

Notes : Vous répondez sur le questionnaire.

Utilisez le verso au besoin et écrivez lisiblement

Fournir le détail des calculs et justifier vos réponses lorsque requis. Ne pas oublier d'indiquer les unités. Les justifications nécessitent généralement une à deux phrases.

Le professeur et les surveillants ne répondent à aucune question durant l'examen. En cas de doute, indiquez votre interprétation.

Deux feuilles recto-verso d'aide-mémoire sont permises.

Toute calculatrice permise.

L'examen comprend 6 questions totalisant 100 points et réparties sur 15 pages.

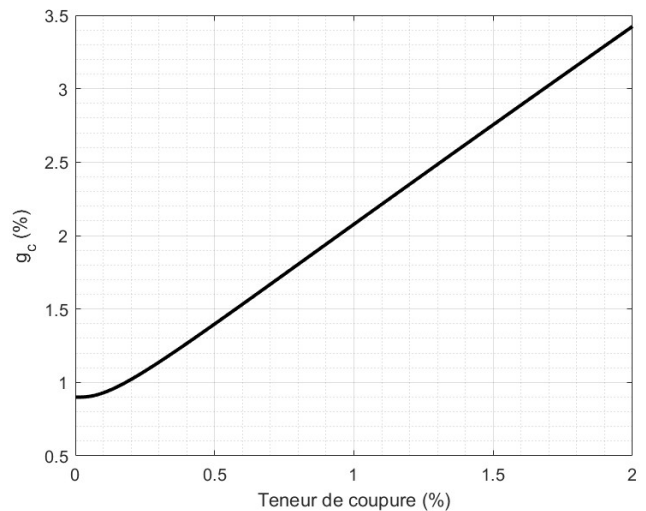
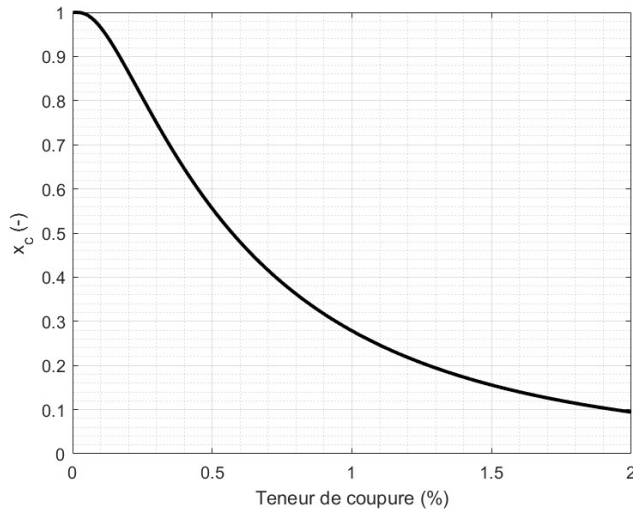
Dans l'ordre : Q1-20 pts, Q2-16 pts, Q3-20 pts, Q4-18 pts, Q5-16 pts, Q6-10 pts

Nom de l'étudiant : _____

Signature : _____ **Matricule :** _____

Question 1 (20 pts)

Les figures suivantes donnent les fonctions de répartition d'un gisement de zinc. 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 et de traitement sont respectivement de 20 Mt (de matériaux minéralisés) et 4 Mt (de minerai). On suppose que le marché n'intervient pas dans la détermination de la teneur de coupure optimale. Le taux de récupération au concentrateur est de 0.85.

