



POLYTECHNIQUE
MONTRÉAL

Questionnaire examen final

GLQ3401

Sigle du cours

Identification de l'étudiant(e)		
Nom :	Prénom :	
Signature :	Matricule :	Groupe :

Sigle et titre du cours			
GLQ3401 : Géostatistique et géologie minières			
Chargé de cours	Téléphone	Groupe	Trimestre
Dany Lauzon	N/A	1	A22

Jour	Date	Durée	Heures
Mercredi	14 décembre	2h30	13h30 à 16h00

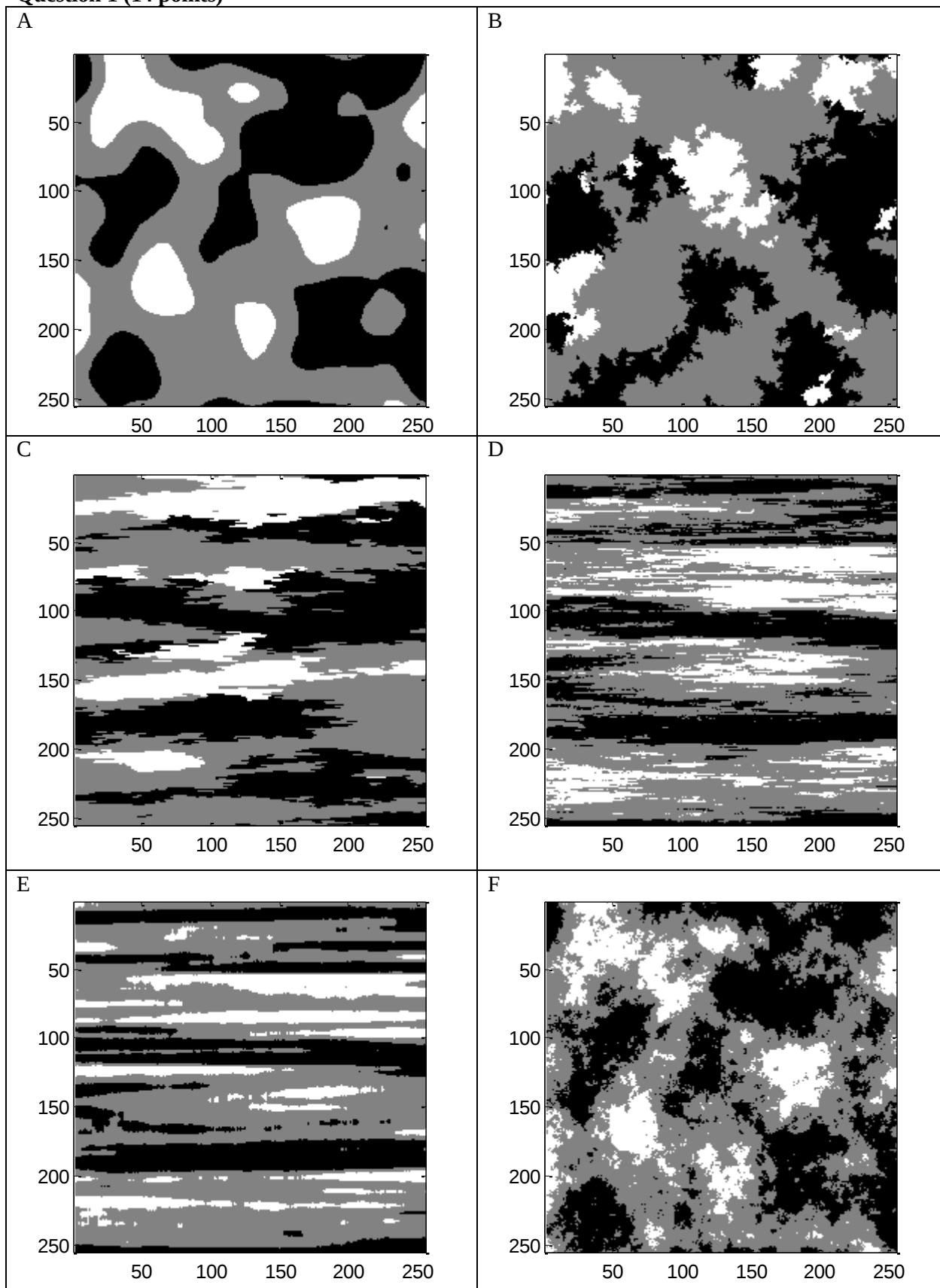
Documentation	Calculatrice	Outils électroniques
☐ Aucune ☐ Toute ☒ Voir directives particulières	☐ Aucune ☒ Toutes ☐ Non programmable (AEP)	Les appareils électroniques personnels sont interdits.

