

CONTRÔLE PÉRIODIQUE

GLQ2200

GÉOPHYSIQUE APPLIQUÉE 1

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL
DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES
PROFESSEUR : CHARLES L. BÉRUBÉ

NOM : _____ MATRICULE : _____ 7 MARS 2021

Consignes :

- L'examen doit être fait **individuellement**. Choisissez un lieu calme.
- Le questionnaire fait 6 pages et contient 5 questions pour un total de 20 points.
- Le temps alloué pour compléter l'examen est 48 heures.
- Le début de l'examen est le dimanche 7 mars 2021 à 12h00.
- La fin de l'examen est le mardi 9 mars 2021 à 12h00.
- Toute documentation est permise (examen à livre ouvert).
- Le professeur ne répondra à aucune question pendant la durée de l'examen.
- Répondre aux questions au propre et de façon bien organisée.
- 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.
- **Justifiez toutes vos démarches** et identifiez vos sources au besoin.
- L'étudiant.e a pris connaissance des règles institutionnelles concernant la fraude et le plagiat qui sont clairement citées dans le plan de cours.
- L'étudiant.e doit honorer l'engagement pris lors de la signature du code de conduite.

SIGNATURE DE L'ÉTUDIANT : _____

Question 1. Connaissances générales (4 points)

Justifiez toutes vos démarches et discutez brièvement de vos réponses.

- Le géoïde est une surface équipotentielle du champ de gravité terrestre. Si on place une bille à l'équateur sur cette surface, dans quelle direction roulera-t-elle ? Alors, pourquoi est-ce que les cours d'eau se déversent dans les océans ? Discutez.
- Supposez que la Terre tourne de plus en plus vite sur elle-même, tellement que la gravité ressentie par un observateur situé à l'équateur devient nulle. À cette vitesse radiale, quelle serait la longueur d'une journée ? Quelle serait la gravité au pôle Nord ?
- Le fait qu'on puisse exprimer le champ gravitationnel comme le gradient d'un potentiel scalaire implique que ces deux quantités sont continues partout. Pourtant, les signaux qu'on mesure en gravimétrie sont discrets. Expliquez pourquoi et discutez de ce que ça implique pour le contenu fréquentiel des données géophysiques.
- Sous les chaînes de montagnes, l'épaisseur de la croûte terrestre peut atteindre 70 km à cause de la racine orogénique crustale qui supporte la masse excédentaire sur le manteau (figure 1). C'est une question d'équilibre isostatique. Tracez le profil de l'anomalie de Bouguer qui serait mesurée au-dessus du modèle géologique de la figure 1. Avez-vous déjà vu cet effet ailleurs ? Discutez.

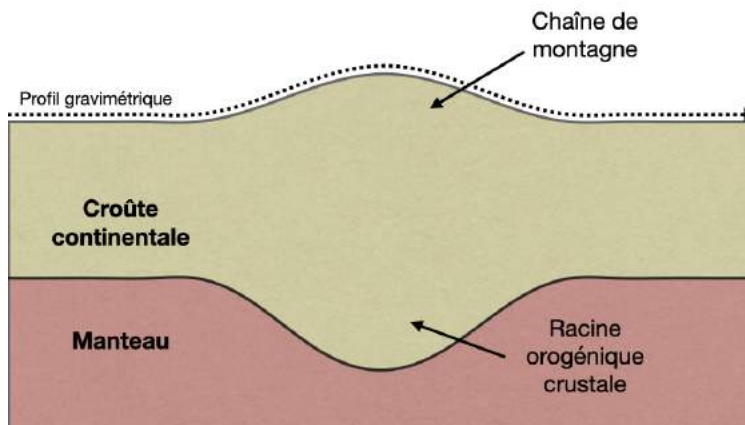


FIGURE 1 – Géométrie du problème pour la question 1d.

- On veut mesurer la gravité absolue (g) à la surface d'une planète avec un gravimètre à chute libre. L'appareil laisse tomber une masse sur une distance verticale (z) et mesure le temps (t) que prend la masse à parcourir cette distance. Si l'incertitude relative sur la mesure du temps est de 10^{-6} (en d'autres mots, $1 \mu\text{s/s}$), quelle sera l'incertitude relative sur la gravité mesurée ? Comment est-ce que cette valeur se compare avec les anomalies géologiques anticipées sur une planète comme la Terre ? Discutez.

