

Notes :

1. Vous répondez sur le questionnaire.
2. *Utilisez le verso au besoin et écrivez lisiblement*
3. Fournir le détail des calculs et justifier vos réponses lorsque requis. Ne pas oublier d'indiquer les unités.
4. Les justifications nécessitent généralement **une à deux phrases**.
5. *Le professeur et les surveillants ne répondent à aucune question durant l'examen.* En cas de doute, indiquez votre interprétation.
6. Deux feuilles recto-verso d'aide-mémoire sont permises.
7. Toute calculatrice permise.

L'examen comprend 7 questions totalisant 100 points et réparties sur 16 pages.

Dans l'ordre : Q1-20 pts, Q2-15 pts, Q3-20 pts, Q4-10 pts, Q5-10 pts, Q6-15 pts, Q7-10 pts

Nom de l'étudiant : _____

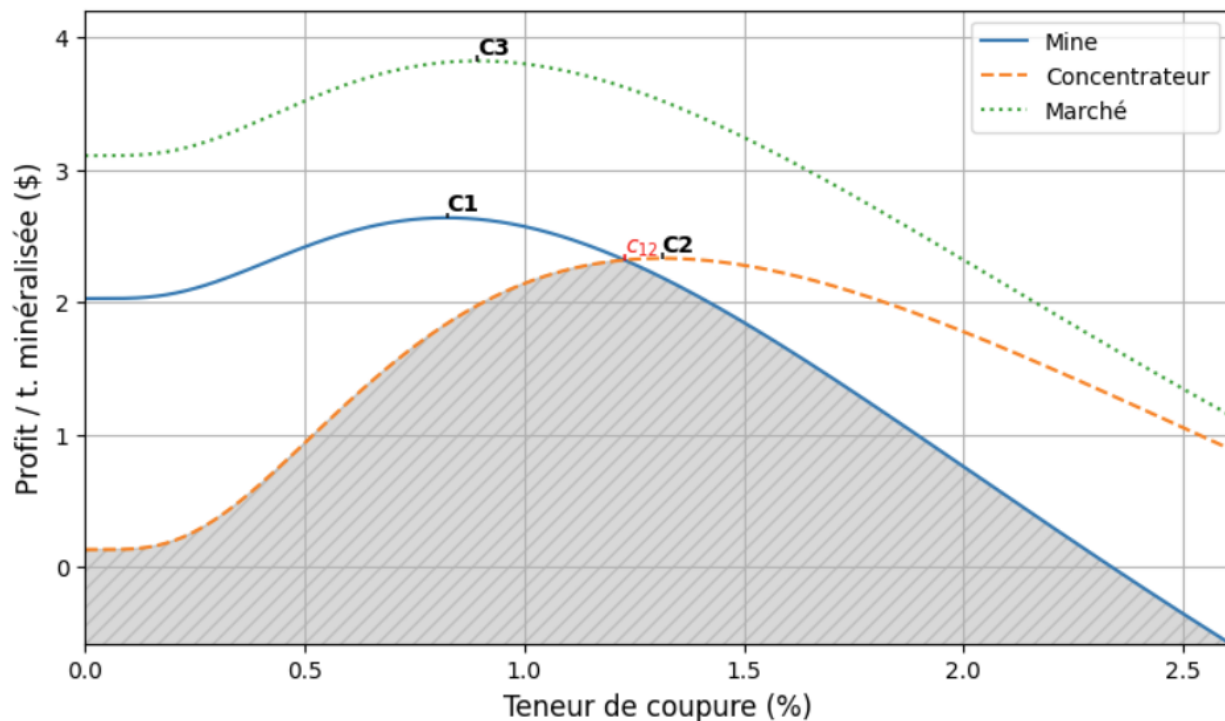
Signature : _____ **Matricule :** _____

Question 1 (20 pts) – Théorie de Lane et Taylor

Une mine présente un tonnage total de 200 Mt de matériaux minéralisés. Les paramètres d'exploitation, ainsi que les prix et les coûts associés selon la théorie de Lane et Taylor, sont les suivants :

Paramètres	Symboles	Valeurs
Prix du métal	p	3 000\$/t
Coût de mise en marché	k	2 000\$/t
Taux de récupération	γ	0.85
Coûts de minage	m	4\$/t minéralisée
Coûts de traitement	h	7\$/t minerai
Coûts fixes	f	25 M\$/an
Coût d'opportunité	F	0\$/an
Capacité de minage	M	11 Mt minéralisée/an
Capacité de traitement (concentrateur)	H	6 Mt minerai/an
Capacité du marché (fonderie)	K	0.32 Mt /an

La figure suivante illustre les courbes de Lane et Taylor calculées avec ces paramètres. On suppose qu'un excellent estimateur, à la fois très précis et sans biais conditionnel, est disponible. On suppose également que le minerai initialement délaissé demeure accessible pour une exploitation future.



Type de coupure	Teneur	Profit associé	Remarque
Limite C1	0.82 %	2.64 \$	Mine
Limite C2	1.31 %	2.33 \$	Concentrateur
Limite C3	0.89 %	3.82 \$	Marché
Équilibre C1-C2	1.23 %	2.32 \$	Équilibre

Question 1 (suite)

2 pts A) *Quelle est la teneur de coupure optimale? Et à quoi correspond-elle (teneur de coupure limite ou d'équilibre)?*

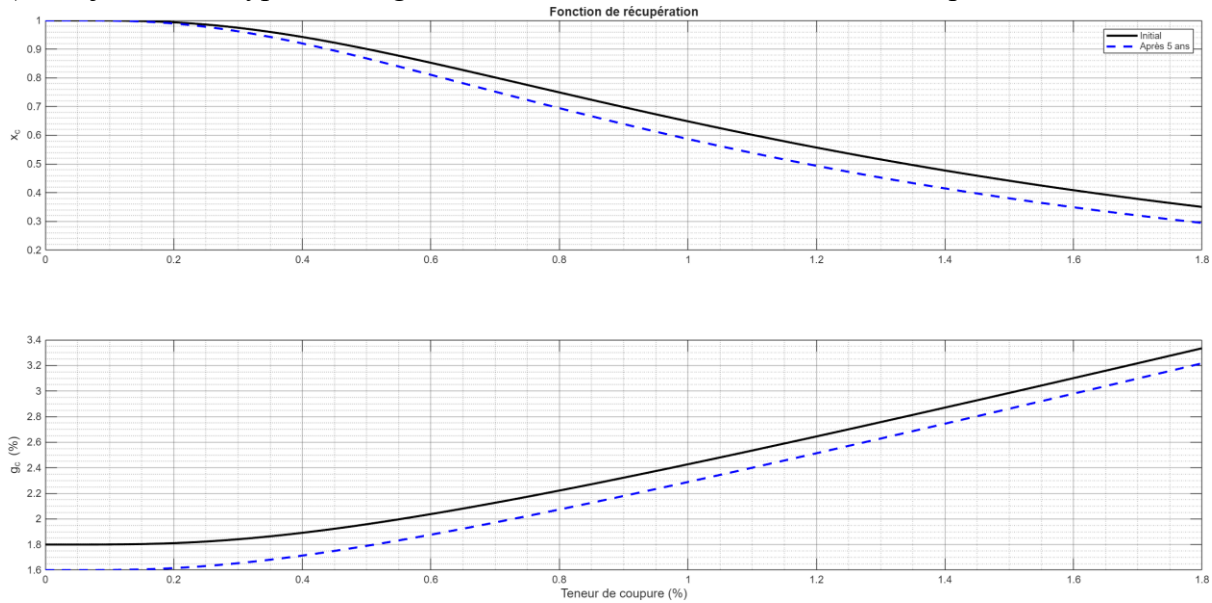
2 pts B) *Quel profit annuel est généré par cette mine?*

