

MARGARET ARMSTRONG — JACQUES CARIQAN

SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT

LES COURS

GÉOSTATISTIQUE LINÉAIRE

APPLICATION AU DOMAINE MINIER



059600



ECOLE DES MINES
DE PARIS

Les Presses

GL 129

AVANT-PROPOS

GEOSTATISTIQUE LINEAIRE

Application au domaine minier

059600

②



Margaret Armstrong

Maître de recherche à l'École des Mines de Paris

Jacques Carignan

Professeur de génie géologique

à l'Université du Québec à Chicoutimi



059600

Les Presses de l'École des Mines

Paris, 1997

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
APPLICATIONS DE LA GÉOSTATISTIQUE A L'INDUSTRIE MINIÈRE	1
Estimation des réserves globales	1
Estimation des erreurs	2
Espacement optimal des sondages (ou des échantillons)	2
Estimation des réserves des blocs	2
Maillage et cartographie	2
Simulation d'un dépôt pour évaluer un plan de forage	3
Estimation de la récupération	3
EXERCICE : IMPACT FINANCIER DE LA MÉTHODE D'ESTIMATION	4
Exploitation minière sélective	5
COMMENTAIRES	6
Récupération optimale	6
Effet d'information	7
Effet de support	8
LA GÉOSTATISTIQUE EN PRATIQUE	9
Etudes de cas sur le charbon	9
Etudes de cas sur des mines d'or	10
Etudes plus récentes	11
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	12
VARIABLES RÉGIONALISÉES	13
NOTION DE VARIABLE RÉGIONALISÉE	13
FONCTION ALÉATOIRE	15
Hypothèses stationnaire et intrinsèque	16
Comment savoir si une variable est stationnaire ?	17
COVARIANCE SPATIALE	18
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	20
LE VARIOGRAMME THÉORIQUE	21
PORTÉE ET ZONE D'INFLUENCE	22
COMPOTEMENT A L'ORIGINE	23
ANISOTROPIES	24
Présence d'une dérive	26
EFFET PROPORTIONNEL	27
STRUCTURES GIGOGNES	27
AUTRES CARACTÉRISTIQUES	28
MODÈLES DE VARIOGRAMME	29

Variance des combinaisons linéaires autorisées.....	29
Modèles autorisés.....	31
Modèles de variogramme courants.....	32
Effet de pépite.....	32
Modèle sphérique.....	32
Modèle exponentiel.....	33
Modèle Gaussien.....	33
Fonction puissance.....	34
Modèle cubique.....	34
Sinus cardinal (modèle à effet de trou 3D).....	34
EXERCICE.....	34
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	35
LE VARIOGRAMME EXPÉRIMENTAL.....	37
CALCUL DU VARIOGRAMME EXPÉRIMENTAL.....	37
Exemple 1 : échantillons réguliers.....	37
Exemple 2 : données manquantes.....	38
Exemple 3 : présence de valeurs extrêmes.....	38
Dans le plan.....	38
En trois dimensions.....	39
Nuée variographique.....	39
Exemple 4 : calcul d'un variogramme expérimental en 2D.....	41
AJUSTEMENT D'UN MODÈLE DE VARIOGRAMME.....	42
PROBLÈMES PRATIQUES.....	43
Valeurs extrêmes.....	44
Comportement pseudo-périodique.....	45
Artefacts.....	46
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	47
ANALYSE STRUCTURALE.....	49
TROIS ÉTAPES PRINCIPALES.....	49
LA VÉRIFICATION DES DONNÉES.....	49
LES CHOIX MÉTHODOLOGIQUES.....	50
Stationnarité.....	50
Support.....	50
Additivité et accumulation.....	51
STATISTIQUES STANDARD.....	51
ÉTUDES DE CAS.....	52
Première étude de cas : un gisement de fer.....	52
Variogramme vertical.....	52
Nuée variographique.....	53
Ajustement d'un modèle.....	53
Variogrammes horizontaux.....	55

