

Plan de cours

GLQ3401 - Géostatistiques et géologie minières

Département des génies civil, géologique et des mines

Automne 2024

3 (3-3-3)

Lundi de 12 :45 à 15 :35 au B-304

Mercredi de 12 :45 à 15 :35 au B-304

www.moodle.polymtl.ca

Coordonnées et disponibilités

Nom	Dany Lauzon
Bureau	B-648 (Actuellement, bureau temporaire au B258.3)
Téléphone	N/A
Courriel	dany.lauzon@polymtl.ca
Disponibilité	Lundi de 9ham à 12ham. Réponse rapide par courriel.
Salle	B-304

Coordonnateur ou coordonnatrice

Nom	Dany Lauzon
Courriel	dany.lauzon@polymtl.ca

Description du cours

¶ Loi des mines. Échantillonnages miniers. Sondage au diamant : déviations, arpentage et mise en plan. Théorie d'échantillonnage de P. Gy. Notions de ressources, réserves et teneur de coupure : méthode de Taylor et Lane. Méthodes conventionnelles d'estimation des ressources. Estimation des ressources par géostatistique. Effet support et effet d'information. Variogrammes expérimentaux et modèles. Variance de bloc, de dispersion et d'estimation. Problèmes d'homogénéisation. Krigeages : simple, ordinaire et d'indicateurs. Cokrigeage. Méthodes de simulation géostatistique. Ressources récupérables et autres problèmes non-linéaires.

Qualités du BCAPG

1 Connaissances en génie	2 Analyse de problèmes	3 Investigation	4 Conception	5 Utilisation d'outils d'ing.	6 Travail ind. et en équipe
IN	IN				
7 Communication	8 Professionnalisme	9 Impacts soc. et environn.	10 Déontologie et équité	11 Économie et gestion de projets	12 Apprentissage continu

COURS PREALABLES	COURS COREQUIS	COURS SUBSEQUENTS
MTH2302C	N/A	GLQ8785

Objectifs d'apprentissage

Objectifs	Correspondance avec les qualités du BCAPG
Introduction à la théorie de Gy, la théorie de Lane et Taylor, les notions de variance de bloc, la géostatistique multivariante et non-linéaire et les simulations géostatistiques.	1 (1.1, 1.2, 1.3)
Approfondir les notions relatives aux variogrammes et au krigeage, aux ressources et réserves, la loi des mines et les méthodes de sondage.	1 (1.1,1.2,1.3)
Identifier les problèmes reliés à des procédures d'échantillonnage (théorie de Gy), recommander des modifications réalistes à celles-ci et valider leurs résultats.	2 (2.1, 2.2, 2.5)
Comparer entre elles des alternatives d'homogénéisation de l'intrant carrière à une cimenterie compte tenu des informations géostatistiques et recommander la meilleure solution pour les spécifications demandées.	2 (2.4, 2.5)
Calculer la position de forages tenant compte des déviations, effectuer la régularisation des teneurs, calculer les distances de forage à un horizon marqueur compte tenu des orientations du forage et de l'horizon, etc.	2 (2.4)
Identifier et tenir compte dans leurs calculs de l'effet support et de l'effet information décrits par la géostatistique et identifier l'impact du biais conditionnel sur les estimations de ressources.	2 (2.1, 2.4, 2.6)
Utiliser la théorie de Lane et Taylor pour formuler le problème d'identification d'une teneur de coupure optimale et conceptualiser et calculer les impacts de variation de coûts fixes et variables de minage, de prix du métal, de la distribution statistique des ressources, du biais conditionnel, des capacités à la mine ou au concentrateur, de la taxation, etc.	2 (2.1, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6)
Identifier le problème de non-représentativité des ressources récupérables in-situ calculées sur des estimations (effet information), produire des estimés plus réalistes par simulation conditionnelle et modéliser l'incertitude associée.	2 (2.1, 2.2, 2.6)

Analyser l'utilisation de la validation croisée pour prévoir les précisions d'estimations obtenues par krigeage et par cokrigeage.	2 (2.2)
Analyser les résultats de simulations de faciès obtenues par méthode plurigaussienne selon différentes règles de codage.	2 (2.2)
Analyser les différences entre krigeage linéaire et non-linéaire (krigeage d'indicatrices) pour la modélisation d'un site contaminé et de l'incertitude associée.	2 (2.2, 2.4)

Utilité du cours

¶ À la fin du cours, l'étudiant pourra :

1. reconnaître les caractéristiques des sondages au diamant, les causes des déviations des sondages et les principales méthodes d'arpentage des sondages;
2. évaluer une procédure d'échantillonnage et déterminer des méthodes pour l'améliorer;
3. déterminer les teneurs de coupure limites, d'équilibre et optimale d'un gisement;
4. appliquer les principaux outils de la géostatistique linéaire pour l'estimation des ressources d'un dépôt;
5. comparer l'efficacité de différentes méthodes d'homogénéisation des minerais;
6. comprendre et analyser les implications des effets supports et information dans le calcul des ressources récupérables d'un gisement;
7. résoudre des problèmes miniers non-linéaires à l'aide du krigeage d'indicatrices et des simulations.