4 pts C) *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, sans faire de calcul.***

4 pts D) *Sur l'ensemble de la durée de vie de la mine, combien sommes-nous prêts à investir pour augmenter la capacité identifiée à la question C ? Supposez que la nature identifiée en A demeure inchangée tout au long de l'exploitation.*

Question 1 (suite)

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 1.4% (initialement 1.8%) et une variance de $1.8\%^2$ (initialement $2.6\%^2$). Toujours sous hypothèse lognormale, l'on obtient les fonctions de récupération suivantes :



6 pts E) 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 nature que dans la question 1-A).

2 pts F) Un suivi des teneurs des blocs minés a permis d'établir l'équation de régression suivante : $E[Z_v|Z_v^*] = 0.012 + 0.989Z_v^*$. Que peut-on conclure?

Question 2 (15 pts) – Théorie de Gy

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 (CuFeS_2). 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 $f = 0.5$ et $g = 0.25$.

4 pts A) *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.*

5 pts B) *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? (Vous pouvez continuer les calculs à la page suivante).*

Question 2 (suite)

2 pts C) *Si le minéral fournissant le 0.5% de Cu était la chalcocite (Cu_2S) plutôt que la chalcopyrite (CuFeS_2), aurait-on les mêmes réponses? Justifier sans faire de calcul.*

2 pts D) *Si la teneur du lot est en réalité supérieure à 0.5% Cu, est-ce que l'écart-type relatif réellement obtenu sera supérieur, égal ou inférieur à celui calculé avec l'abaque? Justifier sans faire de calcul.*

2 pts E) *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 ? Justifier sans faire de calcul.*

Question 3 (20 pts) – Sondages et composites

Vous êtes ingénieur(e) CPI en estimation des ressources au sein de l'équipe du projet NioVar, qui explore une veine de niobium dans le nord du Québec. On vous confie une section de la base de données de forage ci-dessous.

Forage F-12

- Collet : (50, 60, 20)
- Orientation au départ (0 m) : azimut = 255° , plongée = 60°
- Orientation à 60 m : azimut = 275° , plongée = 75°

Analyse	De (m)	À (m)	Longueur (m)	Nb (%)
1	74.00	75.20	1.20	0.42
2	75.20	76.00	0.80	0.58
3	76.00	77.50	1.50	N/A
4	77.50	78.00	0.50	1.05
5	78.00	79.80	1.80	0.73
6	79.80	82.00	2.20	N/A
7	82.00	83.50	1.50	2.01
8	83.50	85.00	1.50	1.20
9	85.00	86.00	1.00	0.95

4 pts A) *Votre superviseur vous demande de préparer des composites de 3 m entre 74 m et 86 m de profondeur. Un composite est considéré comme valide seulement si au moins 2/3 des carottes sont analysées. Identifiez les composites valides et calculez leurs teneurs en Nb.*

Question 3 (suite)

7 pts B) *Pour la modélisation 3D, vous devez attribuer des coordonnées (x, y, z) aux composites. Calculez les coordonnées du centre du composite le plus profond à l'aide de la méthode du point milieu.*

Question 3 (suite)

7 pts C) Le forage F-12 a intersecté la veine minéralisée à 74 m. Les coordonnées (x,y,z) de ce point sont approximativement (24.17, 57.11, -48.48). Cette veine minéralisée a été observé en surface, et les géologues ont mesurés, par **convention géologique**, un azimuth de 230° et un pendage de 40° . On vous demande d'évaluer si le nouveau forage F-15, dont le collet est situé en (40, 50, 25) et orienté selon un azimuth de 30° et une plongée de 50° , intersectera la veine. Si oui, à quelle distance du collet aura lieu l'intersection ?

2 pts D) On vous confie ensuite la tâche de proposer une orientation optimale pour que le forage F-15 (collet : 40, 50, 25) intersecte la veine le plus rapidement possible. Indiquez l'azimut et la plongée, et estimez la distance jusqu'au croisement.

Question 4 (15 pts) - Analyse chimique

Une roche d'un gisement montre une teneur de 4% de Cu, 2% de Pb, 2% Fe et 5% S. Le Cu est contenu uniquement dans la bornite (Cu_5FeS_4 ; 63.3% Cu, 11.1% Fe, 25.6% S; densité de 5.1) et le Pb uniquement dans la galène (PbS ; 86.6% Pb, 13.4% S; densité de 7.5). On retrouve aussi de la pyrite (FeS_2 ; 46.5% Fe, 53.5% S; densité 5.0). Malheureusement, le Ba n'a pas été analysé dans la roche, mais l'analyse de la gangue indique la possible présence de Ba. Le Ba est uniquement présent dans la barite (BaSO_4 ; 58.84% Ba, 13.74% S, 27.42% O; densité de 4.5). La densité de la gangue est 3.2. La gangue ne contient aucun des éléments chimiques analysés. La porosité de la roche est 3%.