Seconde étude de cas : un gisement d'or (m. harley).....	55
DISPERSION ET SUPPORT.....	59
LE SUPPORT D'UNE VARIABLE REGIONALISÉE.....	59
DISPERSION EN FONCTION DE LA TAILLE DES BLOCS.....	60
VARIANCE D'UN POINT DANS UN VOLUME.....	61
VARIANCE DE v DANS V	62
LA RELATION D'ADDITIVITÉ.....	63
EXERCICE : STOCKAGE D'HOMOGENÉISATION.....	63
CHANGEMENT DE SUPPORT : RÉGULARISATION.....	64
EXERCICE : CALCUL DES VARIOGRAMMES RÉGULARISÉS.....	65
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	65
LA THÉORIE DU KRIGEAGE.....	67
L'INTÉRÊT DU KRIGEAGE.....	67
LES ÉQUATIONS DE KRIGEAGE.....	68
Différents estimateurs de krigeage.....	69
Le krigeage ordinaire.....	69
Dérivation des équations du KO pour des variables régionalisées intrinsèques.....	71
Exercice : krigeage ordinaire d'un bloc.....	72
Krigeage de la valeur de la moyenne.....	73
Krigeage simple.....	75
Le théorème d'additivité.....	76
Pente de la régression linéaire.....	78
Le krigeage est un interpolateur exact.....	80
Un exercice de géométrie pour illustrer la procédure de minimisation dans le krigeage.....	81
LA PRATIQUE DU KRIGEAGE.....	83
INTRODUCTION.....	83
LES PONDÉRATEURS NÉGATIFS.....	84
SENSIBILITE DU KRIGEAGE AU CHOIX DU VARIOGRAMME.....	87
Variogrammes d'aspect semblable.....	87
Conséquences du choix de l'effet de pépite.....	88
VALIDATION CROISÉE.....	90
SYMÉTRIE DANS LES ÉQUATIONS.....	92
L'EFFET D'ÉCRAN.....	94
TESTS DE LA QUALITÉ DU KRIGEAGE.....	97
Le poids de la moyenne en krigeage simple.....	97
Relation entre les variances de k_0 et de k_s	97
Pente de la droite de regression lineaire de la teneur réelle en fonction de la teneur estimée.....	98
Exemple : ajouter des échantillons supplémentaires améliore la qualité de l'estimation.....	98

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	99
ESTIMER LES RÉSERVES TOTALES.....	101
EST-CE QUE LE KRIGEAGE PEUT ÊTRE UTILISÉ POUR ESTIMER LES RÉSERVES GLOBALES ?.....	101
VARIANCE D'EXTENSION.....	102
Relation avec la variance de dispersion.....	104
GISEMENT DE LIMITES CONNUES.....	104
Composition directe des termes.....	104
Composition par termes de ligne et de tranche.....	106
MAILLE DE SONDAGE OPTIMALE.....	109
GISEMENT DE LIMITES INCONNUES.....	111
RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE.....	112
INDEX.....	113
INDEX DES AUTEURS CITÉS.....	115

DEPUIS sa création en 1979, le Cycle de Formation Spécialisée en Géostatistique (CFSG) de l'École des Mines de Paris a pour but de former, en 9 mois, des experts en géostatistique minière. Ce livre reprend le cours dispensé à l'École des Mines à cette occasion. Il possède donc un caractère appliqué qui le distingue des autres livres de géostatistique linéaire, par ailleurs souvent en anglais.

Partant d'un exemple illustrant le gain financier que la géostatistique apporte pour l'estimation des réserves, le livre introduit la notion de variable régionalisée. Le variogramme apparaît comme l'outil naturel pour caractériser leur double nature à la fois structurée et aléatoire. En plus de la théorie, les problèmes pratiques de l'interprétation et de la modélisation du variogramme sont traités.

La deuxième partie de l'ouvrage est consacrée à la méthode géostatistique d'estimation, le krigeage. Sont alors traités la théorie du krigeage ordinaire et du krigeage simple ainsi que leurs propriétés. Un chapitre complet étudie les aspects pratiques de sa mise en œuvre tels le choix du voisinage de krigeage.

Ce livre s'adresse à des ingénieurs et géologues confrontés à l'estimation des réserves minières. Le niveau de connaissance requis pour une compréhension parfaite s'arrête à la résolution de systèmes linéaires d'équations et aux notions de calcul différentiel.

Margaret Armstrong est maître de recherche à l'École des Mines de Paris, responsable du Cycle de Formation Spécialisée en Géostatistique (CFSG). Jacques Carignan est professeur de génie géologique à l'Université du Québec à Chicoutimi. Il est actuellement directeur de l'Unité d'Enseignement en Sciences de la Terre.

Les auteurs ont volontairement mis à la disposition du public un livre clair, précis et utile par son caractère appliqué. C'est un outil qui va simplement à l'essentiel.

23 Euros

ISBN : 978-2-91-176207-9



9 782911 762079