

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 chalcopryrite (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%.

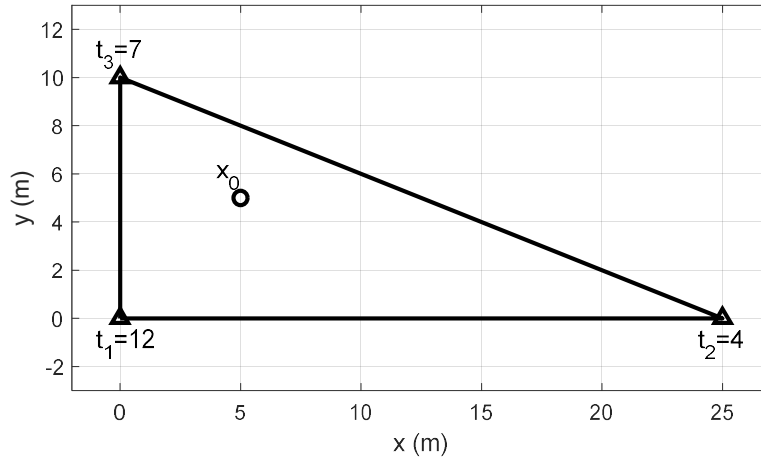
8 pts a) Construire et résoudre le système d'équations linéaires permettant de déterminer les teneurs en chalcopryrite, sphalérite, pyrite et gangue.

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 à 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 $b > 0$.		
f) La méthode inverse de la distance converge vers la méthode « moyenne locale » lorsque l'exposant $b > 0$.		
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

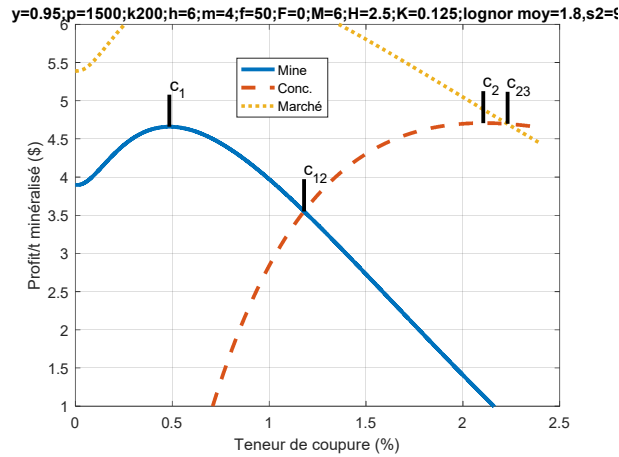
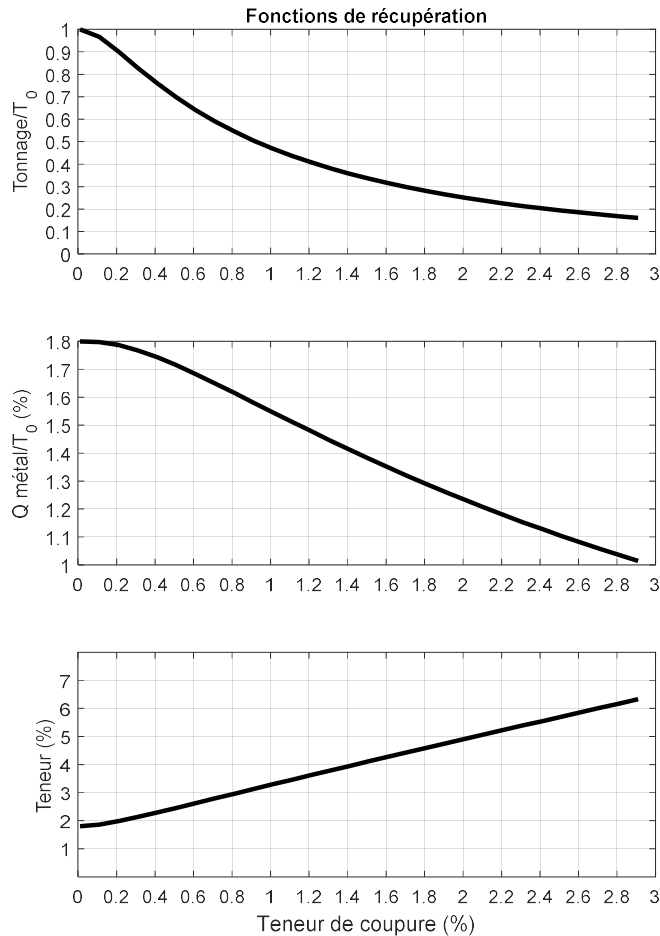


Figure 2



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 ?*

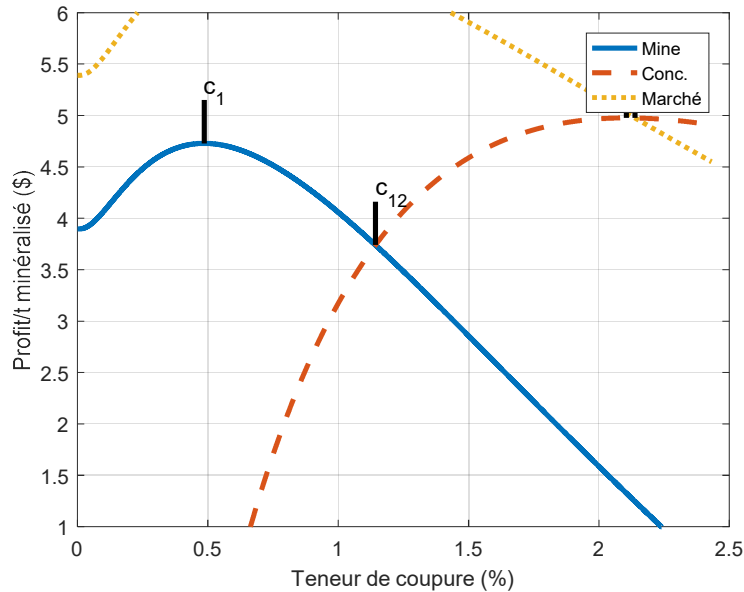
ii. *Quel profit additionnel ferait la mine annuellement ?*

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)

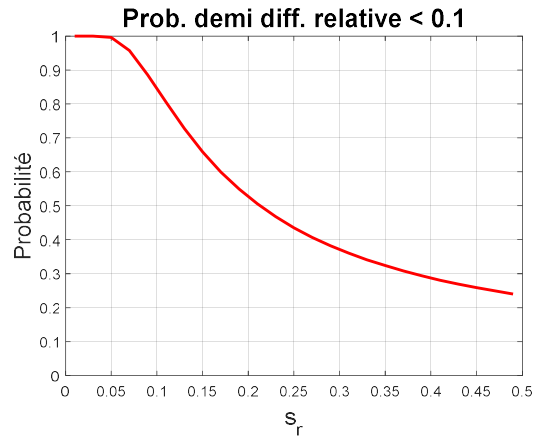
Selon le rapport NI43-101 déposé en 2014 d'une certaine compagnie, la procédure de préparation des échantillons pour l'analyse de l'or est la suivante :

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.*

De (m)	à (m)	teneur (ppm)
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 :

$$[\text{chalco}] = 0.04 / 0.35 = 0.114$$

$$[\text{sphal}] = 0.03 / 0.67 = 0.045$$

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

$$[\text{gangue}] = 1 - 0.114 - 0.045 - 0.047 = 0.794$$

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 vaut 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 V 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 $l = (0.05/0.1)^{0.5} = 0.71$

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

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

$$sr = 1.59$$

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

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

191.1 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.

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

GLQ3401-3651
13h45 à 16h15

Géostatistique et géologie minière
Examen intra

5 oct. 2017

L'examen comporte 7 questions sur 14 pages totalisant 100 points.
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.

Toutes calculatrices permises

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

Nom :

Matricule :

(lettres moulées)

Signature

Question 1 (10 points)

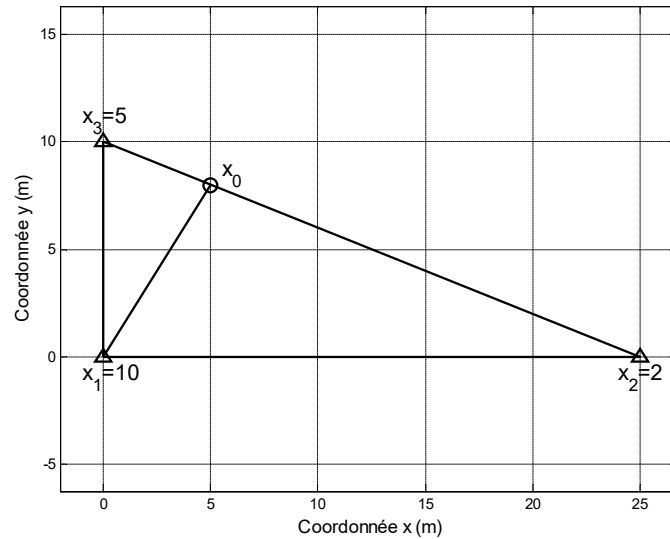
Une roche d'un gisement de Cu-Zn montre une teneur de 3% de Cu, 4% de Zn et 7% S. Le Cu est contenu uniquement dans la chalcopryrite (35% Cu, 35% S; densité 4.1) et le Zn uniquement dans la sphalérite (67% Zn, 33% S; densité 4.1). On retrouve aussi de la pyrite (54% S; densité 5.0). La densité de la gangue est 3. et la gangue ne contient pas de Cu, de Zn ou de S. La porosité de la roche est 2%.

Quelle est la masse volumique de la roche (incluant la porosité) ?

Question 1 (suite)

Question 2 (12 points)

On a échantillonné une veine d'or aux points x_1 à x_3 représentés sur la figure suivante. Les teneurs sont exprimées en ppm. On veut obtenir une estimation de la teneur au point x_0 (cordonnées : $x=5$, $y=8$).



Supposez que l'épaisseur de la veine est constante. Effectuez l'estimation de la teneur au point x_0 par :

5 pts a) *Inverse de la distance au carré ($b=2$)*

2 pts b) *Méthode polygonale*

5 pts c) *Interpolation linéaire sur le triangle*

Question 3 (20 points)

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) Les méthodes des triangles moyenne pondérées et méthode des % fournissent des estimations identiques lorsque l'épaisseur ne varie pas sur le triangle.		
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) Sur un forage incliné, l'épaisseur vraie d'une veine peut-être calculée facilement, à partir de l'épaisseur apparente, à l'aide de l'angle JO formé par l'axe long de l'ellipse avec l'axe du forage.		
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 3 (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 <u>toujours</u> un effet direct sur la détermination de la teneur de coupure optimale.		
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) Un forage au diamant traversant une séquence de lithologies sédimentaires aura généralement tendance à dévier pour devenir plus perpendiculaire aux lithologies en raison des variations de dureté de la roche.		
s) Plus le diamètre d'un forage est important, plus le forage a tendance à dévier.		
t) Selon la loi des mines du Québec, on peut envisager exploiter un gisement sur un terrain dont la propriété foncière (droits de surface) appartient à un tiers.		

Question 4 (18 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

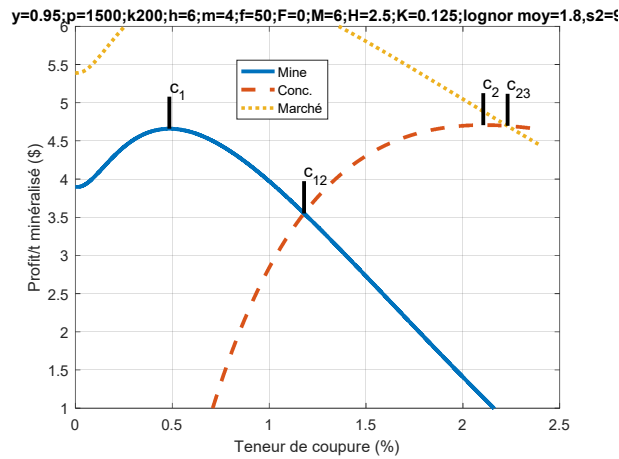
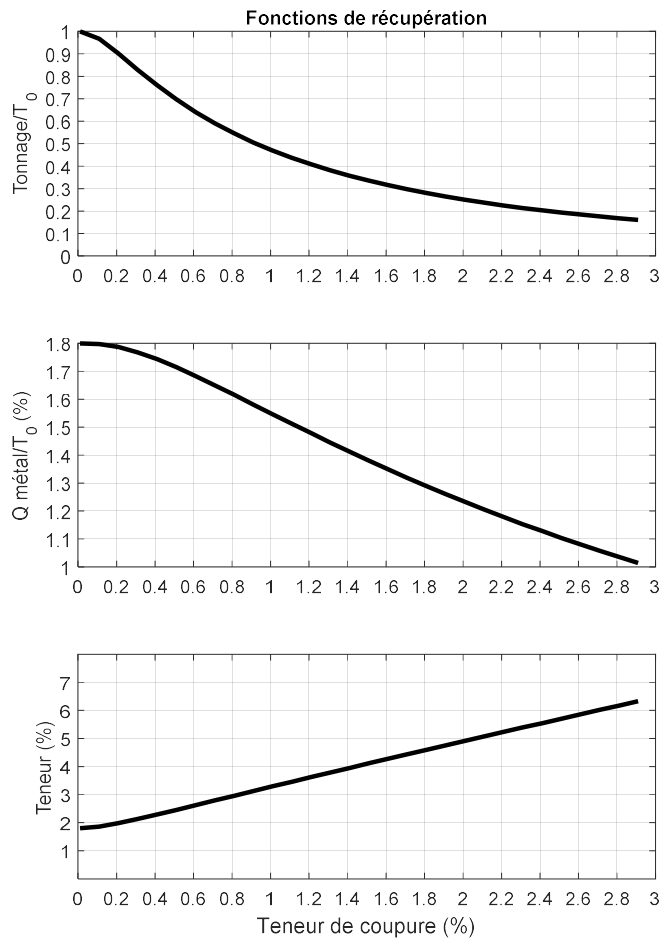


Figure 2



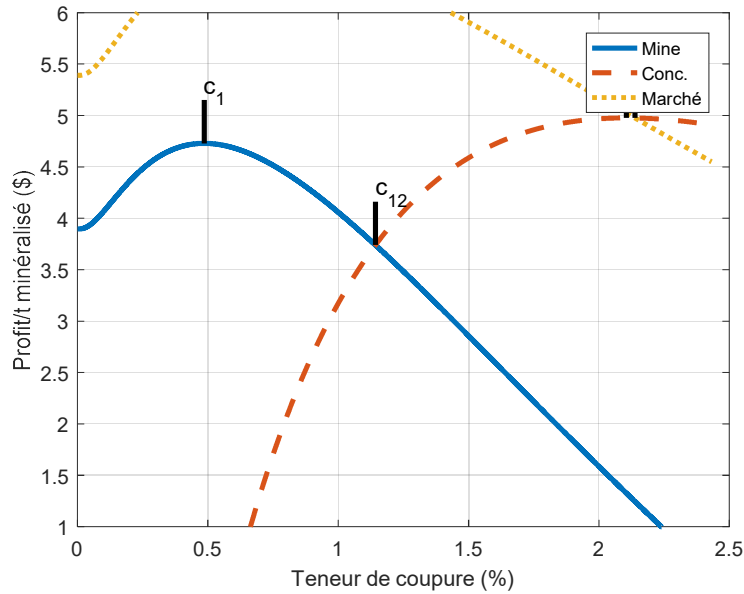
Question 4 (suite)

- 3 pts a) *Quelle est la teneur de coupure optimale et à quoi correspond-elle (teneur de coupure limite ou d'équilibre)?*
- 3 pts b) *Quelle est la teneur moyenne du minerai sélectionné à la teneur de coupure optimale?*
- 3 pts c) *Quel profit annuel est généré par cette mine?*
- 6 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.*
- i. Combien serait-on prêt à payer par année pour faire traiter ce minerai au 2^e concentrateur (sans changer la capacité de la mine M) ?*
- ii. Quel serait le tonnage de minerai que vous enverriez annuellement à ce 2^e concentrateur ?*

Question 4 (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



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

Question 5 (15 points)

Dans le minerai de fer, le phosphore inclus dans l'apatite est un contaminant indésirable qui vient diminuer considérablement le prix du fer lorsque trop abondant. On retrouve 18% de phosphore (P) dans l'apatite. La taille de libération des grains d'apatite est de 0.1 cm. La densité du minerai de fer est de 5.0, celle de l'apatite de 3.2. On veut développer une procédure permettant une bonne précision pour l'analyse du phosphore. On posera comme d'habitude $f=0.5$ et $g=0.25$.

