

Examen intra

GLQ2200 – Géophysique appliquée 1 Hiver 2024

Polytechnique Montréal
Département des génies civil, géologique et des mines
Professeur : Charles L. Bérubé

Nom : _____ Matricule : _____

Consignes :

- Le début de l'examen est lundi le 26 février 2024 à 7h00 AM.
- La fin de l'examen est mercredi le 28 février 2024 à 7h00 AM.
- L'examen doit être fait **individuellement**.
- L'examen se fait à livre ouvert et toute documentation, incluant Internet, est permise.
- Aucune communication au sujet de l'examen n'est permise pendant l'examen.
- Le professeur ne répondra à aucune question pendant la durée de l'examen.
- Il faut **justifier toutes vos démarches** et citer vos sources au besoin.
- Le questionnaire fait 7 pages et contient 5 questions pour un total de 20 points.
- Il faut **mettre au propre** vos réponses de façon **bien organisée**.
- Un cahier de réponses difficile à lire recevra une pénalité de 4 points.
- Une **grille d'évaluation** est donnée à la page 7 du questionnaire.
- Le questionnaire signé doit être remis avec votre cahier de réponses.
- Remettre le tout dans la boîte de dépôt prévue à cet effet sur Moodle.

En signant le questionnaire, l'étudiant ou l'étudiante confirme qu'il ou elle

- respecte l'engagement pris lors de la signature du code de conduite de Polytechnique ;
- comprend les règles institutionnelles concernant la fraude citées dans le plan de cours ;
- a fait l'examen individuellement, sans avoir communiqué avec qui que ce soit ;
- comprend que toute suspicion de fraude sera signalée aux instances appropriées.

Signature de l'étudiant(e) : _____ Date : _____

Question 1. Corrections gravimétriques

Vous réalisez un levé gravimétrique pour un contrat d'exploration minière près de Cadillac (48.225° N, 78.386° O) dans la région de l'Abitibi. Le levé est effectué au-dessus de roches volcaniques assez homogènes avec une densité moyenne de 2800 kg/m^3 . Votre objectif est de localiser un amas de sulfures massifs dont la densité est estimée à 4600 kg/m^3 . On sait aussi qu'une cavité vide est présente sous le profil à cause d'anciennes opérations minières.

Un profil du levé s'étend sur 5 km dans la direction nord, comme montré sur la Figure 1. L'axe des x pointe vers le nord. Un seul gravimètre relatif est utilisé et une station de base est située à l'extrémité sud du profil. On mesure la gravité à la station de base avant de commencer le travail et on obtient 43 mGal. Quatre heures plus tard, à la fin du profil, on retourne très rapidement à la station de base et on mesure une accélération gravitationnelle de 55 mGal.

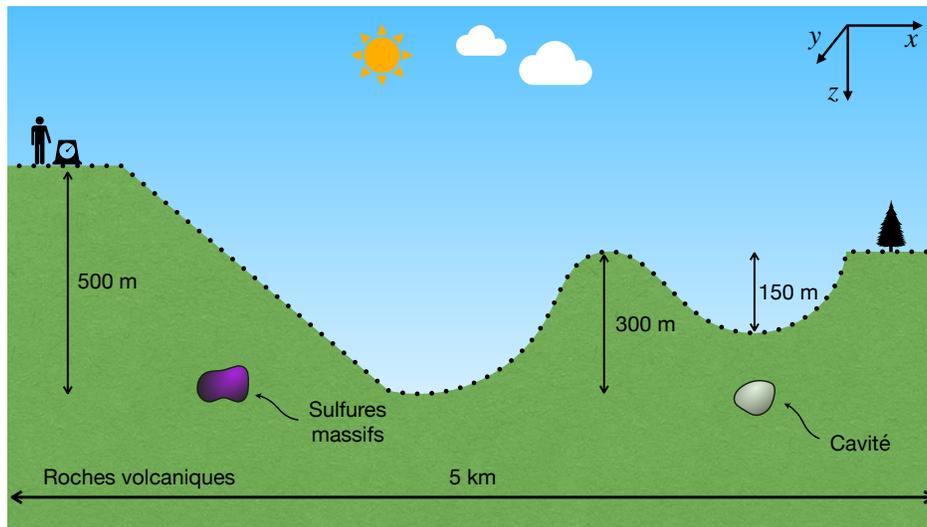


Figure 1 – Profilage gravimétrique pour la prospection des sulfures massifs.