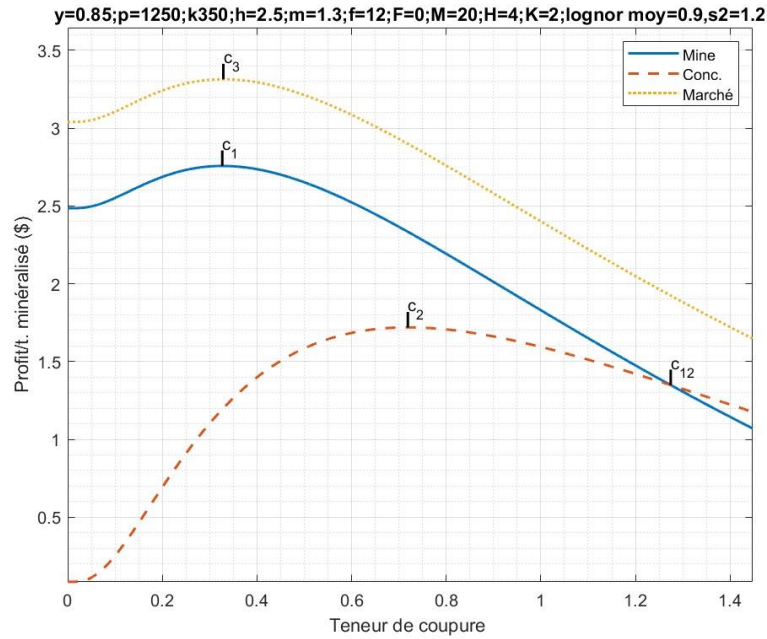


3 pts A) Déterminez la teneur d'équilibre mine-traitement pour ce gisement.

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

3 pts B) Déterminez le tonnage de développement annuel nécessaire (c.-à-d., combien de tonnes de matériaux minéralisés doit être disponible annuellement) pour pouvoir opérer à la t.c. optimal indiqué sur la figure précédente ?

Question 1 (suite)



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

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

3 pts E) Décrivez l'impact d'une augmentation de la capacité du concentrateur d'une valeur X sur la teneur de coupure optimale, la nature de la teneur de coupure (i.e., équilibre ou limite) et le profit par tonne minéralisée.

Question 1 (suite)

3 pts F) *Décrivez l'impact d'une diminution de la moyenne du gisement à travers le temps sur la teneur de coupure et le type de celle-ci. (Note : Cette question n'est pas en lien avec la figure. Il s'agit d'une question d'ordre général applicable à la vaste majorité des gisements.).*

2 pts G) *Pourquoi est-il important que l'estimateur soit sans biais conditionnel dans la théorie de Lane ? Justifiez en un maximum de deux phrases.*

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 de même moyenne. Lequel devrait-on utiliser ? Justifiez en maximum deux phrases.*

Question 2 (16 pts)

Dans un gisement de nickel, on analyse les teneurs des demi-carottes de 2.5 m par la procédure échantillonnale décrite au tableau suivant. Le Ni se retrouve dans le minéral pentlandite dont la formule stœchiométrique est $(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$, et la densité est 4.8. On a 41% de Ni approximativement dans chaque molécule de pentlandite. La densité de la gangue est de 3, la masse initiale de la demi-carotte est de 5kg. La taille de libération des grains de pentlandite est de 1mm. On cherche à avoir une bonne précision à l'analyse ($s_{r \text{ globale}} < 0.05$) pour une carotte ayant 1% de Ni.

Étape	Masse (g)	Taille	Écart-type relatif
Broyage	5000 g	0.8 cm	?
Sous-échantillon	1000 g	0.8 cm	?
2 ^e broyage	1000 g	0.2 cm	?
Sous-échantillon	200 g	0.2 cm	0.023
Pulvérisation	200g	0.008 cm	?
Sous-échantillon	15g	0.008 cm	0.00087

7 pts A) Quelle est la précision globale de la procédure utilisée ?

Question 2 (suite)

1 pts B) *Est-ce que la procédure fournit la précision désirée? Justifiez.*

4 pts C) *Quelle masse devrait être sous-échantillonnée au lieu du 1000g (premier échantillonnage) pour obtenir $s_{r, globale} = 0.05$? (Négligez l'influence de la masse sur l'écart-type relatif du deuxième échantillonnage, i.e., s_2 restera 0.023.)*

2 pts D) *Pourquoi, selon vous, est-il 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 ?*

2 pts E) *Selon la théorie de Gy, à teneur, densités, diamètre des grains et masse d'échantillons constants, est-il préférable que le minéral d'intérêt soit entièrement libéré ou non ?*

Question 3 (20 pts)

Un horizon marqueur, considéré comme un plan, a comme vecteur pendage $(350^\circ, 50^\circ)$. L'horizon a été reconnu dans un autre forage au point $p_0=(20,30,-115)$.