10 pts a) Calculez l'écart-type relatif de l'erreur fondamentale pour un échantillon de 500 g à $d_{5\%,\text{retenu}}=0.5$ cm, si le lot fait 5 kg et a une concentration en phosphore de 0.8 % ?

5 pts b) Dans les mêmes conditions qu'en a), quelle masse d'échantillon devrait-on prélever du lot de 5kg pour amener l'écart-type relatif à 2% de la teneur?

Question 6 (15 points)

Un horizon marqueur, considéré comme un plan, a comme vecteur pôle (230,30) auquel correspond le vecteur unitaire $n = [-0.6634 \ -0.5567 \ -0.5]^T$. Le sommet de l'horizon a été reconnu dans un forage au point O de coordonnées $p_0 = (50, 0, -200)^T$.

7 pts a) Un forage dont le collet est à $s_0 = (0, 0, 0)^T$ est orienté selon (250, 50). Supposant que le forage ne dévie pas, à quelle distance du collet croisera-t-il l'horizon marqueur?

4 pts b) Quelle est l'inclinaison apparente de ce forage lorsque projeté sur une section ouest-est?

Question 6 (suite)

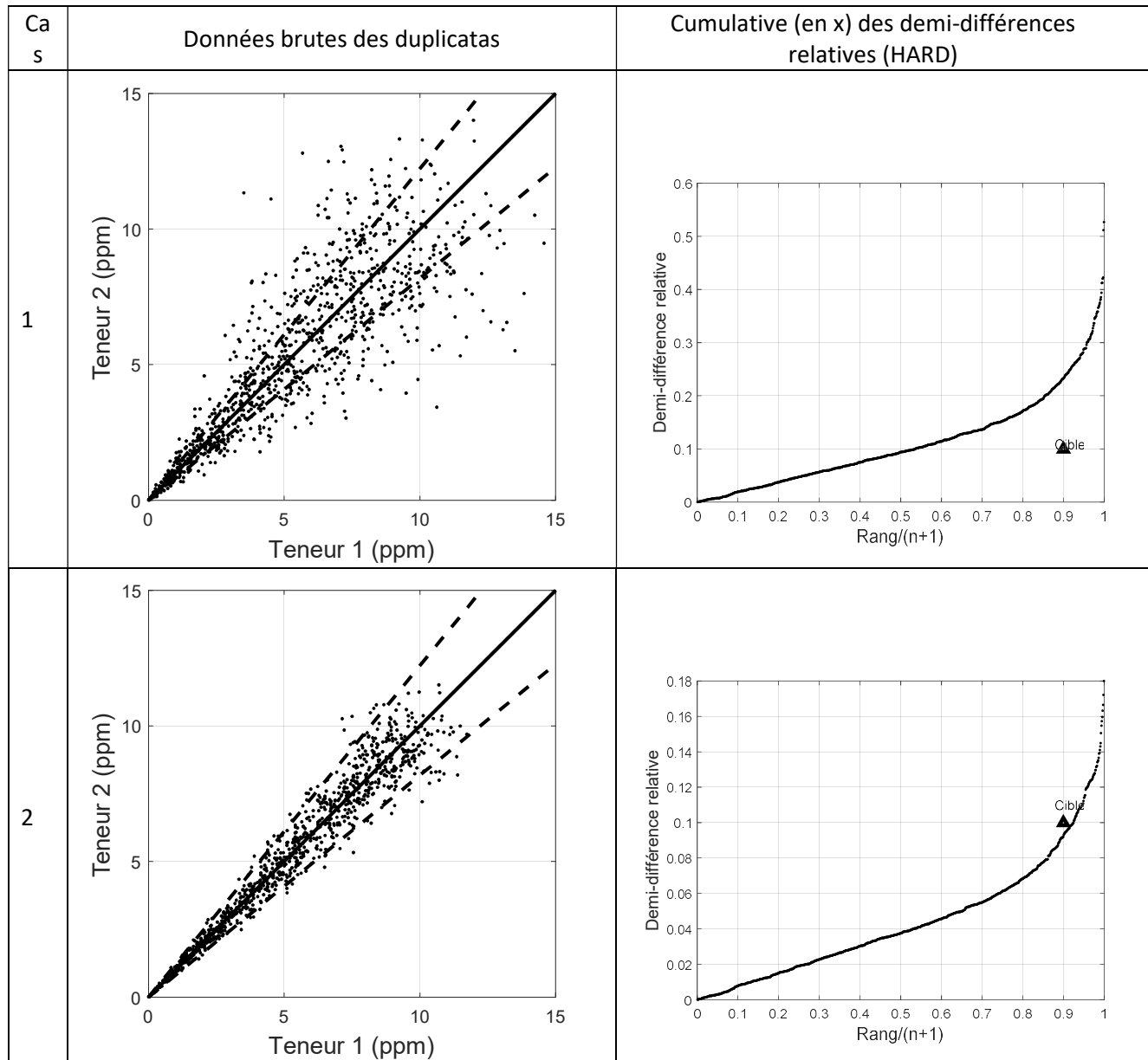
Des analyses de cuivre ont été effectuées le long du forage :

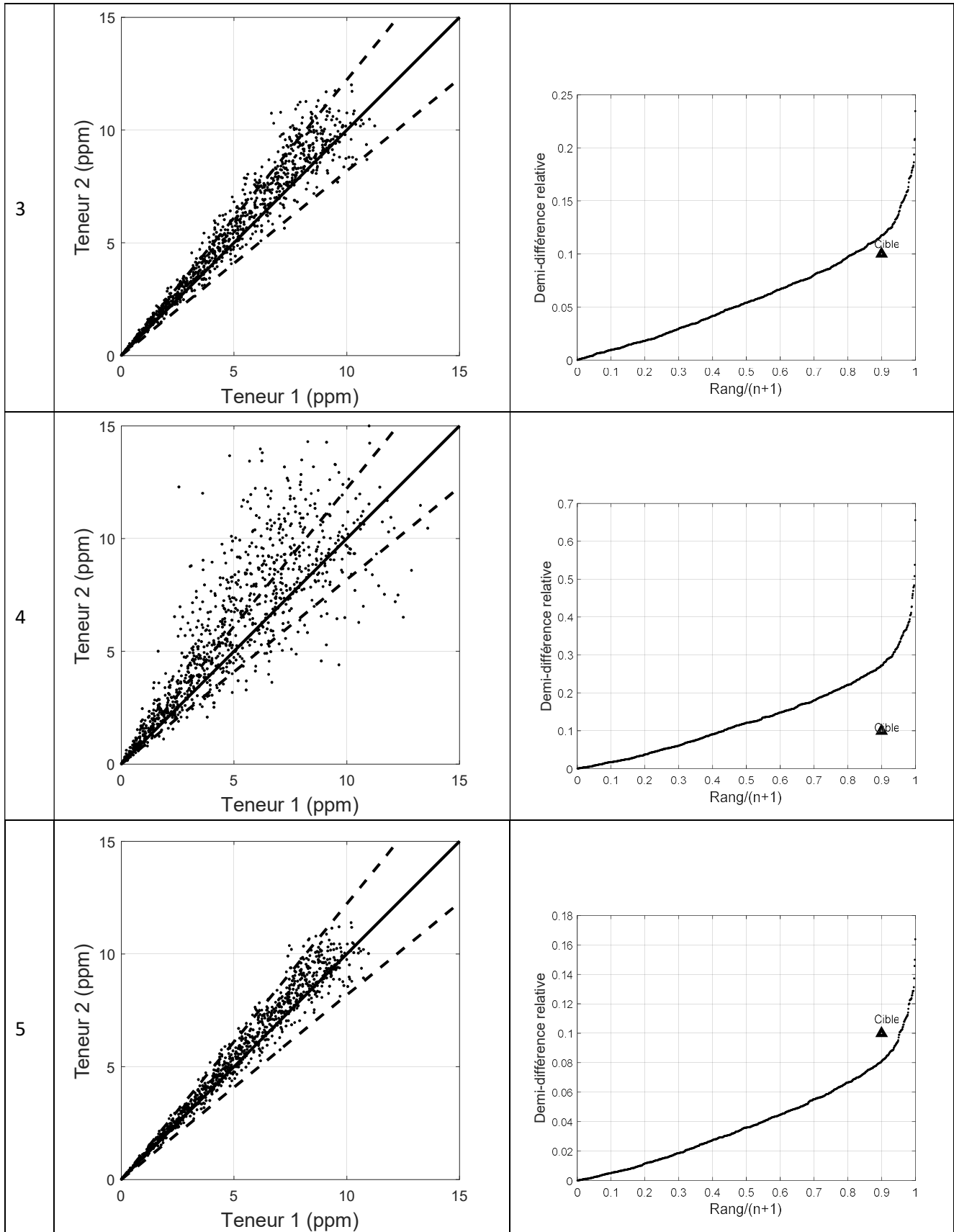
De	à	teneur (% Cu)
200	201.4	2.0
201.4	201.8	non-analysé
201.8	202.6	3.2
202.6	203.4	2.0
203.4	204.8	1.4
204.8	206	0.8

- 4 pts c) Formez les composites pour des longueurs régulières de 3m allant de 200 m à 206 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.

Question 7 (10 points, 2 points par sous-question)

La figure suivante illustre cinq cas d'analyses de duplicatas de lots avec fragments de 0.5 cm. Les résultats pour chaque cas sont présentés sous deux formes différentes. La colonne de gauche montre les résultats bruts des duplicatas (avec les droites à + ou moins 10% d'écart relatif pour la demi-différence en valeur absolue) et la colonne de droite montre les résultats exprimés sous forme de cumulative de ces mêmes demi-différences en valeurs absolues.





Question 7 (suite)

En vous servant des deux graphes associés à chaque cas, classez chaque cas dans une seule des catégories a) à d) suivantes.

Les résultats ...	Cas
<i>a) sont ceux attendus (i.e. sans biais et précis)</i>	
<i>b) présentent un biais mais sont précis</i>	
<i>c) présentent un biais et sont imprécis</i>	
<i>d) sont sans biais mais imprécis</i>	

e) Selon les cas illustrés, les graphes de la colonne de droite sont-ils suffisants pour effectuer le classement demandé? **Justifiez.**

Fin de l'examen

Corrigé

Q1. 3% Cu => $3/0.35=8.57\%$ de Chalcopirite contenant 3% de S
 4% Zn => $4/0.47=5.97\%$ de Sphalérite contenant 1.97% de S
 $7\%-3\%-1.97\%=2.03\%$ S provenant de la pyrite => $2.03/0.54=3.76\%$ pyrite
 et donc $100-8.57-5.97-3.76=81.7\%$ gangue

volumes pour 100g:

$$8.57\text{g}/4.1\text{g/cm}^3 = 2.09 \text{ cm}^3$$

$$5.97/4.1=1.46 \text{ cm}^3$$

$$3.76/5=0.75 \text{ cm}^3$$

$$81.7/3=27.23 \text{ cm}^3$$

volume total 31.53 cm³

masse volumique $100/31.53=3.17\text{g/cm}^3$

avec porosité : $0.98*3.17=3.11 \text{ g/cm}^3$

aussi par approche matricielle en plaçant dans l'ordre en rangée Cu, Zn et S

.35	0	0	0	chalco	.03
0	.67	0	0	sphal	.04
.35	.33	.54	0	pyr	.07
1	1	1	1	gangue	1

Q2- a) les distances au carré sont : $d_2(x_0,x_1)=89$, $d_2(x_0,x_2)=464$, $d_2(x_0,x_3)=29$. L'estimé est :

$$(10/89 + 2/464 + 5/29)/(1/89 + 1/464 + 1/29) = 6.04 \text{ ppm}$$

b) point le plus près x_3 => 5 ppm

$$c) 5 + (29/725)^{0.5}(2-5) = 4.4 \text{ ppm}$$

Q3- V F F F F V V F V F F F V V V F V V F V

Q4- a) 1.18% t.c. d'équilibre mine-traitement

b) par lecture sur le graphe $t(1.18) \Rightarrow 3.57\%$

c) 6Mt 3.55\$/t => 21.3 M\$

d) i. c'est comme si on avait H infini. La t.c. serait donc $c_1=0.49\%$ et rapporterait 4.66\$/t, soit un profit supplémentaire de 1.11\$/t. On serait prêt à payer jusqu'à $1.11*6=6.66\text{M}\$$

ii. à cette teneur de 0.49, on a $T_c(0.49)=0.71$ donc on a à traiter $6*0.71 = 4.26\text{Mt}$. on traite sur place 2.5Mt et on traite $4.26-2.5=1.76 \text{ Mt}$

e) la nouvelle valeur optimale est 3.74\$/t, soit 0.19\$/t en plus, soit 15.2 M\$ supplémentaires, donc plus que les 10 M\$ d'investissement, on devrait donc le faire.

Q5- a) $a_l=0.008/0.18=0.044$, $\mu\text{-delta}=70.52$, $l=(0.1/0.5)^{0.5}=0.45$, $k=8.82 \Rightarrow$
 $s_r^2=8.82*0.45*0.5^3/500*(1-0.1)=8.9e-04 \Rightarrow s_r=0.03$

b) $Me=\{0.02^2/(8.82*0.45*0.5^3)+1/5000\}^{-1}=1000 \text{ g ou } 1\text{kg}$

Q6- On trouve $s=[-0.6040 \quad -0.2198 \quad -0.7660]'$

$$(p_0 - s_0) = [50 \text{ m} - 200 \text{ m}]$$

on a $e = n'(p_0 - s_0) = 66.83$ et $n's = 0.906$, donc $e = 73.75 \text{ m}$

la distance verticale est $\sin(50)L$, la distance horizontale dans la section O-E est $\cos(50) * L * \cos(20)$. L'angle recherché est $\arctan(\sin(50) / (\cos(50)\cos(20))) = 51.74$ degrés.

$$c) \text{ de } 200 \text{ à } 203 : (1.4 * 2\% + 0.8 * 3.2\% + 0.4 * 2\%) / 2.6 = 2.37\%$$

$$\text{de } 203 \text{ à } 206 \text{ m} : (0.4 * 2\% + 1.4 * 1.4\% + 1.2 * 0.8\%) / 3 = 1.24\%$$

Q7- a) 2, b) 3 et 5, c) 4, d) 1

e) Non car avec ce graphe on ne peut distinguer si le non-respect de la cible est dû à un problème de biais ou à un manque de précision, ou aux deux. Également, le cas 5 illustre une situation où le critère cible est respecté pour le HARD mais on a un biais évident qui n'est pas détecté.

