

**GLQ3401-3651
12h45 à 15h15**

**Géostatistique et géologie minière
Examen intra**

5 oct. 2018

L'examen comporte 7 questions totalisant 100 points, réparties sur 15 pages.
Les points attribués à chaque question sont : 10-12-20-18-15-15-10.

Deux feuilles d'aide-mémoire (recto-verso) permises.

Le professeur ne répond à aucune question.

En cas de doute indiquez votre interprétation.

Si vous pensez qu'il manque une information, donnez-vous une valeur réaliste.

Toutes calculatrices permises.

Vous répondez sur le questionnaire (utilisez le verso au besoin)

Nom :

Matricule :

(lettres moulées)

Signature

Question 1 (10 points)

Le contrôle de qualité des analyses géochimiques d'une mine est un élément très important dans l'estimation des ressources. On suppose que la procédure de préparation du laboratoire principal implique deux sous-échantillonnages (à 1 mm et à 80 microns (poudre)). Les analyses portent sur la teneur des demi-carottes.

Utilité du contrôle :

- A – Identifier la variation totale (i.e. le manque de précision, incluant la part spatiale à très courte distance et la part due à la procédure de préparation et d'analyse)
- B- Identifier un éventuel problème de calibration (biais) de l'appareil donnant l'analyse
- C- identifier un problème de contamination inter-échantillon
- D- Identifier un manque de précision de la procédure complète de préparation
- E- Identifier un biais dû à la méthode de préparation des échantillons
- F- Identifier un manque de précision de l'échantillonnage de poudre et son analyse

Indiquez l'utilité principale (parmi A à F) des éléments de contrôle du tableau. Associez une seule lettre à chaque élément de contrôle. Une lettre peut apparaître plus d'une fois. Une lettre peut aussi ne pas apparaître dans l'ensemble des réponses.

Élément de contrôle	Utilité principale (une lettre parmi A à F)
<i>Blancs</i>	
<i>Standards (en poudre)</i>	
<i>Duplicatas du rejet (à 1 mm)</i>	
<i>Duplicatas de poudre</i>	
<i>Duplicatas terrain obtenu par l'analyse de l'autre demi-carotte</i>	

Question 2 (13 points)

Une roche d'un gisement de Cu-Zn montre une teneur de 4% de Cu, 3% de Zn et 8% S. Le Cu est contenu uniquement dans la chalcoppyrite (CuFeS_2 , 35% Cu, 35% S; densité 4.1) et le Zn uniquement dans la sphalérite (ZnS , 67% Zn, 33% S; densité 4.1). On retrouve aussi de la pyrite (FeS , 54% S; densité 5.0). La densité de la gangue est 3. La gangue ne contient pas de Cu, de Zn ou de S. La porosité de la roche est 2%.

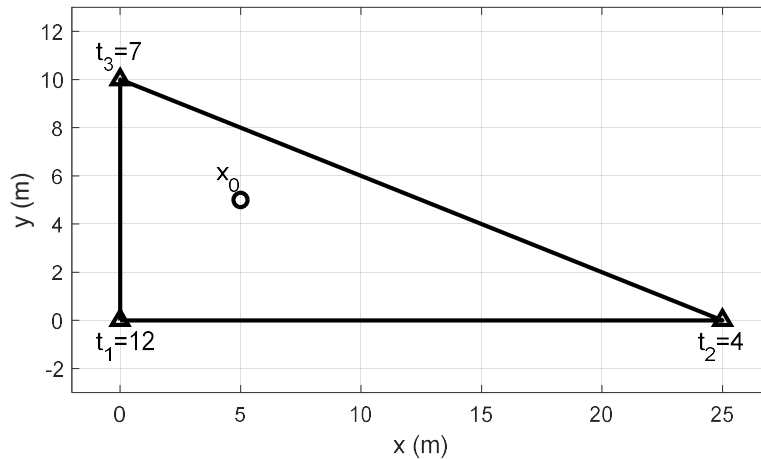
8 pts a) Construire et résoudre le système d'équations linéaires permettant de déterminer les teneurs en chalcoppyrite, sphalérite, pyrite et gangue.