10 pts A) *Construire et résoudre le système d'équations linéaires permettant de déterminer les teneurs en pyrite, bornite, barite, galène et gangue. (Note: on peut résoudre le système sans à avoir à inverser la matrice.)*

Question 4 (suite)

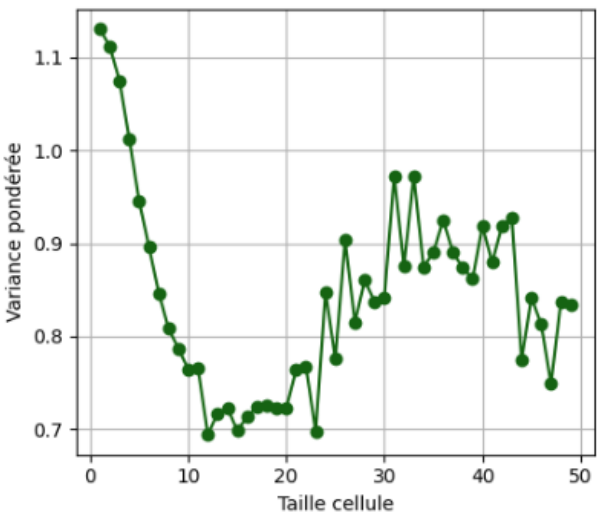
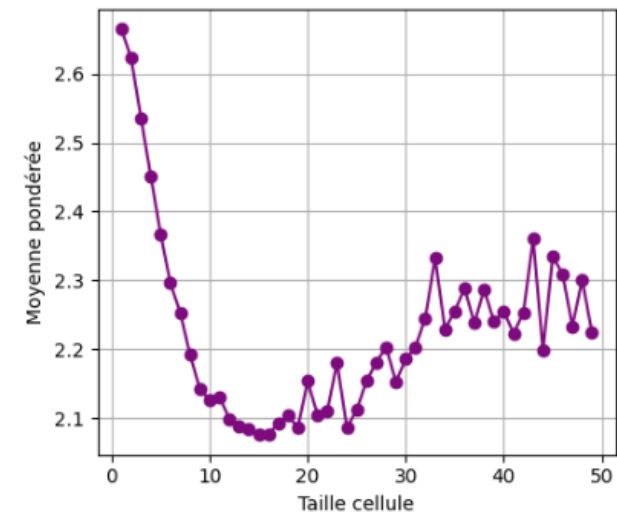
5 pts B) Déterminez la masse volumique de la roche en tenant compte de l'effet de la porosité. (**Note** - Si vous n'avez pas pu répondre à la question a), supposez que chaque minéral est présent à 2 % et que la gangue représente 92 %).

Question 5 (10 pts) – Dégrouper des données de forages

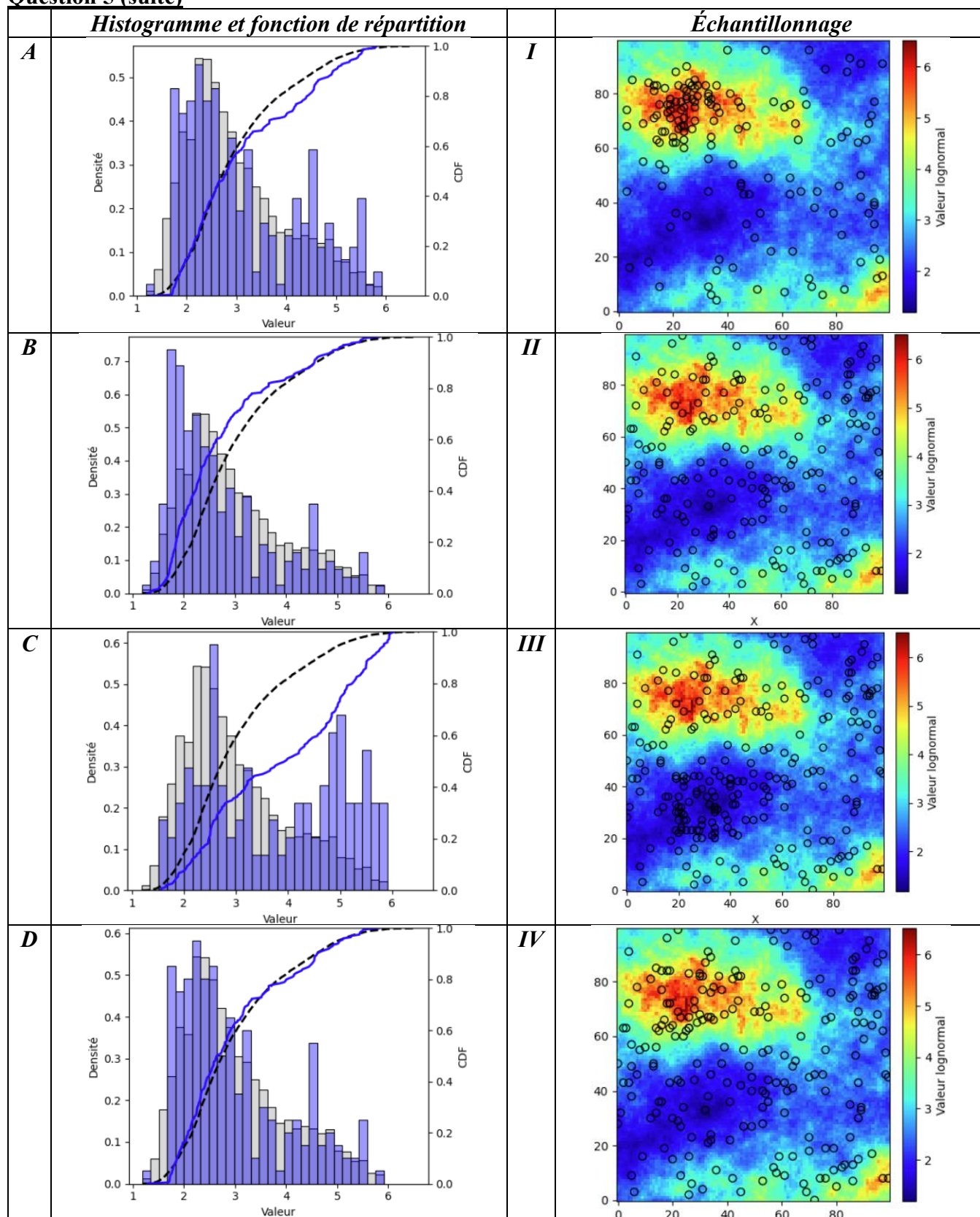
8 pts A) La figure de la page suivante illustre quatre échantillonnages distincts d'un même gisement. Complétez le tableau en associant les statistiques appropriées à chacun des gisements représentés.

Histogramme et fonction de répartition	Échantillonnage
	<i>I</i>
	<i>II</i>
	<i>III</i>
	<i>IV</i>

2 pts B) À partir des statistiques de dégroupement suivantes, quelle devrait être la taille de cellule à retenir pour assurer un bon dégroupement lié au suréchantillonnage des fortes valeurs ? Justifiez votre réponse.



Question 5 (suite)



Question 6 (10) – Assurance Qualité / Contrôle Qualité (QA/QC)

Le contrôle de qualité des analyses géochimiques dans une mine est un élément essentiel de l'estimation des ressources. La procédure de préparation du laboratoire principal comprend deux étapes de sous-échantillonnage : 1 mm et 80 microns (poudre). Les analyses portent sur la teneur des demi-carottes.