GLQ3401-3651
13h45 à 15h45

Géostatistique et géologie minière
Examen intra

6 oct. 2016

L'examen comporte 7 questions sur 9 pages totalisant 100 points.
Les points attribués à chaque question sont : 10-18-15-14-17-14-12.

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

Le professeur ne répond à aucune question. En cas de doute indiquez votre interprétation.

Toutes calculatrices permises

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

Nom :

Matricule :

(lettres moulées)

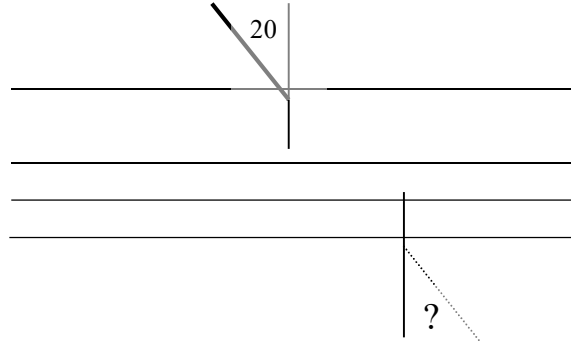
Signature _____

Question 1 (10 points)

Calculez la densité théorique d'un minerai contenant 5% de Zn, le Zn est contenu dans la sphalérite (ZnS). La masse atomique du Zn est 65.4 et celle du S est de 32.1. La densité de la sphalérite est 4.0. Tous les autres minéraux ont une densité voisine de 2.7. On considère la porosité nulle.

Question 2 (18 points)

- 3 pts a) Un forage traverse des roches stratifiées de dureté variable (voir schéma). Le forage se présente avec un angle de 20° avec la normale à la stratification. Après avoir traversé un certain nombre de strates, l'angle avec la normale aux strates sera-t-il normalement inférieur ou supérieur à 20° ?



Des analyses de Nb ont été obtenues le long d'un forage. Les distances au collet du forage sont données en m.

De	à	Nb (%)
36.2	40.4	0.31
40.4	42.5	0.24
42.5	45.3	0.57
45.3	47.4	Pas d'analyse

- 4 pts b) Calculez la teneur du composite allant de 40 m à 43 m.

Question 2 (suite)

Un composite est formé dès que la longueur analysée disponible dépasse deux mètres (sur trois).

4 pts c) *Quelle teneur du composite allant de 43 m à 46 m devrait-on fournir si :*

i. l'analyse du Nb n'a pas été faite car un examen visuel a révélé que la roche ne contenait probablement pas de minéraux contenant du Nb?

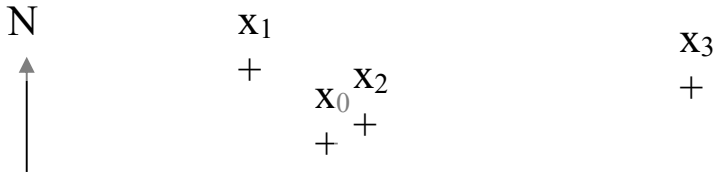
ii. l'analyse n'a pas été faite car cette partie n'a pas été récupérée?

4 pts d) *Le forage en b) est de direction 200° et d'inclinaison 60° . Son collet est situé en $(0,0,0)$. Calculez la coordonnées « y » du centre du composite en b) (système main droite avec « y » croissant du sud vers le nord).*

3 pts e) *Le même forage montre un JO de 55° avec une veine qu'il traverse sur une distance de 1.2 m. Quelle est l'épaisseur vraie de cette veine?*

Question 3 (15 points)

Soit les échantillons suivants. On a : $Z(x_1)=1.5\%$, $Z(x_2)=4\%$, $Z(x_3)=2\%$, $Z(x_0)$ à estimer;
 $d(x_0,x_1)=10\text{m}$, $d(x_0,x_2)=3\text{m}$, $d(x_0,x_3)=25\text{m}$



6 pts a) Quelle teneur estime-t-on au point x_0 par la méthode de l'inverse de la distance avec $b=1$?

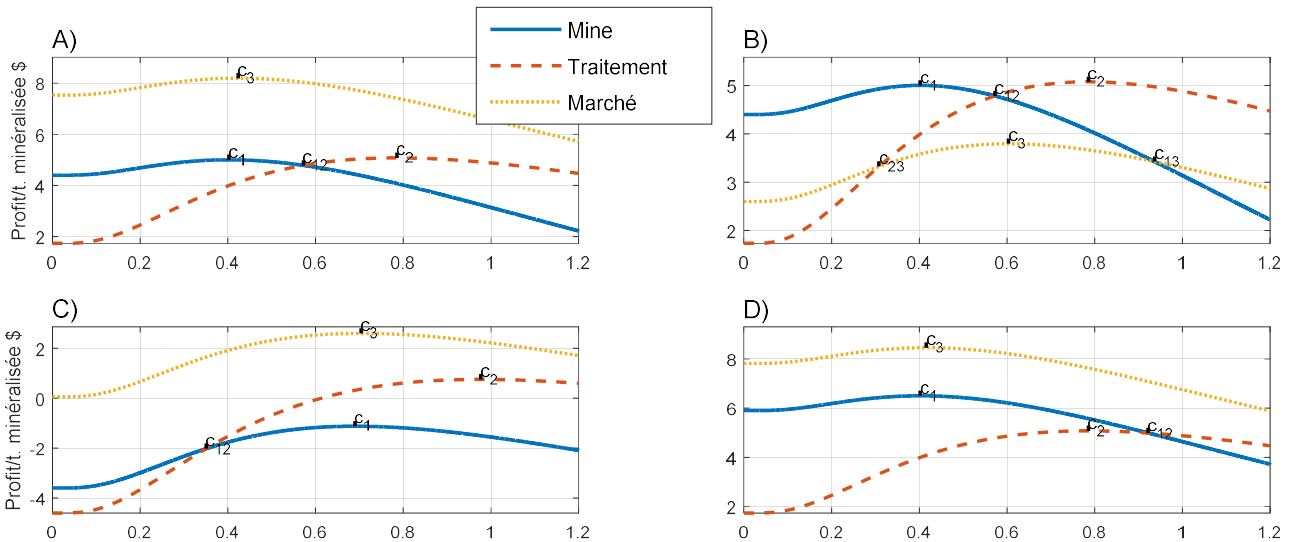
3 pts b) Si l'on augmente l'exposant « b » utilisé pour calculer les poids en a), comment le poids associé à $Z(x_2)$ va-t-il varier ? Justifiez sans faire de calculs.

3 pts c) On rencontre dans ce gisement des strates orientées est-ouest. On évalue qu'une distance dans la direction nord-sud équivaut à trois fois la même distance selon la direction est-ouest. Identifiez la valeur du coefficient « a » dans l'expression $d = \sqrt{d_{\text{est-ouest}}^2 + a (d_{\text{nord-sud}}^2)}$ permettant cette pondération des distances selon la direction.

3 pts d) Toutes choses étant égales, une préparation des échantillons donnant un s_r^2 élevé selon la formule de Gy devrait-elle favoriser le choix d'un exposant « b » élevé ou faible? Justifier.

Question 4 (14 points)

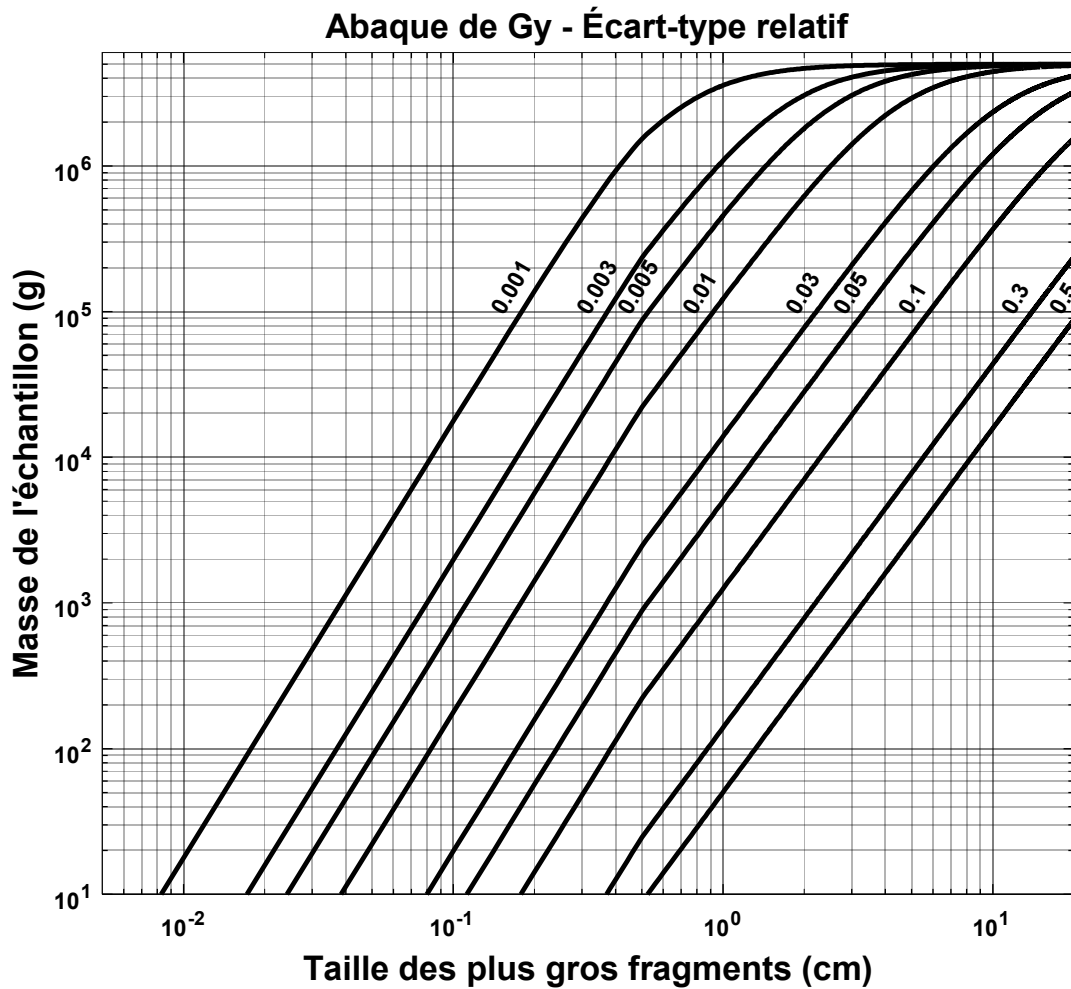
Les figures suivantes montrent les profits par tonne minéralisée pour diverses opérations minières (A à D) en fonction des facteurs limitatifs mine, traitement et marché. Chaque mine opère à la teneur de coupe optimale. Répondez aux questions suivantes en indiquant tous les cas parmi A à D satisfaisant l'énoncé (à la t.c. optimale). (2 points par énoncé)



	Énoncé	Réponse
a)	il y a une capacité de traitement inutilisée	
b)	la mine n'est pas rentable	
c)	la capacité du marché est atteinte	
d)	il n'y a pas assez de développement pour fournir le concentrateur	
e)	une augmentation de la capacité de la mine ne change pas la t.c. optimale et la valeur par tonne minéralisée	
f)	une augmentation de la capacité de traitement ne change pas la t.c. optimale et la valeur par tonne minéralisée	
g)	une légère augmentation du prix du métal ne change pas la t.c. optimale, mais la valeur par tonne minéralisée augmente	

Question 5 (17 points)

Soit l'abaque de Gy suivant pour un minerai ayant une teneur de 1% de cuivre provenant de la chalcopirite (CuFeS_2).



3 pts a) Pourquoi note-t-on un léger changement de pente des courbes à 0.5 cm?

2 pts b) Quelle est la masse du lot selon cet abaque?

Question 5 (suite)

2 pts c) Si le minéral fournissant le 1% de Cu était la chalcocite (Cu_2S) plutôt que la chalcopyrite (CuFeS_2), aurait-on le même abaque? Justifier.

8 pts d) On dispose d'un concasseur donnant des fragments de 5 cm, d'un broyeur qui permet une taille maximale de 0.4 cm et d'un pulvérisateur qui fournit une taille maximale de 150 microns (i.e. 0.015 cm). L'appareil d'absorption atomique requiert 30 g de matériau à 150 microns. On désire une procédure qui donne un écart-type relatif global de 0.05 (à 1% de Cu) ou légèrement inférieur.

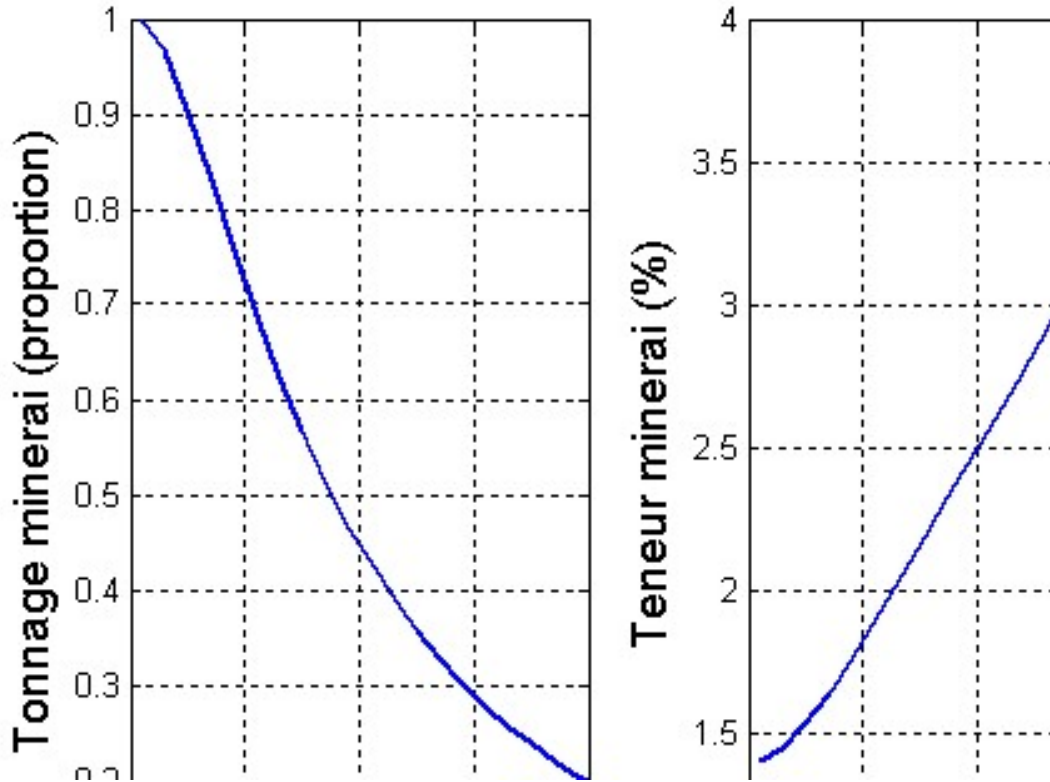
i. Dessiner sur l'abaque une procédure (raisonnable) respectant ces indications.

ii. Calculer l'écart-type relatif global de la procédure

2 pts e) Si la teneur du lot est en réalité supérieure à 1% Cu, est-ce que l'écart-type relatif réellement obtenu sera supérieur, égal ou inférieur à celui calculé avec l'abaque? Justifier.

Question 6 (14 points)

Les figures suivantes montrent certaines fonctions de récupération d'un gisement de Cu. La capacité de la mine est de 2 Mt/an et celle du traitement de 1.4Mt/an.