Question 2 (suite)

5 pts *b) Déduire la masse volumique de la roche en incluant l'effet de la porosité. (Si vous n'avez pu répondre   a), donnez-vous des valeurs pour faire le calcul).*

Question 3 (10 points)

On a échantillonné une veine d'or d'épaisseur constante en trois points représentés sur la figure suivante. Les teneurs (t_1 , t_2 et t_3) sont exprimées en ppm. On veut obtenir une estimation de la teneur au point x_0 (cordonnées : $x=5$, $y=5$).



Effectuez l'estimation de la teneur au point x_0 par :

5 pts a) Inverse de la distance au carré ($b=2$) en utilisant une zone de recherche de 50 m.

5 pts b) Interpolation linéaire sur le triangle.

Question 4 (20 points, 1 pt par bonne réponse, -0.5 pt par mauvaise réponse, 0 pour absence de réponse)

a) Répondez par vrai ou faux (1 point par bonne réponse, -0.5 pour une mauvaise réponse et 0 pour une absence de réponse)

Énoncé	V	F
a) La méthode acoustique de relevé des fractures dans les trous de forage n'est pas fiable lorsque la roche est magnétique.		
b) Des claims sont présentement détenus par des compagnies et particuliers sur la majeure partie (>50%) du territoire québécois.		
c) Seul un citoyen canadien ou compagnie canadienne peut obtenir un claim par désignation sur carte au Québec. Les compagnies extérieures au Canada doivent obligatoirement passer par un courtier canadien.		
d) Il est préférable d'utiliser des duplicatas de poudre plutôt que des duplicatas de la demi-carotte concassée pour contrôler la qualité d'une procédure de préparation à l'analyse géochimique.		
e) La méthode inverse de la distance converge vers la méthode polygonale lorsque l'exposant $b \rightarrow 0$.		
f) La méthode inverse de la distance converge vers la méthode « moyenne locale » lorsque l'exposant $b \rightarrow 0$.		
g) Il est possible de consulter en ligne par SIGEOM tous les travaux statutaires liés aux claims et déposés au MERN.		
h) Sur un forage incliné, le plan d'une fracture vu sur une carotte permet de mesurer le pendage de la fracture sans autre information.		
i) Un problème lié au recours à un laboratoire externe pour l'analyse de duplicatas est qu'en cas de problème (biais ou manque de précision) il est possible que la cause en soit le laboratoire externe.		
j) Avec $b=1$ et $n=3$ points, en 2D, la méthode inverse de la distance définit un plan passant par les valeurs mesurées aux 3 points.		

Question 4 (suite)

Énoncé	V	F
k) La méthode inverse de la distance permet de compenser le regroupement des données dans l'attribution des poids.		
l) Il est possible avec la méthode inverse de la distance d'estimer une teneur qui soit supérieure à la plus forte teneur observée dans les données.		
m) Il est recommandé par Gy d'utiliser des outils de prélèvement ayant des ouvertures au moins trois fois plus grandes que les plus grosses particules du lot échantillonné.		
n) Les claims sont renouvelables à tous les 2 ans à la condition que des travaux d'exploration d'un montant au moins égal au montant fixé par règlement aient été effectués sur le claim.		
o) L'impôt sur les profits des compagnies minières est un mode de taxation sans effet sur la teneur de coupure optimale.		
p) La redevance sur le minerai extrait est un mode de taxation ayant un effet direct à la hausse sur la détermination des teneurs de coupure limite mais sans effet sur les teneurs de coupure d'équilibre.		
q) Lorsque l'on rapporte des ressources pour un gisement donné, il est interdit d'inclure les ressources présumées dans le total des ressources disponibles. Les ressources présumées doivent être rapportées séparément.		
r) Il est courant de définir les catégories de ressources des blocs (mesurées, indiquées présumées) selon la passe d'estimation où les blocs ont pu être estimés. Chaque nouvelle passe accroît la zone de recherche utilisée et diminue les restrictions pour l'estimation.		
s) Une augmentation du prix du métal se traduit toujours par une baisse de la teneur de coupure optimale.		
t) Plus le diamètre d'un forage est important, plus le forage a tendance à dévier.		

