

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)**

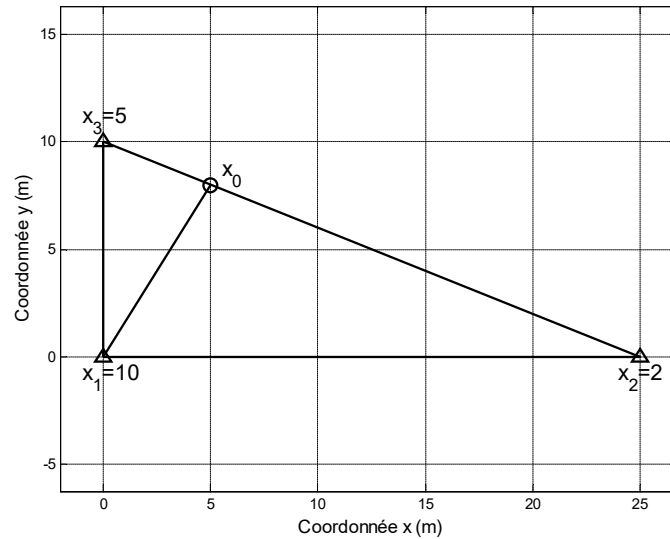
Une roche d'un gisement de Cu-Zn montre une teneur de 3% de Cu, 4% de Zn et 7% S. Le Cu est contenu uniquement dans la chalcoppyrite (35% Cu, 35% S; densité 4.1) et le Zn uniquement dans la sphalérite (67% Zn, 33% S; densité 4.1). On retrouve aussi de la pyrite (54% S; densité 5.0). La densité de la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

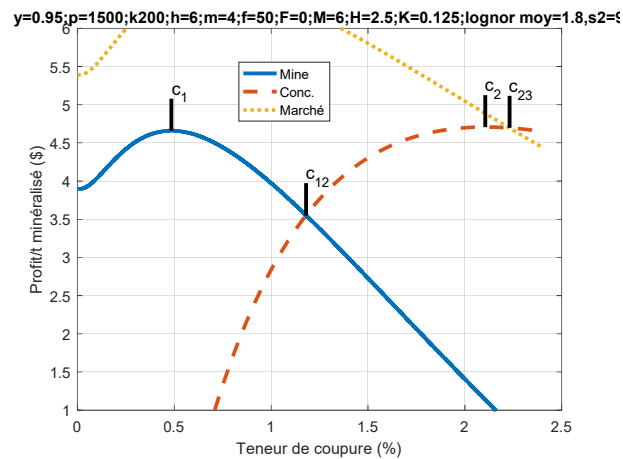
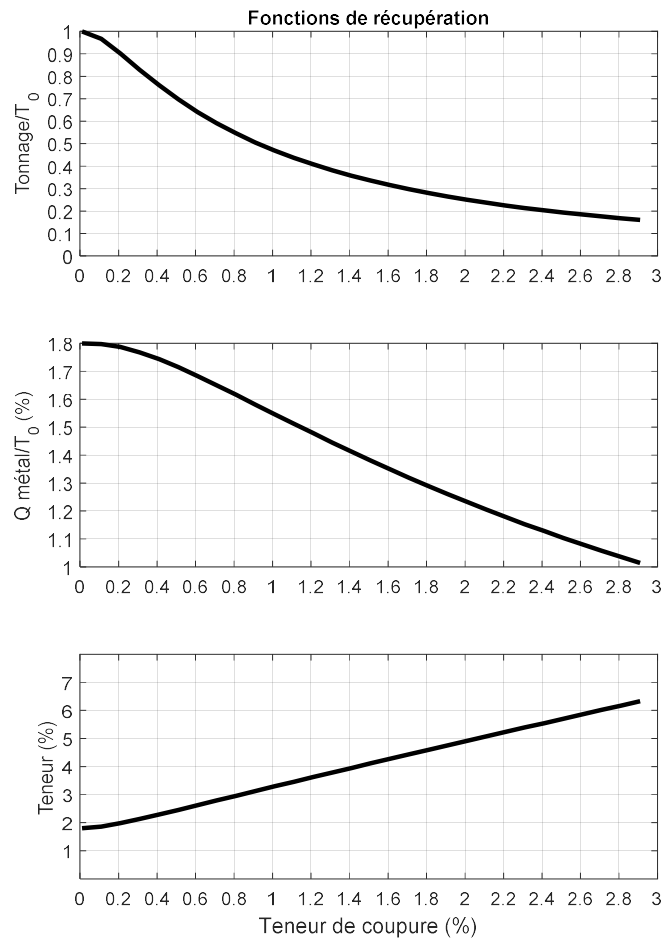