5 pts a) Quelle est la teneur de coupure d'équilibre mine-traitement ?

5 pts b) Quelle serait la quantité de métal récupérée par tonne minéralisée à la teneur d'équilibre mine-traitement si le taux de récupération est de 0.9 ?

4 pts c) L'imposition d'une royauté sur le minerai extrait implique-t-elle nécessairement une augmentation de la teneur de coupure optimale ? Justifier.

Question 7 (12 points)

Répondez par vrai (V) ou faux (F). (bonne réponse 1 pt, mauvaise -0.5 pt, aucune réponse 0 pt)

	Énoncé	V ou F
a)	Au Québec, la loi des mines actuelle exige des garanties financières couvrant 100% du coût de restauration et devant être versées dans les deux années suivant l'approbation du plan de restauration.	
b)	Les claims couvrent plus de 20% du territoire québécois	
c)	L'obtention de claims est réservée aux compagnies et citoyens canadiens	
d)	Les claims sont généralement obtenus par désignation sur carte et l'opération se fait électroniquement	
e)	Le coût des travaux d'exploration à réaliser sur les claims diminue généralement lors du renouvellement.	
f)	En zone habitée ouverte à l'exploration les droits miniers appartiennent au détenteur du claim et non au propriétaire foncier	
g)	Au Québec, les redevances minières payées depuis l'adoption de la nouvelle loi des mines représentent une faible proportion de la valeur brute de la production pour ces années	
h)	En 2015 au Québec, la principale production minérale (en valeur) fut le nickel	
i)	Pour catégoriser les ressources, il est courant dans les rapports NI-43-101 d'effectuer des passes d'estimation successives avec des voisinages de recherche croissants	
j)	Les personnes qualifiées au sens de NI-43-101 <u>peuvent</u> être des employés de la compagnie minière productrice déposant le rapport technique	
k)	La définition des catégories de ressources ne laisse aucune place à la subjectivité de la personne qualifiée	
l)	Les ressources présumées peuvent être additionnées aux ressources mesurées et indiquées pour définir les ressources totales	

Corrigé

Q1-

$65.4/(65.4+32.1)=0.67 \Rightarrow 5\% \text{ Zn}=7.5\% \text{ sphalérite}$

100g \Rightarrow 7.5g de sphal. et 92.5g de gangue

$7.5/4=1.875\text{cm}^3$ de sphal + $92.5/2.7=34.259 \text{ cm}^3$ de gangue.

$v_{\text{tot}}=34.259+1.875=36.13 \text{ cm}^3$

rho théor : $100/36.13=2.77 \text{ g/cm}^3$

Q2-

a) Dans une alternance de roches de dureté variable, le forage a tendance à devenir plus perpendiculaire donc l'angle va être réduit.

b) on a 0.4m à 0.31%, 2.1m à 0.24% et 0.5 m à 0.57%. La moyenne pondérée par les longueurs donne 0.304%

c) i. on a 2.3 m à 0.57% et 0.7m à 0% \Rightarrow 0.437%

ii. on garde la seule information disponible : 0.57%

d) $y=41.5 \text{ m} * \cos(60) \cos(200) = -19.5 \text{ m}$

e) $ev= 1.2 \text{ m} * \sin(55)=0.98 \text{ m}$

Q3-

a) la somme des inv dist est : $(1/10+1/3+1/25)=0.473$

les poids sont $0.1/0.473 = 0.211$

$0.333/0.473=0.704$

$0.04/0.473=0.085$

la valeur estimée est 3.30%

b) le poids relatif associé au point le plus près augmente avec l'exposant b

c) $a=9$

d) comme les données sont moins précises, on ne devrait pas chercher à mettre beaucoup de poids sur une seule donnée, donc on favorise les b faibles.

Q4-

a) B et C

b) C

c) B

d) B et C

e) B et D

f) B et C

g) A

Q5-

a) changement de pente correspond à la taille de libération du minéral d'intérêt. Si $d < d_0$, la pente est 3, si $d > d_0$, la pente est 2.5. Ceci découle de l'équation pour le facteur de libération.

b) $5 \times 10^6 \text{ g}$ soit 5 t

c) Non. Comme le minéral d'intérêt change, la teneur de celui-ci et sa densité changent aussi.

d) il faut maintenir les points de prélèvement (bouts des verticales) légèrement au-dessus de la courbe 0.05 et s'en tenir aux tailles 0.015 cm, 0.4 cm et 5 cm. Le calcul de l'écart-type global doit passer par les variances.

e) il serait inférieur, car plus la teneur du lot est élevé, plus la variance relative est faible.

Q6-

a) $x_c=1.4/2=0.7$ on lit sur le graphe de gauche : $c_{12}=0.52\%$

b) à 0.52% on lit sur le graphe de droite $g_c=1.8\%$

on va récupérer $1\text{t} \times 0.7 \times 1.8\% \times 0.9 = 0.01134 \text{ t} \Rightarrow 11.3 \text{ kg}$

c) non. La royauté est un coût variable ici. Si l'on est à l'équilibre mine-traitement avant et après la royauté alors rien n'a changé car la t.c. d'équilibre ne dépend pas des prix et des coûts.

Q7- V F F V F V V F V V F F

GLQ3401-3651
13h45 à 15h45

Géostatistique et géologie minière
Contrôle périodique 1

8 oct. 2015

L'examen comporte 5 questions, sur 12 pages, totalisant 90 points. Les points sont répartis de la façon suivante :

(18-20-20-20-12).

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.

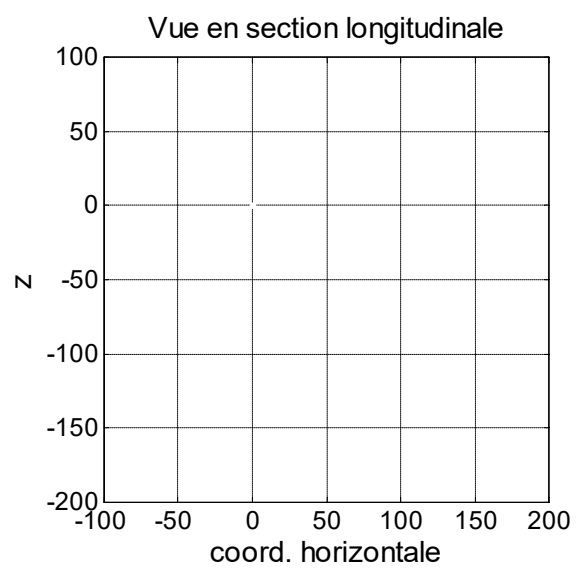
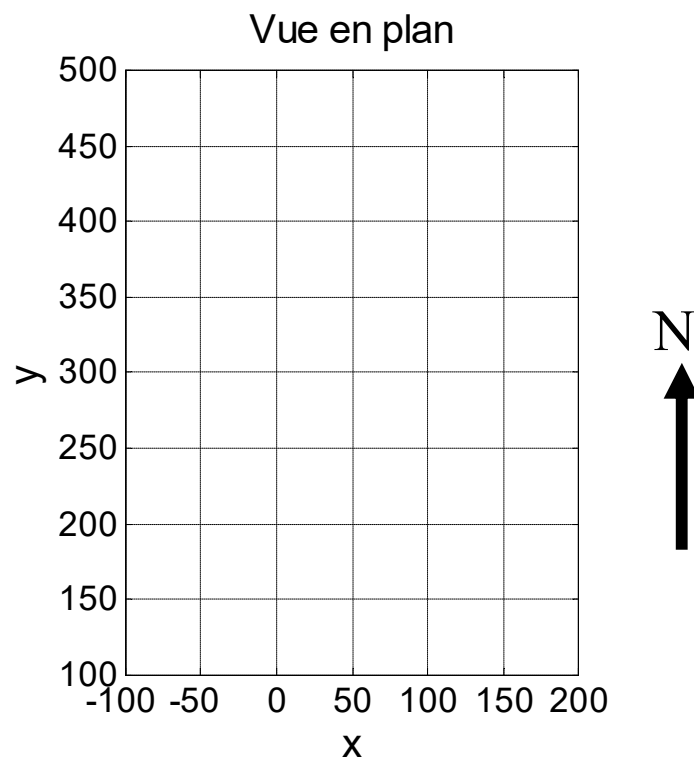
Nom de l'étudiant : _____

Signature : _____ **Matricule :** _____

Question 1 (18 points)

Une veine, considérée comme un plan, est orientée selon l'azimut 340° et a un pendage de 50° . Le sommet de la veine a été reconnu dans un forage au point A de coordonnées (50, 300, -100). On planifie un forage dont le collet est à (150, 200, 50) orienté selon (300° , 50°). Le JO entre le plan et le forage vaut 54° . Les coordonnées du point A et du collet sont dans l'ordre (x, y, z); on utilise un système main droite, i.e. x croît vers l'est, y croît vers le nord et z croît vers le haut.

10 pts a) À quelle distance du collet devrait-on croiser la veine ? Utilisez les canevas suivants pour répondre à la question par une méthode graphique. Bien indiquer sur les graphes les distances et les angles que vous utilisez et la localisation des points importants.



3 pts *b) La veine montre une épaisseur apparente de 3 m dans le forage orienté selon $(300^\circ, 50^\circ)$. Quelle est sa véritable épaisseur ?*

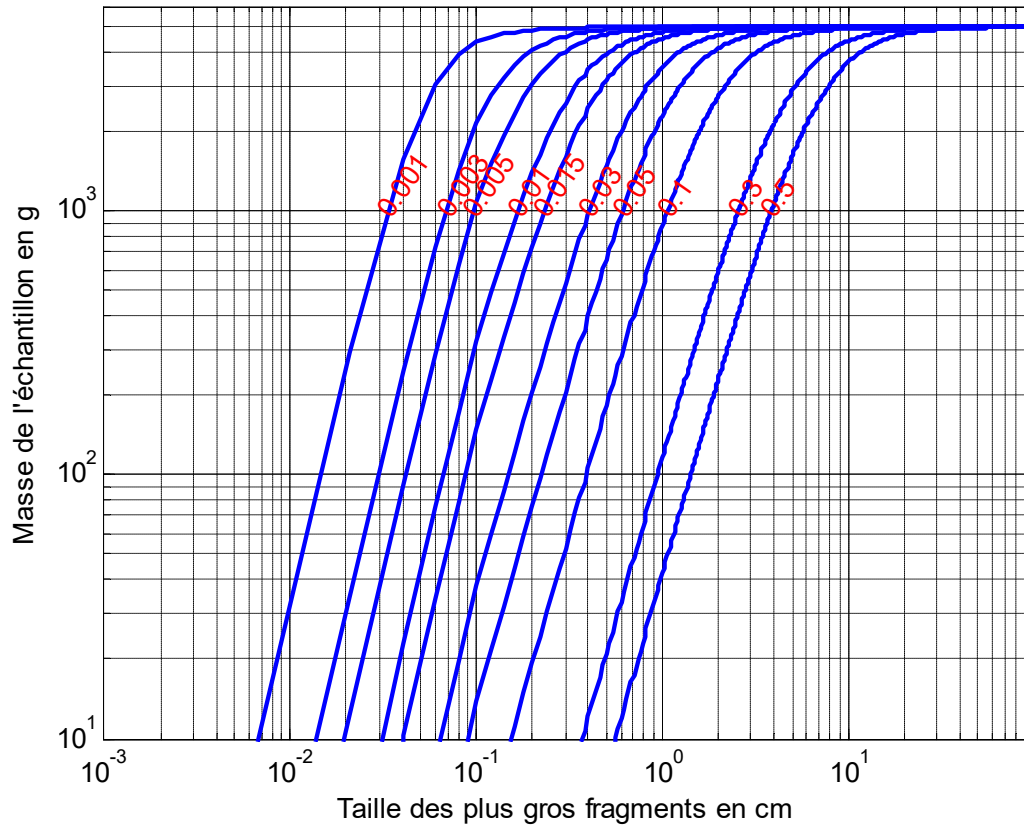
5 pts *c) Sur une section verticale est-ouest, quel est la plongée apparente du forage $(300^\circ, 50^\circ)$?*

Question 2 (20 points)

Le laboratoire d'analyse d'une mine de Zn adopte la procédure décrite au tableau suivant pour l'analyse des demi-carottes de forage. La masse de matériau contenu dans une demi-carotte est de 5 kg. Le Zn est contenu dans la sphalérite (formule ZnS) de densité 4.1. La masse atomique du Zn est 65.4, celle du S est 32.07. La taille de libération des grains de sphalérite est d'environ 1 mm et la densité de la gangue est de 3.0. Les tailles des fragments indiquées au tableau suivant dépendent des appareils disponibles et ne peuvent pas être modifiées. On désire avoir un écart-type relatif inférieur à 0.02 lorsque la teneur en Zn est de 1%.

Étape	Masse	Diamètre des plus grosses particules	Coût unitaire de l'opération	Coût de l'opération
A- concassage	5 kg	0.8 cm	0.3\$/kg	1.5\$
B- sous-échantillon	2 kg	0.8 cm	3\$	3\$
C- broyage	2 kg	0.1 cm	2\$ / kg	4\$
D- sous-échantillonnage	200 g	0.1 cm	1\$	1\$
E- pulvérisation	200 g	0.01 cm	30 \$/kg	6 \$
F- sous-échantillonnage final pour analyse	15 g	0.01 cm	0.50\$	0.5\$
Coût total de préparation d'échantillon selon la procédure actuelle :				16.00\$

6 pts a) Représentez cette procédure sur l'abaque de Gy fourni.



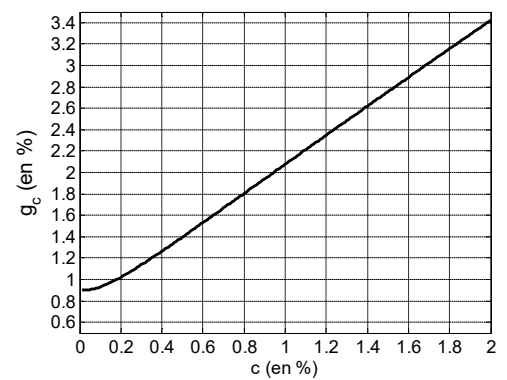
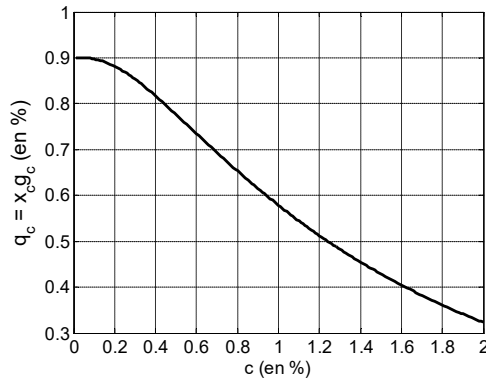
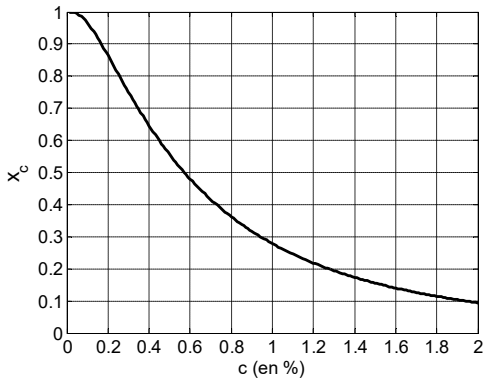
3 pts b) Calculez (en vous servant de l'abaque) la précision globale (un écart-type relatif) de la procédure.

8 pts c) Faites le calcul détaillé avec la formule pour l'étape B seulement.