Question 5 (15 points)

La figure 1 montre les profits par tonne minéralisée pour une mine de Cu. La figure 2 montre les fonctions de récupération pour les teneurs des blocs utilisées au moment de la sélection. L'estimateur est précis et sans biais conditionnel. La mine opère à la teneur de coupure optimale. Le tonnage total de matériau minéralisé (T_0) est de 80Mt. Le taux de récupération de la mine est de 0.95. La capacité annuelle de la mine est de $M=6$ Mt, celle du traitement de $H=2.5$ Mt.

Figure 1

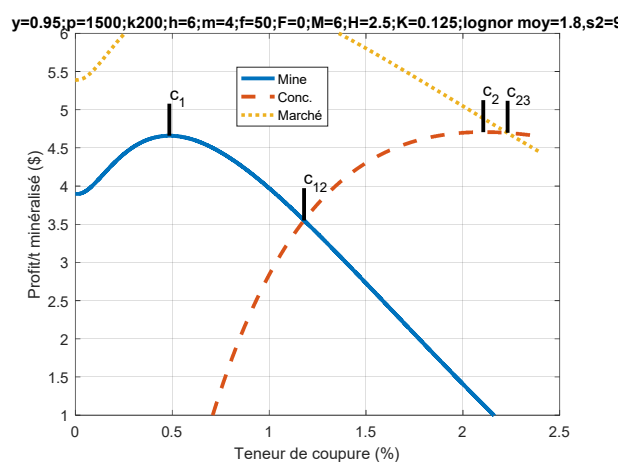
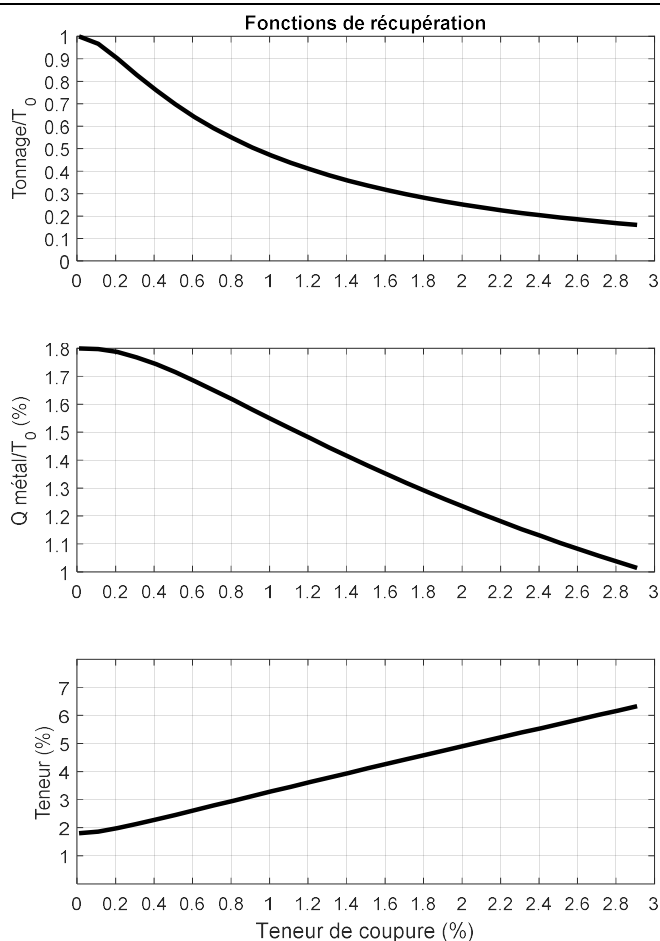


