

GLQ3401-3651  
12h45 à 14h45

Géostatistique et géologie minière  
Contrôle périodique 1

3 oct. 2014

---

L'examen comporte 6 questions, sur 10 pages, totalisant 100 points. Les points sont répartis de la façon suivante :

(20-10-20-20-15-15).

**Deux feuilles de documentation recto-verso permises.**

**Toutes les calculatrices sont permises.**

**Vous répondez directement sur le formulaire.**

*Le professeur ne répond pas aux questions durant l'examen. Si vous trouvez une question moins claire, indiquez votre interprétation.*

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

**Vous devez déposer vos téléphones à l'avant de la classe.**

**Nom de l'étudiant :** \_\_\_\_\_

**Signature :** \_\_\_\_\_ **Matricule :** \_\_\_\_\_

---

**Question 1 (20 points)**

Un forage de 300 m est orienté  $120^\circ$ - $50^\circ$ . Son collet est situé en  $x=0$  m.

5 pts a) *Quelle est la coordonnée « x » de la fin du forage? (x croissant vers l'est).*

5 pts b) *Quelle est la plongée apparente de ce forage lorsque représentée sur une section ouest-est que l'on regarde vers le nord?*

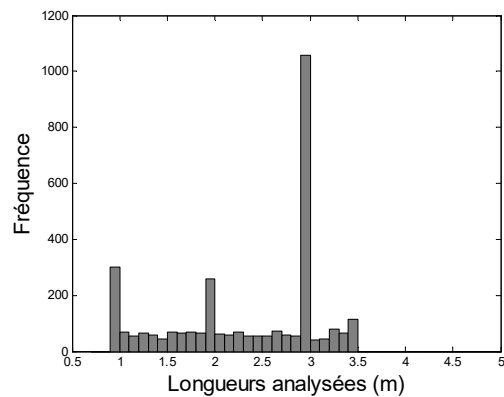
2 pts c) *Si l'on regarde la section ouest-est vers le nord, est-ce que le forage plonge vers la droite ou vers la gauche de la section?*

### Question 1 (suite)

4 pts d) Calculez la teneur en Cu du composite allant de 100 m à 103 m du collet à l'aide des analyses chimiques fournies dans le tableau suivant :

| De      | à       | teneur en Cu |
|---------|---------|--------------|
| 99 m    | 100.3 m | 1%           |
| 100.3 m | 102.2 m | 0.8%         |
| 102.2 m | 105.2 m | 1.2%         |

2 pts e) Considérant l'histogramme des longueurs des carottes analysées pour le Cu, quelle serait la longueur à choisir pour former les composites?



2 pts f) Quelle est l'erreur de localisation au fond d'un trou de 500 m si l'on mesure parfaitement les déviations relatives avec un gyroscope mais à partir d'une orientation du collet montrant une erreur de 2 degrés?

**Question 2 (10 points)**

*Calculez la densité théorique d'un minerai contenant 5% de Cu, le Cu étant présent dans la chalcoppyrite. La chalcoppyrite comprend 35% de Cu et sa densité est de 4.2. Tous les autres minéraux ont une densité voisine de 2.7. La roche présente une porosité de 3%.*

### Question 3 (20 points)

On vous fournit les courbes tonnage et teneur en fonction de la teneur de coupure pour un gisement de Ni. Ces courbes sont établies en utilisant un estimateur sans biais conditionnel. En plus, on vous donne les prix, coûts et capacités suivants (les symboles sont les mêmes que dans les notes de cours) :