On vous demande de tracer sous forme de graphiques les profils de

- la correction de dérive ;
- la correction de latitude ;
- la correction d'altitude ;
- la correction de plateau ;
- l'anomalie de Bouguer.

Justifiez toutes vos démarches.

Question 2. Conception d'un levé gravimétrique

Votre firme de consultation est engagée pour détecter d'anciens tunnels creusés illégalement par des trafiquants. Les tunnels traversent perpendiculairement la frontière entre deux pays, qui fait un angle de 15° sous l'axe est-ouest. D'après les informations disponibles, les tunnels sont cylindriques et leurs diamètres varient entre 3 m et 5 m (Figure 2). Les tunnels sont creusés dans une roche sédimentaire de densité égale à 2600 kg/m^3 et ce à une profondeur moyenne de 3 m sous la surface du sol. On sait que la distance qui sépare les tunnels varie entre 2 m et 15 m.

Lors d'une réunion de projet, un géophysicien junior qui travail pour vous propose de faire un seul profil gravimétrique en suivant la frontière entre les deux pays. Il suggère qu'avec cette stratégie, tous les tunnels seront détectés avec un seul profil. Il griffonne quelque chose dans son cahier et suggère que les stations du profil soient espacées de 10 cm. Sa collègue ingénieure lui demande pourquoi un profil aussi dense et coûteux est-il nécessaire. Elle prévoyait attribuer une bonne partie du budget pour un système de GPS à haute précision, pas pour prendre autant de mesures de gravité. Il répond avec confiance qu'il a estimé cette distance grâce au théorème d'échantillonnage, une notion vue dans son cours de géophysique à Polytechnique.

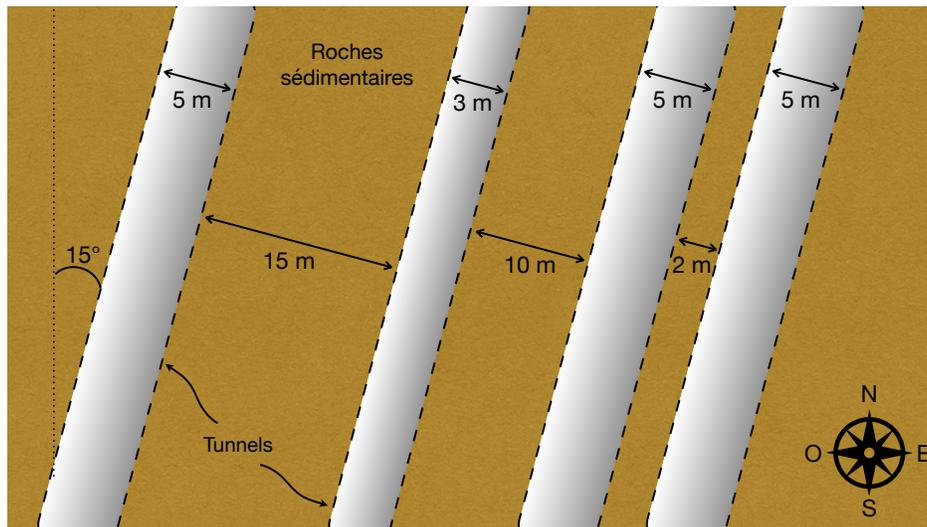


Figure 2 – Profilage gravimétrique au-dessus de tunnels illégaux.

Inquiet par les propos de l'ingénieure et par le fait que personne n'a modélisé le signal gravimétrique attendu au-dessus des tunnels, vous doutez de la stratégie du géophysicien junior.

- Est-il approprié d'utiliser la gravimétrie et de faire un seul profil parallèle à la frontière ?
- Dans quelle situation est-ce que l'anomalie mesurée serait la plus faible ?
- Est-ce que l'anomalie la plus faible serait détectable par un gravimètre précis à $1 \mu\text{Gal}$?
- Est-ce que la fréquence d'échantillonnage proposée par le géophysicien junior est adéquate ?

