

Examen final

GLQ2200 – Géophysique appliquée 1 Hiver 2023

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

Nom : _____ Matricule : _____

Consignes :

- L'examen doit être fait **individuellement**.
- Aucune communication entre les étudiants n'est permise concernant l'examen.
- Le questionnaire fait 6 pages et contient 4 questions pour un total de 20 points.
- Une **grille d'évaluation** est donnée à la page 6 du questionnaire.
- Le début de l'examen est dimanche le 16 avril 2023 à 12h00 (midi).
- La fin de l'examen est mardi le 18 avril 2023 à 12h00 (midi).
- L'examen se fait à livre ouvert et toute documentation, incluant Internet, est permise.
- **Justifiez toutes vos démarches** et citez vos sources au besoin.
- Le professeur ne répondra à aucune question pendant la durée de l'examen.
- **Mettre au propre** vos réponses de façon **bien organisée**.
- Un cahier de réponses difficile à lire recevra une pénalité de 4 points.
- 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 minérale près de Malartic (48.1366° N, 78.1271° O) dans la région de l'Abitibi. Le levé est effectué en abaissant lentement un gravimètre dans un trou de forage percé dans des roches sédimentaires homogènes dont la densité moyenne est égale à 2700 kg/m^3 . Vous savez qu'une ancienne galerie minière (densité égale à 0 kg/m^3) dont le centre est situé à (x_1, z_1) passe près du forage. Votre objectif est de localiser une formation de fer située à (x_2, z_2) et dont la densité est estimée à 5400 kg/m^3 .

Le forage est vertical et s'étend sur 1 km, comme montré sur la Figure 1. Une station de base est située au sommet du forage. Avant de commencer le travail, on mesure la gravité à la station de base et obtient une valeur de 15 mGal. Une fois le profil complété, on remonte le gravimètre très rapidement à la surface et la gravité mesurée à la station de base est maintenant égale à 9 mGal.

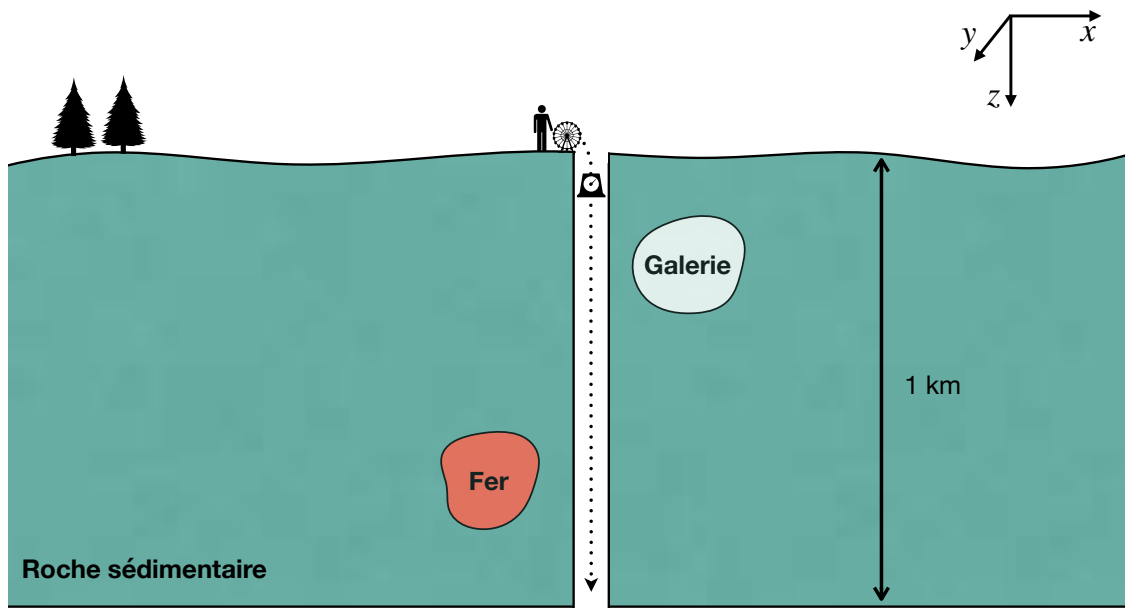


Figure 1 – Sondage gravimétrique en forage.

En justifiant toutes vos démarches, tracez 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.