3 pts d) Suggérez une modification à la procédure qui permettrait d'améliorer la précision sans trop augmenter les coûts de celle-ci.

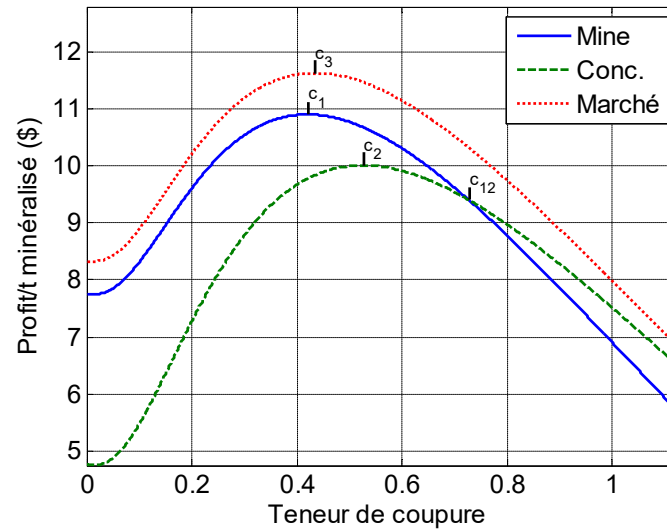
Question 3 (20 points)

Les graphes suivants donnent les fonctions de récupération d'un gisement de Cu. Les fonctions sont calculées à partir des teneurs estimées par un estimateur sans biais conditionnel et dont la distribution est lognormale de moyenne 0.9% et de variance 1.2 %². Les capacités de minage, traitement et du marché sont respectivement de 25Mt (de matériau minéralisé), 10 Mt (de minerai) et 1Mt (de métal). Le taux de récupération au concentrateur est de 0.9.



5 pts a) Déterminez la teneur d'équilibre mine-traitement pour ce gisement.

Les courbes mine-traitement-marché sont représentées sur la figure suivante :



6 pts b) Déterminez le tonnage de développement annuel nécessaire (i.e combien de tonnes de matériau minéralisé doit être disponible annuellement) pour pouvoir opérer à la t.c. optimale indiquée sur le graphe précédent ?

3 pts c) Quelle est la teneur du minerai extrait si l'on exploite à la t.c. optimale?

3 pts d) Combien serait-on prêt à investir par tonne minéralisée pour augmenter la capacité du traitement?

3 pts e) *Quelle propriété nous autorise à appliquer la théorie de Lane sur la distribution des teneurs estimées?*

Question 4 (20 points)

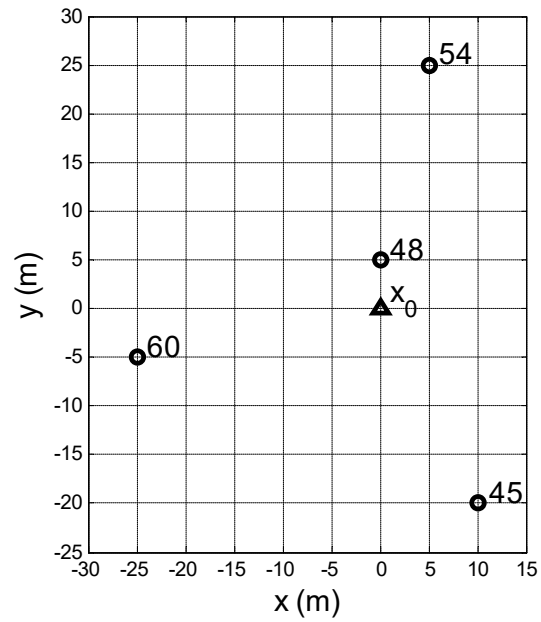
10 pts a) Déterminez la masse volumique théorique (sans porosité) d'une roche ayant fourni à l'analyse 52% Fe sachant que le fer se retrouve dans la magnétite (Fe_3O_4) de masse volumique 5.15 g/cm^3 et que la gangue montre une masse volumique de 2.7 g/cm^3 . Les poids atomiques de Fe et de O sont respectivement de 55.8 et 16.

Le tableau suivant donne les tonnages et teneurs de deux blocs de minerai.

Bloc	Teneur	Volume	Masse volumique
1	40 %	100 m^3	4 t/m^3
2	55 %	150 m^3	4.5 t/m^3

4 pts b) Calculez le tonnage et la teneur moyenne pour l'ensemble des deux blocs.

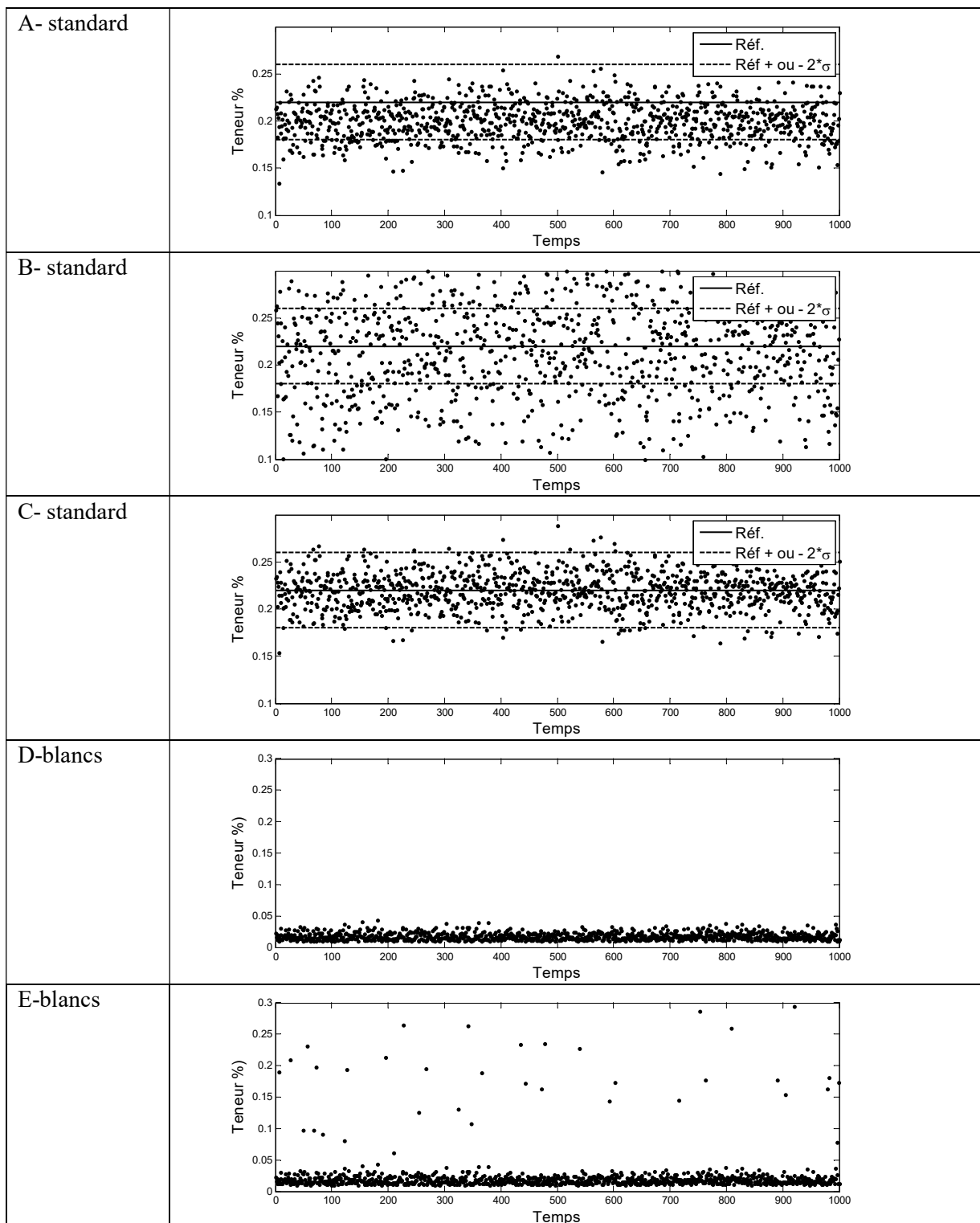
Le plan suivant donne la localisation de données et les teneurs de Fe observées en %.

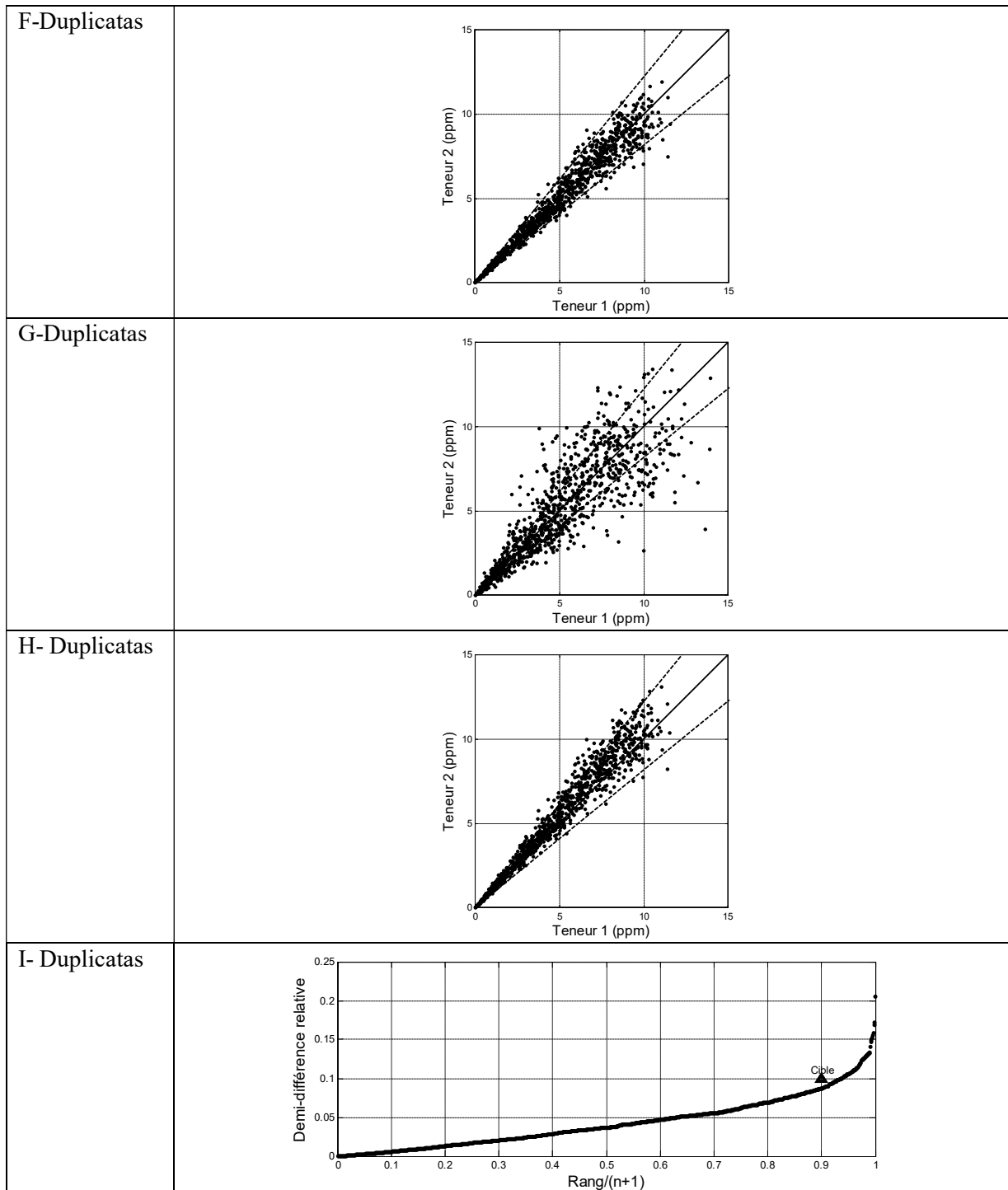


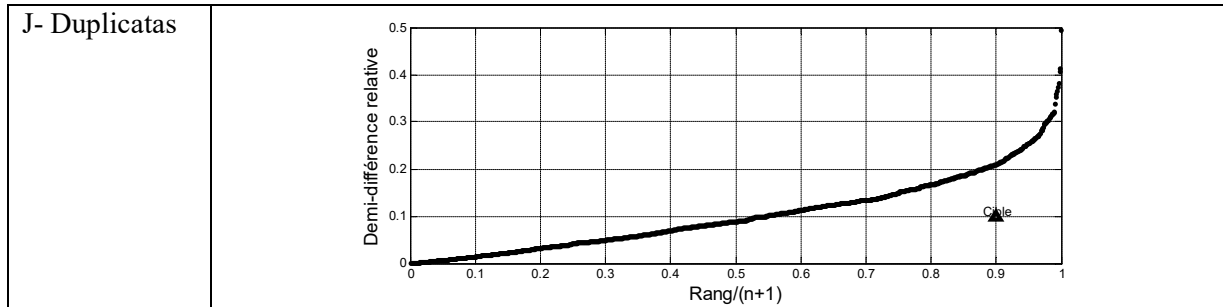
6 pts c) Estimez par inverse de la distance au carré la teneur en Fe au point x_0 en utilisant les quatre données disponibles.

Question 5 (12 points)

On vous présente une série de graphes utilisés en QA/QC par différentes mines.







3 pts a) *Quels graphes indiquent un problème potentiel de contamination inter-échantillon ?*

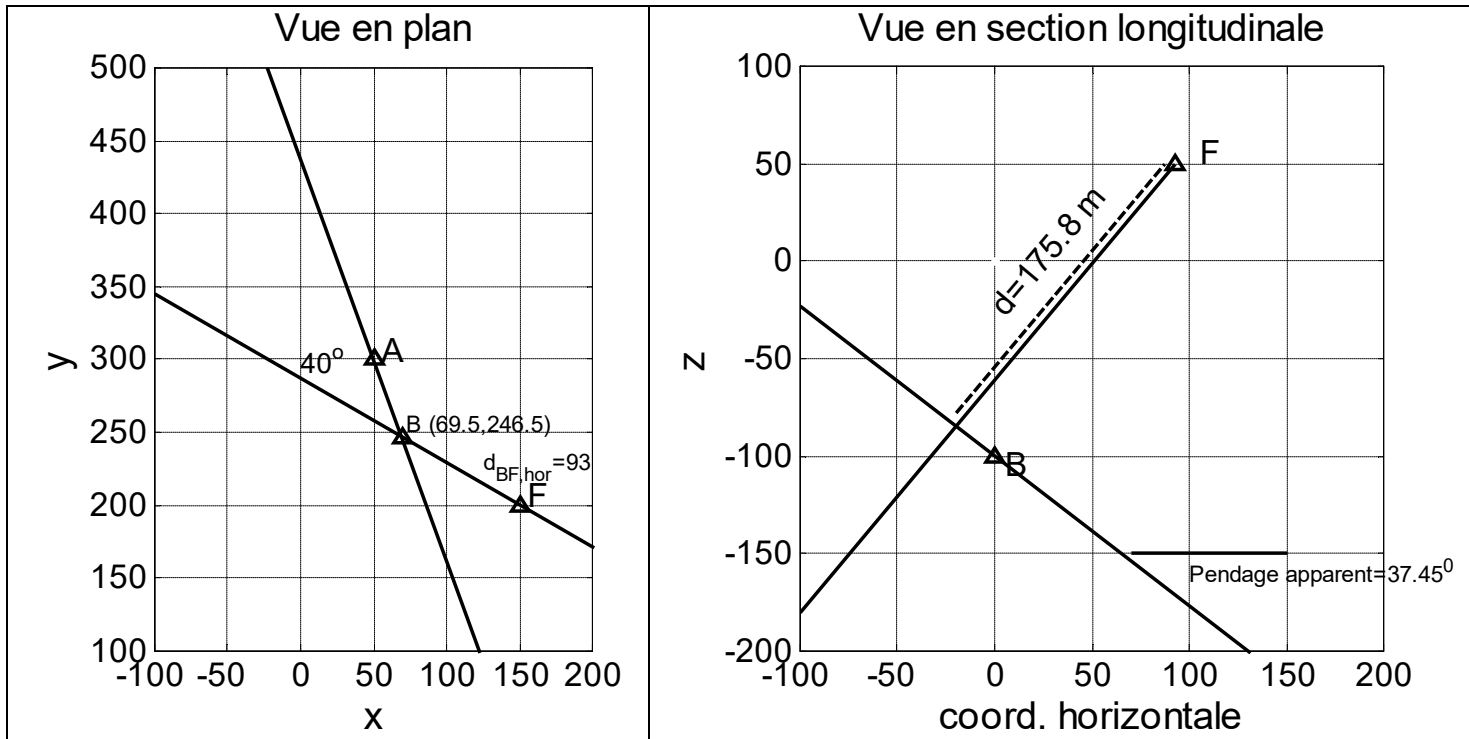
3 pts b) *Quels graphes indiquent un problème de biais ?*

3 pts c) *Quels graphes indiquent un manque de précision ?*

3 pts d) *Quels graphes montrent les résultats attendus ?*

Corrigé

1a) On calcule le pendage apparent du plan : $\theta = \text{atan}(\tan(50) * \sin(40)) = 37.5^\circ$ (40 est l'angle entre la direction de la section et la direction du plan).