Directives particulières
- Le professeur ne répondra à aucune question durant cet examen. Si vous estimez que vous ne pouvez pas répondre à une question pour diverses raisons, veuillez le justifier puis passer à la question suivante. - Documentation permise : 2 feuilles resto-verso, format lettre (8 ½ par 11), manuscrites ou imprimées. - Répondre sur le questionnaire, utiliser le verso au besoin. - Indiquer le détail des calculs et justifier vos réponses

Important	Cet examen contient 8 questions sur un total de 17 pages (excluant cette page).
	La pondération de cet examen est de 25 %
	Vous devez répondre sur : ☒ le questionnaire ☐ le cahier ☐ les deux
	Vous devez remettre le questionnaire : ☒ oui ☐ non

Réservé
Q1:
Q2:
Q3:
Q4:
Q5:
Q6:
Q7:
Q8:
Total:

L'étudiant doit honorer l'engagement pris lors de la signature du code de conduite.

Question 1 (14 points)

Question 1 (suite)

6pts a) Complétez le tableau suivant en marquant d'un X, pour chaque image identifiée de A à F, les énoncés qui s'appliquent. (Aide : chaque colonne devrait avoir deux X au total)

Énoncé	A	B	C	D	E	F
L'image est obtenue par la méthode de simulation séquentielle d'indicatrices						
L'image est obtenue par la méthode « variable gaussienne tronquée »						
Le variogramme utilisé est gaussien isotrope						
Le variogramme utilisé est sphérique isotrope						
Le variogramme utilisé est gaussien anisotrope						
Le variogramme utilisé est sphérique anisotrope						

2pts b) Dans un modèle gaussien tronqué, quelles proportions de facies F1, F2 et F3 seront simulées théoriquement si l'on adopte les seuils $c_1 = -0.2$ et $c_2 = 1.1$ pour une variable $N(0,1)$ simulée ?

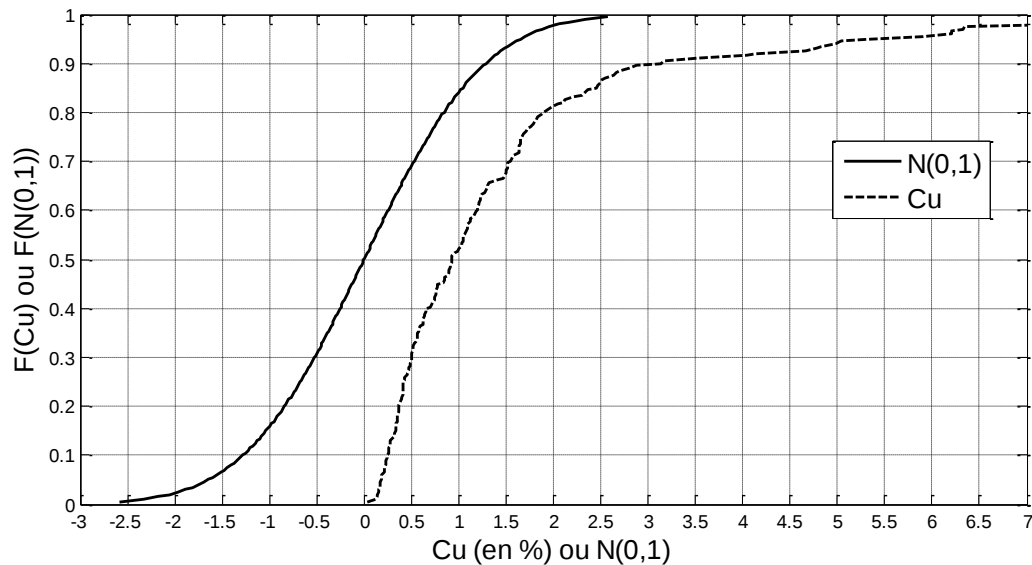
Question 1 (suite)