7 pts A) *Un forage dont le collet est à $s_0=(0,0,0)$ est orienté selon $(140,70)$. Supposant que le forage ne dévie pas, à quelle distance du collet devrait-il croiser l'horizon marqueur. (Note : les cosinus directeurs d'un vecteur d'azimut A et de plongée B sont : $x= \cos(B)\sin(A)$; $y= \cos(B)\cos(A)$; $z= -\sin(B)$).*

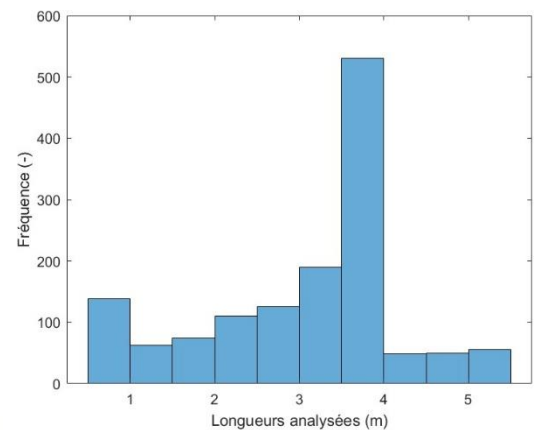
3 pts B) *Quelles sont les coordonnées du point d'intersection entre le forage et l'horizon marqueur ?*

Question 3 (suite)

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

De (m)	à (m)	Teneur (ppm)
80.0	81.8	2.1
81.8	82.6	3.5
82.6	83.0	non-analysé
83.0	83.8	6.2
83.8	84.5	non-analysé
84.5	85.3	7.5
85.3	86.0	non-analysé

2 pts D) Plusieurs forages ont été réalisés et on obtient l'histogramme des carottes analysées suivant. Est-ce que la longueur de régularisation utilisée en C, 3m, était la longueur appropriée. Justifiez votre réponse grâce à l'histogramme des carottes.

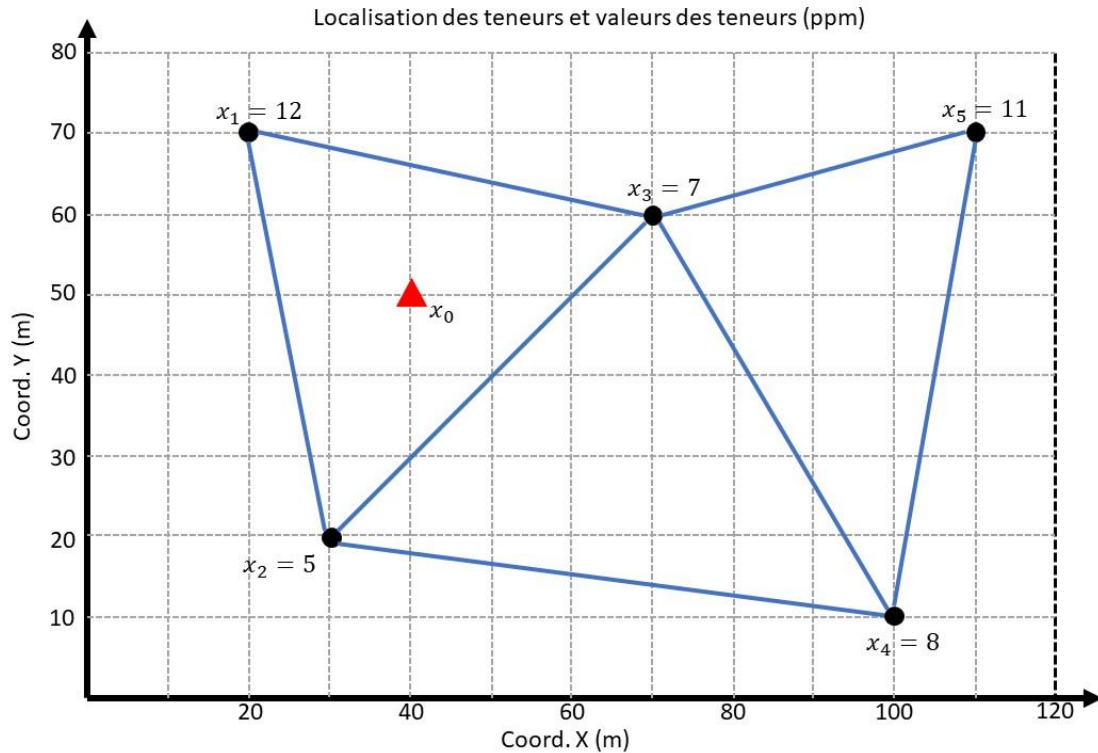


2 pts E) Un forage rencontre plusieurs strates géologiques. Quelle sera la tendance de déviation du forage lorsqu'il passera successivement plusieurs de ces strates géologiques ?