Indice : L'équation du mouvement pour une masse en chute libre est

$$z = \frac{1}{2}gt^2. \quad (1)$$

Question 2. Conception d'un levé de gravimétrie (4 points)

On planifie des travaux de construction sur une île où le sol est propice à la formation de cavités karstiques. L'ingénieur.e responsable des travaux vous demande de concevoir et de réaliser un levé de microgravimétrie pour détecter la présence de cavités sur le site. Les dimensions du site sont d'environ $200 \text{ m} \times 200 \text{ m}$. Le sol a une densité de 2000 kg/m^3 .

D'après nos connaissances hydrogéologiques de l'île, la forme des cavités peut être divisée en deux groupes : grottes (sphériques) et tunnels (cylindriques), comme montré sur la figure 2. Les cavités peuvent être remplies d'air ou d'eau.

Le centre des tunnels est entre 3 et 6 mètres de profondeur, leur diamètre moyen est de 2 mètres et leur longueur est considérée infinie. On sait aussi que l'axe des tunnels fait un angle préférentiel de 20° avec l'Est. Finalement, les grottes se trouvent généralement aux mêmes profondeurs que les tunnels, mais leur diamètre moyen est de 4 mètres.

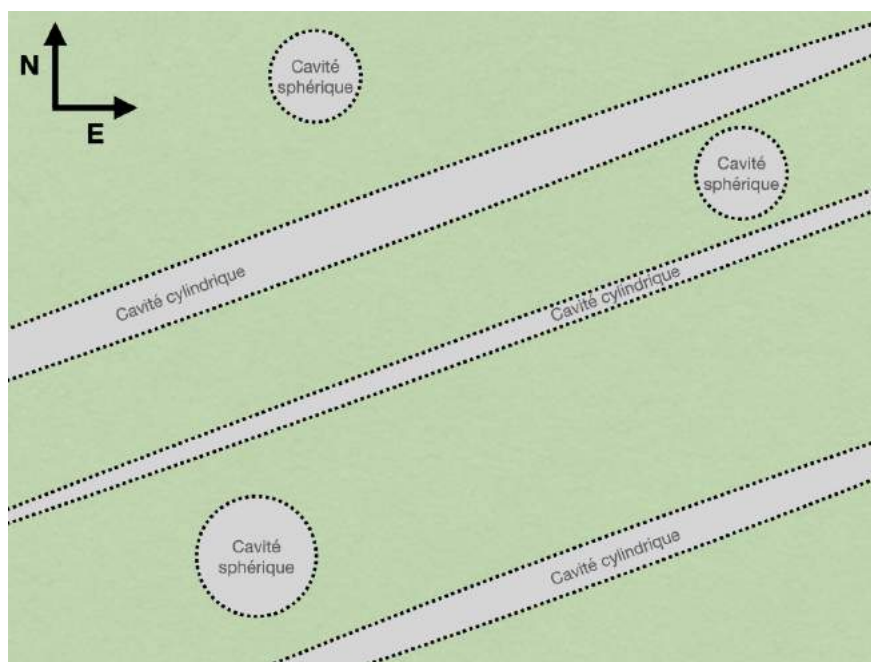


FIGURE 2 – Géométrie du problème pour la question 2.

- Quel angle proposez-vous pour l'orientation des traverses ?
- Proposez une fréquence d'échantillonnage raisonnable à utiliser le long des traverses. Établissez aussi la distance maximale entre les traverses.
- Quelle sera l'amplitude des plus petites anomalies ?
- Expliquez pourquoi vous devrez consacrer une bonne partie du budget pour faire un arpentage très précis du site, en plus des mesures de gravité.

Indice : Pour être sûr de satisfaire le théorème d'échantillonnage, on veut avoir au moins 2 points de mesures sur la pleine largeur à mi-hauteur ($2 \times x_{1/2}$) des anomalies anticipées.