3pts c) *À quoi sert l'échantillonneur de Gibbs? Décrire succinctement l'idée et les étapes de l'algorithme.*

3pts d) *L'échantillonneur de Gibbs a tendance à converger très lentement lorsqu'il y a beaucoup de données à simuler, disons plus de 100 000 données. Quelle méthodologie peut-on utiliser pour pallier la faiblesse de l'échantillonneur de Gibbs ? Décrire brièvement l'idée et les étapes de cette méthode.*

Question 2 (12 points)

On effectue une simulation des teneurs de Cu (en %) d'un gisement par méthode séquentielle gaussienne (SGS). La teneur en Cu n'étant pas distribuée suivant une loi normale, on doit au préalable procéder à une transformation gaussienne (voir figure). À une certaine étape de l'algorithme, on effectue le krigeage simple de la variable gaussienne au point x_0 et l'on obtient une valeur krigée de 0.8 et un écart-type de krigeage de 0.3. On appelle le générateur de nombres aléatoires (distribution uniforme entre 0 et 1) et celui-ci retourne la valeur 0.70.



4pts a) Quelle valeur gaussienne ($N(0,1)$) sera simulée au point x_0 ?

2pts b) Quelle teneur de Cu sera simulée en ce même point ?

Question 2 (suite)

2pts c) Lorsque le nombre de données simulées est prohibitif, la méthode séquentielle gaussienne (SGS) devient inapplicable. Pourquoi ?

2pts d) Proposez une solution afin de rendre applicable la méthode SGS à un très grand nombre de données simulées?

2pts e) En appliquant votre solution de la question d): est-ce que la moyenne des variogrammes expérimentaux des réalisations (disons 1000 réalisations) reproduira le variogramme théorique ? Justifiez.

Question 3 (14 points)

On simule une variable Z en 4 emplacements par la méthode de décomposition de Cholesky. Les emplacements sont placés dans l'ordre 1, 2, 3, 4 dans la matrice de covariance. La matrice L obtenue est la suivante :

$$L = \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 3 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 3 \end{bmatrix}$$

2pts a) Quelle est la covariance entre les variables aléatoires Z correspondant aux 3^e et 4^e emplacements ?

2pts b) Quelle est la variance non-conditionnelle au 3^e ? au 4^e emplacements?

2pts c) Selon votre réponse en b), est-ce que l'hypothèse de stationnarité du second ordre est respectée ? Justifiez.

3pts d) On a observé $Z_1=1$. Exprimez Z_3 et Z_4 sous la forme $a + b Y_2 + c Y_3 + d Y_4$.

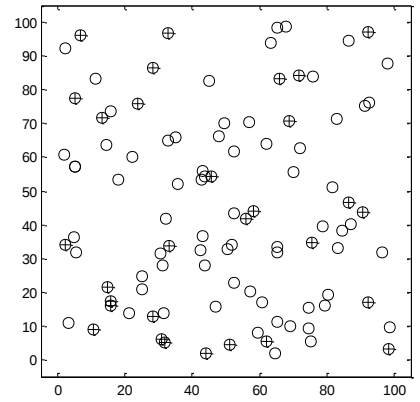
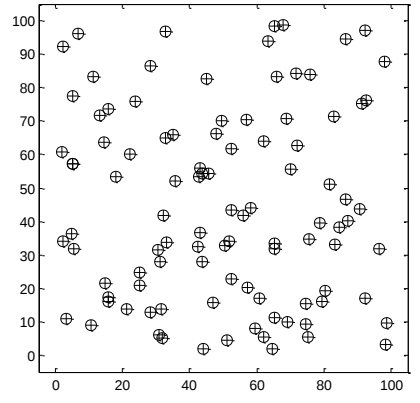
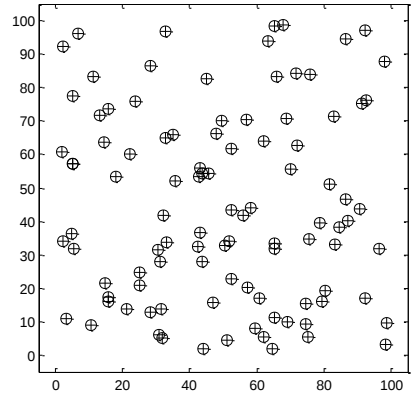
Question 3 (suite)

3pts e) Déduisez de l'expression en d) la covariance (conditionnelle à Z_1) entre les variables aléatoires Z_3 et Z_4 .