Figure 2



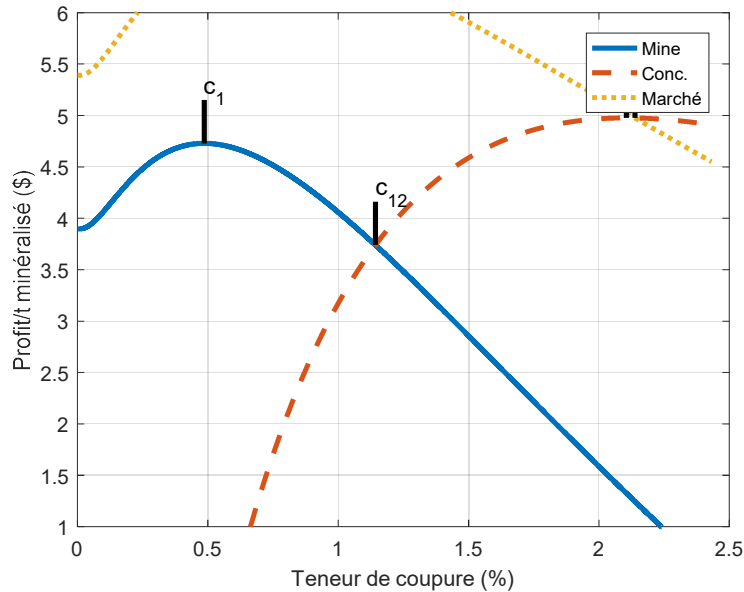
**Question 4 (suite)**

- 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> concentrateur (sans changer la capacité de la mine M) ?*
- ii. Quel serait le tonnage de minerai que vous enverriez annuellement à ce 2<sup>e</sup> 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 coordonnée  $p_0 = (50, 0, -200)^T$ .