2 pts F) Le minerai d'un gisement est composé de sphalérite (ZnS), de pyrite (FeS), de chalcopryrite (CuFeS_2) et de chalcosite (Cu_2S). Le géologue compte analyser les pourcentages en Cu, en Zn et en S de ce minerai. Est-ce suffisant pour bien caractériser la concentration de chaque minéral de ce minerai ? Justifiez en maximum deux phrases.

Question 4 (18 pts)

Un gisement 2D de cuivre montre la disposition suivante des données. L'épaisseur est supposée constante.



3 pts A) La figure du haut présente la triangulation de Delaunay. Tracez les polygones de Voronoï directement sur la figure.

1 pts B) Quelle problématique ce point lors de l'estimation du point x_0 par la méthode des polygones?

4 pts C) Estimez la teneur au point x_0 par la méthode des triangles.

Question 4 (suite)

6 pts D) *Estimez la teneur au point x_0 par l'inverse de la distance ($b=2$) avec une distance de recherche de 50m.*

2 pts E) *On rencontre dans ce gisement des strates orientées dans la direction x . On évalue qu'une distance dans la direction y équivaut à quatre fois la même distance selon la direction x . Identifiez la valeur du coefficient « a » dans l'expression $d^2 = d_x^2 + ad_y^2$ permettant cette pondération des distances selon la direction.*

2 pts F) *Une préparation des échantillons donnant un s_r^2 élevé selon la formule de Gy devrait-elle favoriser le choix d'un exposant élevé ou faible pour la méthode de l'inverse de la distance ? Justifiez en maximum deux phrases.*

Question 5 (16)

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 en une phrase à quoi correspondent ces trois termes et indiquez en un maximum de deux phrases ce que chacun tente de contrôler.

Blancs :

Standards :

Duplicatas :

10 pts B) *On vous présente une série de figures aux pages suivantes illustrant des résultats de QA/QC pour différentes mines. Identifiez la(les) figure(s) respectant les énoncés suivants (Note : Indiquez le (les) numéro à côté de la question) :*

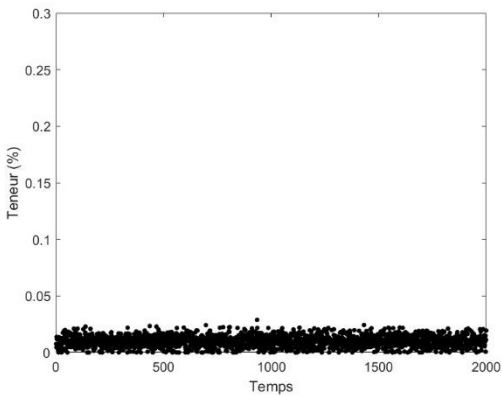
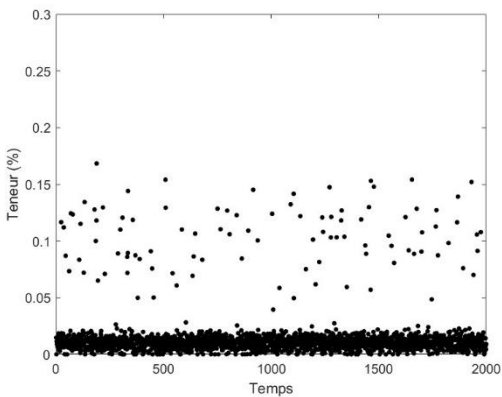
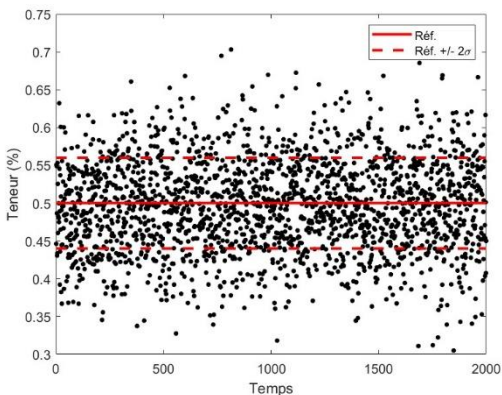
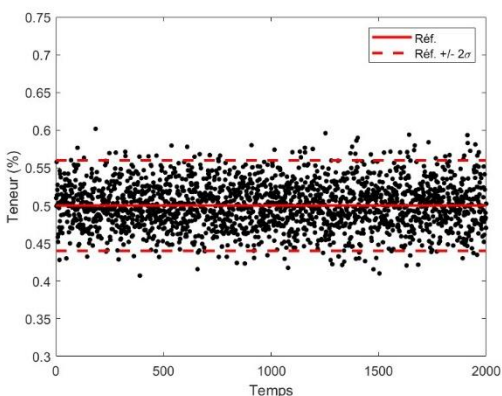
Quelles figures indiquent un problème potentiel de contamination inter-échantillon ?