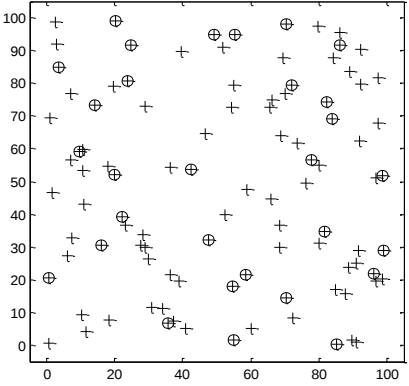
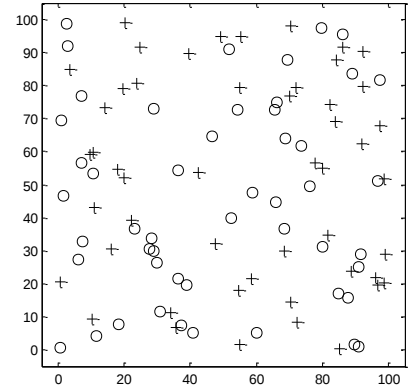
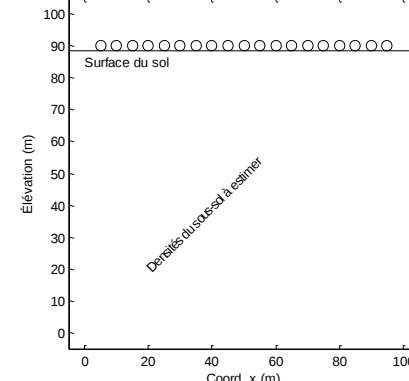
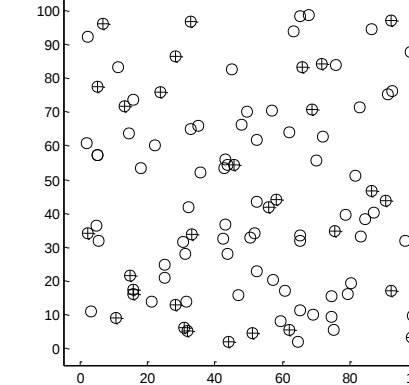
2pts f) On a généré le vecteur aléatoire $Y = [Y_2 \ Y_3 \ Y_4] = [-1.25 \ 0.48 \ -0.19]$. Que valent Z_3 et Z_4 (conditionnelle à Z_1)?

Question 4 (14 points)

Chaque cas (A à G) présente le modèle de covariance et la localisation des données. Z est la variable principale (les +) et Y la variable secondaire (les o). (Note : $\delta(h) = 1$ si $|h| = 0$, et 0 si $|h| > 0$)

Cas	Modèle de covariance	Localisation
A	Modèle linéaire de corégionalisation $C(h) = \begin{bmatrix} 1.2 & 0 \\ 0 & 0.3 \end{bmatrix} \delta(h) + \begin{bmatrix} 7.1 & 1.3 \\ 1.3 & 10.2 \end{bmatrix} \text{Sphér. (a=50 m)}$	
B	Z(x,y) a un variogramme de type gaussien , $a_{\text{effectif}} = 100$ m. $Y(x,y) = \frac{\partial Z(x,y)}{\partial(x)}$ les covariances $C_{YY}(h)$ et $C_{ZY}(h)$ sont calculées en tenant compte de cette relation.	
C	Modèle linéaire de corégionalisation $C(h) = \begin{bmatrix} 7.1 & 8.1 \\ 8.1 & 10.2 \end{bmatrix} \text{Sphér. (a=50 m)}$	

Question 4 (suite)

D	Modèle linéaire de corégionalisation $C(h) = \begin{bmatrix} 1.1 & 0.3 \\ 0.3 & 0.5 \end{bmatrix} \delta(h) + \begin{bmatrix} 6.9 & 7.9 \\ 7.9 & 9.2 \end{bmatrix} \text{Sphér. (a=75 m)}$	
E	Modèle linéaire de corégionalisation $C(h) = \begin{bmatrix} 1.1 & 0.3 \\ 0.3 & 0.5 \end{bmatrix} \delta(h) + \begin{bmatrix} 6.9 & 7.9 \\ 7.9 & 9.2 \end{bmatrix} \text{Sphér. (a=75 m)}$	
F	Z est le contraste de densité de blocs Y est l'anomalie gravimétrique mesurée en surface La relation physique liant la gravité aux densités est entièrement considérée dans le modèle de corégionalisation, c.-à-d. $Y=GZ \Rightarrow C_{YY} = GC_{ZZ}G^T$ et $C_{YZ} = GC_{ZZ}$	
G	$C(h) = \begin{bmatrix} 7.1 & 8.6 \\ 8.6 & 10.2 \end{bmatrix} \text{Sphér. (a=50 m)}$	