Méthodes d'enseignement et d'apprentissage

¶ Le cours comporte trois parties principales. La 1ère partie porte sur les techniques de sondages et d'échantillonnage, les notions de teneur de coupure, ressources et réserves et l'estimation des ressources par méthodes conventionnelles. La 2e partie traite de la géostatistique linéaire. La matière vue couvre les principaux outils géostatistiques utilisés pour l'estimation des ressources. La 3e partie traite de méthodes avancées de géostatistique et vise à répondre à des problèmes plus pointus dans le domaine minier et aussi dans le domaine environnemental.

Exposés formels donnés par le professeur et séances d'exercices dirigés. Réalisation de travaux pratiques par les étudiants. Résolution de problèmes en classe.

Des notes de cours du professeur sont utilisées et sont disponibles sur le site web. Les présentations « Powerpoint » s'y retrouvent également en format pdf. Des exercices et de questions à choix multiples (quiz moodle) en lien avec chaque cours théorique sont disponible sur le site web et à réaliser chez soi.

Évaluation

NATURE	NOMBRE	Mode de réalisation (Individuel/équipe)	PONDÉRATION	DATE
¶ Travaux pratique	¶ 11	¶ Équipe de 2 à 4	20%	¶ voir calendrier
Contrôle périodique 1 (Cours théorique 1 à 5)	1	Individuel	25%	Mardi 1 octobre, 12h45 – 15h15, au B-304
Contrôle périodique 2 (Cours théorique 6 à 8)	1	Individuel	25%	Mercredi 30 octobre, 12h45 – 15h15, au B-304
Examen final (Cours théorique 9 à 13)	1	Individuel	30%	Périodes d'examens

Pour réussir le cours, l'étudiant doit obtenir au moins 50 % de la note totale dans l'un des trois examens : le contrôle périodique 1, le contrôle périodique 2 et l'examen final.

Les travaux pratiques sont réalisés en équipe, composée de deux à quatre membres, et aucun travail individuel ne sera accepté. Chaque travail pratique sera mis à disposition le matin de la séance pratique et devra être remis à la fin de la séance, soit sur Moodle, soit en version imprimée en personne. Tout retard dans la remise d'un TP entraînera automatiquement une note de 0. Il est important de noter que tous les travaux pratiques sont évalués avec la même pondération.

Le professeur s'attend à ce que tous les étudiants assistent aux travaux pratiques. La participation aux travaux pratiques sera comptabilisée, et les étudiants qui manqueront une séance recevront une note de 0 pour le travail pratique en question, à moins qu'ils ne présentent une justification valable pour leur absence.

Note : Les notes pour les deux cours, GLQ3401 et GLQ3651, sont compilées séparément.

Note: Pour les étudiants non-francophones de McGill, une version anglaise des quiz pourra être préparée suite à une demande au professeur formulée *au moins une semaine* avant la date prévue de l'examen.

Notes importantes:

Documentation aux examens : Deux feuilles 8.5 x 11 pouces, recto-verso, tout contenu admissible.

Absences aux examens: Les personnes absentes à un contrôle périodique doivent présenter la justification au Bureau des Affaires Académiques tel que stipulé dans l'annuaire du baccalauréat. Dans le cas où la justification est acceptée par le BAA, un examen différé écrit devra être réalisé. Les examens différés auront lieu à une date à déterminer.

Critères d'évaluation

Ils seront précisés selon les travaux. La pondération de chaque question sera indiquée pour les travaux pratiques, les contrôles périodiques et l'examen finale.

Pour les travaux pratiques :

Le matériel produit par les systèmes d'intelligence artificielle (IA) générative (ex : ChatGPT, OpenAI Codex, GitHub etc...) ou par Wikipedia ne peut être cité dans les références de travaux pratiques.