Toutes vos réponses devraient montrer la valeur demandée en fonction de z.

Question 2. Conception d'un levé géophysique

Du 26 juin au 13 septembre 1759, les canons de l'armée anglaise ont tiré des dizaines de milliers de boulets et de bombes incendiaires sur la ville de Québec à partir de la rive sud du fleuve Saint-Laurent. La directrice d'un musée d'histoire vous contacte et vous questionne par rapport à la capacité des méthodes géophysiques à détecter des bombes incendiaires qui seraient toujours enfouies dans les plaines d'Abraham. En bon ingénieur(e) géologue, vous commencez par faire des recherches sur les propriétés physiques et géométriques de la cible.

Vos recherches indiquent que les boulets sont des coquilles vides sphériques fabriquées en fonte, un alliage de fer et de carbone. On sait que les bombes devraient être enfouies à une profondeur entre 1 et 2 m et que leur diamètre est exactement 30 cm, tel que montré à la Figure 2. D'après l'IGRF, $F = 55\,000\text{ nT}$ et on peut faire l'approximation que $D = 0^\circ$ et $I = 90^\circ$.

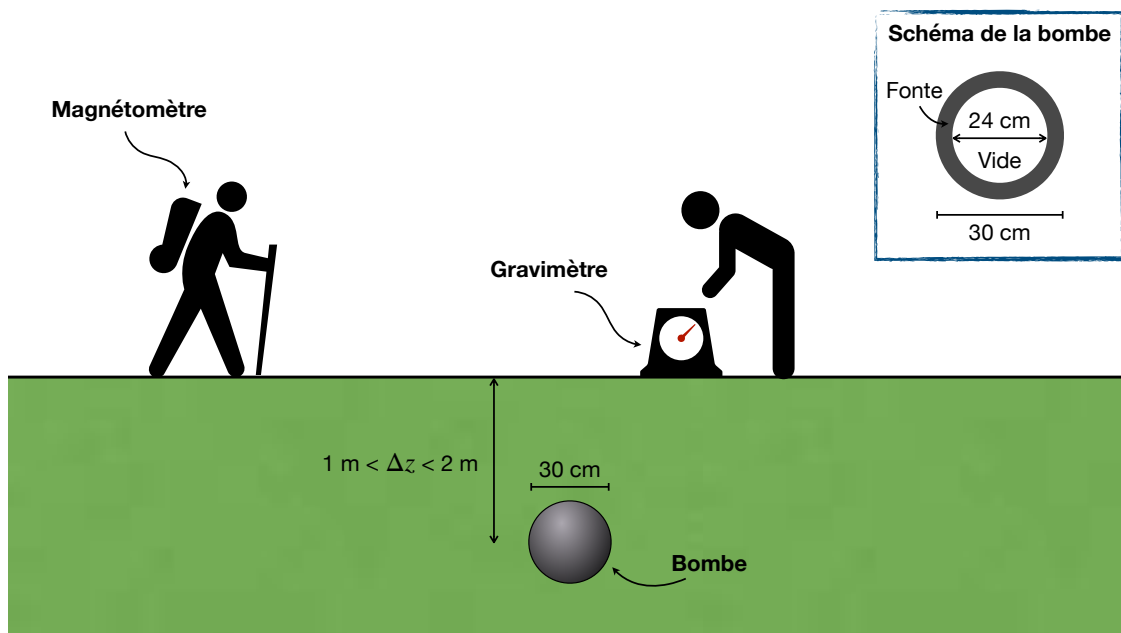


Figure 2 – Détection de bombes incendiaires non explosées sur les plaines d'Abraham.

Pour répondre à la directrice du musée, vous devez :

- estimer la densité et la susceptibilité magnétique du sol et de la bombe incendiaire ;
- calculer l'anomalie gravimétrique minimale qui serait produite par une bombe incendiaire ;
- calculer l'anomalie magnétique minimale qui serait produite par une bombe incendiaire ;
- identifier la méthode géophysique la plus appropriée et calculer la fréquence d'échantillonnage requise pour atteindre votre objectif sur le terrain ;
- synthétiser vos démarches et émettre vos recommandations finales à la directrice du musée.

Justifiez toutes vos démarches.