Question 4 (suite)

Complétez le tableau suivant en indiquant O (oui) ou N (non) selon que l'énoncé s'applique ou non au cas considéré (A à G). Vous pouvez apporter des justifications à vos réponses sous le tableau si vous le désirez. Une bonne réponse vaut 0.5 point, une mauvaise réponse vaut -0.2 point et une absence de réponse vaut 0 point.

	Cas						
Énoncé	A	B	C	D	E	F	G
Selon le <u>modèle décrit</u> , le cokrigeage devrait améliorer <u>notablement</u> l'estimation par rapport au krigeage (note : pour pouvoir répondre oui, il faut d'abord que le modèle soit admissible)							
Le modèle de corégionalisation décrit est admissible							
Indépendamment du modèle décrit et en supposant qu'un modèle admissible soit utilisé, seul le cokrigeage simple peut être effectué. (Note : les moyennes des deux variables sont supposées connues)							
Il est possible de calculer le variogramme croisé Z-Y <u>expérimental</u> avec les données indiquées.							

Question 5 (8 points)

On vous présente les observations suivantes donnant l'élévation d'un horizon repère.

Point	Coord x (m)	Coord. Y (m)	Élévation (m)
x_1	30	100	29
x_2	90	160	37
x_3	220	80	52
x_4	300	350	47
x_5	40	200	$20 \leq Z(x_5) \leq 49$

En x_5 , on n'a aucune information sur les probabilités pour $Z(x_5)$ à l'intérieur de l'intervalle indiqué $[20, 49]$.

On a modélisé les variogrammes des différentes indicatrices et on a effectué le krigeage ordinaire au point x_0 de coordonnées (50,150). Les variogrammes des indicatrices étant ici tous proportionnels, les poids de krigeage sont les mêmes pour tous les seuils.

Lorsqu'on effectue le krigeage ordinaire avec les 5 points, on obtient les poids :

$$\lambda_1 = 0.35, \lambda_2 = 0.29, \lambda_3 = 0.07, \lambda_4 = 0.04, \lambda_5 = 0.25$$

Si l'on effectue le krigeage ordinaire avec les quatre premiers points, on obtient plutôt les poids :

$$\lambda_1 = 0.31, \lambda_2 = 0.39, \lambda_3 = 0.14, \lambda_4 = 0.16$$

4pts a) Quelle est la probabilité que l'élévation de l'horizon repère au point x_0 soit inférieure à 50m?

4pts b) Quelle est la probabilité que l'élévation de l'horizon repère au point x_0 soit inférieure à 40m?

Question 6 (14 points)

Discutez les énoncés suivants (vrai, partiellement vrai, ou faux). Si vous répondez partiellement vrai ou faux, justifiez votre réponse succinctement ou par des relations mathématiques.

2pts a) Dans un krigeage d'indicatrices, si les poids de krigeage sont compris entre $[0,1]$, que la somme des poids est exactement 1 et que les variogrammes d'indicatrices sont tous proportionnels, il est quand même possible de rencontrer des problèmes de relation d'ordre.

2pts b) Les variogrammes d'indicatrices sont souvent plus difficiles à modéliser que le variogramme ponctuel des données de terrain à cause de la nature discrète des indicatrices.

2pts c) Pour un même jeu de données impliquant deux variables, il y a toujours autant ou plus de paires disponibles pour le calcul d'un variogramme croisé que pour le calcul d'une covariance croisée.