Les robots conversationnels peuvent être utiles en cas de préalables manquants ou déficients – tout en gardant à l'esprit le caractère faillible des outils. Toutefois, il est interdit de les utiliser pour résoudre les travaux pratiques ou les problèmes des exercices dirigés à la place des personnes étudiantes.

Les étudiantes et étudiants doivent être conscients des enjeux relatifs à l'utilisation des de systèmes d'intelligence artificielle générative. Notamment au sujet de :

- La fiabilité des réponses;
- La fraude et le plagiat;
- La confidentialité des données et le respect du droit d'auteur.

Documentation

¶ Diapositives PPT du professeur disponibles sur Moodle. Notes de cours sur le site internet. La partie géologie minière est protégée : l'utilisateur et le mot de passe sont tous deux glq3401 sans majuscule.

Calendrier des rencontres

Sem.	Séance	Jour	Contenu	Enseignant
1	26 août	Lundi	Cours théorique 1 : Plan de cours. Site Moodle. Note de cours. Introduction à l'industrie minière. Principales sources d'information. Loi des mines et fiscalité minière.	Dany
1	28 août	Mercredi	Cours théorique 2 : Théorie de Lane et Taylor. En présence TP-1 : Introduction À distance	Dany
2	2 sept	Lundi	Aucun cours. Férié. Fête du travail	
2	4 sept	Mercredi	TP-2 : Théorie de Lane et Taylor	À distance
3	9 sept	Lundi	Cours théorique 3 : Théorie de Gy. Calcul de la variance relative de l'erreur fondamentale. Méthodes d'échantillonnage.	Dany
3	11 sept	Mercredi	TP-3 : Théorie de Gy.	Dany
4	16 sept	Lundi	Cours théorique 4 : Teneur de coupure. Ressources et réserves. Règlement NI-43-101. Rapport technique. Contrôle de qualité QA/QC dans les mines. Sondages, principe du forage au diamant, carottage, mesures de déviations et mise en plan. Compositage.	Dany
4	18 sept	Mercredi	TP-4 : Sondages et QA/QC	Dany
5	23 sept	Lundi	Cours théorique 5 : Ressources et méthodes conventionnelles d'estimation.	Dany
5	25 sept	Mercredi	TP-5 : Méthodes conventionnelles d'estimation	Dany
6	1 oct	Mardi	CP1 – Partie géologie minière (Cours théorique 1 à 5)	Surveillant
6	2 oct	Mercredi	Cours théorique 6 : Variogramme	Dany
7	7 oct	Lundi	Cours théorique 7 : Variances de bloc et variances de dispersion. Problèmes d'homogénéisation des teneurs.	Dany
7	9 oct	Mercredi	TP-6 : Variogramme, variance de dispersion, problème d'homogénéisation	Dany
			Semaine de relâche du 14 au 18 octobre	
8	21 oct	Lundi	Cours théorique 8 : Variance d'estimation et krigeage	Dany
8	23 oct	Mercredi	TP-7 : Variance d'estimation et krigeage	Dany
9	28 oct	Lundi	Cours théorique 6-7-8 : Rappel et Révision	Dany
9	30 oct	Mercredi	CP2 – Partie géostatistique (Cours théorique 6 à 8)	Surveillant
10	4 nov	Lundi	Cours théorique 9 : Géostatistique multivariable et cokrigeage (GLQ3401 seulement)	Dany
10	6 nov	Mercredi	TP-8 : Cokrigeage (informatique)	Dany
11	11 nov	Lundi	Cours théorique 10 : Krigeage d'indicatrices	Dany
11	13 nov	Mercredi	TP-9 : Krigeage d'indicatrices (informatique)	Dany (à voir)
12	18 nov	Lundi	Cours théorique 11 : Simulations	Dany
12	20 nov	Mercredi	TP-10 : Simulations (informatique)	Dany
13	25 nov	Lundi	Cours théorique 12 : Simulation de faciès	Dany
13	27 nov	Mercredi	TP-11 : Simulation de faciès (informatique)	Dany
14	2 déc	Lundi	Cours théorique 13 : L'estimation des ressources et problèmes particuliers. Notions de modélisation inverse. Révision pour l'examen.	Dany
Date à déterminer			Examens différés des deux premiers contrôles périodiques (seulement avec motivation acceptée par le BAA)	Dany
Période d'examens			Examen final (Cours théorique 9 à 13)	Surveillant

Fraude : règlement et sanctions

En tant que futur ingénieur, les étudiantes et les étudiants doivent adopter une attitude professionnelle exemplaire. L'article 8 des règlements des études au baccalauréat présente la position de Polytechnique Montréal à l'égard de la fraude sur la base du principe de tolérance zéro. Voici quelques éléments [tirés du règlement](#) en vigueur.