Question 3. Modélisation magnétique et analyse spectrale

Les failles sont des structures tectoniques qui peuvent créer des contrastes de propriétés physiques en déplaçant des unités géologiques les unes par rapport aux autres. On s'intéresse ici à la signature magnétique d'une faille normale, qui a déplacé verticalement des unités de roches sédimentaires et de basaltes (Figure 3). On considère que le mort-terrain n'est pas magnétique. La susceptibilité magnétique des roches sédimentaires est évaluée à 10^{-6} SI et celle des basaltes à 10^{-1} SI. Le champ magnétique a une intensité de 55 000 nT et est orienté vers le bas.

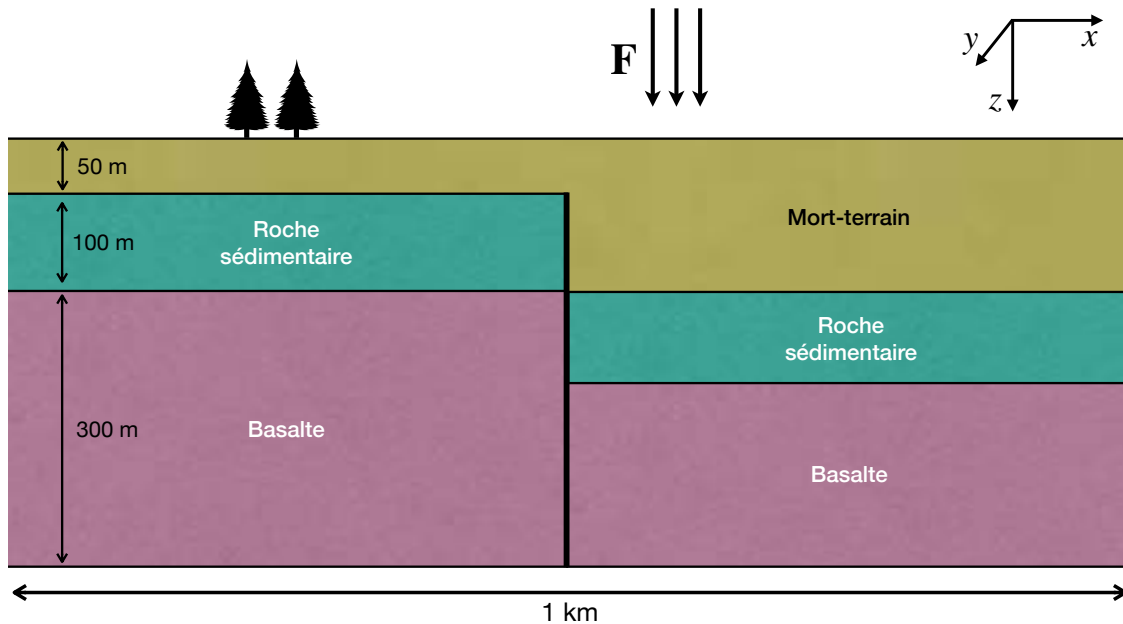


Figure 3 – Section géologique montrant une faille normale.

On vous demande de :

- proposer une paramétrisation pétrophysique du problème ;
- calculer l'anomalie de champ total créée par la faille normale ;
- tracer un graphique semi-quantitatif de l'anomalie calculée en b) ;
- expliquez comment vous pourriez calculer analytiquement l'emplacement précis de la faille à partir de son anomalie magnétique trouvée en b) ;
- écrire un pseudo-code qui permettrait de calculer numériquement l'emplacement précis de la faille à partir de l'anomalie, si celle-ci avait été mesurée sur le terrain.

Justifiez toutes vos démarches.

Question 4. Interprétation magnétique

Vous réalisez un levé magnétique dans une région de l'hémisphère nord terrestre où l'inclinaison du champ magnétique est 45° . Une ligne du levé passe au-dessus d'un pluton qui recoupe un socle de roche sédimentaire, comme illustré à la Figure 4. La susceptibilité magnétique de la roche sédimentaire est pratiquement nulle. Pour faciliter l'interprétation des données magnétiques, il serait utile de modéliser la réponse magnétique du pluton selon différents scénarios.