On observe plusieurs utilités possibles des contrôles de qualité :

- **A** – Déterminer la variation totale (manque de précision incluant la variabilité spatiale à très courte distance ainsi que celle due à la préparation et à l'analyse).
- **B** – Détecter un problème éventuel de calibration (biais) de l'appareil d'analyse.
- **C** – Identifier une contamination entre échantillons.
- **D** – Évaluer le manque de précision de l'ensemble de la procédure de préparation.
- **E** – Mettre en évidence un biais causé par la méthode de préparation des échantillons.
- **F** – Évaluer le manque de précision lié au sous-échantillonnage de la poudre et à son analyse.

Consignes :

Pour chaque élément de contrôle du tableau ci-dessous, indiquez l'utilité principale en choisissant **une seule lettre** parmi A à F. Une même lettre peut être associée à plusieurs éléments, et certaines lettres peuvent ne pas être utilisées.

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 7 (10 pts) – Rapport technique NI-43-101

Définissez, **avec vos propres mots**, ce que l'on entend par ressources inférées, indiquées et mesurées, ainsi que par réserves probables et prouvées dans un rapport technique NI 43-101. Vous **devez** vous appuyer sur une illustration; de la place est prévue à la page suivante.

Ressources Inférées -

Ressources Indiquées –

Ressources Mesurées -

Réserves Probables -

Réserves Prouvées -

Question 7 (suite)

Illustration –

Notes :

1. Vous répondez sur le questionnaire.
2. *Utilisez le verso au besoin et écrivez lisiblement*
3. Fournir le détail des calculs et justifier vos réponses lorsque requis. Ne pas oublier d'indiquer les unités.
4. Les justifications nécessitent généralement **une à deux phrases**.
5. *Le professeur et les surveillants ne répondent à aucune question durant l'examen.* En cas de doute, indiquez votre interprétation.
6. Deux feuilles recto-verso d'aide-mémoire sont permises.
7. Toute calculatrice permise.

L'examen comprend 7 questions totalisant 100 points et réparties sur 17 pages.

Dans l'ordre : Q1-20 pts, Q2-15 pts, Q3-20 pts, Q4-10 pts, Q5-10 pts, Q6-15 pts, Q7-10 pts

Nom de l'étudiant : _____

Signature : _____ **Matricule :** _____

Question 1 (20 pts) – Théorie de Lane et Taylor

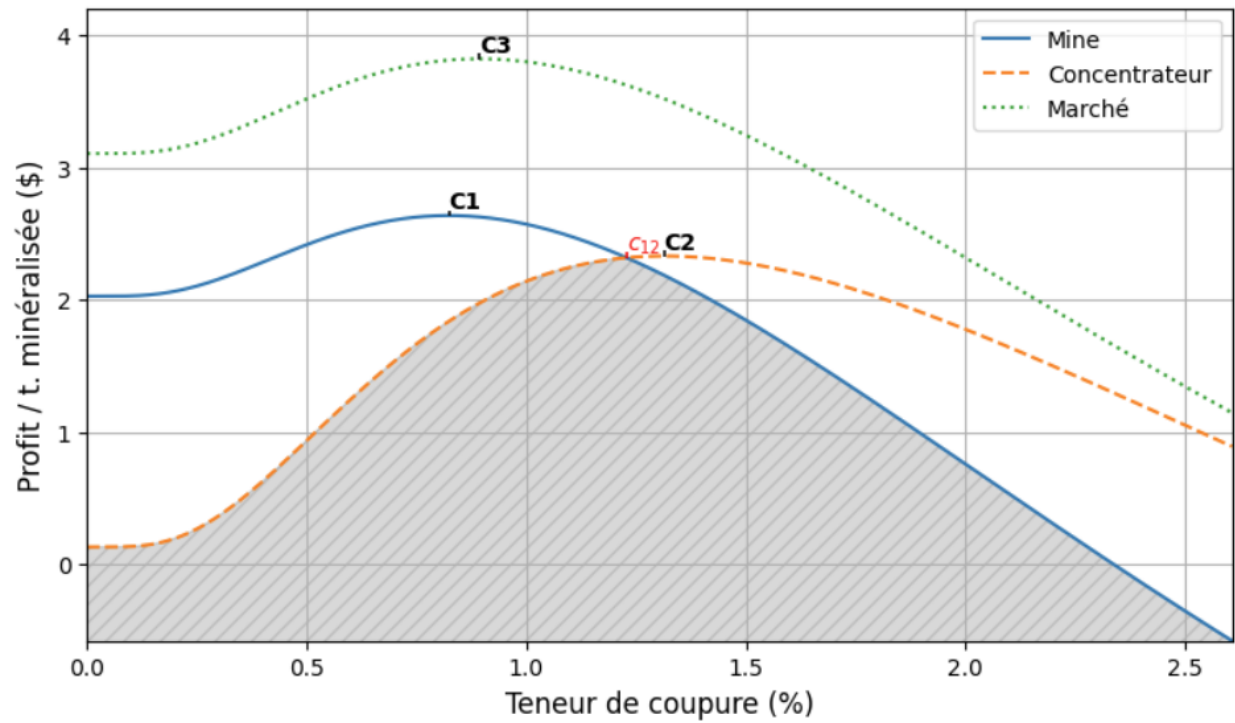
Une mine présente un tonnage total de 200 Mt de matériaux minéralisés. Les paramètres d'exploitation, ainsi que les prix et les coûts associés selon la théorie de Lane et Taylor, sont les suivants :

Paramètres	Symboles	Valeurs
Prix du métal	p	3 000\$/t
Coût de mise en marché	k	2 000\$/t
Taux de récupération	y	0.85
Coûts de minage	m	4\$/t minéralisée
Coûts de traitement	h	7\$/t minerai
Coûts fixes	f	25 M\$/an
Coût d'opportunité	F	0\$/an
Capacité de minage	M	11 Mt minéralisée/an
Capacité de traitement (concentrateur)	H	6 Mt minerai/an
Capacité du marché (fonderie)	K	0.32 Mt /an

La figure suivante illustre les courbes de Lane et Taylor calculées avec ces paramètres. On suppose qu'un excellent estimat

eur, à la fois très précis et sans biais conditionnel, est disponible. On suppose également que le minerai initialement délaissé demeure accessible pour une exploitation future.

à



Type de coupure	Teneur	Profit associé	Remarque
Limite C1	0.82 %	2.64 \$	Mine
Limite C2	1.31 %	2.33 \$	Concentrateur
Limite C3	0.89 %	3.82 \$	Marché
Équilibre C1-C2	1.23 %	2.32 \$	Équilibre

Question 1 (suite)

2 pts A) *Quelle est la teneur de coupure optimale? Et à quoi correspond-elle (teneur de coupure limite ou d'équilibre)?*

(1pt) La nature est de type Équilibre mine-concentrateur.