$$(p-k) = 8000 \text{ \$/t Ni}$$

$$m = 10 \text{ \$/t matériau minéralisé}$$

$$h = 18 \text{ \$/t minerai}$$

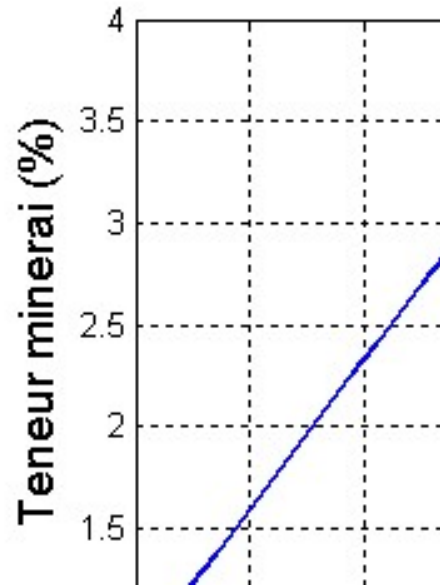
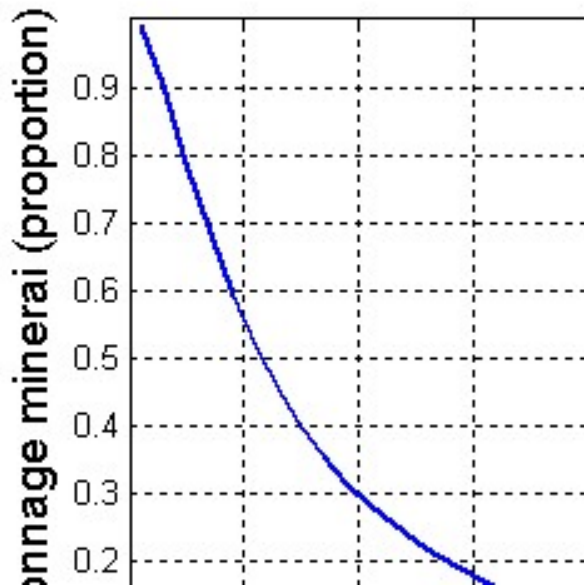
$$f = 15 \text{ M\$/an}$$

$$F = 0 \text{ M\$/an}$$

$$y = 0.85$$

$$M = 1.4 \text{ Mt matériau minéralisé}$$

$$H = 0.9 \text{ Mt minerai}$$



3 pts a) Déterminez les t.c. limite de la mine et du concentrateur.

2 pts b) Déterminez la teneur de coupure d'équilibre mine-concentrateur.

**Question 3 (suite)**

3 pts c) Déterminez la t.c. optimale (on suppose que le marché n'intervient pas)

2 pts d) Quelle serait la teneur du minerai extrait à cette teneur de coupure?

3 pts e) Quel profit par tonne de matériau minéralisé réaliserait-on à la t.c. optimale?

3 pts f) On désire augmenter le profit par tonne minéralisé tout en cherchant à accroître la quantité totale de Ni extrait de la mine. Devrait-on accroître la capacité de la mine ou celle du concentrateur ? Justifier.

2 pts g) Pourquoi est-il important que l'estimateur soit sans biais conditionnel?

2 pts h) On considère deux estimateurs sans biais conditionnel A et B présentant respectivement des variances  $\sigma_A^2 > \sigma_B^2$  et chacun une distribution lognormale. Lequel devrait-on utiliser? Justifier.

### Question 4 (20 points)

Dans un gisement de Zn on utilise la procédure suivante pour la préparation des échantillons.

|         |                                                          |
|---------|----------------------------------------------------------|
| Étape A | Prendre toute la demi-carotte de 10kg et concasser à 2mm |
| Étape B | Sous-échantillonner et ne conserver que 500g             |
| Étape C | Pulvériser le 500g jusqu'à $70\ \mu\text{m}$             |
| Étape D | Prélever 15g pour l'analyse par absorption atomique      |

La procédure est conçue pour un minerai ayant une teneur de 0.2% Zn. Le Zn est dans la sphalérite (formule ZnS et densité de 4.1). Les masses atomiques (en g/mol) sont 65.39 et 32.1 pour le Zn et le S respectivement. La taille de libération des grains de sphalérite est 0.5 mm.

10 pts a) Calculez l'écart-type relatif obtenu lors de l'étape B seulement (considérer que  $f=0.5$  et  $g=0.25$ ).

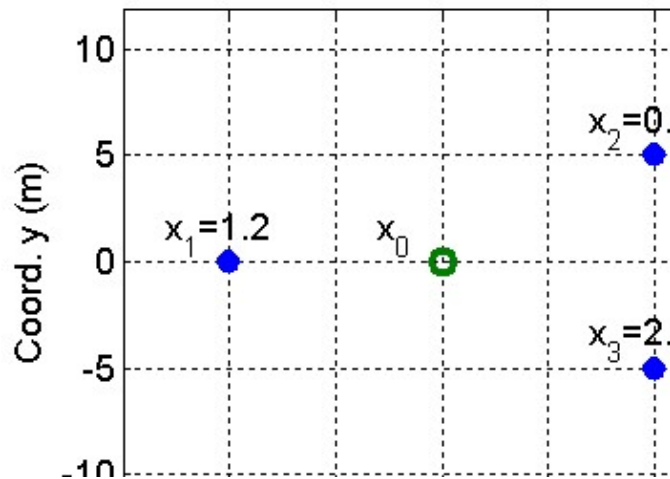
2 pts b) Lorsque l'on a  $M_L \gg M_e$ , de quel facteur réduit-on l'écart-type relatif si l'on double la masse de l'échantillon? Justifier.