Question 6 (suite)

2pts d) *Une réalisation d'une simulation géostatistique représente mieux la variabilité naturelle du phénomène étudié que le krigeage (simple ou ordinaire) tout en fournissant une meilleure estimation de la variable principale.*

2pts e) *Dans le krigeage d'indicateurs le calcul de la variance conditionnelle implique les variances de krigeage des indicateurs correspondant aux divers seuils.*

2pts f) *Avec le modèle linéaire de corégionalisation, les covariances croisées sont symétriques et uniquement des modèles élémentaires isotropes peuvent être utilisés.*

2pts g) *Généralement, l'outil de base du krigeage est la covariance et celui du cokrigeage est le variogramme.*

Question 7 (14 points)

Vous êtes mandaté afin de déterminer l'aire de protection d'un futur système d'approvisionnement en eau potable d'une municipalité. Le site à l'étude est situé à proximité d'une zone agricole dont des risques bactériologiques et virologiques sont envisagés. Au Québec, l'aire de protection bactériologique d'une installation de captage est établie sur la base d'un temps de migration des eaux souterraines de 200 jours tandis que l'aire de protection virologique est basée sur un temps de migration de 550 jours. La disposition de votre système est alors critique afin d'assurer la qualité de l'eau captée par le système d'approvisionnement en eau potable.

Vous disposez de quarante analyses ponctuelles sur une grille régulière de la granulométrie du site à l'étude. Vous pouvez ainsi déduire la nature du sol, la porosité et estimer leur conductivité hydraulique par une méthode empirique.

Afin de mieux caractériser le comportement hydrogéologique du site, votre équipe et vous décidez de procéder à l'installation de 16 piézomètres et d'un puits central afin de procéder à un essai de pompage à charge constante. Vous obtenez alors des mesures de la charge hydraulique au repos et des mesures de rabattements lors de l'essai de pompage mesuré aux piézomètres.

Les données de forages ont permis de conclure que l'aquifère est confiné et que la recharge n'exerce aucune influence sur le problème. Vous disposez aussi d'un logiciel permettant la simulation de l'écoulement dans un milieu avec conductivités hydrauliques hétérogènes (c.-à-d. résoudre les équations d'état) afin de réaliser le calage des champs simulés aux données hydrogéologiques.

Votre mandat est de fournir des estimations de l'aire de protection (biologique et virologique) qui soient réalistes et indiquer à la municipalité la probabilité en tout point qu'une particule (bactérie ou virus) soit captée par votre système d'approvisionnement en eau potable selon les critères du gouvernement du Québec.

2pts a) *Pourquoi le krigeage/cokrigeage n'est pas une méthodologie adéquate afin de répondre à ce mandat ?*

2pts b) *Pourquoi le recuit simulé n'est pas un algorithme adéquat pour réaliser le calage de ce problème ?*

Question 7 (suite)

4pts c) Quelles sont les données secondaires (indirectes) de ce site ? Proposez une fonction objectif pour le calage des simulations géostatistiques à ces données.

6pts d) Proposez une méthodologie pour obtenir l'estimation des aires de protection et la probabilité en tout point qu'un contaminant non-réactif (c.-à-d. qui suit l'eau) soit capté par votre installation. (Indice : n'oubliez pas de tenir compte des données de terrain)

Question 8 (10 points)

La plupart des méthodes de simulations géostatistiques gaussiennes classiques sont non-conditionnelles. Le conditionnement de ces simulations est alors réalisé par la relation suivante :

$$Z_{sc}(x) = Z_k^*(x) + [Z_s(x) - Z_{sk}^*(x)]$$

6pts a) Expliquez cette équation et définissez tous les termes.

4pts b) Décrivez les détails pratiques de mise en œuvre pour réaliser le conditionnement avec cette approche.

Annexes

Fonction de répartition N(0,1) : $F_X(x) = \int_{-\infty}^x f_X(x)dx$

x	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998

Corrigé

Q1-14pts

6pts a) 0.5pts par crochet bon

Énoncé	A	B	C	D	E	F
L'image est obtenue par la méthode de simulation séquentielle d'indicateurs		X	X			
L'image est obtenue par la méthode « variable gaussienne tronquée »	X			X	X	X
Le variogramme utilisé est gaussien isotrope	X					
Le variogramme utilisé est sphérique isotrope		X				X
Le variogramme utilisé est gaussien anisotrope					X	
Le variogramme utilisé est sphérique anisotrope			X	X		

2pts b) -0.25pts par erreur de calcul, -0.25pts par erreur de lecture loi normale, -0.5pts erreur formule

Pour $F_1 = P(N(0,1) < -0.2) = 1 - 0.5793 = 0.4207$

Pour $F_2 = P(-0.2 < N(0,1) < 1.1) = 0.8643 - 0.4207 = 0.4436$

Pour $F_3 = P(N(0,1) > 1.1) = 1 - 0.8643 = 0.1357$

3pts c) 1pts pour l'utilité, 2pts pour l'idée

À fournir des valeurs gaussiennes aux points échantillons où les faciès ont été observés.