(1pt) La teneur de coupure optimale est de 1.23%

2 pts B) *Quel profit annuel est généré par cette mine?*

(1pt) Il suffit de multiplier le profit $v1$ par M , car nous sommes à la limite mine-concentrateur

*(1pt) $2.32 * 11 = 25.52$ M\$/an*

4 pts C) *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, sans faire de calcul.***

(1pt) On note que $c1$ fournit des profits de 2.64\$/t

(1pt) On note que $c2$ fournit des profits de 2.33\$/t.

(2pt) Ainsi, il semble évident que l'on doit augmenter notre capacité de traitement (H) afin que le limitant soit la mine, car celui-ci donne plus de profit.

4 pts D) *Sur l'ensemble de la durée de vie de la mine, combien sommes-nous prêts à investir pour augmenter la capacité identifiée à la question C ? Supposez que la nature identifiée en A demeure inchangée tout au long de l'exploitation.*

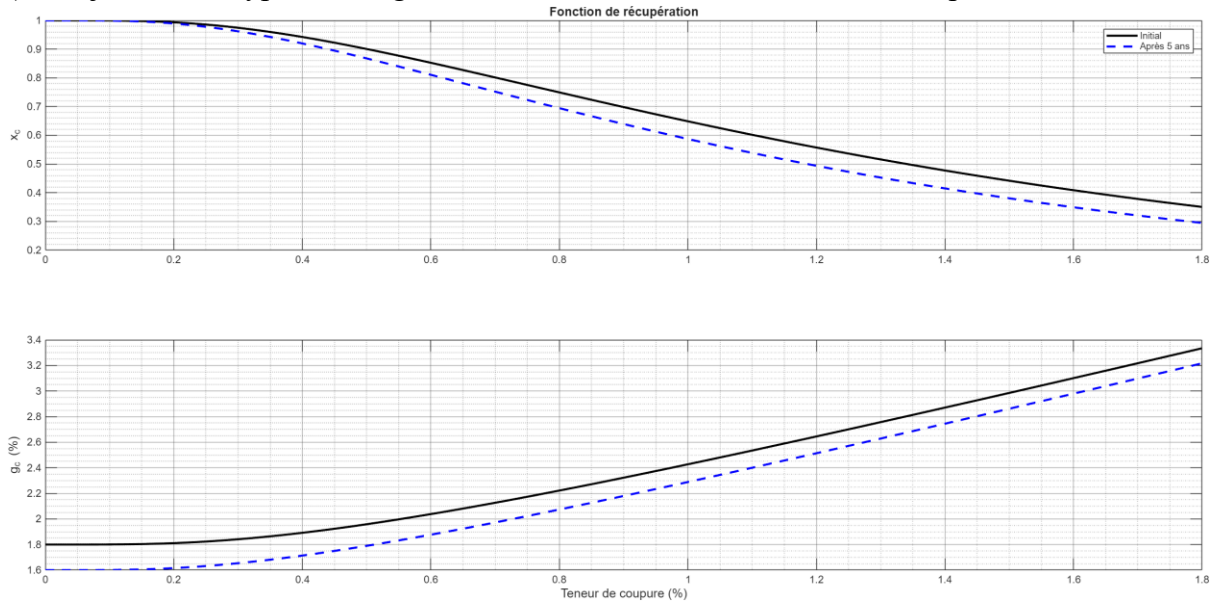
(2pts) On doit faire la soustraction de $c1-c2$ soit $2.64-2.32=0.32$ \$/t.

*(1pts) Le tonnage de la mine est de 200Mt, donc on aura 0.32 \$/t * 200Mt = 64M\$ de profit supplémentaire.*

(1pt) Si l'augmentation de la capacité du traitement coûte moins de 64M\$, nous sommes prêts à faire l'investissement.

Question 1 (suite)

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 1.4% (initialement 1.8%) et une variance de $1.8\%^2$ (initialement $2.6\%^2$). Toujours sous hypothèse lognormale, l'on obtient les fonctions de récupération suivantes :



6 pts E) 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 nature que dans la question 1-A).

(1pt) Comme la nature reste la même, on a que $xc = H/M = 6/11 = 0.5454$.

(1pt) Lecture graphique sur la ligne bleue pointillée – on a $c = 1.075$

(1pt) Lecture graphique, sur la ligne bleue pointillée – on a pour $c = 1.075$, $gc = 2.38$

(2pt) $vI = (p-k) xc gc y - m - xc h - (f+F)/M = (3000-2000)*0.5454*2.38/100*0.85 - 4 - 0.5454 * 7 - 25/11 = 0.94 \$/t \pm 0.05 \$/t$

2 pts F) Un suivi des teneurs des blocs minés a permis d'établir l'équation de régression suivante : $E[Z_v|Z_v^*] = 0.012 + 0.989Z_v^*$. Que peut-on conclure?

(1pt) Il y a un léger biais conditionnel

(1pt) Celui-ci est négligeable et ne devrait pas créer de problème significatif dans la théorie de Lane et Taylor

Question 2 (15 pts) – Théorie de Gy

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 (CuFeS_2). La masse de la demi-carotte est de 10 kg. La masse volumique de la gangue est 3 g/cm^3 , celle de la chalcoppyrite 4.1 g/cm^3 . 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 $f = 0.5$ et $g = 0.25$.

4 pts A) 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.

$$al = 0.005 / 0.35 = .0143$$

$$(1 - al) / al = 69$$

$$(1 - al)da + al * dg = (1 - .0143) * 4.1 + .0143 * 3 = 4.084 \text{ g/cm}^3$$

$$l = (0.2 / 0.5)^{1/2} = 0.6325$$

$$K = 69 * 4.084 * 0.5 * 0.25 = 35.22$$

$$M_e = \left(\frac{s_r^2}{K l d^3} + \frac{1}{M_L} \right)^{-1} = \left(\frac{0.01^2}{35.22 * 0.6325 * 0.5^3} + \frac{1}{10000} \right)^{-1} = 7357 \text{ g}$$

5 pts B) 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?

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 :

$$d = \left(\frac{s_r^2}{K \left(\frac{1}{M_e} - \frac{1}{M_L} \right)} \right)^{1/3} = \left(\frac{0.01^2}{35.22 \left(\frac{1}{1000} - \frac{1}{10000} \right)} \right)^{1/3} = 0.15 \text{ cm}$$

Comme la réponse est inférieure à $< 0.2 \text{ cm}$, on a pris la bonne formule.