**Question 4 (suite)**

- 3 pts c) Lorsque la taille de libération est inférieure à «  $d/2$  », de quel facteur réduit-on l'écart-type relatif en broyant les plus gros fragments de «  $d$  » à «  $d/2$  »? Justifier.
- 2 pts d) Lorsque la taille de libération est supérieure à «  $d$  », de quel facteur réduit-on l'écart-type relatif en broyant les plus gros fragments de «  $d$  » à «  $d/2$  »? Justifier.
- 3 pts e) Outre la masse de l'échantillon et la taille des plus gros fragments, quel est le facteur le plus important contrôlant la valeur de l'écart-type relatif? Justifier.

### Question 5 (15 points)

Soit la figure suivante donnant l'emplacement de trois points et la teneur observée. Les épaisseurs sont constantes. On veut estimer la teneur au point  $x_0$  situé en  $(0,0)$ .



7 pts a) Quelle teneur estime-t-on au point  $x_0$  par la méthode de l'inverse de la distance (avec  $b=2$ ) (la zone de recherche autour du point  $x_0$  inclut les points  $x_1$  à  $x_3$ ) ?

2 pts b) Quelle teneur estime-t-on en ce même point par la méthode polygonale?



**Question 5 (suite)**

4 pts c) *Quelle teneur estime-t-on en ce même point par la méthode triangulaire si l'on suppose que la teneur varie linéairement sur le triangle?*

2 pts d) *Dans quel cas l'inverse de la distance revient-il à faire une simple moyenne arithmétique des données trouvées dans le voisinage du point à estimer?*

### Question 6 (15 points)

Répondez par V ou F en cochant la case appropriée. Une bonne réponse vaut 1 point, une mauvaise -0.5 point, une absence de réponse 0 point. Si vous répondez faux vous pouvez si vous le voulez ajouter une explication (utilisez le verso).

|    | <i>Énoncé</i>                                                                                                                                                                                                                                        | V | F |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| a) | La principale production en valeur brute (\$), au Québec, est la production de fer.                                                                                                                                                                  |   |   |
| b) | La grande majorité des claims au Québec s'obtiennent par désignation sur carte.                                                                                                                                                                      |   |   |
| c) | La superficie (en hectares) des claims « normaux » de 30 s x 30 s au Québec diminue selon la latitude considérée.                                                                                                                                    |   |   |
| d) | Il est possible de prendre un claim dans le but de le revendre éventuellement sans intention sincère d'y faire de l'exploration.                                                                                                                     |   |   |
| e) | Il est éthique pour un ingénieur de s'entendre avec une tierce personne pour qu'elle reprenne comme prête-nom un claim perdu pour cause de non-respect des montants des travaux statutaires requis.                                                  |   |   |
| f) | Depuis 2011, il n'est pas requis que le rapport technique (43-101) soit signé par une personne qualifiée indépendante dans le cas d'une compagnie productrice. Il peut être signé par une personne qualifiée employée par la compagnie.              |   |   |
| g) | La définition des catégories de ressources de NI-43-101 suit des règles objectives et facilement reproductibles.                                                                                                                                     |   |   |
| h) | Avec la théorie de Lane et Taylor, on doit effectuer les calculs avec la distribution des vraies teneurs de blocs et non celles des teneurs estimées utilisées pour sélectionner les blocs, et ce, même si l'estimateur est sans biais conditionnel. |   |   |
| i) | Il est facile d'échantillonner sans biais les forages de production des fosses minières même sans récupérateur de déblais (cyclones).                                                                                                                |   |   |
| j) | Les duplicatas d'échantillons à l'état de poudre permettent de vérifier la validité de toute la procédure échantillonnale utilisée par le laboratoire.                                                                                               |   |   |
| k) | La procédure de « capping » (écrêtage) des teneurs hautes introduit généralement un biais dans l'estimation des ressources.                                                                                                                          |   |   |
| l) | La principale production minérale au Canada est la potasse.                                                                                                                                                                                          |   |   |
| m) | Les échantillons « standards » servent à s'assurer de la non-contamination inter-échantillons qui pourrait être causée par la procédure du laboratoire.                                                                                              |   |   |
| n) | Le vérificateur général du Québec a démontré que les compagnies minières payaient entre 2002 et 2008 beaucoup plus d'impôt minier que la valeur des avantages fiscaux consentis au secteur minier.                                                   |   |   |
| o) | Le système SIGEOM permet d'afficher la géologie régionale, laquelle devient plus détaillée (si disponible) lorsque l'on cible une zone plus restreinte.                                                                                              |   |   |