Quelles figures indiquent un problème de biais ?

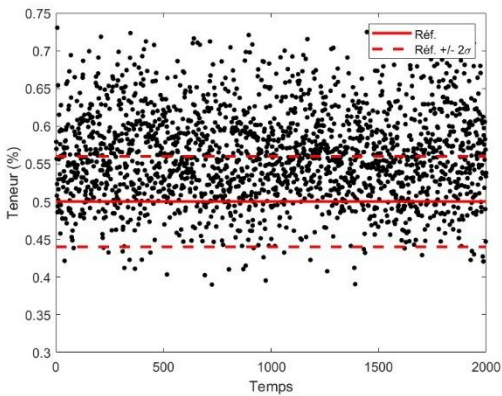
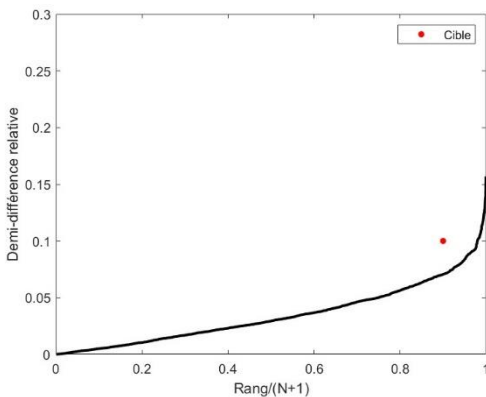
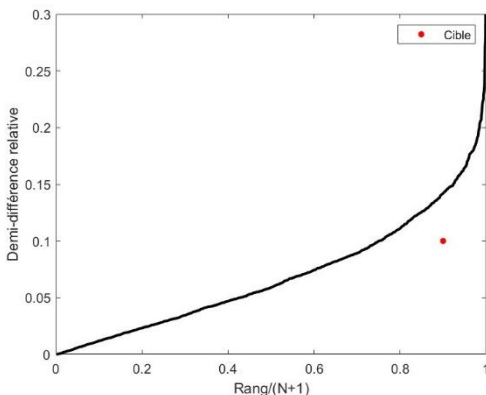
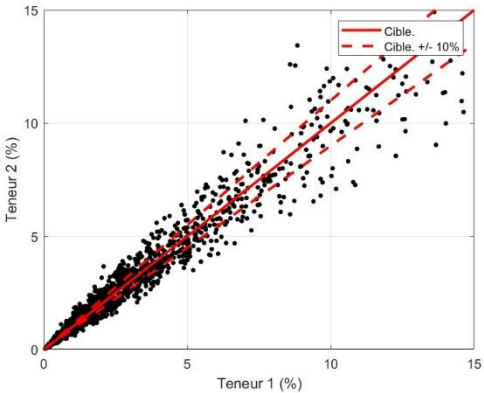
Quelles figures indiquent un manque de précision ?

Quelles figures montrent les résultats attendus ?