Question 2 (suite)

2 pts C) Si le minéral fournissant le 0.5% de Cu était la chalcocite (Cu_2S) plutôt que la chalcopyrite (CuFeS_2), aurait-on les mêmes réponses? Justifier sans faire de calcul.

(1pt) Non. Comme le minéral d'intérêt change, la teneur de celui-ci, sa densité changent aussi et sa taille de libération change. (1pt par raison mentionné, max 2pts)

2 pts D) Si la teneur du lot est en réalité supérieure à 0.5% Cu, est-ce que l'écart-type relatif réellement obtenu sera supérieur, égal ou inférieur à celui calculé avec l'abaque? Justifiez.

(1pt) Il serait inférieur, car plus la teneur du lot est élevée, plus la variance relative est faible (2pt). Il suffit de regarder l'équation.

2 pts E) 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? Justifiez.

(2pt) Pour ne pas avoir un biais d'échantillonnage envers les petites particules. Échantillonnage représentatif du lot.

Question 3 (20 pts) – Sondages et composites

Vous êtes ingénieur(e) CPI en estimation des ressources au sein de l'équipe du projet NioVar, qui explore une veine de niobium dans le nord du Québec. On vous confie une section de la base de données de forage ci-dessous.

Forage F-12

- Collet : (50, 60, 20)
- Orientation au départ (0 m) : azimut = 255°, plongée = 60°
- Orientation à 60 m : azimut = 275°, plongée = 75°

Analyse	De (m)	À (m)	Longueur (m)	Nb (%)
1	74.00	75.20	1.20	0.42
2	75.20	76.00	0.80	0.58
3	76.00	77.50	1.50	N/A
4	77.50	78.00	0.50	1.05
5	78.00	79.80	1.80	0.73
6	79.80	82.00	2.20	N/A
7	82.00	83.50	1.50	2.01
8	83.50	85.00	1.50	1.20
9	85.00	86.00	1.00	0.95

4 pts A) Votre superviseur vous demande de préparer des composites de 3 m entre 74 m et 86 m de profondeur. Un composite est considéré comme valide seulement si au moins 2/3 des carottes sont analysées. Identifiez les composites valides et calculez leurs teneurs en Nb.

1pt pour chaque composite

1) $(1.2 \times 0.42 + 0.8 \times 0.58) / 2 = 0.48$

2) $(0.5 \times 1.05 + 1.8 \times 0.73) / 2.3 = 0.80$

3) N/A, recouvrement de 50%

4) $(0.5 \times 2.01 + 1.5 \times 1.20 + 1 \times 0.95) / 3 = 1.25$

Question 3 (suite)

7 pts B) Pour la modélisation 3D, vous devez attribuer des coordonnées (x, y, z) aux composites. Calculez **les coordonnées du centre du composite le plus profond** à l'aide de la méthode du point milieu.

(1pt) On cherche à localiser le point à 84.5m soit le centre du composite allant de 83m à 86m.

*(1pt) Station 1 (M1=0.0): azimuth=255.0°, inclinaison=60.0°
→ cos_dir = (lx=-0.4830, ly=-0.1294, lz=-0.8660)*

*(1pt) Station 2 (M2=60.0): azimuth=275.0°, inclinaison=75.0°
→ cos_dir = (lx=-0.2578, ly=0.0226, lz=-0.9659)*

(1pt) L1 = 30m et L2 = 30m + (84.5-60) = 54.5 m

*(1pt) $x = x_0 + L_1 l_{x1} + L_2 l_{x2} = 50 + 30 * -0.4830 + 54.5 * -0.2578 = 21.46m$*

*(1pt) $y = y_0 + L_1 l_{y1} + L_2 l_{y2} = 60 + 30 * -0.1294 + 54.5 * 0.0226 = 57.35m$*

*(1pt) $z = z_0 + L_1 l_{z1} + L_2 l_{z2} = 20 + 30 * -0.8660 + 54.5 * -0.9659 = -58.62m$*

Question 3 (suite)

7 pts C) Le forage F-12 a intersecté la veine minéralisée à 74 m. Les coordonnées (x,y,z) de ce point sont approximativement (24.17, 57.11, -48.48). Cette veine minéralisée a été observé en surface, et les géologues ont mesurés, par **convention géologique**, un azimuth de 230° et un pendage de 40°. On vous demande d'évaluer si le nouveau forage F-15, dont le collet est situé en (40, 50, 25) et orienté selon un azimuth de 30° et une plongée de 50°, intersectera la veine. Si oui, à quelle distance du collet aura lieu l'intersection ?

(1pt) Vecteur pole : $n=(140,50)=(230+270-360, 90-40)$ ou la convention géologique est $vg=(230,40)$

(2pt) $n=[0.4132 \quad -0.4924 \quad -0.7660]$

(2pt) $s=[0.3214 \quad 0.5567 \quad -0.7660]$

(1pt) $(p0-s0) = [-15.8300 \quad 7.1100 \quad -73.4800]$

(1pt) $e = (n*(p0-s0))' ./ (n*s') = 103.81m$

2 pts D) On vous confie ensuite la tâche de proposer une orientation optimale pour que le forage F-15 (collet : 40, 50, 25) intersecte la veine le plus rapidement possible. Indiquez l'azimut et la plongée, et estimez la distance jusqu'au croisement.

(1pt) Posez $s=n$;

(1pt) $e = (n*(p0-s0))' ./ (n*n') = 46.24m$

Question 4 (15 pts) - Analyse chimique

Une roche d'un gisement montre une teneur de 4% de Cu, 2% de Pb, 2% Fe et 5% S. Le Cu est contenu uniquement dans la bornite (Cu_5FeS_4 ; 63.3% Cu, 11.1% Fe, 25.6% S; densité de 5.1) et le Pb uniquement dans la galène (PbS ; 86.6% Pb, 13.4% S; densité de 7.5). On retrouve aussi de la pyrite (FeS_2 ; 46.5% Fe, 53.5% S; densité 5.0). Malheureusement, le Ba n'a pas été analysé dans la roche, mais l'analyse de la gangue indique la possible présence de Ba. Le Ba est uniquement présent dans la barite (BaSO_4 ; 58.84% Ba, 13.74% S, 27.42% O; densité de 4.5). La densité de la gangue est 3.2. La gangue ne contient aucun des éléments chimiques analysés. La porosité de la roche est 3%.