1b) épaisseur vraie = épaisseur apparente * $\sin(\theta) = 3\text{m} * \sin(54) = 2.43\text{ m}$

1c) plongée apparente = $\text{atan}(h_{\text{vert}}/h_{\text{horiz}})$

$$h_{\text{vert}} = \sin(50) * L$$

$$h_{\text{horiz}} = \cos(50) * \cos(\alpha) * L$$

α : angle entre la section et la direction du forage $(300-270)=30$

donc plongée apparente = $\text{atan}[\sin(50)/(\cos(50) * \cos(30))] = 54^\circ$

2a) –

$$2b) s_{r,\text{global}} = (.043^2 + 0.012^2 + 0.0014)^{0.5} = 0.045$$

$$2c) a_1 = 0.01/0.671 = 0.015$$

$$\mu\text{-delta} = (1-0.015)/0.015 * ((1-0.015)*4.1 + 0.015*3) = 268.15$$

$$l = (0.1/0.8)^{0.5} = 0.35$$

$$K * l = 268.15 * 0.5 * 0.25 * 0.35 = 11.85$$

$$s_r^2 = 11.85 * 0.8^3 / 2000 * (1 - 2000/5000) = 0.0018 \text{ dont la racine donne bien } 0.043$$

d) éliminez l'étape B et faire le premier échantillonnage comme D sur le 5 kg broyé à 0.1 cm.

Coût additionnel : 3\$

3 a) on peut lire le graphe de gauche en ordonnée à 0.4 et on obtient $c_{12}=0.73$. On peut aussi lire directement en abscisse sur le graphe de la question b) et on trouve aussi bien sûr 0.73.

b) la t.c. optimale est c_2 , celle-ci est sous la courbe mine, donc on n'utilise pas toute la capacité de minage. Pour trouver la proportion utilisée, on lit sur le graphe de gauche en abscisse à $c_2=0.53$. On lit en ordonnée $x_c=0.55$. Donc puisque $H=0.55*M'$, on trouve $M'=10/0.55 = 18.2$ Mt

c) par lecture directe sur le graphe de droite en abscisse 0.53 $\Rightarrow g_c=1.4\%$

d) Le gain maximum que l'on peut espérer en augmentant la capacité de traitement est la différence entre la valeur actuelle et la valeur à $c_1 \sim 0.95\$/t$ minéralisée.

e) l'absence de biais conditionnel de l'estimateur utilisé.

4a) dans une molécule de magnétite, on a une concentration de $(55.8*3)/(55.8*3+4*16)=0.723$.

Donc : 53% Fe $\Rightarrow 52/0.723 = 71.9\%$ de magnétite

100 g roche $\Rightarrow 71.9$ g de magnétite et 28.1 g de gangue.

vol. magnétite : $71.9/5.15=13.96$ cm³

vol. gangue : $28.1/2.7=10.41$ cm³

densité= $100/(13.96+10.41)=4.10$ g/cm³

b) tonnage : $100*4+150*4.5=1075$ t

teneur : $(100*4*0.4+150*4.5*0.55)/1075=49.4\%$

c) Les distances au carré sont : 25, 500, 650 et 650. La somme des inverses des distances au carré donne 0.0451. Les poids sont : 0.8869, 0.0443, 0.0355, 0.0355. La teneur estimée est 48.48.

5a) E

5b) A,H, (J)

5c) B,G, (J)

5d) C,D,I

Il faut que J apparaisse au moins dans b) ou c) car on ne sait pas si le problème en J est lié au biais ou à la précision ou aux deux.

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?*

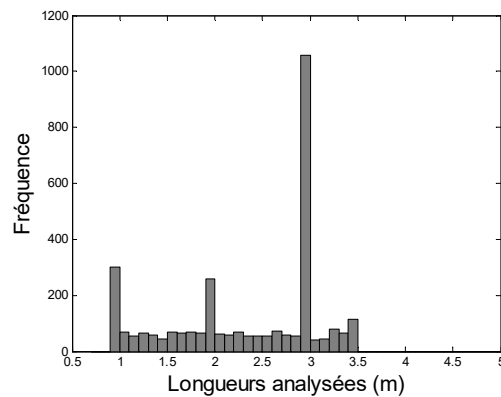
2 pts c) *Si l'on regarde la section ouest-est vers le nord, est-ce que le forage plonge vers la droite ou vers la gauche de la section?*

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 chalcopirite. La chalcopirite 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) :

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

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

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

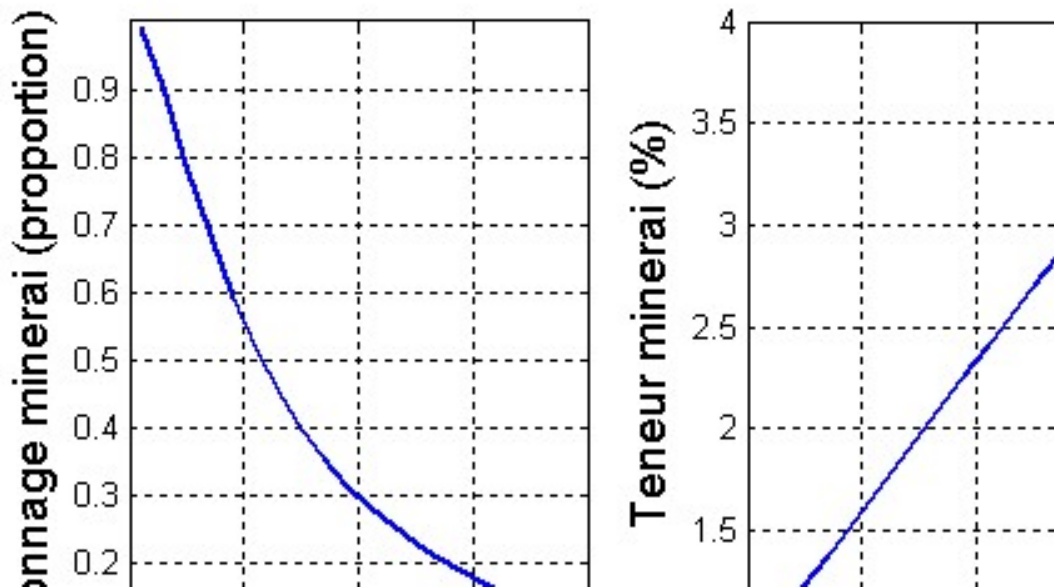
$$f = 15 \text{ M\$/an}$$

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

$$y = 0.85$$

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

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



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 μm
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)

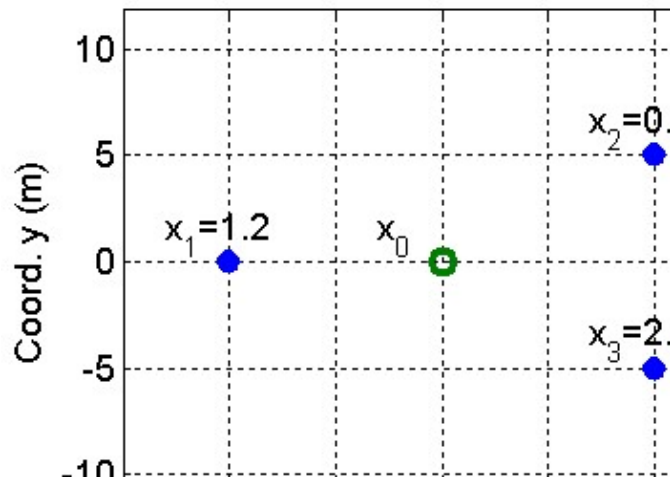
3 pts c) Lorsque la taille de libération est inférieure à « $d/2$ », de quel facteur réduit-on l'écart-type relatif en broyant les plus gros fragments de « d » à « $d/2$ »? Justifier.

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 $c_{12} \sim 0.38 - 0.4$

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

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

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

f) la capacité du cocentreteur 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) = $0.002 / 0.67 = 0.003$;

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

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

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

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

$s_r = 3.6\%$.

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

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 => poids 0.3846 0.3077 0.3077 => $Z^* = 0.3846*1.2 + 0.3077*0.5 + 0.3077*2.1 = 1.26\%$

b) Polygone => 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	

disponible) lorsque l'on cible une zone plus restreinte.		
--	--	--

GLQ3401-3651
13h45 à 16h15

Géostatistique et géologie minière
Contrôle périodique 1

3 oct. 2013

L'examen comporte 7 questions, sur 10 pages, totalisant 100 points. Les points sont répartis de la façon suivante :

(1-14, 2-15, 3-16, 4-15, 5-15, 6-15, 7-10).

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 (14 points)

Dans les procédures de contrôle de qualité des laboratoires d'analyses géochimiques, on retrouve des « blancs », des « standards », et des « duplicatas ».

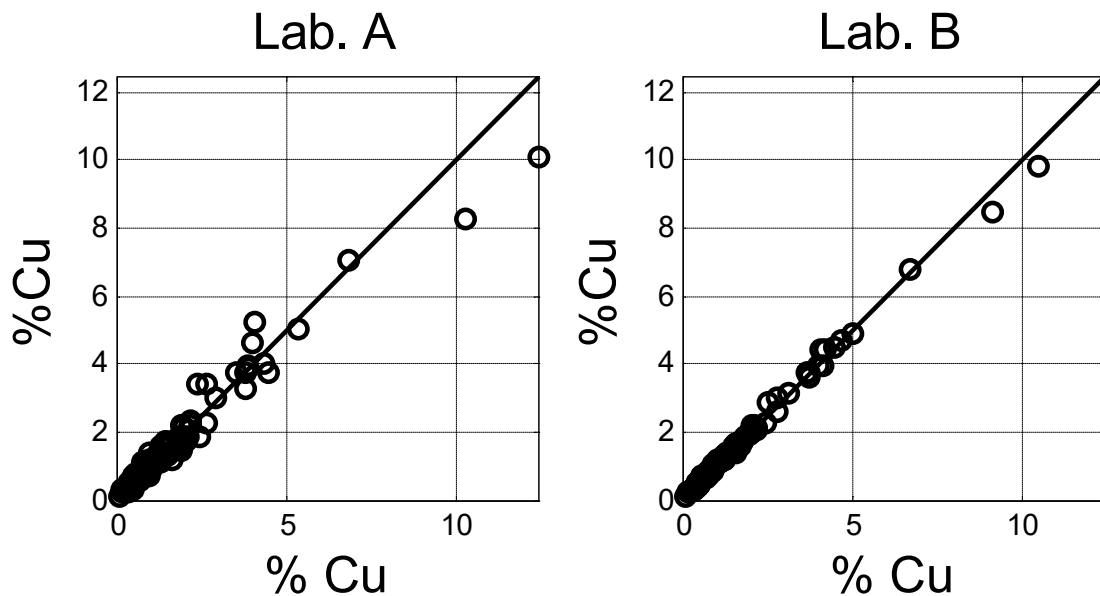
6 pts a) *Décrivez brièvement à quoi correspondent ces trois termes et indiquer ce que chacun tente de contrôler.*

Question 1 (suite)

Le laboratoire reçoit la demi-carotte et en broie une certaine quantité en plusieurs étapes jusqu'au stade de poudre. Il retourne à la mine les rejets obtenus à toutes les étapes de la préparation de l'échantillon.

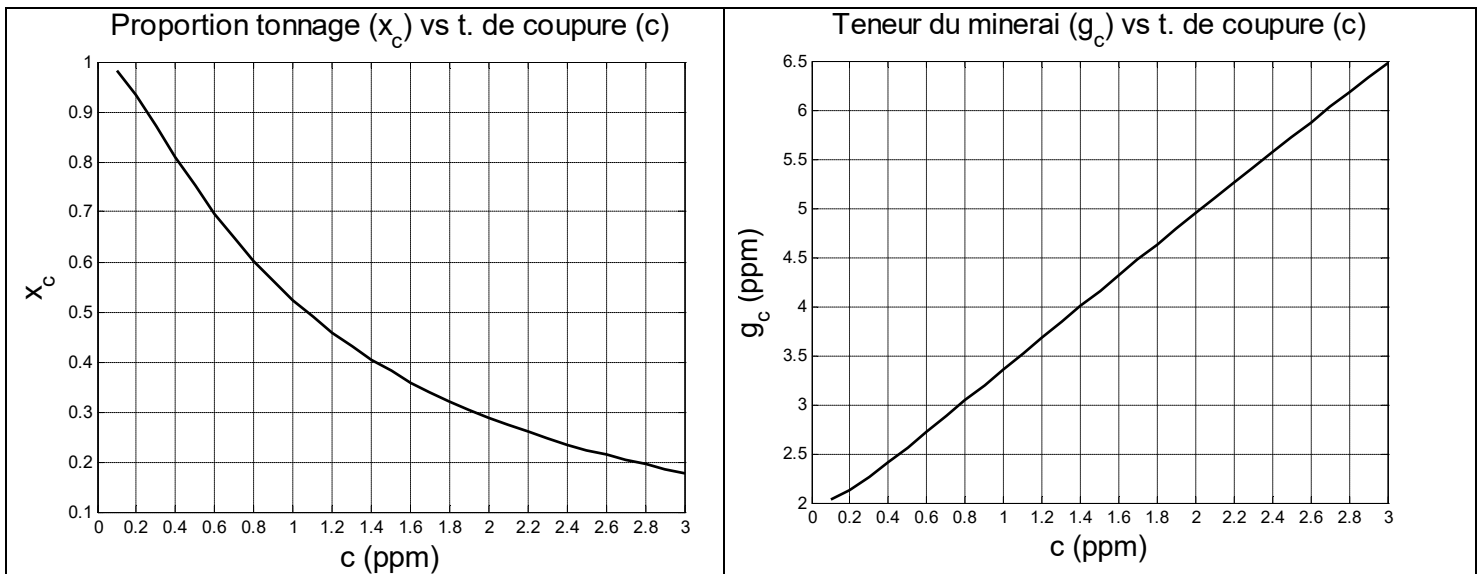
4 pts b) Dans une procédure de contrôle de qualité quel inconvénient y a-t-il à préparer les duplicatas à partir des poudres fournies par le laboratoire plutôt que des grains les plus grossiers obtenus au 1er broyage?