Figure 2



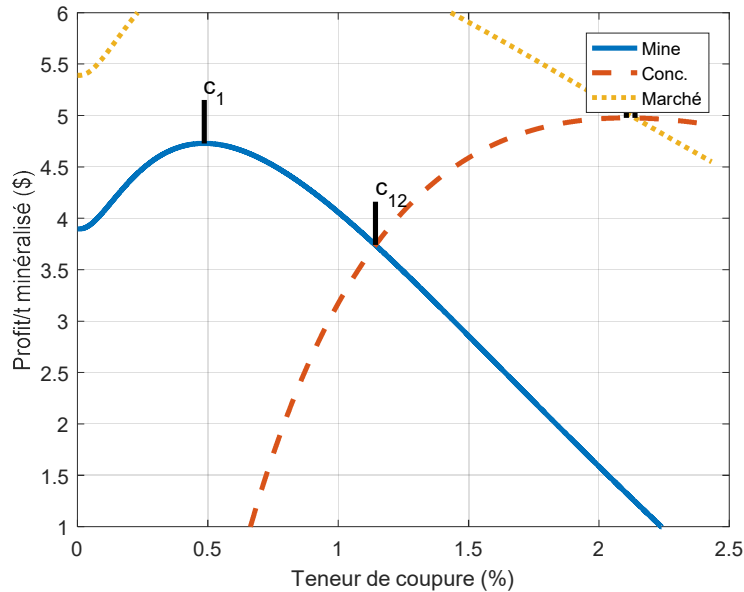
Question 5 (suite)

- 2 pts a) *Quelle est la teneur de coupure optimale et à quoi correspond-elle (teneur de coupure limite ou d'équilibre)?*
- 2 pts b) *Quelle est la teneur moyenne du minerai sélectionné à la teneur de coupure optimale?*
- 2 pts c) *Quel profit annuel est généré par cette mine?*
- 5 pts d) *Un 2^e concentrateur situé non loin présente une forte capacité excédentaire permettant de traiter tout le minerai produit à la mine qui excéderait la capacité de traitement sur place. Le coût de traitement à ce concentrateur est supposé identique à celui du concentrateur à la mine. On suppose que la capacité de minage (M) ne peut être modifiée.*
- i. *À quelle teneur de coupure devrait-on opérer la mine afin de maximiser le profit grâce au 2^e concentrateur ?*
- ii. *Quel profit additionnel ferait la mine annuellement ?*
- iii. *Quel serait le tonnage de minerai expédié annuellement à ce 2^e concentrateur ?*

Question 5 (suite)

On prévoit devoir investir 10M\$ sur la durée de vie de la mine pour échantillonner afin de mieux estimer les ressources. L'estimateur futur au moment de la sélection montrera alors une variance de $10\%^2$ comparé à une variance de $9\%^2$ pour l'estimateur actuel illustré à la figure 1. On suppose les deux estimateurs sans biais conditionnel. La figure 3 montre les courbes de Lane obtenues avec cet estimateur futur.

Figure 3



2 pts e) Est-on justifié de vouloir faire cet investissement selon les informations fournies. Expliquez.

2 pts f) Un suivi des teneurs des blocs minés a permis d'établir l'équation de régression suivante : $E[Z_v | Z_v^*] = Z_v^*$. Que peut-on conclure?

Question 6 (15 points)

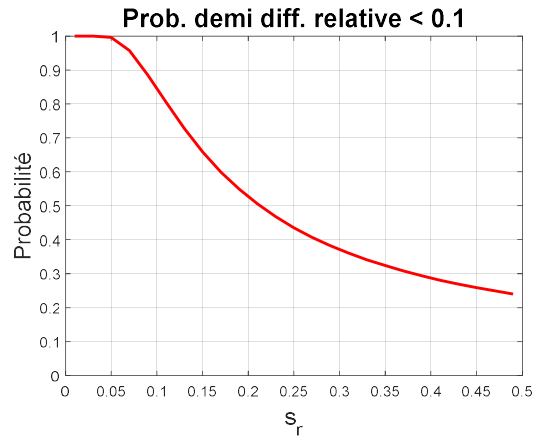
Selon le rapport NI43-101 déposé en 2014 d'une certaine compagnie, la procédure de préparation des échantillons pour l'analyse de l'or est la suivante :