10 pts A) Construire et résoudre le système d'équations linéaires permettant de déterminer les teneurs en pyrite, bornite, barite, galène et gangue. (Note: on peut résoudre le système sans à avoir à inverser la matrice.)

$$\begin{pmatrix} \text{Cu} \\ \text{Pb} \\ \text{Fe} \\ \text{S} \\ \text{Fermeture.} \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 63.3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 86.6 & 0 \\ 46.5 & 11.1 & 0 & 0 & 0 \\ 53.5 & 25.6 & 13.74 & 13.4 & 0 \\ 100 & 100 & 100 & 100 & 100 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{Pyrite} \\ \text{Bornite} \\ \text{Barite} \\ \text{Galène} \\ \text{gangue} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 \\ 2 \\ 2 \\ 5 \\ 100 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \text{Pyrite} \\ \text{Bornite} \\ \text{Barite} \\ \text{Galène} \\ \text{gangue} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.79 \\ 6.32 \\ 11.52 \\ 2.31 \\ 77.05 \end{pmatrix}$$

Après avoir construit le système linéaire, on constate que les deux premières lignes sont simples à résoudre. À noter que l'on ne peut utiliser la barite, car nous ne connaissons pas la quantité de barite dans la gangue, donc la valeur n'existe pas.

On a $63.3\% \times \text{Bornite} = 4\% \text{ Cuivre}$ ce qui implique $\text{Bornite} = 4\% \text{ Cu} / 63.3\% \text{ Cu/Bornite} = 0.0632$ Bornite soit 6.32% de Bornite.

On a $86.6\% \times \text{Galène} = 2\% \text{ Pb}$ ce qui implique $\text{Galène} = 2\% \text{ Cu} / 86.6\% \text{ Pb/Galène} = 0.0231$ Galène soit 2.31% de Galène.

On a $46.5 \times \text{Pyrite} + 11.1 \times \text{Bornite} = 2\% \text{ Fe}$ ce qui implique $\text{Pyrite} = (2\% \text{ Fer} - 11.1\% \times 6.32\%) / 46.5\% = 0.0279$ Pyrite soit 2.79% Pyrite

On a $53.5 \text{ pyrite} + 25.6 \text{ Bornite} + 58.8 \text{ Barite} + 13.4 \text{ Galène} = 5$, donc $\text{Barite} = (5 - 53.5 \text{ Pyrite} - 25.6 \text{ Bornite} - 13.4 \text{ Galène}) / 58.8 = 5 - 53.5 \times 2.79 / 100 - 25.6 \times 6.32 / 100 - 13.4 \times 2.31 / 100 / 13.74 = 11.52\%$ de Barite

Question 4 (suite)

5 pts B) Déterminez la masse volumique de la roche en tenant compte de l'effet de la porosité. (**Note** - Si vous n'avez pas pu répondre à la question a), supposez que chaque minéral est présent à 2 % et que la gangue représente 92 %).

On pose 100g et on calcul le volume de chaque minéral à partir des densité.

$$\rho_{th} = 100 / \sum \left(\begin{pmatrix} 2.79 \\ 6.32 \\ 11.52 \\ 2.31 \\ 77.05 \end{pmatrix} ./ \begin{pmatrix} 5 \\ 5.1 \\ 4.5 \\ 7.5 \\ 3.2 \end{pmatrix} \right) = 3.4791$$

$$\rho = (1 - n)\rho_{th} = (1 - 0.03) * 3.4791 = 3.3747$$

Sinon

$$\rho_{th} = 100 / \sum \left(\begin{pmatrix} 2 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \\ 92 \end{pmatrix} ./ \begin{pmatrix} 5 \\ 5.1 \\ 4.5 \\ 7.5 \\ 3.2 \end{pmatrix} \right) = 3.3054$$

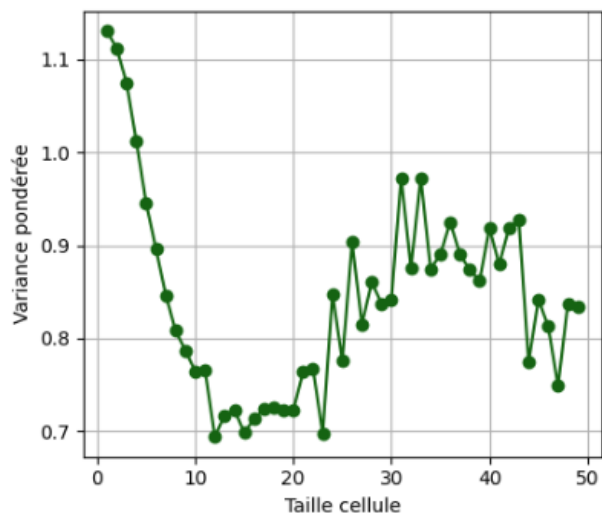
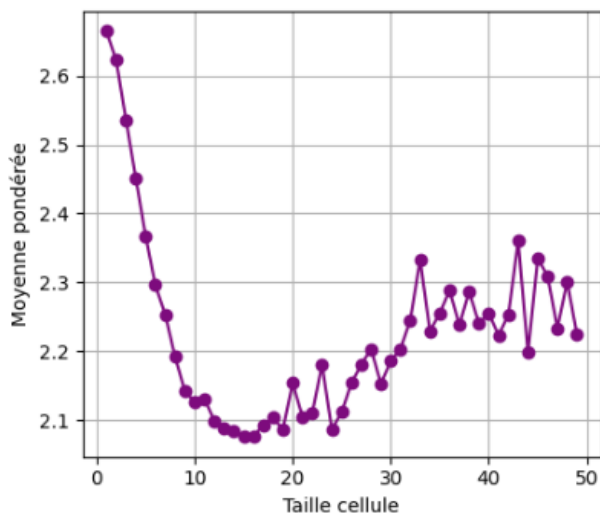
$$\rho = (1 - n)\rho_{th} = (1 - 0.03) * 3.3695 = 3.2063$$

Question 5 (10 pts) – Dégrouper des données de forages

8 pts A) La figure de la page suivante illustre quatre échantillonnages distincts d'un même gisement. Complétez le tableau en associant les statistiques appropriées à chacun des gisements représentés.

