### GML6402 Projet Automne 2024

Objectifs : Initiation aux corrélations de rang et à l’asymétrie directionnel.

À remettre le mardi 16 décembre en papier (ou par courriel) avant le début du cours.

Choisir l’un des projets dans cette liste

1- Programmer un algorithme géostatistique pour résoudre un problème inverse simple

Les problèmes inverses consistent à estimer des paramètres inconnus d'un modèle à partir de données observées. Lorsqu'une structure spatiale est présente dans les paramètres, les méthodes géostatistiques peuvent être utilisées pour intégrer cette information *a priori*. Cette approche améliore la précision des estimations en exploitant la continuité spatiale et les corrélations des paramètres.

Ce projet de recherche vise à résoudre un problème inverse en lien avec votre domaine d'étude. Comme les lignes directrices peuvent varier en fonction des objectifs spécifiques de votre projet, je suis disponible pour vous aider à cibler les points clés. Voici les étapes générales à suivre :

1. **Définition du Problème :** Construire un modèle géologique synthétique. Basez votre modèle selon votre projet de recherche. Sinon, un logiciel d’écoulement des eaux souterrains programmer en Matlab (i.e., *MATLAB Reservoir Simulation Toolbox*, MRST) pourra être utilisé.
2. **Sélection de la Méthode Géostatistique :** Choisir des techniques adaptées pour intégrer les informations a priori dans l'estimation des paramètres. Comment aller vous simuler les champs de propriétés. Pensez à la méthode d’optimisation.
3. **Modélisation de la Structure Spatiale :** Programmer une méthode géostatistique pour la résolution du problème inverse (e.g., point pilote, déformation graduelle, FFTMA-SA, ISR). Des codes seront fournis selon les besoins.
4. **Implémentation de l'Algorithme :** Résoudre le problème inverse selon la méthode désirée (e.g., MCMC, Bayésienne, Fonction objectif)
5. **Validation et Analyse des Résultats :** Évaluer la précision des estimations et analyser l'impact de l'approche géostatistique sur les résultats obtenus. Avez-vous réussi à intégrer les données ?

2- Simulations géostatistique sur sphère

Lorsque l’on étudie des phénomènes terrestres à très grande échelle (e.g. changements climatiques) on est naturellement amené à travailler sur la sphère. La distance naturelle entre deux observations sur la sphère, plutôt que la distance euclidienne usuelle, est soit le cosinus de l’angle formé par les deux points et le centre de la sphère, soit la distance de corde, soit la distance le long d’un grand cercle. Dans ce contexte, les covariances habituelles ne peuvent pas être utilisées ainsi que les méthodes habituelles de simulation. De plus à l’échelle terrestre, il est peu probable qu’une fonction de covariance soit stationnaire. Typiquement elle risque de varier au moins selon les latitudes considérées.

Emery et Alegria (2020) ont proposé une nouvelle méthode de simulation de fonctions de covariances stationnaire ou non-stationnaire assez voisine de la méthode spectrale classique et relativement simple à réaliser.

1. Programmer la méthode de simulation décrite dans l’article pour une seule des covariances décrites et illustrer sur la sphère deux ou trois réalisations différentes. Vous pouvez choisir les coefficients bn(x) décrits dans l’article comme stationnaires ou non.
2. Pour le cas stationnaire (i.e bn(x)=bn) calculer la covariance théorique pour le modèle choisi en 1) (en fonction de la distance géodésique theta, theta l’angle entre les deux points, et montrer que la moyenne des covariances expérimentales sur plusieurs réalisations converge bien vers la valeur théorique.

S.v.p. remettre les scripts et fonctions Matlab écrits pour répondre à ces questions.

Référence : Emery, X., Alegría, A. (2020) A spectral algorithm to simulate nonstationary random fields on spheres and multifractal star-shaped random sets. Stoch Environ Res Risk Assess 34, 2301–2311. https://doi.org/10.1007/s00477-020-01855-4

3- Simulations de champs multivariables par FFTMA

Une méthode rapide et efficace pour simuler des champs multivariés avec des modèles non linéaires de corégionalisation (N-LMC) est la méthode de Liang et al. (2018), appelée GFFTMA. Elle généralise la méthode FFTMA pour la simulation multivariée de modèle de non linéaires de corégionalisation avec des covariances croisées symétriques. Elle permet d'utiliser différents modèles de covariance, comme un modèle exponentiel pour la variable principale, un modèle Cauchy pour la variable secondaire et un modèle K-Bessel pour la covariance croisée. La transformé de Fourier rapide (FFT) est appliquée à chaque covariance et covariance croisée, puis la matrice spectrale est décomposée en valeurs propres à chaque fréquence pour garantir la positivité. Le spectre simulé est obtenu en multipliant la matrice racine par les coefficients de bruit blanc. Les réalisations supplémentaires sont peu coûteuses car la décomposition en valeurs propres ne doit être faite qu'une fois. La principale limitation de cette méthode est sa forte exigence en mémoire.