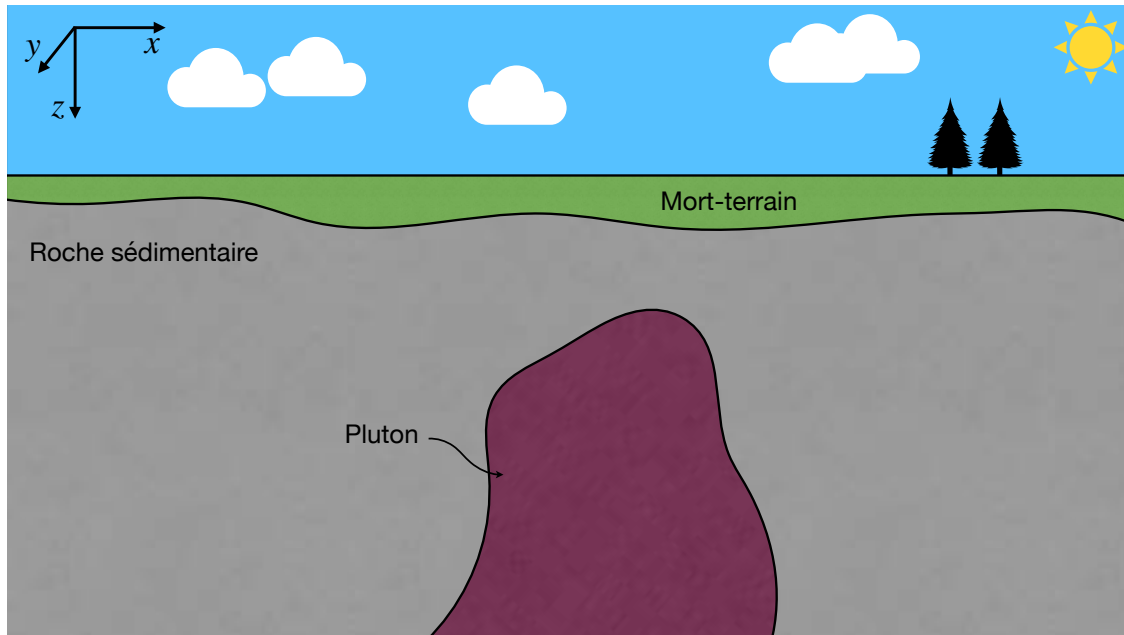


Figure 4 – Illustration d'un pluton qui recoupe une roche sédimentaire.

Tracez l'anomalie magnétique qui serait mesurée au-dessus du profil si le pluton est :

- diamagnétique ;
- paramagnétique ;
- ferromagnétique et son aimantation rémanente est orientée vers le sud ;
- paramagnétique, mais après avoir appliqué l'opération de réduction au pôle sur l'anomalie ;
- paramagnétique, mais la situation est maintenant dans l'hémisphère sud terrestre.

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) à e) vaut 1 point. Une réponse exacte, mais incomplète donne ½ point. Une réponse qui démontre des erreurs de compréhension évidentes donne 0 point.

Question 1 (5 points)

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). 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. Chaque graphique devrait être accompagné d'une justification sous forme de calculs et de quelques phrases. Vous devez quantifier les axes des graphiques là où les dimensions données dans la Figure 1 le permettent.

Question 2 (5 points)

Cet exercice vise à évaluer votre capacité à concevoir une solution basée sur les méthodes géophysiques pour un problème de génie géologique. 1 point pour la paramétrisation du problème. 1 point pour un calcul exact de l'anomalie gravimétrique attendue. 1 point pour un calcul exact de l'anomalie magnétique attendue. 0.5 point pour un bon choix de méthode et 0.5 point pour un calcul exact de la fréquence d'échantillonnage requise. 1 point pour les recommandations finales.

Question 3 (5 points)

Cet exercice vise à évaluer votre capacité de paramétrer 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 une bonne paramétrisation. 1 point pour une dérivation exacte de l'anomalie magnétique. 1 point pour le graphique semi-quantitatif. 1 point pour le calcul analytique de l'emplacement précis de la faille. 1 point pour la stratégie de filtrage pour localiser l'emplacement précis de la faille.

Question 4 (5 points)

Cet exercice vise à évaluer vos connaissances générales sur les propriétés magnétiques des géomatériaux et sur leurs interactions avec le champ magnétique terrestre. Vous devez utiliser des schémas et des courts paragraphes pour justifier chaque réponse. Vos réponses doivent être semi-quantitatives et réalistes, c'est-à-dire qu'elles doivent être relatives les unes aux autres. Vous êtes évalués sur la clarté et l'exactitude de chaque réponse.