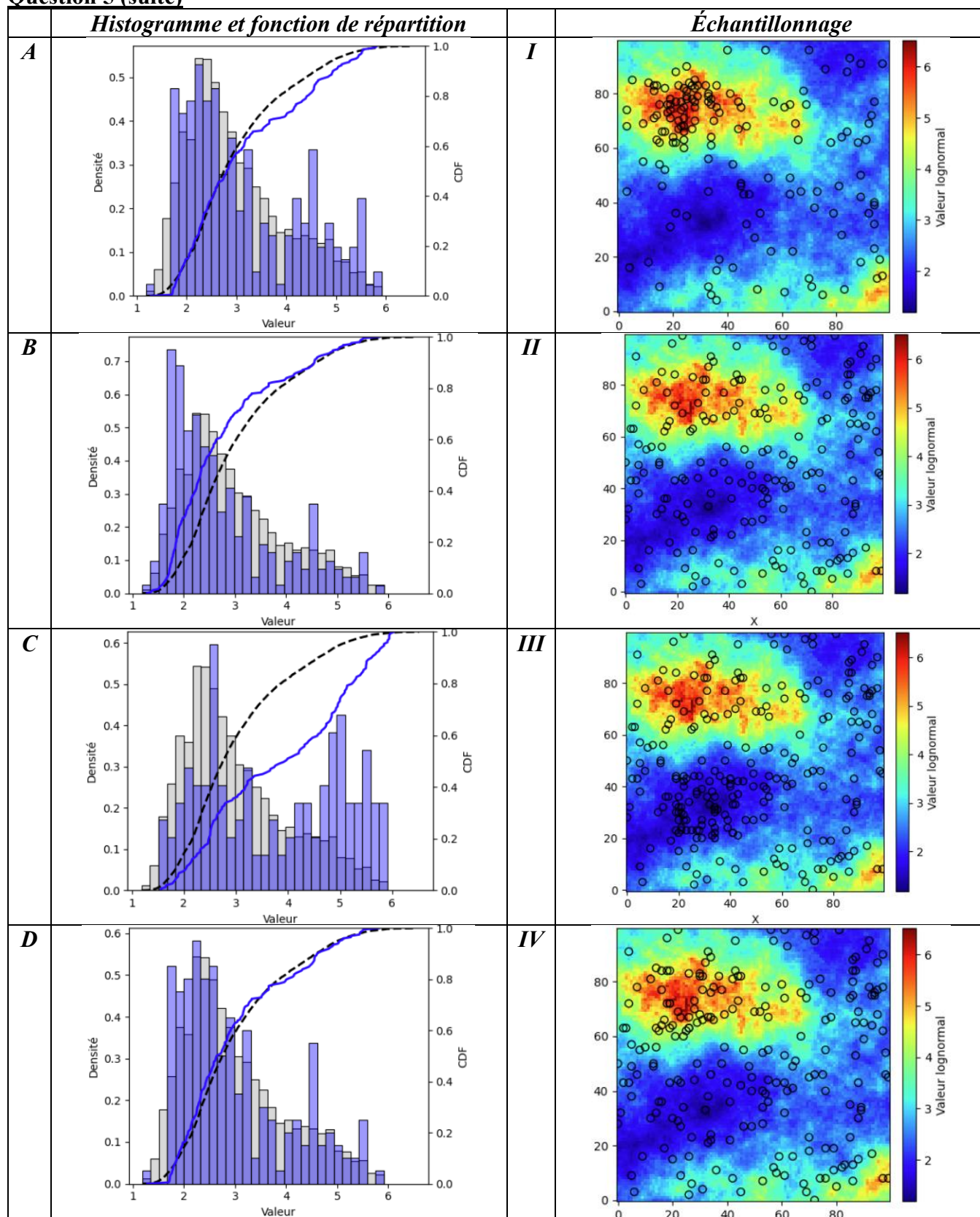
Histogramme et fonction de répartition	Échantillonnage
<i>C</i>	<i>I</i>
<i>D</i>	<i>II</i>
<i>B</i>	<i>III</i>
<i>A</i>	<i>IV</i>

2 pts B) À partir des statistiques de dégroupement suivantes, quelle devrait être la taille de cellule à retenir pour assurer un bon dégroupement lié au suréchantillonnage des fortes valeurs ? Justifiez votre réponse.



(1 pt) Environ 15 pixels. (1 pt) À cette taille, on obtient la moyenne la plus basse ainsi que la variance la plus faible. Dans le cas d'un suréchantillonnage, la moyenne est généralement trop élevée et la variance trop importante. Il est donc naturel de chercher à les réduire.

Question 5 (suite)



Question 6 (10) – Assurance Qualité / Contrôle Qualité (QA/QC)

Le contrôle de qualité des analyses géochimiques dans une mine est un élément essentiel de l'estimation des ressources. La procédure de préparation du laboratoire principal comprend deux étapes de sous-échantillonnage : 1 mm et 80 microns (poudre). Les analyses portent sur la teneur des demi-carottes.

On observe plusieurs **utilités possibles des contrôles de qualité** :

- **A** – Déterminer la variation totale (manque de précision incluant la variabilité spatiale à très courte distance ainsi que celle due à la préparation et à l'analyse).
- **B** – Détecter un problème éventuel de calibration (biais) de l'appareil d'analyse.
- **C** – Identifier une contamination entre échantillons.
- **D** – Évaluer le manque de précision de l'ensemble de la procédure de préparation.
- **E** – Mettre en évidence un biais causé par la méthode de préparation des échantillons.
- **F** – Évaluer le manque de précision lié au sous-échantillonnage de la poudre et à son analyse.

Consignes :

Pour chaque élément de contrôle du tableau ci-dessous, indiquez l'utilité principale en choisissant **une seule lettre** parmi A à F. Une même lettre peut être associée à plusieurs éléments, et certaines lettres peuvent ne pas être utilisées.

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

Question 7 (10 pts) – Rapport technique NI-43-101

Définissez, **avec vos propres mots**, ce que l'on entend par ressources inférées, indiquées et mesurées, ainsi que par réserves probables et prouvées dans un rapport technique NI 43-101. Vous **devez** vous appuyer sur une illustration; de la place est prévue à la page suivante.

Ressources Inférées -

(2pts) Ressources inférées : elles reposent sur des données limitées (forages espacés, peu de contrôle géologique). Elles donnent une idée du potentiel du gisement, mais avec une forte incertitude.

Ressources Indiquées –

(2pts) Ressources indiquées : elles sont appuyées par davantage de données (forages plus rapprochés, meilleure compréhension de la géologie). L'estimation est plus fiable et permet certaines évaluations économiques préliminaires.

Ressources Mesurées -

(2pts) Ressources mesurées : elles sont fondées sur un grand nombre de données de qualité, bien distribuées. Le degré de confiance est très élevé et ces ressources peuvent servir directement à planifier l'exploitation minière.

Réserves Probables -

(2pts) Les réserves minérales probables constituent la partie économiquement exploitable des ressources minérales indiquées et, dans certains cas, mesurées. Le degré de confiance accordé aux facteurs modificateurs s'appliquant à une réserve minérale probable est inférieur à celui s'appliquant à une réserve minérale prouvée.

Réserves Prouvées -

(2pts) Les réserves minérales prouvées constituent la partie économiquement exploitable des ressources minérales mesurées. Une réserve minérale prouvée implique un degré de confiance élevé dans les facteurs modificateurs.

Question 7 (suite)

Figure –