Par fraude, on entend toute forme de plagiat, de tricherie ou tout autre moyen illicite utilisé par une étudiante ou un étudiant pour obtenir un résultat d'évaluation non mérité ou pour influencer une décision relative à un dossier académique.

À titre d'exemple, constituent une fraude :

- l'utilisation totale ou partielle, littérale ou déguisée, d'une œuvre d'autrui, y compris tout extrait provenant d'un support électronique (d'une IA générative, par exemple), en le faisant passer pour sien ou sans indication de référence à l'occasion d'un examen, d'un travail ou de toute autre activité faisant l'objet d'une évaluation;
- le non respect des consignes lors d'un contrôle, d'un examen, d'un travail ou de toute autre activité faisant l'objet d'une évaluation;
- la sollicitation, l'offre ou l'échange d'information pendant un contrôle ou un examen;
- la falsification de résultats d'une évaluation ou de tout document en faisant partie;
- la possession ou l'utilisation pendant un contrôle ou un examen de tout document, matériel ou équipement non autorisé y compris la copie d'examen d'une autre personne étudiante.

Selon la gravité de l'infraction et l'existence de circonstances atténuantes ou aggravantes, l'étudiante ou l'étudiant peut se voir imposer une sanction correspondant à, entre autres, l'attribution de la cote 0 pour l'examen, le travail ou toute autre activité faisant l'objet d'une évaluation qui est en cause, l'attribution de la note F pour le cours en cause, l'attribution de la note F à tous les cours suivis au trimestre.

Dans le cas d'un travail en équipe, les étudiantes et les étudiants d'une même équipe de travail tel que reconnu par la personne enseignante sont solidaires du matériel produit au nom de l'équipe. Si un membre de l'équipe produit et remet un travail au nom de l'équipe et qu'il s'avère que ce travail est frauduleux tous les membres de l'équipe sont susceptibles de recevoir une sanction à moins qu'il soit démontré sans ambiguïté que l'infraction est le fait d'un ou de quelques membres de l'équipe en particulier.

Ressources et services pour les étudiantes et étudiants

Le [Service aux étudiants](#) (SEP) est constitué de professionnels qualifiés et d'une Escouade étudiante, dédiés à favoriser votre bien-être et votre réussite à Polytechnique Montréal, autant sur le plan académique, personnel que social. Que ce soit sous la forme de rencontres individuelles, d'ateliers pratiques ou de programmes tels que le tutorat et le mentorat, les services offerts vous aideront à vous épanouir à votre plein potentiel durant vos études à Polytechnique Montréal. N'hésitez pas à les contacter. Vous avez tout à y gagner !

Le [Bureau d'intervention et de prévention des conflits et de la violence](#) (BIPCV), vous accueille, vous guide et vous soutient en matière de violence à caractère sexuel, harcèlement ou tout enjeu relatif au respect des personnes. Le BIPCV est un bureau indépendant, assurant un service respectant la confidentialité et une écoute sans jugement. Contactez-les : bipcv@polymtl.ca 514 340 4711 Poste 5151. En savoir plus sur leurs services et ressources :