Justifiez toutes vos démarches.

Question 3. Modélisation gravimétrique

Depuis les années 1970, les géophysiciens de l'USGS mesurent les variations de la gravité mesurée au-dessus des volcans actifs Mauna Loa et Kilauea, situés sur l'île d'Hawaï. Ces mesures permettent de déterminer si du magma est en train de s'accumuler dans les chambres magmatiques, ce qui entraîne une augmentation de la masse des volcans.

Un chercheur en géophysique a placé un gravimètre directement au-dessus du volcan Mauna Loa, comme montré à la Figure 3. La chambre magmatique de ce volcan aurait une forme cylindrique verticale avec un rayon égal à R . La hauteur du magma lorsque la chambre est pleine est z_0 . La hauteur du magma à tout autre moment est donnée par z_m . La densité du magma est $\rho_m \text{ kg/m}^3$.

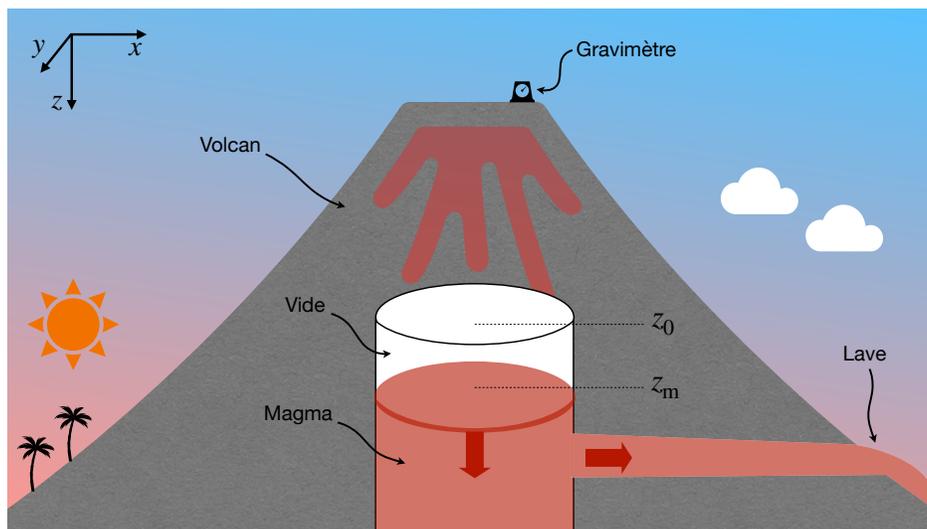


Figure 3 – Suivi de l'activité volcanique par gravimétrie.

Initialement, la chambre magmatique est pleine et la gravité mesurée est 1 mGal. Puis, une coulée de lave sur le flanc nord du volcan fait en sorte que la chambre magmatique se vide partiellement.

- Qualitativement, quel sera l'impact de l'écoulement du magma sur la gravité mesurée ?
- Dérivez l'anomalie de gravité causée par le magma qui baisse en fonction de ρ_m , R , z_0 et z_m .
- Si la densité du magma est 3100 kg/m^3 , le rayon de la chambre magmatique est 100 m, la distance entre le gravimètre et le plafond de la chambre est 200 m et la gravité mesurée est tombée à 0.04 mGal, calculez le volume de lave qui s'est échappé du volcan.
- Lorsque le magma quitte la chambre magmatique, cela réduit la pression sur les parois du volcan et cause un abaissement de quelques centimètres du sommet où le gravimètre est situé. Comment peut-on être sûr que le changement d'altitude du gravimètre ne nous empêche pas de calculer précisément le volume de lave qui s'est écoulé ?

Justifiez toutes vos démarches.

Question 4. Théorème de Gauss

Un collègue étudiant en génie civil vous contacte parce qu'il a besoin d'aide avec son projet intégrateur. Il doit tracer l'emplacement exact d'un réservoir d'eau sous un stationnement, en pleine ville, mais il a perdu les plans fournis par son professeur. Il se souvient d'avoir entendu parlé d'une méthode appelée le « micron-gravitron » alors qu'il discutait avec une personne étudiante en génie géologique durant une soirée de réseautage à Polytechnique. Il vous demande s'il serait possible d'utiliser cette méthode pour retrouver l'emplacement exact du réservoir.