L'idée est de respecter directement les contraintes (faciès observés) et d'introduire itérativement la corrélation spatiale par de petites perturbations déterminée par une distribution conditionnelles obtenue par krigeage simple.

3pts d) 1pts pour avoir nommé l'approche, 2pts pour l'idée de la méthode

Procéder par calage

Induire la corrélation spatiale par construction et caler les intervalles.

Q2-12pts

4pts a) -1pts erreur identification de W de la loi normale, -0.5pts erreur de calcul, -1pts erreur formule

$Z_0 \sim N(0.8, 0.3) \Rightarrow W = (Z_0 - 0.8)/0.3 \sim N(0, 1)$

$F^{-1}(0.7) = W = 0.525 \Rightarrow Z_0 = 0.525 \cdot 0.3 + 0.8 = 0.9575$

2pts b) -1pts erreur lecture graphique (accepte +/- 0.25%)

Par lecture sur la figure environ 2.25%

2pts c) 1pts par étape

1) Taille de la matrice, inversion de la matrice K. Espace mémoire limité

2pts d) 1pts réponse et 1 pts justification

1) Utilisation d'un voisinage. Il faut bien l'identifier. Permet d'accélérer les calculs.

2pts e) 1pts réponse et 1 pts justification

1) Non, le choix du voisinage ne permet par une reproduction exacte en théorie simplement une approximation qui peut être satisfaisantes.

Q3-14pts**2pts a)** -0.5pts erreur calcul, -1pts erreur ligne ou colonne

$$\text{Cov}(Z_3, Z_4) = 1*1 + 1*1 + 3*1 + 0*3 = 5$$

2pts b) -0.5pts erreur calcul, -1pts erreur ligne ou colonne

$$\text{Var}(Z_3) = 1*1 + 1*1 + 3*3 = 11$$

$$\text{Var}(Z_4) = 1*1 + 1*1 + 1*1 + 3*3 = 12$$

2pts c) 1pts si réponse pas valide, 1pts justification.

Elle n'est pas valide, on est dans un cas non-stationnaire, car les variances ne sont pas identiques

3pts d) 1pts identification de Y_1 , 1pts écriture de Z_3 et 1 pts écriture Z_4 , -0.5 erreur calcul

$$Y_1 = 1/3, \quad Z_3 = 1/3 + 1*Y_2 + 3*Y_3 \text{ et } Z_4 = 1/3 + 1*Y_2 + 1*Y_3 + 3*Y_4$$

3pts e) -2 erreur formule, -1pts si les termes nuls ne sont pas justifiés, -0.5pts erreur calcul

$$\text{Cov}(Z_3, Z_4 | Z_1) = 1 + 3 = 4$$

2pts f) -0.5 erreur calcul, -1pts erreur formule

$$Z_3 = 1*1/3 + 1*-1.25 + 3*0.48 = 0.5233$$

$$Z_4 = 1*1/3 + 1*-1.25 + 1*0.48 + 3*-0.19 = -1.01$$

Q4- 14pts 0.5pts bonne réponse, -0.25pts bonne réponse, 0 si vide

Énoncé	Cas						
	A	B	C	D	E	F	G
Selon le modèle décrit, le cokrigage devrait améliorer notablement l'estimation par rapport au krigeage (note : pour pouvoir répondre oui, il faut d'abord que le modèle soit admissible)	N	O	N	N	O	O	N
Le modèle de corégionalisation décrit est admissible	O	O	O	O	O	O	N
Indépendamment du modèle décrit et en supposant qu'un modèle admissible soit utilisé, seul le cokrigage simple peut être effectué.	N	N	N	N	N	O	N
Il est possible de calculer le variogramme croisé Z-Y expérimental avec les données indiquées.	O	O	O	O	N	N	O