4 pts c) La figure suivante montre les résultats d'analyses de Cu obtenues par deux laboratoires différents sur deux séries de duplicatas. À coût égal, quel laboratoire favorisez-vous? Justifiez.



Question 2 (15 points)

Dans un gisement d'or, l'on suppose que le marché n'intervient pas dans la détermination de la teneur de coupure optimale. De plus, on vous indique que la capacité de la mine est de $M=20$ Mt et la capacité de traitement du minerai est de $H=12$ Mt. Les fonctions de récupération proportion tonnage (x_c) et teneur du minerai (g_c) sont données :



Le tableau suivant indique les teneurs de coupure limites de la mine et du traitement (en ppm) pour 3 scénarios différents ou seuls les prix et les coûts ont varié:

	Teneur de coupure limite de la mine (c_1) (ppm)	Teneur de coupure limite du traitement (c_2) (ppm)
Cas 1	0.42	0.60
Cas 2	1.05	1.49
Cas 3	0.56	0.85

9 pts a) Indiquez la teneur de coupure optimale pour chacun des cas.

Cas	T.c. optimale (ppm)
Cas 1	
Cas 2	
Cas 3	

Question 2 (suite)

6 pts b) Indiquez qualitativement, pour chacun des cas du tableau précédent, l'effet sur la teneur de coupure optimale de l'introduction d'une (légère) taxe applicable au minerai extrait.

Question 3 (16 points)

Un forage de 200 m dont le collet est en $(0, 0, 0)$ a une direction de 20° (azimut) et une inclinaison de 60° ; le forage ne dévie pas. On utilise un système main droite (x croissant vers l'est, y vers le nord, z vers le haut)

4 pts a) Calculez la coordonnée « y » du forage en fin de trou.

4 pts b) Quelle est l'inclinaison apparente du forage sur une section verticale Nord-Sud?

Question 3 (suite)

4 pts c) Le forage croise une veine sur 1 m de longueur. On note un JO (angle entre le grand axe de l'ellipse et l'axe du forage) de 30° pour cette veine. Quelle est l'épaisseur vraie de la veine?

4 pts d) On a effectué des analyses pour le Cu le long du forage (voir tableau). Calculez la teneur du composite de 3m débutant à 100 m du collet.

De (m)	à (m)	% Cu
98.3	99.7	1.6
99.7	100.2	1.2
100.2	102.2	2.4
102.2	103.6	4.1
103.6	104.5	1.1

Question 4 (15 points)

Dans un gisement de nickel, on analyse les teneurs des demi-carottes de 3 m par la procédure échantillonnale décrite au tableau suivant. Le Ni se retrouve dans le minéral pentlandite dont la formule stoechiométrique est $(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$, et la densité 4.8. On a donc 41% de Ni approximativement dans chaque molécule de pentlandite. La densité de la gangue est 3, la masse initiale de la demi-carotte est 5 kg. La taille de libération des grains de pentlandite est de 2 mm. On cherche à avoir une bonne précision à l'analyse ($s_r \text{ global} < 0.02$) pour une carotte ayant 0.5 % de Ni.

	Étape	masse (g)	Taille	Écart-type relatif
A	Broyage	5000 g	2 cm	?
B	Sous-échantillon	3000 g	2 cm	?
C	2 ^e broyage	3000 g	0.1 cm	?
D	Sous-échantillon	300 g	0.1 cm	0.0120
E	Pulvérisation	300g	0.008 cm	?
F	Sous-échantillon	15g	0.008 cm	0.0013

12 pts a) Quelle est la précision globale de la procédure utilisée?

3 pts b) Avez-vous une suggestion pour améliorer la procédure ?

Question 5 (15 points)

Un gisement est exploité pour de baryum (Ba) contenu dans la barite (BaSO_4 , densité 4.5, poids atomique du Ba : 137.36; du S : 32.07; de O : 16.00).

Quelle est la masse volumique théorique du minerai si celui-ci montre une teneur de 20% Ba, que la gangue a une densité de 2.8 et que la roche montre une porosité de 3% ?

Question 6 (15 points)

Indiquez si les énoncés suivant sont vrais ou faux (1 point par bonne réponse, -0.5 pour une mauvaise réponse et 0 pour une absence de réponse).

	Vrai	Faux
a) <i>Les principales productions minérales (en \$) au Québec sont l'or (1er) suivi du fer (2e).</i>		
b) <i>Selon la version actuelle de la loi des mines, on peut théoriquement exploiter un gisement sur un terrain dont la propriété foncière (droits de surface) appartient à un tiers.</i>		
c) <i>La superficie normale (en hectares) du claim désigné sur carte est la même partout au Québec.</i>		
d) <i>La valeur 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>		
e) <i>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.</i>		
f) <i>Les taxes sur les profits imposées aux compagnies minières n'influencent pas la détermination de la teneur de coupure optimale</i>		
g) <i>La superficie totale des claims détenus actuellement au Québec représente moins de 10% de la superficie du Québec.</i>		
h) <i>La méthode polygonale permet d'estimer avec précision et sans biais le tonnage de blocs de minerai disponible dans le sol.</i>		
i) <i>On peut introduire un facteur d'anisotropie dans le calcul des distances pour la méthode inverse de la distance. Ce facteur d'anisotropie permet de tenir compte de directions géologiques préférentielles.</i>		
j) <i>On peut facilement échantillonner sans biais les déblais des forages de production d'une mine à ciel ouvert simplement en recueillant les fragments sur le sol en surface.</i>		
k) <i>Tout rapport sur les ressources ou les réserves déposé en vertu de 43-101 doit décrire les mesures de contrôle de qualité appliquées aux analyses géochimiques.</i>		
l) <i>Au sens de 43-101, une personne qualifiée est un géoscientifique indépendant de la compagnie, membre d'un ordre professionnel, et ayant au moins 5 ans d'expérience dans le domaine faisant l'objet du rapport.</i>		
m) <i>Les ressources totales publiées par les compagnies doivent inclure, selon la norme 43-101, les ressources mesurées, indiquées et présumées.</i>		
n) <i>La production des métaux de base (cuivre, zinc, aluminium et fer) dans le monde a atteint un plafond depuis 2005.</i>		
o) <i>La méthode d'interpolation d'inverse de la distance (b=1) appliquée avec 3 points connus dans le plan revient à faire une interpolation linéaire sur le triangle défini par les 3 points.</i>		

Question 7 (10 points)

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

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

Calculez le tonnage de minerai et la teneur moyenne du minerai compris entre les 2 sections en supposant une variation brusque de la surface et de la teneur.

Corrigé du C.P. 1:

Q1- a) blancs : échantillon d'une roche dont on sait qu'elle ne renferme pas de la substance d'intérêt. Les blancs servent à s'assurer qu'il n'y a pas de contamination inter-échantillons.

standards : échantillon avec une teneur certifiée obtenu d'un fournisseur indépendant. Ils servent à s'assurer de l'absence de biais de la procédure et de sa précision.

duplicatas : échantillon soumis une 2e fois pour analyse. Ils servent à s'assurer de la précision de la procédure.

b) On ne vérifie alors que la précision finale (habituellement très bonne). On ne vérifie pas la qualité des étapes de sous-échantillonnage requises pour se rendre à la poudre.

c) Labo B est plus précis. Donc il a sans doute une meilleure procédure.

Q2- a) on calcule $x_c = H/M=0.6 \Rightarrow c_{12}=0.8$ ppm (figure de gauche)

cas 1, on a c_2 au milieu donc t.c. optimale $=c_2 = 0.60$

cas 2 : on a c_1 au milieu, donc t.c. optimale = 1.05

cas 3, on a c_{12} au milieu donc t.c. optimale = 0.8

b) la taxe vient accroître le coût variable de traitement h. Effet :

cas 1 : t.c. = c_2 et c_2 augmente

cas 2 : t.c. = c_1 et c_1 augmente

cas 3 : t.c. = c_{12} et c_{12} pas affecté par une variation légère de h.

Q3-

a) $\cos(20) \cdot \cos(60) \cdot 200 = 93.97$ m

b) $\text{atan}(\sin(60) \cdot 200 / 93.97) = 61.52^\circ$

c) $1 \cdot \sin(\text{JO}) = 0.5$ m

d) $(0.2 \cdot 1.2 + 2 \cdot 2.4 + 0.8 \cdot 4.1) / 3 = 2.77\%$

4- $a_f = 0.5 / 41 = 1.22\%$

$(\mu\text{-delta}) = 387 \text{ g/cm}^3$

$K = \mu\text{-delta} \cdot f \cdot g = 48.37$

$l = (0.2 / 0.8)^{0.5} = 0.316$

$s_B^2 = 48.37 \cdot 0.316 \cdot 2^3 / 3000 \cdot (1 - 3000 / 5000) = 0.0163$ ($s_r = 0.1277$)

$s_r \text{ global} = (0.0163 + 0.0124^2 + 0.0004^2)^{0.5} = 0.1283$

b) on pourrait éliminer le 1er sous-échantillon (B). C'est l'étape où l'on fait le plus d'erreur ($s_r = 0.0373$).

Q5- une molécule de barite contient : $137.36 / (137.36 + 32.07 + 4 \cdot 16) = 0.588$ Ba

20% Ba $\Rightarrow 20 / 0.588 = 34.016\%$ barite

100g roche $\Rightarrow 34.02$ g de barite et 65.98 g de gangue.

$\Rightarrow 34.02 / 4.5 = 7.56 \text{ cm}^3$

$\Rightarrow 65.98 / 2.8 = 23.56 \text{ cm}^3 \Rightarrow$ masse volumique 100g / $(7.56 + 23.56) = 3.21 \text{ g/cm}^3$

avec porosité : $0.97 \cdot 3.21 = 3.12 \text{ g/cm}^3$

6-

	Vrai	Faux
a) <i>En considérant la valeur de la production, la principale production minérale au Québec est l'or suivi du fer.</i>		X
b) <i>Selon la version actuelle de la loi des mines, on peut théoriquement exploiter un gisement sur un terrain dont la propriété foncière (droits de surface) appartient à un tiers.</i>	X	
c) <i>La superficie normale (en hectares) du claim désigné sur carte est la même partout au Québec.</i>		X
d) <i>La valeur 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>		X
e) <i>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.</i>	X	
f) <i>Les taxes sur les profits imposées aux compagnies minières n'influencent pas la détermination de la teneur de coupure optimale</i>	X	
g) <i>La superficie totale des claims détenus actuellement au Québec représente moins de 10% de la superficie du Québec.</i>	X	
h) <i>La méthode polygonale permet d'estimer avec précision et sans biais le tonnage de blocs de minerai disponible dans le sol.</i>		X
i) <i>On peut introduire un facteur d'anisotropie dans le calcul des distances pour la méthode inverse de la distance. Ce facteur d'anisotropie permet de tenir compte de directions géologiques préférentielles.</i>	X	
j) <i>On peut facilement échantillonner sans biais les déblais des forages de production d'une mine à ciel ouvert simplement en recueillant les fragments sur le sol en surface.</i>		X
k) <i>Tout rapport sur les ressources ou les réserves déposé en vertu de 43-101 doit décrire les mesures de contrôle de qualité appliquées aux analyses géochimiques.</i>	X	
l) <i>Au sens de 43-101, une personne qualifiée est un géoscientifique indépendant de la compagnie, membre d'un ordre professionnel, et ayant au moins 5 ans d'expérience dans le domaine faisant l'objet du rapport.</i>	X	
m) <i>Les ressources totales publiées par les compagnies doivent inclure, selon la norme 43-101, les ressources mesurées, indiquées et présumées.</i>		X
n) <i>La production des métaux de base (cuivre, zinc, aluminium et fer) dans le monde a atteint un plafond depuis 2005.</i>		X
o) <i>La méthode d'interpolation d'inverse de la distance (b=1) appliquée avec 3 points connus dans le plan revient à faire une interpolation linéaire sur le triangle défini par les 3 points.</i>		X

$$7- V = (300+700)/2 * 20*3 = 30\ 000\ t$$

$$\bar{t} = \frac{S_1 t_1 + S_2 t_2}{S_1 + S_2} \Rightarrow (300*4 + 700*2)/1000 = 2.6\%$$

GLQ3401-3651
12h45 à 14h45

Géostatistique et géologie minière
Examen intra

5 oct. 2012

L'examen comporte 8 questions totalisant 100 points. Les points sont répartis de la façon suivante : (1-10, 2-12, 3-15, 4-20, 5-15, 6-10, 7-10, 8-8).

Toute documentation permise et calculatrices permises.

Vous répondez directement sur le formulaire.

Le professeur ne répond pas aux questions

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

Nom de l'étudiant : _____

Signature : _____ Matricule : _____

Question 1 (10 points)

Le tableau suivant présente les surfaces et les teneurs pour 2 sections parallèles espacées de 30 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	500 m ²	5%
S2	900 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 2 (12 points)

Sélectionnez (en marquant la colonne appropriée) une seule des expressions « augmente », « diminue » ou « demeure inchangée » pour chacun des énoncés. (bonne réponse : 1.5 points, absence de réponse : 0 point, mauvaise réponse : -0.5 point). Pour chaque question considérez uniquement la variation initiale correspondant à l'action proposée.

	Énoncé	augmente	diminue	demeure inchangée
a)	Si l'on augmente la capacité du concentrateur, la teneur d'équilibre mine-concentrateur...			
b)	Si l'on augmente la capacité de la mine, la teneur limite de la mine...			
c)	Si l'on augmente la capacité de la mine lorsque la teneur de coupure optimale est la teneur d'équilibre mine-concentrateur, alors la teneur de coupure optimale ...			
d)	Si l'on augmente la capacité du concentrateur lorsque la teneur de coupure optimale est la teneur d'équilibre mine-concentrateur, alors la teneur de coupure optimale ...			
e)	Suite à l'imposition d'une nouvelle redevance minière sur la quantité de métal extraite, la teneur de coupure d'équilibre mine-concentrateur...			
f)	Suite à l'imposition d'une nouvelle redevance minière sur la quantité de minerai extrait, la teneur de coupure limite du concentrateur...			
g)	Suite à l'imposition d'une nouvelle redevance minière sur la quantité de minerai extrait, la teneur de coupure limite de la mine ...			
h)	Suite à l'imposition d'une nouvelle redevance minière sur la quantité de minerai extrait, la teneur de coupure optimale ... lorsqu'elle correspond à la teneur d'équilibre mine-concentrateur.			

Question 3 (15 points)

Un forage de 500 m dont le collet est en (0, 0, 0) a une direction de 250° (azimut) et une inclinaison de 50°; le forage ne dévie pas. On utilise un système main droite (x croissant vers l'est, y vers le nord, z vers le haut)

a) Calculez la coordonnée « x » du forage en fin de trou.

b) Quelle est l'inclinaison apparente du forage sur une section verticale Est-Ouest.

c) Le forage croise une veine sur 2 m de longueur. On note un JO (angle entre le grand axe de l'ellipse et l'axe du forage) de 40° pour cette veine. Quelle est l'épaisseur vraie de la veine?

Question 4 (20 points)

Répondez par vrai ou faux (2 points/bonne réponse; -1/mauvaise réponse; 0 si pas de réponse).