Étape	Masse présente	diamètre d_{95}	S_r
1 broyage	2000 g	0.1 cm	--
2 sous-échantillonnage	500 g	0.1 cm	
3 pulvérisation	500 g	0.005 cm	--
4 sous-échantillonnage pour analyse	125 g	0.005 cm	0.042

8 pts a) Calculez l'écart-type relatif à l'étape 2. On suppose que l'or est sous forme native, la taille de libération est 0.05 cm et la teneur vraie du 2 kg initial est 1 ppm. (La densité de l'or est 19, celle de la gangue 3; utilisez $f=0.5$ et $g=0.25$).

Question 6 (suite)

Le diagramme suivant montre la relation entre la demi-différence relative de duplicatas en fonction de l'écart-type relatif calculé par Gy :



2 pts b) Selon votre réponse en a) et ce diagramme, la procédure actuelle est-elle acceptable?

2 pts c) Quelle est la valeur attendue de la proportion des $HARD < 0.1$ pour des duplicatas de poudre extraits à l'étape 4 ?

3 pts d) Quelle taille d_{95} aux étapes 1-2 permettrait d'atteindre une probabilité de 0.90 pour $HARD < 0.1$ pour les duplicatas prélevés des rejets de l'étape 2 (note : on conserve la masse de 500 g à l'étape 2) ?

Question 7 (17 points)

Un horizon marqueur, considéré comme un plan, a comme vecteur pôle $(240^\circ, 50^\circ)$. Les cosinus directeurs de ce vecteur sont $[-0.5567 \ -0.3214 \ -0.7660]'$. L'horizon a été reconnu dans un autre forage au point A de coordonnée $p_0 = (0, 30, -220)'$.

- 7 pts a) Un forage dont le collet est à $s_0 = (0, 0, 0)'$ est orienté selon $(270, 60)$. Supposant que le forage ne dévie pas, à quelle distance du collet devrait-il croiser l'horizon marqueur? Utiliser la méthode de solution algébrique vue en classe et au TP1; rappel : les cosinus directeurs d'un vecteur d'azimut A et de plongée B sont : $x = \cos(B)\sin(A)$; $y = \cos(B)\cos(A)$; $z = -\sin(B)$.

Question 7 (suite)

3 pts *b) Des analyses ont été effectuées sur les carottes du forage de la question a). Formez les composites pour des longueurs régulières de 3 m. On accepte jusqu'à 50% non-analysé pour former un composite de 3 m et le matériau non-analysé est supposé posséder une teneur égale au reste du composite dont il fait partie.*

<i>De (m)</i>	<i>à (m)</i>	<i>teneur (ppm)</i>
182.1	187.8	3.7
187.8	189.7	12.2
189.7	192.7	2.2
192.7	193.3	<i>non-analysé</i>
193.3	193.7	21.0
193.7	195.2	<i>non-analysé</i>

Question 7 (suite)

4 pts c) Quelles sont les coordonnées x , y et z du centre du 1^{er} composite formé en c) ?

3 pts d) l'horizon marqueur a une épaisseur vraie de 1m. Quelle sera l'épaisseur apparente vue dans le forage de la question a) ? (Aide : quel est l'angle entre le pôle du plan et le forage? Quelle est la relation entre cet angle et l'angle JO?)

Fin de l'examen
Corrigé

Q1. C-B-D-F-A

Q2. a)

	Chalco	Sphal	Pyrite	Gangue			Analyse
Cu	0.35	0	0	0	[Chalco]		0.04
Zn	0	0.67	0	0	[sphal]	=	0.03
S	0.35	0.33	0.54	0	[pyr]		0.08
Fermeture	1	1	1	1	[gangue]		1

solution :

$$[chalco]=0.04/0.35=0.114$$

$$[sphal]=0.03/0.67=0.045$$

$$[pyr]=(0.08-0.35*0.114-0.33*0.045)/0.54=0.047$$

$$[gangue]=1-0.114-0.045-0.047=0.794$$

b) volumes pour 100g => $11.4/4.1 + 4.5/4.1 + 4.7/5 + 79.4/3 = 31.28 \text{ cm}^3$

masse volumique théorique : $100\text{g}/31.28 \text{ cm}^3 = 3.19$

avec porosité : $0.98*3.19 = 3.13 \text{ g/cm}^3$

Q3. a) les distances au carré sont : 50, 425 et 50. la somme des inverses des distances carré est 0.0424, les poids sont donc 0.47 pour 1 et 3 et 0.06 pour 2.