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)**

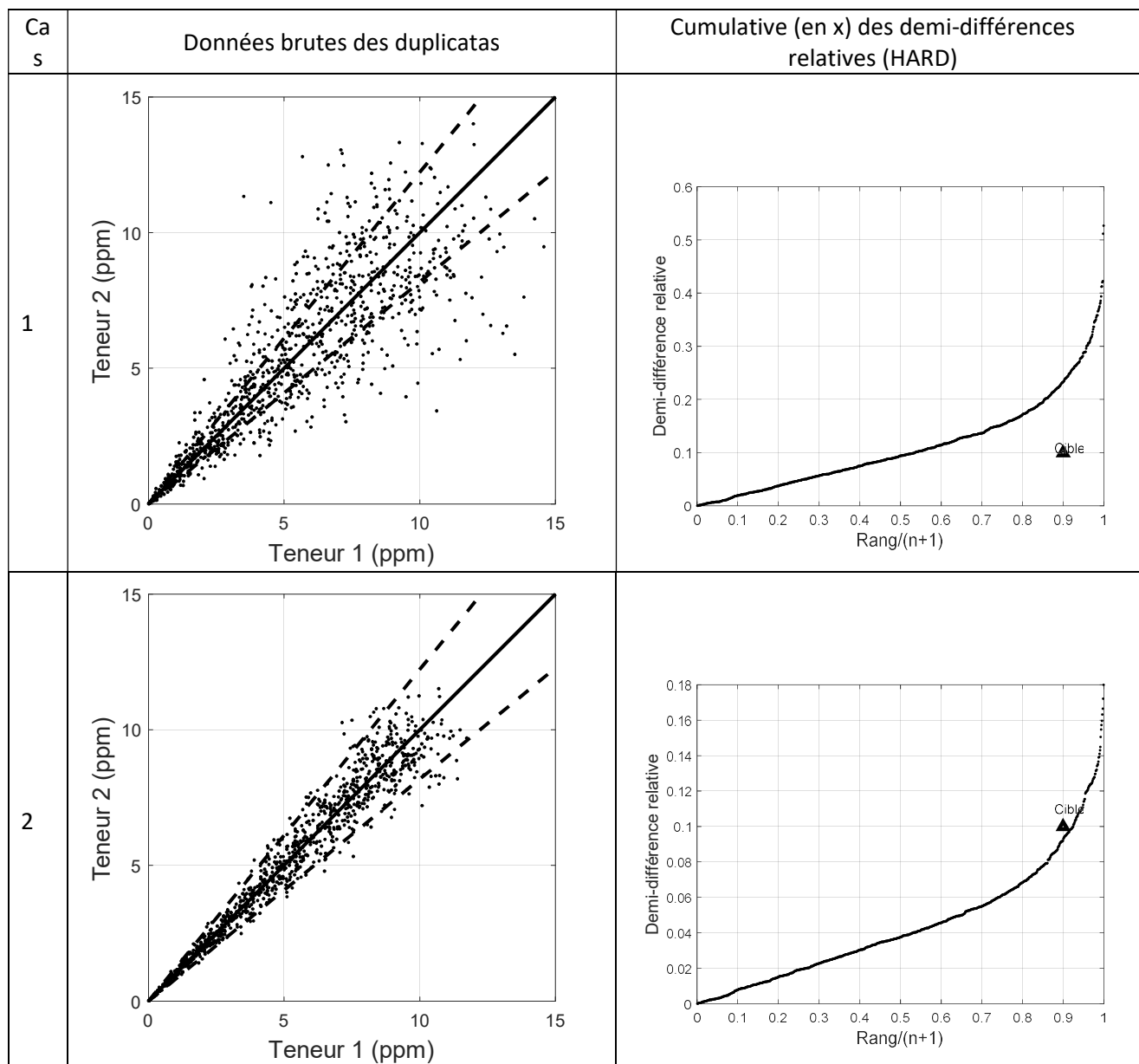
Des analyses de cuivre ont été effectuées le long du forage :