Le réservoir est sphérique et son rayon est estimé à 1 m (Figure 4). Le réservoir est rempli d'eau, dont la densité volumique est $\rho_e = 1000 \text{ kg/m}^3$. Cependant, la coquille du réservoir, qui est très mince, est constitué d'un matériau dont la densité surfacique est $\sigma_f = 3000 \text{ kg/m}^2$. La densité volumique du sol encaissant est $\rho_r = 2500 \text{ kg/m}^3$.

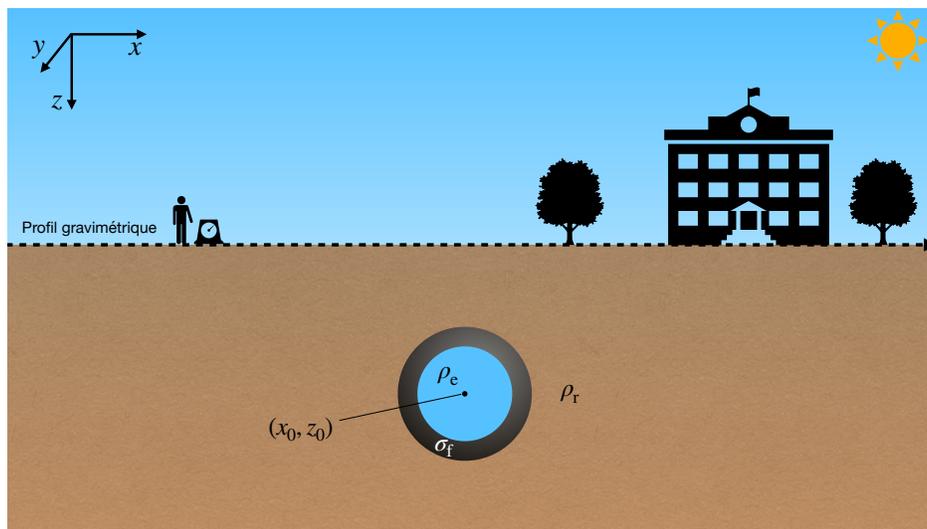


Figure 4 – Détection d'un réservoir d'eau par microgravimétrie.

Avant de demander à votre professeur de géophysique si vous pouvez emprunter un gravimètre, vous décidez de faire quelques calculs pour voir s'il est raisonnable d'utiliser cette méthode.

- Paramétrisez le contraste de masse fait par le réservoir par rapport au sol.
- Calculez la réponse gravimétrique attendue au-dessus du réservoir.
- Expliquez à votre collègue en génie civil pourquoi vous ne pouvez pas l'aider.

Justifiez toutes vos démarches.

Question 5. Connaissances générales

Il est crucial que vous puissiez faire preuve de discernement envers les différentes affirmations scientifiques auxquelles vous serez exposés tout au long de votre carrière.

Les réponses aux questions suivantes ont été produites par un modèle génératif de langage. On vous demande d'identifier les erreurs dans les réponses fournies par la machine et de compléter chaque réponse avec les notions vues en classe. S'il n'y a pas d'erreur dans une réponse, expliquez pourquoi celle-ci est exacte et donnez des exemples pour justifier vos arguments.

a) **Quelle est la différence principale entre l'ellipsoïde et le géoïde terrestre ?**

L'ellipsoïde est une surface mathématique, définie par une rotation d'ellipse autour de son petit axe, utilisée comme approximation simplifiée de la forme de la Terre. En revanche, le géoïde est une surface équipotentielle qui représente le niveau moyen de la mer étendu à travers les continents. Le géoïde reflète donc les irrégularités de la distribution de masse à l'intérieur de la Terre, ce qui le rend plus complexe et plus précis pour mesurer les altitudes réelles.

b) **Est-ce que l'anomalie de gravité d'un cylindre est plus grande que celle d'une sphère ?**

En général, pour un même rayon, une même profondeur et une même densité, l'anomalie de gravité générée par un cylindre infini peut être plus significative à de grandes distances du cylindre, en raison de la distribution étendue de sa masse. En revanche, la gravité d'une sphère décroît plus rapidement avec la distance par rapport à celle d'un cylindre infini.