Corrigé

Q1- a)  $300 \cdot \cos(30) \cdot \cos(50) = 167 \text{ m}$

b)  $\text{atan}(\tan(50)/\cos(30)) = 54^\circ$

c) vers la droite

d)  $t = (0.3 \text{ m} \cdot 1\% + 1.9 \text{ m} \cdot 0.8\% + 0.8 \text{ m} \cdot 1.2\%) / 3 \text{ m} = 0.93\%$

e) 3 m

f)  $\sin(2) \cdot 500 / \sin(89) = 17.45 \text{ m}$ . On accepte aussi les approximations  $\sin(2) \cdot 500$  et  $\tan(2) \cdot 500$ .

Q2- 5% Cu  $\Rightarrow 5\% / 35\% = 14.286\%$  chalcopryrite

100g roche  $\Rightarrow 14.286 \text{ g chalcopryrite} \Rightarrow 14.286 / 4.2 = 3.4 \text{ cm}^3$

$\Rightarrow 85.714 \text{ g gangue} \Rightarrow 85.714 / 2.7 = 31.75 \text{ cm}^3$

$v_{\text{tot}} = 35.15 \text{ cm}^3 \Rightarrow \text{densité} = 2.845$

avec porosité :  $0.97 \cdot 2.845 = 2.76$

Q3- a)  $c_1 = 18 / (0.85 \cdot 8000) = 0.26\%$

$c_2 = (18 + 15 / 0.9) / (0.85 \cdot 8000) = 0.51\%$

b)  $x_c = H/M = 0.9 / 1.4 = 0.643$ . Par lecture sur la figure gauche  $c_{12} \sim 0.38\text{-}0.4$

c)  $c_{12}$  car on a  $c_1 < c_{12} < c_2$

d) Par lecture sur la figure de droite, on trouve  $g_c \sim 1.4\%\text{-}1.45$

e) Utilisant  $v_1$   $p = 8000 \cdot 0.643 \cdot 0.85 \cdot 1.4\% - 10 - 0.643 \cdot 18 - 15 / 1.4 \sim 28.9\text{-}31.1 \text{ \$}/\text{t minéralisée}$

f) la capacité du cocentracteur car il faut diminuer la t.c. pour augmenter la quantité de Ni.

g) Pour pouvoir appliquer la théorie de Lane, il faut que l'estimateur utilisé soit sans biais conditionnel autrement les profits calculés ne se réalisent pas, ils sont surestimés.

h) Celui avec la plus grande variance permet d'être plus sélectif, donc on augmente le profit à une t.c. fixe, toutes autres choses étant égales.

Q4.

a) teneur en Zn dans la sphalérite :  $65.39 / (65.39 + 32.1) = 0.67$ . Teneur en sphalérite dans la roche ( $a_L$ ) =  $0.002 / 0.67 = 0.003$ ;

$\mu\text{-delta} = (1 - 0.003) / 0.003 (0.997 \cdot 4.1 + 0.003 \cdot 3) = 1362 \text{ g}/\text{cm}^3$

$K = 1362 \cdot 0.5 \cdot 0.25 = 170.3$

$l = (0.05 / 0.2)^{0.5} = 0.5$

$s_r^2 = 170.3 \cdot 0.5 \cdot 0.2^3 / 500 \cdot (1 - 500 / 10000) = 0.0013$

$s_r = 3.6\%$ .