	Énoncé	V ou F
a)	<i>Avec la loi des mines actuelle, l'exploitant minier doit déposer en garantie 100% des coûts de restauration du site minier au cours des trois premières années d'exploitation.</i>	
b)	<i>Avec 3 forages parallèles croisant un même horizon marqueur on peut, par stéréonet, identifier un seul grand axe de l'ellipse, puis déterminer le pôle du plan.</i>	
c)	<i>Selon la loi des mines actuelle, le ministre peut demander l'expropriation d'un propriétaire de surface pour permettre l'exploitation d'un gisement.</i>	
d)	<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>	
e)	<i>En considérant la valeur en \$, les principales productions minérales en 2011 au Québec sont dans l'ordre croissant: l'or, le nickel, et le fer.</i>	
f)	<i>L'impôt sur le profit n'a jamais d'impact sur la détermination de la teneur de coupure optimale d'une mine.</i>	
g)	<i>Un taux de récupération des carottes de 80% est une cible acceptable pour une compagnie d'exploration.</i>	
h)	<i>En dollars constants, la tendance observée pour la période 1970-2000 est une diminution des prix des métaux de base (cuivre, zinc, aluminium, fer).</i>	
i)	<i>En terrain non arpenté, la superficie du claim obtenu par désignation sur cartes varie selon la latitude au Québec.</i>	
j)	<i>Une cause importante de l'augmentation des réserves de métaux de base observée dans le monde au cours du dernier siècle est la diminution des teneurs de coupure liée aux modes d'exploitation minière favorisant des opérations à fort tonnage.</i>	

Question 5 (15 points)

Dans un gisement de nickel, on analyse les teneurs des demi-carottes de 3 m par la procédure échantillonnale décrite au tableau suivant. Le Ni se retrouve dans le minéral pentlandite dont la formule stoechiométrique est $(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$, et la densité 4.8. On a 41% de Ni approximativement dans chaque molécule de pentlandite. La densité de la gangue est 3, la masse initiale de la demi-carotte est 5 kg. La taille de libération des grains de pentlandite est de 1mm. On cherche à avoir une bonne précision à l'analyse ($S_r \text{ global} < 0.05$) pour une carotte ayant 1% de Ni.

Étape	masse (g)	Taille	Écart-type relatif
Broyage	5000 g	0.8 cm	?
Sous-échantillon	3000 g	0.8 cm	?
2 ^e broyage	3000 g	0.2 cm	?
Sous-échantillon	200 g	0.2 cm	0.025
Pulvérisation	200g	0.008 cm	?
Sous-échantillon	15g	0.008 cm	0.0009

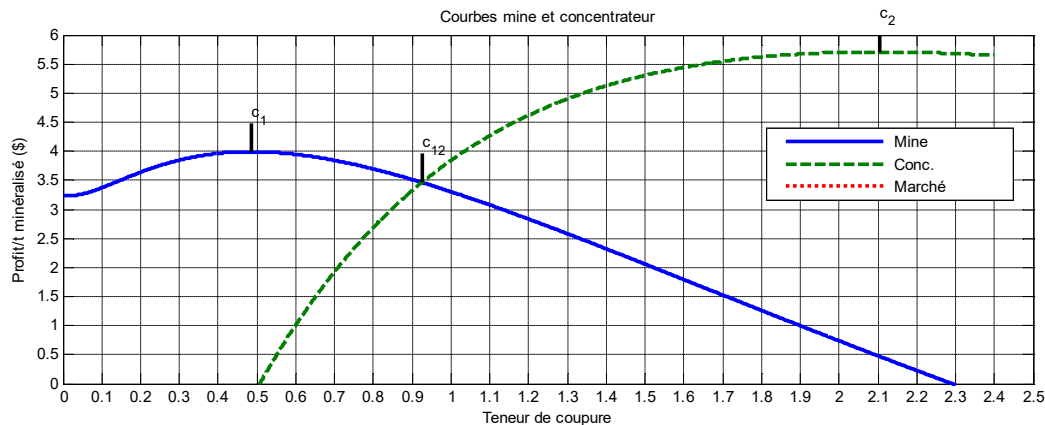
- a) *Quelle est la précision globale de la procédure utilisée?*
- b) *Selon la théorie de Gy, à teneur, densités, diamètre des grains et masse d'échantillon constants, est-il préférable que le minéral d'intérêt soit entièrement libéré ou non?*

Question 6 (10 points)

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

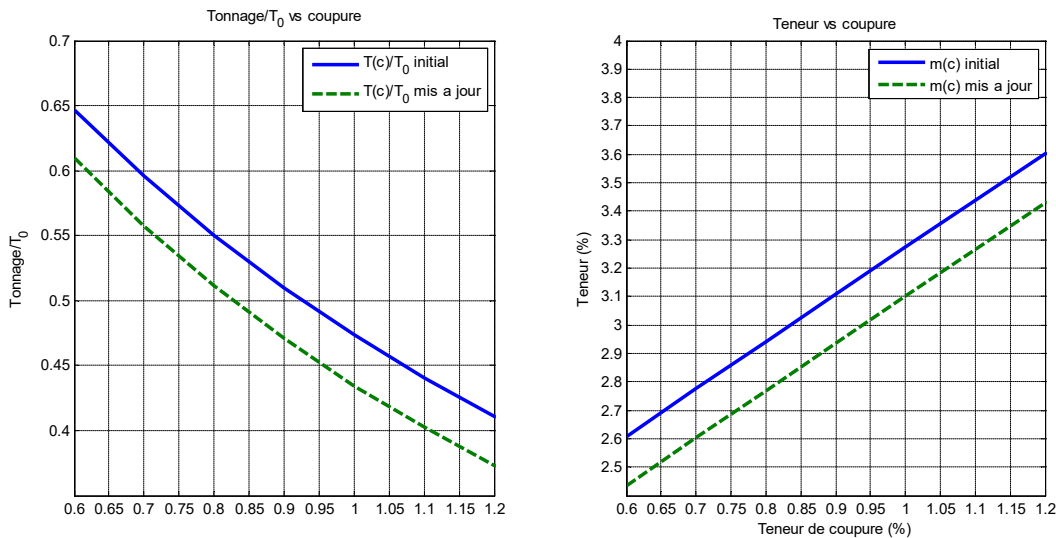
Taux de récupération $y=0.95$;
 Prix du métal $p=1500\$/t$ Cu;
 Coût de mise en marché $k=200\$/t$ Cu;
 Coûts de minage $m=3\$/t$ minéralisée
 Coûts de traitement : $h=6\$/t$ minerai
 Coûts fixes $f=50$ M\$/an
 Coût d'opportunité $F=0\$/an$
 Capacité de minage $M=5$ Mt minéralisée/an;
 Capacité de traitement $H=2.5$ Mt minerai/an;
 Capacité du marché (fonderie) $K=0.2$ Mt Cu/an;

La figure suivante montre les courbes de profit par tonne minéralisée 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).

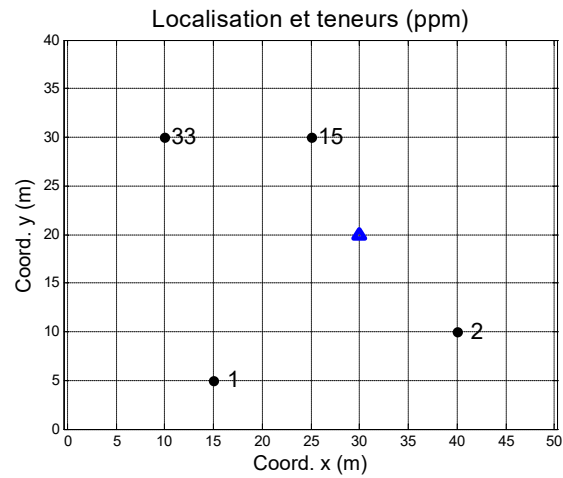
Question 7 (10 points)

Une roche contient de la chalcopirite (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.

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 par l'énoncé. Bien identifier les lignes et les colonnes de votre matrice. N'oubliez pas l'équation de fermeture. **Ne pas résoudre**

Question 8 (8 points)

Un gisement 2D d'or montre la disposition suivante des données (l'épaisseur est constante).



- a) Estimez la teneur au point (30,20) par inverse de la distance au carré avec une distance de recherche de 50m.
- b) Avec une triangulation de Delaunay, devrait-on former le triangle (1-2-15) ou (1-2-33) ? Justifiez.

Corrigé du C.P. 1:

1- a) (4 points) Cône tronqué avec variation linéaire de la teneur entre les sections.

b) (6 points) on calcule la teneur moyenne, le volume entre les sections puis le tonnage de métal :

$$t_{\text{moy}} = 3.36\%$$

$$\text{vol} = 20708 \text{ m}^3$$

$$\text{tonnage metal} = \text{vol} * 3 \text{ t/m}^3 * t_{\text{moy}} = 2087.4 \text{ t}$$

2- a) diminue

b) inchangée

c) augmente

d) diminue

e) inchangée

f) augmente

g) augmente

h) inchangée

3- 5 points par sous-question

$$\text{a) } dx = \cos(20)\cos(50) * 500 = 302 \text{ m}$$

$$x = -302 \text{ m}$$

$$\text{b) } \text{atan}(\sin(50) * 500 / 302) = 51.75^\circ$$

$$\text{c) } e_v = \sin(40) * 2 \text{ m} = 1.29 \text{ m}$$

4- dans l'ordre F F V F F V F V V V

5- a) (12 points).

Il faut calculer s_r^2 pour le 1^{er} sous-échantillon :

$$a_L = 1\% / 41\% = 0.0244$$

$$\text{facteur } l = (1/8)^{0.5} = 0.35$$

$$\mu\text{-delta} = 190.17 \Rightarrow K = 23.8$$

$$s_r^2 = 23.8 * 0.35 * 0.8^3 / 3000 * (1 - 3000 / 5000) = 0.00057$$

$$s_{r,\text{global}} = (0.00057 + 0.025^2 + 0.0009^2)^{0.5} = 0.035 \text{ (donc précision acceptable)}$$

b) (3 points) La non-libération est préférable tout le reste étant égal.

6- a) (2 points) $c_{12} = \sim 0.92$ c'est la t.c. d'équilibre mine-concentrateur

b) (2 points) durée de vie : $100 \text{ Mt} / 5 \text{ Mt/an} = 20 \text{ ans}$

c) (6 points) $x_c = H/M = 0.5. \Rightarrow \text{t.c.} = \sim 0.83 \Rightarrow g_c = \sim 2.82$

$$v = 1300 * 0.5 * 0.95 * 0.0282 - 3 - 0.5 * 6 - 50 \text{ M\$} / 5 \text{ Mt} = \sim 1.41 \text{ \$/t. minéralisée}$$

$$7- \begin{bmatrix} 0.35 & 0.50 & 0.63 & 0 & 0 \\ 0.30 & 0 & 0.11 & 0 & 0.05 \\ 0 & 0 & 0 & 0.866 & 0 \\ 0.35 & 0.50 & 0.26 & 0.134 & 0.02 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{chalcopyr} \\ x_{chalcocite} \\ x_{bornite} \\ x_{galene} \\ x_{gangue} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} .15 \\ .10 \\ .04 \\ .16 \\ 1 \end{bmatrix}$$

8 a) (5 points) les distances au carré sont : 125, 200, 450 et 500. La somme des inverses des distances au carré est 0.017222. Les poids sont : 0.465, 0.29, 0.129, 0.116. La valeur estimée est : $0.465*15+0.29*2+0.129*1+0.116*33 = 11.51$ ppm

b) (3 points) 1-2-15, le cercle circonscrit par ces 3 points ne renferme aucun autre point, ce qui n'est pas le cas pour l'autre triangle proposé.

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

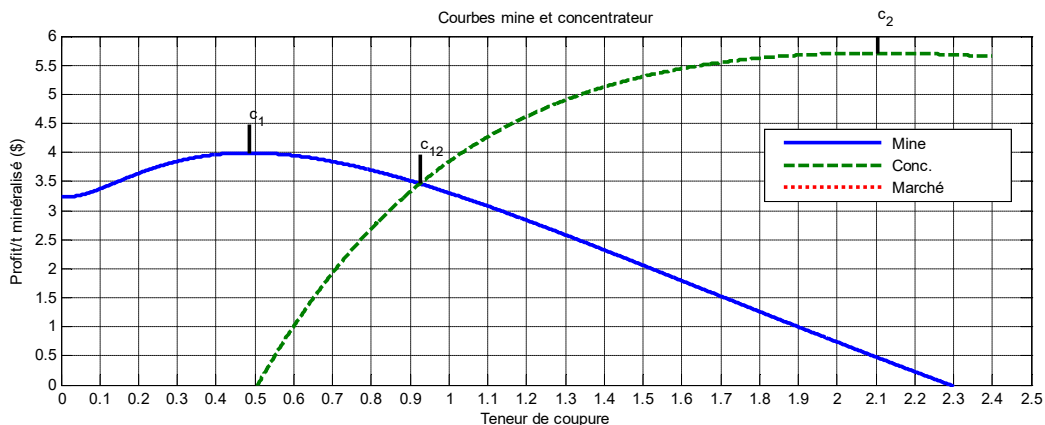
Coût d'opportunité $F=0\$/an$

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;

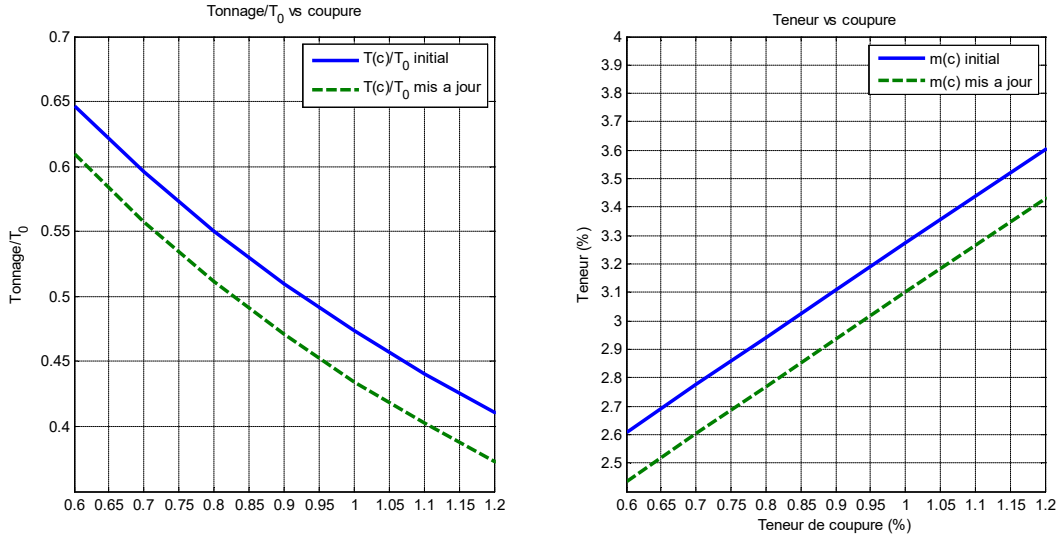
La figure suivante montre les courbes de Lane et Taylor calculées avec ces paramètres. On suppose qu'un excellent estimateur (très précis et sans biais conditionnel) est disponible. On suppose de plus que le minerai qui a été délaissé initialement est disponible pour le futur.



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

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 $v(\text{mine})$:

$$v=(p-k)*y*xc*gc-m-xc*h-(f+F)/M$$

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

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 => 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 $2.939*0.99 = 2.91$