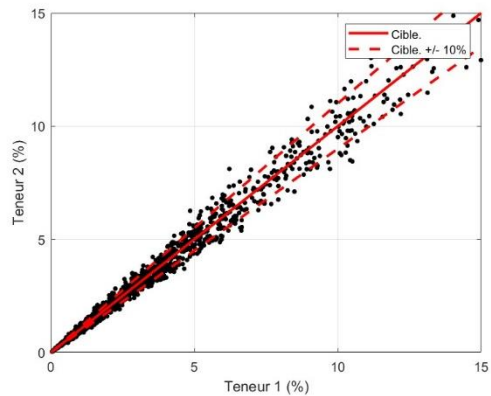
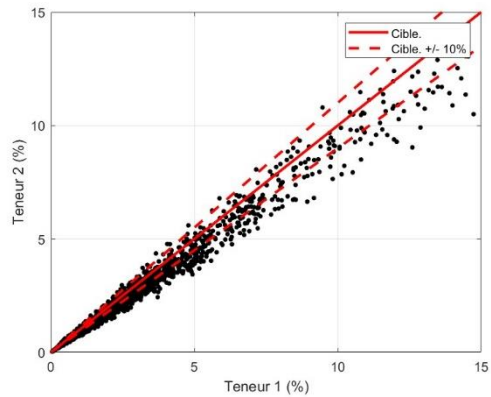
Question 5 (suite)

1 - Blancs	
2 - Blancs	
3- Standards	
4- Standards	

Question 5 (suite)

5- Standards	
6- Duplicatas	
7- Duplicatas	
8- Duplicatas	

Question 5 (suite)

9- Duplicatas	 A scatter plot comparing two measurements, Teneur 1 (%) on the x-axis and Teneur 2 (%) on the y-axis, both ranging from 0 to 15. The plot shows a dense cluster of black data points following a strong positive linear trend. A solid red line represents the target (Cible.), and two dashed red lines represent the acceptable deviation range (Cible. +/- 10%). The data points are tightly packed around the target line, indicating high precision and accuracy.
10- Duplicatas	 A scatter plot identical to the one in question 9, showing Teneur 1 (%) vs Teneur 2 (%). It features a solid red target line and dashed red lines for a +/- 10% deviation. The data points are tightly clustered around the target line, indicating high precision and accuracy.

Question 6 (10 pts)

Répondez par vrai ou faux (1 pt/bonne réponse; -0.25/mauvaise réponse; 0.25/ pas de réponse). (Note : Le résultat de la question ne peut être négatif. Par exemple, pour 10 mauvaises réponses, la note sera 0 et non -2.5.)

	Énoncé	V ou F
a)	<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>	
b)	<i>Plus le diamètre d'un forage diminue, plus les risques de déviations sont minimisés.</i>	
c)	<i>Un taux de récupération des carottes de 85% est une cible acceptable pour une compagnie d'exploration.</i>	
d)	<i>Un problème lié au recours à un laboratoire externe pour l'analyse de duplicata est qu'en cas de problème (biais ou manque de précision) il est possible que la cause en soit le laboratoire externe.</i>	
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>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.</i>	
h)	<i>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.</i>	
i)	<i>La méthode polygonale permet d'estimer avec précision et sans biais le tonnage de blocs de minerai disponible dans le sol.</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>	

Pour toutes les questions. Chaque erreur de lecture graphique est pénalisée de 0.5pts. La tolérance est la moitié du maillage le plus fin. Chaque utilisation d'une formule mathématique inadéquate est pénalisée de 1pts. Une erreur liée à l'identification des paramètres inadéquats est de 0.5 pts. Une erreur de calcul est pénalisée de 0.25pts. (Note : une erreur de calcul est liée à une erreur sur la calculatrice, la formule et les données sont bonnes). Pour les questions de justification : 1pts pour la réponse et 1 pts pour la justification. Une justification incomplète est pénalisée de 0.5pts.