Q5-8pts**4pts chaque**, -2pts erreur formule, -1pts erreur calcul, -0.5pts par erreur calcul indicatrice

$$a) I_0^* = 0.35*1 + 0.29*1 + 0.07*0 + 0.04*1 + 0.25*1 = 0.93$$

$$b) I_0^* = 0.31*1 + 0.39*1 + 0.14*0 + 0.16*0 = 0.7$$

Q6-14pts**2pts chaque.** La réponse est fausse pour tous. Partiellement vrai est acceptée pour c, f et g si bien justifié. 1pts pour la réponse et 1pts la justification.

a) Faux, les poids sont invariants donc la fct de répartition sera croissante et comme les poids sont tous entre 0 et 1, il n'y aura pas de probabilité négatives ou supérieurs à 1.

b) Faux, comme il n'y a pas de données extrêmes avec les indicatrices, ils sont plus simples à modéliser.

c) Faux, Toujours moins ou égale.

d) Faux (partiellement vrai), une réalisation ne fournit pas la meilleure estimation de la variable principale. Il en faut plusieurs pour converger vers KS.

- e) Faux, les variances de krigeage n'interviennent jamais dans les calculs liés au KI.
- f) Faux (partiellement vrai), Les covariances croisées sont symétriques, mais on n'est pas limité à des modèles élémentaires isotropes. Les modèles anisotropes peuvent être utilisés.
- g) Faux (partiellement vrai). Généralement l'inverse. Krigeage implique variogramme et cokrigeage implique covariance. On peut utiliser le variogramme pour le cokrigeage lorsque les variables sont disponibles à plusieurs points communs et que l'on suppose la symétrie.

Q7-14pts

2pts a) 2pts si bien justifié, 1pts si la justification est incomplète, 0 sinon

La problématique implique une relation non-linéaire entre les variables simulées et l'estimation des aires de captages. Les simulations géostatistiques sont préférables dans ce contexte au krigeage/ cokrigeage.

2pts b) 1pts. Le recuit simulé est séquentiel, 1pts recuit simulé implique des temps de calcul prohibitifs, 1pts recuit simulé implique d'ajouter le variogramme à la fonction objectif. On recherche au moins deux raisons pour avoir tous les points.

4pts c) 2pts premier terme et 2pts deuxième terme. Il faut minimiser l'erreur entre les charges hydrauliques (h) au repos (16 obs., voir 17 avec le puits) et les rabattements (r) de l'essai de pompage (16 obs.) mesurés versus ceux simulés. On peut utiliser la moyenne absolue des erreurs ou la racine des moyennes des erreurs au carré. Les poids peuvent être égales. Les deux mesures ont les mêmes unités et plage d'erreur. Il n'est pas obligatoire de prendre les moyennes et les poids, car mêmes unités et plage de valeur. Un exemple :

6pts d) au cas par cas. Voici une méthodologie :

Procéder au calage des simulations géostatistiques conditionnelles (aux données de terrain).

Déterminer l'aire de captage pour chaque simulation (celle de 200 jours et celle de 550 jours).

La moyenne donne l'aire de captage à utiliser.

Sélectionner le 5^{ème} percentile et le 95^{ème} percentile pour les aires de captage. Sélection radiale autour du puits par exemple.

En déduire l'intervalle de confiance qui nous indique que 95% des particules tombant dans la zone sont captés par les puits.

Vérifier si cet intervalle de confiance est en contact avec la zone agricole pour les bactéries et les virus. Si elle est en contact, on a un problème de contamination probable. Sinon, il n'y a aucun problème.

Q8-10pts

Q1- 6pts a) 2pts explication de l'équation, 1pts par définitions de termes

Le champ krigé plus un champ d'erreur simulé.

Zsc : Champ simulé à un point de grille conditionnellement aux données

Zk* : Champ krigé à un point de grille utilisant les valeurs observées

Zs : Champ simulé à un point de grille non conditionnelle

Zsk* : Champ krigé à un point de grille en utilisant les valeurs simulées non conditionnelle

4pts b) 2pts : Faire deux krigeages. 1pts pour la simulation non conditionnelle. 1pts pour les problèmes d'espace mémoire donc utilisation d'un voisinage

Il faut réaliser deux krigeages (L'un à partir des données simulées et l'un à partir des données observées) et une simulation non-conditionnelle. S'il y a trop de données, il faut appliquer un voisinage pour le krigeage. Cela peut nuire à la reproduction du variogramme.