b)  $\text{Me}' = 2 \text{ Me} \Rightarrow s_r'^2 = s_r^2 / 2 \Rightarrow s_r' = s_r / 2^{0.5}$

c) On est dans le cas  $d > d_0$  les variances sont proportionnelles à  $d^{2.5}$ , donc les écarts-types sont proportionnels à  $d^{1.25}$ .  
 $\Rightarrow s_r' = (1/2)^{1.25} s_r$

d) On est dans le cas  $d < d_0$  donc les variances sont proportionnelles à  $d^3$ , les écarts-types sont proportionnels à  $d^{1.5}$ .  
Donc  $sr' = (1/2)^{1.5}$  sr.

e) La teneur est un facteur très important dans le terme  $\mu\text{-delta} = (1-a_L)/a_L$  ( ).  
Quand les teneurs sont faibles, ce terme devient très grand.

---

Q5

a) distances au carré : 100, 125, 125 . Inverses des distances au carré : 1/100, 1/125, 1/125. Somme des inverses : 0.0260  $\Rightarrow$  poids 0.3846 0.3077 0.3077  $\Rightarrow Z^* = 0.3846*1.2 + 0.3077*0.5 + 0.3077*2.1 = 1.26\%$

b) Polygonale  $\Rightarrow$  Point le plus près  $x_1$  1.2%

c) Par interpolation linéaire : sur le côté droit, entre  $x_2$  et  $x_3$  :  $0.5*(2.1+0.5) = 1.3$   
entre  $x_1$  et le point précédent :  $0.5*(1.2+1.3) = 1.25\%$

d) cas où  $b=0$ .

---

Q6

|    | Énoncé                                                                                                                                                                                                                                               | V | F |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|
| a) | La principale production en valeur brute (\$), au Québec, est la production de fer.                                                                                                                                                                  | x |   |
| b) | La grande majorité des claims au Québec s'obtiennent par désignation sur carte.                                                                                                                                                                      | x |   |
| c) | La superficie (en hectares) des claims « normaux » de 30 s x 30 s au Québec diminue selon la latitude considérée.                                                                                                                                    | x |   |
| d) | Il est possible de prendre un claim dans le but de le revendre éventuellement sans intention sincère d'y faire de l'exploration.                                                                                                                     | x |   |
| e) | Il est éthique pour un ingénieur de s'entendre avec une tierce personne pour qu'elle reprenne comme prête-nom un claim perdu pour cause de non-respect des montants des travaux statutaires requis.                                                  |   | x |
| f) | Depuis 2011, il n'est pas requis que le rapport technique (43-101) soit signé par une personne qualifiée indépendante dans le cas d'une compagnie productrice. Il peut être signé par une personne qualifiée employée par la compagnie.              | x |   |
| g) | La définition des catégories de ressources de NI-43-101 suit des règles objectives et facilement reproductibles.                                                                                                                                     |   | x |
| h) | Avec la théorie de Lane et Taylor, on doit effectuer les calculs avec la distribution des vraies teneurs de blocs et non celles des teneurs estimées utilisées pour sélectionner les blocs, et ce, même si l'estimateur est sans biais conditionnel. |   | x |
| i) | Il est facile d'échantillonner sans biais les forages de production des fosses minières même sans récupérateur de déblais (cyclones).                                                                                                                |   | x |
| j) | Les duplicatas d'échantillons à l'état de poudre permettent de vérifier la validité de toute la procédure échantillonnale utilisée par le laboratoire.                                                                                               |   | x |
| k) | La procédure de « capping » (écrêtage) des teneurs hautes introduit généralement un biais dans l'estimation des ressources.                                                                                                                          | x |   |
| l) | La principale production minérale au Canada est la potasse.                                                                                                                                                                                          | x |   |
| m) | Les échantillons « standards » servent à s'assurer de la non-contamination inter-échantillons qui pourrait être causée par la procédure du laboratoire.                                                                                              |   | x |
| n) | Le vérificateur général du Québec a démontré que les compagnies minières payaient entre 2002 et 2008 beaucoup plus d'impôt minier que la valeur des avantages fiscaux consentis au secteur minier.                                                   |   | x |
| o) | Le système SIGEOM permet d'afficher la géologie régionale, laquelle devient plus détaillée (si                                                                                                                                                       | x |   |