{bmatrix}$$

b) 100 g $\Rightarrow$ 10g galène 5 g chalco et 85 g gangue.

Volumes des minéraux : $10/7.5 = 1.33 \text{ cm}^3$; $5/4.1 = 1.22 \text{ cm}^3$, $85/2.7 = 31.48 \text{ cm}^3$

densité de la roche : $100/(1.33+1.22+31.48) = 2.939$

avec porosité $2.939 \cdot 0.99 = 2.91$