c) **Parmi les corrections gravimétriques, quelle est la plus importante ?**

En gravimétrie, la correction la plus importante apportée aux données pour retirer les effets externes est la correction de Bouguer. Cette correction permet d'éliminer l'influence de la topographie environnante et de la masse de terre entre le point de mesure et le niveau de référence. Elle prend en compte à la fois l'attraction gravitationnelle due à la masse de roche entre l'instrument et le niveau de référence, ainsi que l'effet de la masse d'air au-dessus de l'instrument. La correction de Bouguer est cruciale pour obtenir des mesures de la gravité qui reflètent uniquement les variations de densité dans le sol.

d) **Quelle est la différence entre la modélisation directe et la modélisation inverse ?**

La modélisation directe commence avec un modèle géologique prédéfini pour prédire les réponses géophysiques attendues, permettant de tester la validité de modèles géologiques proposés. À l'inverse, la modélisation inverse utilise les données géophysiques réelles pour reconstruire et ajuster un modèle géologique du sous-sol qui explique au mieux ces données, facilitant l'interprétation des caractéristiques du sous-sol à partir des mesures géophysiques sans accès direct aux matériaux souterrains.

Justifiez toutes vos démarches.

Grille d'évaluation

L'examen est évalué sur 20 points. La clarté des réponses, la propreté de la présentation et la qualité des justifications appuyant les réponses sont évaluées partout. Pour toutes les questions, chaque sous-question a), b), ... vaut 1 point. Une réponse exacte, mais insuffisamment justifiée donne ½ point. Une réponse qui démontre des erreurs de compréhension évidentes donne 0 point.

Question 1 (5 points, ≈ 45 minutes)

Cet exercice vise à évaluer votre compréhension des effets de différents paramètres sur la gravité mesurée à la surface du sol. On s'attend à un graphique quantitatif pour les sous-questions a), b), c) et d). On s'attend à un graphique qualitatif pour la sous-question e). Toutes vos réponses devraient montrer la valeur demandée en fonction de x . Chaque graphique devrait être accompagné d'une justification sous forme de calculs et de quelques phrases.

Pour a) à d), on demande de tracer la valeur de chaque correction. On veut la valeur qui doit être ajoutée ou retranchée, selon le signe de la correction, à la gravité mesurée. Vous devez quantifier les axes des graphiques là où les dimensions données dans la Figure 1 le permettent.

Question 2 (4 points, ≈ 30 minutes)

Cet exercice vise à évaluer votre capacité à concevoir une solution géophysique à un problème de génie géologique. 1 point pour la justification sur l'utilisation de la gravimétrie et la direction du profil. 1 point pour la paramétrisation du problème. 1 point pour un calcul exact de l'anomalie gravimétrique minimale attendue. 1 point pour une recommandation sur la fréquence d'échantillonnage à utiliser pour atteindre les objectifs et minimiser les coûts du levé.

Question 3 (4 points, ≈ 30 minutes)

Cet exercice vise à évaluer votre capacité de paramétriser une mise en situation réelle avec des concepts de géophysique appliquée. Vous êtes évalués sur votre compréhension des concepts de paramétrisation de la Terre, de modélisation et d'interprétation géophysique. 1 point pour l'explication sur le signal de gravité anticipé. 1 point pour une bonne dérivation de l'anomalie de gravité. 1 point pour un calcul exact du volume de lave. 1 point pour les corrections proposées.

Question 4 (3 points, ≈ 15 minutes)

Cet exercice vise à évaluer votre capacité de paramétriser une mise en situation réelle avec des concepts de géophysique appliquée. Vous êtes évalués sur votre compréhension des concepts de paramétrisation de la Terre et de modélisation géophysique. 1 point pour la paramétrisation du problème. 1 point pour un calcul exact de l'anomalie de gravité attendue. 1 point pour les explications fournies à l'étudiant en génie civil.

Question 5 (4 points, ≈ 30 minutes)

Cet exercice vise à évaluer vos connaissances générales et votre jugement critique en géophysique appliquée. On s'attend à des réponses concises sous forme d'un court paragraphe. Utilisez des schémas ou des exemples concrets pour justifier vos réponses et supporter vos arguments.