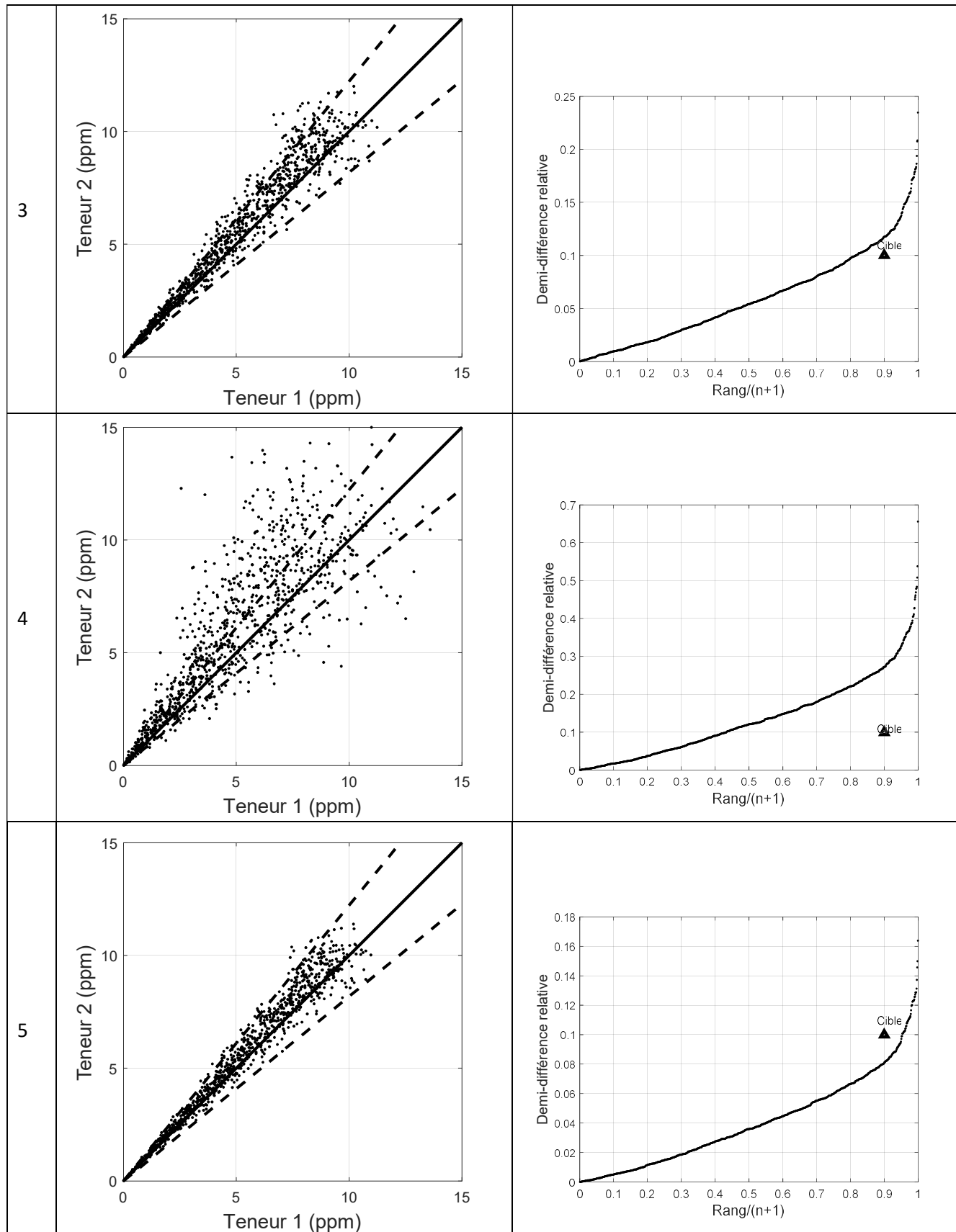
| De    | à     | teneur (% Cu) |
|-------|-------|---------------|
| 200   | 201.4 | 2.0           |
| 201.4 | 201.8 | non-analysé   |
| 201.8 | 202.6 | 3.2           |
| 202.6 | 203.4 | 2.0           |
| 203.4 | 204.8 | 1.4           |
| 204.8 | 206   | 0.8           |

- 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 |
|---------------------------------------------------|-----|
| a) sont ceux attendus (i.e. sans biais et précis) |     |
| b) présentent un biais mais sont précis           |     |
| c) présentent un biais et sont imprécis           |     |
| d) sont sans biais mais imprécis                  |     |

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  $\Rightarrow 3/0.35=8.57\%$  de Chalcopirite contenant 3% de S  
 4% Zn  $\Rightarrow 4/0.47=5.97\%$  de Sphalérite contenant 1.97% de S  
 $7\%-3\%-1.97\%=2.03\%$  S provenant de la pyrite  $\Rightarrow 2.03/0.54=3.76\%$  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 cm<sup>3</sup>

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  $x_3 \Rightarrow 5\text{ ppm}$

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

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  $\Rightarrow 21.3\text{ M\$}$

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.

$$Q5- a) a_l=0.008/0.18=0.044, \mu_{\Delta}=70.52, l=(0.1/0.5)^{0.5}=0.45, k=8.82 \Rightarrow$$

$$s_r^2=8.82*0.45*0.5^3/500*(1-0.1)=8.9e-04 \Rightarrow s_r=0.03$$

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

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

$$(p_0 - s_0) = [500 - 200]$$

on a  $e = n'(p_0 - s_0) = 66.83$  et  $n's = 0.906$ , donc  $e = 73.75$  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  $\text{atan}(\sin(50)/(\cos(50)\cos(20))) = 51.74$  degrés.

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

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

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.