Qualités requises des diplômés par le BCAPG

¶

	Qualité	Déclinaison	IN, AP, CA (*)
1	Connaissances en génie : connaissance, à un niveau universitaire, des mathématiques, des sciences naturelles et des notions fondamentales de l'ingénierie, ainsi qu'une spécialisation en génie propre au programme.	1.1 Démontrer des connaissances de base en mathématiques et en sciences	AP
		1.2 Démontrer des connaissances de base en génie	AP
		1.3 Démontrer des connaissances avancées en génie	IN
2	Analyse de problèmes : capacité d'utiliser les connaissances et les principes appropriés pour identifier, formuler, analyser et résoudre des problèmes d'ingénierie complexes et en arriver à des conclusions étayées.	2.1 Identifier et formuler un problème	IN
		2.2 Explorer des approches de résolution et planifier la démarche	IN
		2.3 Conceptualiser ou modéliser le problème	IN
		2.4 Produire des résultats	IN
		2.5 Valider ses résultats et recommander	IN
		2.6 Analyser l'incertitude, la sensibilité et les limites des approches	IN
3	Investigation : capacité d'étudier des problèmes complexes au moyen de méthodes mettant en jeu la réalisation d'expériences, l'analyse et l'interprétation des données et la synthèse de l'information afin de formuler des conclusions valides.	3.1 Formuler des hypothèses testables	
		3.2 Faire la revue de la documentation existante	
		3.3 Planifier et préparer des essais	
		3.4 Exécuter l'expérimentation	
		3.5 Analyser les résultats expérimentaux	
		3.6 Vérifier les hypothèses et argumenter	
4	Conception : capacité de concevoir des solutions à des problèmes d'ingénierie complexes et évolutifs et de concevoir des systèmes, des composants ou des processus qui répondent aux besoins spécifiés, tout en tenant compte des risques pour la santé et la sécurité publiques, des aspects législatifs et réglementaires, ainsi que des incidences économiques, environnementales, culturelles et sociales.	4.1 Identifier les besoins, requis et fonctions	
		4.2 Modéliser les éléments à concevoir	
		4.3 Procéder à la conception	
		4.4 Considérer les relations systémiques internes/externes	
		4.5 Évaluer et itérer	
		4.6 Innover dans sa conception	
5	Utilisation d'outils d'ingénierie : capacité de créer et de sélectionner des techniques, des ressources et des outils d'ingénierie modernes et de les appliquer, de les adapter et de les étendre à un éventail d'activités simples ou complexes, tout en comprenant les contraintes connexes.	5.1 Évaluer et sélectionner les outils appropriés	
		5.2 Appliquer un outil d'ingénierie	
		5.3 Créer ou adapter un outil	
		5.4 Intégrer des outils	
6	Travail individuel et en équipe : capacité de fonctionner efficacement en tant que membre ou chef d'équipe, de préférence dans un contexte de travail multidisciplinaire.	6.1 Établir et remplir son rôle dans l'équipe	
		6.2 Interagir en équipe	
		6.3 Contribuer au fonctionnement de l'équipe	
		6.4 Contribuer à l'évolution de l'équipe	
7	Communication : habileté à communiquer efficacement des concepts d'ingénierie complexes, au sein de la profession et au public en général, notamment lire, rédiger, parler et écouter, comprendre et rédiger de façon efficace des rapports et de la documentation pour la conception, ainsi qu'énoncer des directives claires et y donner suite.	7.1 Lire et rédiger de la documentation	
		7.2 Préparer et donner une présentation	
		7.3 Adapter son discours selon la situation	
8		8.1 Reconnaître l'agir professionnel	

	Qualité	Déclinaison	IN, AP, CA (*)
	Professionalisme : compréhension des rôles et des responsabilités de l'ingénieur dans la société, y compris le rôle essentiel de protection du public et l'intérêt public.	8.2 Expliquer les rôles de l'ingénieur	
		8.3 Expliquer les responsabilités de l'ingénieur, y compris la protection du public	
9	Impact du génie sur la société et l'environnement : capacité à analyser les aspects sociaux et environnementaux des activités liées au génie, notamment comprendre les interactions du génie avec les aspects économiques et sociaux, la santé, la sécurité, les lois et la culture de la société; les incertitudes liées à la prévision de telles interactions; et les concepts de développement durable et de bonne gouvernance de l'environnement.	9.1 Connaître les principes du développement durable	
		9.2 Analyser l'impact socio-économique de son travail	
		9.3 Analyser l'impact de son travail sur l'environnement	
		9.4 Évaluer les risques et les incertitudes d'une situation	
10	Déontologie et équité : compréhension et respect des principes d'éthique et de responsabilité professionnelles, ainsi que d'équité.	10.1 Respecter le code de déontologie	
		10.2 Agir avec intégrité et de façon éthique	
		10.3 Traiter les situations de façon équitable	
11	Économie et gestion de projets : capacité à intégrer de façon appropriée les pratiques d'économie et d'affaires, comme la gestion de projets, des risques et du changement, dans l'exercice du génie, et de bien tenir compte des contraintes associées à ces pratiques.	11.1 Appliquer les principes économiques	
		11.2 Planifier et gérer un projet	
		11.3 Gérer les risques ou le changement	
12	Apprentissage continu : capacité à cerner et à combler ses propres besoins de formation dans un monde en constante évolution, et ce, de façon à maintenir sa compétence et à contribuer à l'avancement des connaissances.	12.1 Identifier et palier les lacunes dans ses savoirs et ses savoir-faire	
		12.2 Identifier et combler ses besoins de formation	
		12.3 Identifier les besoins d'avancement des connaissances	

* : IN = introduction, AP= approfondissement et CA=contrôle des acquis