1. Programmer la méthode de simulation décrite dans l’article pour une seule des covariances décrites et illustrer sur deux ensembles de réalisation.
2. Avec les codes fournis, reproduire les images montrant les variogrammes de la variable princiaple et secondaire en plus du variogramme croisé du modèle de référence, des 100 réalisations et la moyenne des 100 réalisations.

S.v.p. remettre les scripts et fonctions Matlab écrits pour répondre à ces questions.

Référence : Liang, M., Marcotte, D., & Shamsipour, P. (2016). Simulation of non-linear coregionalization models by FFTMA. In Computers &amp; Geosciences (Vol. 89, pp. 220–231). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.01.005

4- Simulation de champs aléatoires par expansion de Karhunen – Loève

Une méthode rapide et efficace pour simuler des champs aléatoires à partir d'un processus gaussien est l'expansion de Karhunen-Loève (KLE). Cette méthode décompose un processus gaussien en une série de fonctions orthogonales pondérées par des coefficients aléatoires, permettant ainsi de représenter la variabilité spatiale. Pour un processus gaussien avec une fonction de covariance donnée, la KLE permet de capturer les principales caractéristiques de la distribution spatiale grâce à ses valeurs propres et vecteurs propres associées.

La procédure consiste d'abord à discrétiser la fonction de covariance en évaluant les covariances aux points du domaine, puis à résoudre le problème aux valeurs propres pour obtenir les vecteurs propres discrétisées et les valeurs propres associées. Ces valeurs et vecteurs propres sont ensuite utilisées pour simuler des réalisations du processus gaussien en combinant les vecteurs propres avec des coefficients gaussiens indépendants.

Equation :

Ou λi sont les valeurs propres de la fonction de covariance, ϕi(x) sont les vecteurs propres orthogonales et ξi sont des variables aléatoires non corrélées de moyenne nulle et de variance unitaire.

1. Programmer la méthode de simulation KLE pour une fonction de covariance donnée (par exemple, exponentielle) et illustrer les résultats sur deux ensembles de réalisation.
2. Avec les codes fournis, produire les figures montrant les variogrammes des réalisations simulées et les comparer à ceux du modèle théorique de référence, des 100 réalisations et de la moyenne des 100 réalisations. Simuler des champs 100x100.
3. Faites varier la taille de la somme, soit le nombre de vecteurs propres et valeurs propres utilisé dans l’expansion de KLE pour générer le champ gaussien (i.e., prendre les 10 premières valeurs propres, les 50, …, jusqu’à n). Présenter les champs gaussiens associés aux différentes valeurs de n. Discutez.

S.v.p. remettre les scripts et fonctions Matlab écrits.

Référence : Chang, H., & Zhang, D. (2014). History matching of statistically anisotropic fields using the Karhunen-Loeve expansion-based global parameterization technique. In Computational Geosciences (Vol. 18, Issue 2, pp. 265–282). Springer Science and Business Media LLC. https://doi.org/10.1007/s10596-014-9409-z

5- Un projet parmi cette liste ou quelconque qui sera à développer

1. Programmer la méthode de simulation spectrale multivariables (programmes d’analyse fournis).
2. Programmer la méthode de simulation conditionnelle sous contraintes d’inégalité (échantillonneur de Gibbs).
3. Programmer le calcul de covariances non-stationnaires.
4. Programmer la méthode multipoint géostatiques direct sampling.
5. Implémenter la méthode de simulation plurigaussienne et étudier l’impact du patron de codage (programme de simulation non-conditionnelle fourni).
6. Utiliser des simulations pour démontrer que restreindre le voisinage en krigeage ordinaire peut introduire un biais conditionnel et diminuer le profit par rapport à un krigeage avec un voisinage plus large.
7. Étudier et comparer les poids du krigeage ordinaire et simple pour des données en lignes. Comparer également les estimations obtenues par krigeage ordinaire et celles par krigeage simple avec moyenne locale.
8. Étudier un jeu de données 2D. Programmes fournis pour : calcul et ajustement de variogramme ou de covariances, krigeage, cokrigeage, simulations conditionnelles.
9. Montrer pour le cas gaussien que la moyenne et la variance des simulations conditionnelles convergent vers la valeur krigée et la variance de krigeage. Vérifier si cela reste approximativement vrai pour le cas gaussien transformé.
10. Reproduire, par recuit simulé, des images d’entraînement similaires à celles utilisées dans les méthodes multipoints. La fonction objectif serait définie par les probabilités de transition d’un faciès à l’autre pour plusieurs vecteurs distances.