La teneur estimée est : $12*0.47 + 4*0.06 + 7*0.47 = 9.17 \text{ ppm}$

b) en t12 on a $12 + 10/25*(4-12) = 8.8 \text{ ppm}$

en t0 on a : $(8.8+7)/2 = 7.9 \text{ ppm}$

Q4.

V F F F F V V F V F

F F V V V V V F F F

Q5. a) $c_{12} = 1.18$ (équilibre mine-traitement)

b) teneur = 3.57

c) $3.55\$/t * 6\text{Mt} = 21.3 \text{ M\$}$

d) i. à c_1 soit 0.486%, ii. $(4.66-3.55)*6 = 6.7\text{M\$}$,

iii. à 0.486, $x_c = 0.71$, donc on doit traiter $6 \text{ Mt} * 0.71 = 4.3\text{Mt}$ on en traite 2.5 Mt sur place et donc 1.8 expédié au 2^e concentrateur.

e) la nouvelle valeur est $3.74\$/t$ gain de $(3.74-3.55)*80 = 15.2 \text{ M\$}$ vs $10\text{M\$}$ pour les forages, donc oui on doit les faire.

f) L'estimateur utilisé était effectivement sans biais conditionnel.

Q6. a) facteur $I = (0.05/0.1)^{0.5} = 0.71$

$$K = (1-1e-06)/1e-06 ((1-1e-06)^{19} + 1e-06*3) * 0.5 * 0.25 = 1.9e07/8 = 2.375 e06$$

$$sr^2 = 2.375e06 * 0.71 * 0.1^3 / 500 * (1-500/2000) = 2.53$$

$$sr = 1.59$$

b) clairement inacceptable car $P(\text{HARD} < 0.1) < 0.25$ alors que l'on veut > 0.9

c) par lecture : environ 0.99

d) selon le diagramme, il faut $sr=0.08$ on a $sr=1.59$, $1.59/0.08=20$. Il faudrait donc réduire la variance d'un facteur 400. comme d intervient comme un cube, il faudrait réduire le diamètre d'un facteur 8, soit amener le 2kg à $0.1/8 = 0.0125$ cm, soit 125 microns.

Q7. a) le pôle du plan en vecteur unitaire $n \Rightarrow [-0.5667 \ -0.3214 \ -0.766]'$

le vecteur unitaire correspondant au forage $s \Rightarrow [-0.5 \ 0 \ -0.866]'$

$$s'n = 0.9467$$

$$(p0-s0)'n = [0 \ 30 \ -220]'n = 158.9$$

$$e = 158.9/0.9467 = 167.8$$

b) 182.1 à 185.1 : 3.7%

$$185.1 \text{ à } 188.1 : (2.7*3.7 + 0.3*12.2)/3 = 4.55\%$$

$$188.1 \text{ à } 191.1 : (1.6*12.2 + 1.4*2.2)/3 = 7.53\%$$

$$191.1 \text{ à } 194.1 : (1.6 \text{ à } 2.2 + 0.4*21)/2 = 5.96\%$$

c) on cherche pour $L=183.6 \Rightarrow$

$$x = -\cos(60)*183.6 = -91.8$$

$$y = 0$$

$$z = -\sin(60)*183.6 = -159.03$$

d) $s'n = 0.9467 \Rightarrow$ angle forage-pole = $\arccos(0.9467) = 18.8$. le JO est l'angle complémentaire, soit 71.2.

$$e \sin(JO) = \text{evrai} \Rightarrow e = 1/\sin(71.2) = 1.06 \text{ m.}$$