Q1

- a) **2pts pour le calcul de x_c . 1pts pour l'identification graphique.**
 $x_c = 4/20 = 0.2$. On peut lire sur le graphe de gauche en ordonnée à 0.2 et on obtient $c_{12} = 1.25$. On peut aussi lire directement en abscisse sur le graphe de la question b) et on trouve aussi bien sûr 1.25.
- b) **1pts pour identifier t.c. 1pts pour identifier x_c à cette t.c. 1pts pour le calcul de M.**
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 $c_2 = 0.72$. On lit en ordonnée $x_c = 0.4$. Donc puisque $H = 0.4 * M'$, on trouve $M' = 4/0.4 = 10 \text{ Mt}$
- c) **1pts pour le bon t.c. 1pts pour g_c . (-1 si mauvaise réponse avec bon raisonnement)**
Par lecture directe sur le graphe de droite en abscisse 0.72 $\Rightarrow g_c = 1.7\%$
- d) **1 points pour la bonne formule. 1 pts pour la réponse.** 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 $c_1 \sim (2.756 - 1.719) = 1.037 \$/t$ minéralisée. (J'accepte si calculé les profit en \$ et non \$/t.m.)
- e) **1pts pour l'impact sur les profits, 1pts pour l'impact sur la t.c, 1pts pour l'impact sur le type de la t.c optimal.**
Profits : ils vont augmenter et stagner rendu à la t.c de la mine
T.c : elle va diminuer et stagner à la t.c de la mine
Type : elle sera limite concentrateur et a un certain montant elle sera limite mine.
- f) **1pts impact sur t.c., 2pts impact sur le type**
T.c : Elle va diminuer à travers le temps
Type : En général : Limite concentrateur vers Équilibre mine/concentrateur vers Limite mine
- g) **1pts les profits calculés ne se réaliseront pas. 1pts les profits seront inférieur à ceux estimés**
Les profits calculés ne se réaliseront pas si l'estimateur a un biais. Le profit réel sera *fort probablement* inférieur à celui calculé.
- h) **1pts pour la réponse et 1pts pour la justification**
Choisir A, car les deux estimateurs sont sans biais et que A estime mieux la variabilité du gisement.

Q2

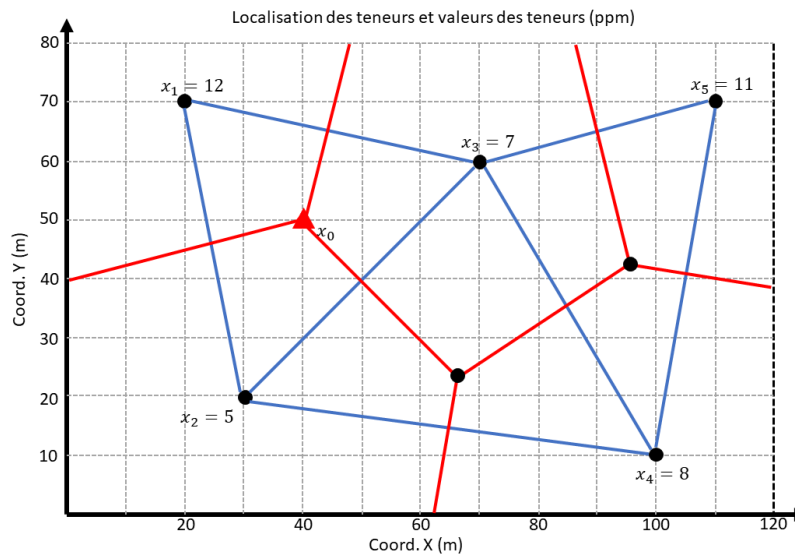
- a) **1pts pour a_L , 1pts pour $\mu\delta$, 1pts pour K, 1pts pour l, 1 pts pour s_r^2 , 2 pts pour $S_{r,global}^2$**
Il faut calculer s_r^2 pour le 1^{er} sous-échantillon :
 $a_L = 1\%/41\% = 0.0244 \Rightarrow \mu\delta = 190.17 \Rightarrow K = 23.8$ et facteur $l = (1/8)^{0.5} = 0.35$
 $\Rightarrow s_r^2 = 23.8 * 0.35 * 0.8^3 / 1000 * (1 - 1000/5000) = 0.003411$
 $S_{r,global} = (0.00003411 + 0.025^2 + 0.0009^2)^{0.5} = 0.06354$
- b) **1pts pour mauvaise précision.**
Précision pas acceptable.
- c) **2pts pour isoler Me de la formule de Gy. 1 pts pour le calcul. 1pts pour l'interprétation.**
Poser M plus grand que 1528g environ.
- d) **1pts notion de biais, 1pts notion de représentativité du lot.**
On veut représenter au mieux la variabilité du lot lors du prélèvement en n'introduisant pas un biais lié à l'échantillonnage des grosses particules.
- e) **1pts pour la réponse et 1 points pour la justification**
La non-libération est préférable tout le reste étant égal. On regarde la formule de Gy et on voit que lorsque le paramètre l augmente, donc une plus grande libération, s_r^2 augmente.

Q3

- a) **1pts pole, 1pts vecteur normal du pole, 1pts vecteur normal du forage, 1pts produit scalaire sn, 1pts (p0-s0), 1pts pour (p0-s0)'n et 1pts pour le calcul de e.**
 Le pôle est orienté $(350-180, 90-50)=(170,40)$.
 Le pôle du plan en vecteur unitaire $n=[\cos(40)\sin(170), \cos(40)\cos(170), -\sin(40)]=[0.1330, -0.7544, -0.6427]$.
 Le vecteur unitaire du forage est $s=[\cos(70)\sin(140), \cos(70)\cos(140), -\sin(70)]=[0.2198, -0.2620, -0.9396]$.
 $sn=0.8307$.
 $(p0-s0)=[0\ 0\ 0]-[20\ 30\ -115]=[-20\ -30\ 115]$
 $(p0-s0)'n=[-20\ -30\ 115]' [0.1330, -0.7544, -0.6427]=-53.94$
 $e=(p0-s0)'n/sn=53.94/0.8307=64.93m$
- b) **3pts bonne réponse, 1.5pts s'il y a une erreur de vecteur/calcul/etc., 0 sinon**
 $Pi=s*e+s0=[0.2198\ -0.2620\ -0.9396]*64.933+[0\ 0\ 0]=[14.27\ -17.01\ -61.01]$
- c) **2pts par composite, (1pts pour l'identification des section et 1pts pour la teneur).**
 80 à 83 : $(1.8*2.1ppm+0.8*3.5ppm)/2.6=2.53\%$
 83 à 86 : $(0.8*6.2ppm+0.8*7.5ppm)/1.6=6.85\%$
- d) **1Pts mauvaise longueur. 1 pts pour identifier la longueur.**
 Non, plutôt 4m.
- e) **2pts bonne réponse, 1pts justification insuffisantes, 0 sinon**
 Les déviations vont avoir tendances à devenir perpendiculaire aux strates géologiques.
- f) **1pts réponse, 1pts justification.**
 Non, il faut aussi analyser le Fe pour départager la pyrite, la chalcopirite et la chalcocite. 3 inconnues pour 2 composantes.

Q4

- a) **1pts par centre bien identifier. Voir figure.**



- b) **1pts bonne réponse**
 Le point x_0 tombe directement sur le point milieu des trois polygones l'entourant. Il faut faire un choix pour la valeur. Prendre la moyenne par exemple des trois polygones.
- c) **2pts pour le calcul de la première distance, 2 pts pour le second.**
 Segment $x2-x3$, La projection est au centre donc la moyenne de $x2-x3$ qui est $6ppm=(7+5)/2$.
 Sur le segment $x1-x23$: x_0 est au $1/3-2/3$. Donc $x_0=8ppm$ soit $6+(1/3)*(12-6)=6+2=8ppm$
- d) **4pts calcul des distances et identifier les points respectants le critère de recherche . 2pts pour le calcul des poids. 1pts la réponse.**
 Calcul des distances :
 $D1=\sqrt{20^2+20^2}=28.28$; $D2=\sqrt{10^2+30^2}=31.62$; $D3=\sqrt{30^2+10^2}=31.62$

$$D4=\sqrt{60^2+40^2}=72.11; D5=\sqrt{70^2+20^2}=72.80$$

$$W=(1/28.28)^2+(1/31.62)^2+(1/31.62)^2=0.0032507;$$

$$W1=(1/28.28)^2/W=0.3846; W2=(1/31.62)^2/W=0.3077; W3=(1/31.62)^2/W=0.3077$$

$$Z(x0)=0.3846*12+0.3077*5+0.3077*7=8.31\text{ppm}$$

e) **2pts bonne réponse, 1pts erreur, mais bonne logique, 0pts sinon**

$a=16=4^2$, ainsi les points loin en y ont moins d'influence sur l'estimation.

f) **1pts réponse, 1pts justification.**

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

Q5

a) **Pour chacun des cas, 1pts pour la définition et 1 pts pour l'utilité.**

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) Pour les questions B à E. 1pts pour le chiffre bien placé. -0.5pts pour mal placé

i) 2, ii) 5,7 et 10, iii) 3, 7,5 et 8, iv) 1,4,6 et 9. (note, 7 peut-aller soit en ii ou en iii et 5 doit être au moins dans ii ou iii)

Q6

- a)F
- b)F
- c)F
- d)V
- e)F
- f)V
- g)F
- h)V
- i)F
- j)F