Question 3. Corrections gravimétriques (4 points)

Une sphère de densité ρ_2 est partiellement enfouie dans une prairie (densité ρ_1), tel que montré à la figure 3. Le rayon de la sphère (a) est 5 km. La hauteur de la sphère qui dépasse de la surface du sol (h) est 4 km. La sphère fait un contraste de densité positif par rapport au milieu encaissant ($\rho_2 > \rho_1$).

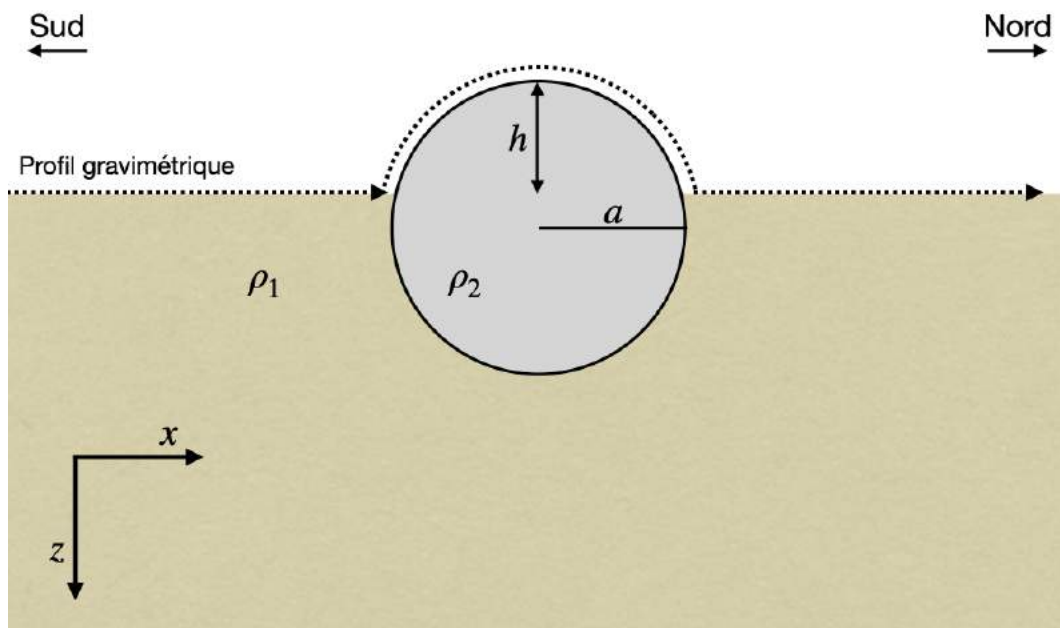


FIGURE 3 – Géométrie du problème pour la question 3.

On fait un levé de gravimétrie le long du profil montré sur la figure 3. L'extrémité sud du profil correspond à l'équateur terrestre et le profil se termine 40 km au nord de l'équateur. On constate que la dérive (instrument et marées) est nulle.

Tracez le profil de :

- la gravité qui serait mesurée avec un gravimètre absolu ;
- la gravité rapportée à l'ellipsoïde et corrigée pour la latitude ;
- la gravité corrigée pour la latitude et l'altitude ;
- l'anomalie de Bouguer ;

en précisant sur vos graphiques l'échelle des valeurs et la forme de l'anomalie pour chaque étape des corrections.

Question 4. Modélisation et interprétation gravimétrique (4 points)

On veut faire un levé de microgravimétrie pour estimer la profondeur d'une conduite d'eau dans un sol dont la densité volumique de masse est $\rho_e = 2000 \text{ kg/m}^3$.

La topographie est plate, mais le profil envisagé passe sous une tour d'eau (figure 4). Le réservoir est paramétrisé comme une sphère de 10 m de diamètre. Le centre du réservoir est à une hauteur de 10 m par rapport à la surface du sol. Le réservoir est plein d'eau.

La conduite recherchée est située à une position (x_2, z_2) inconnue. Elle est paramétrisée comme une coquille cylindrique de rayon $a_2 = 5 \text{ m}$ et de longueur infinie ($L_2 \rightarrow \infty$). La conduite est faite d'un alliage de plomb et sa densité surfacique de masse est $\sigma_2 = 4500 \text{ kg/m}^2$. La conduite est remplie d'eau.

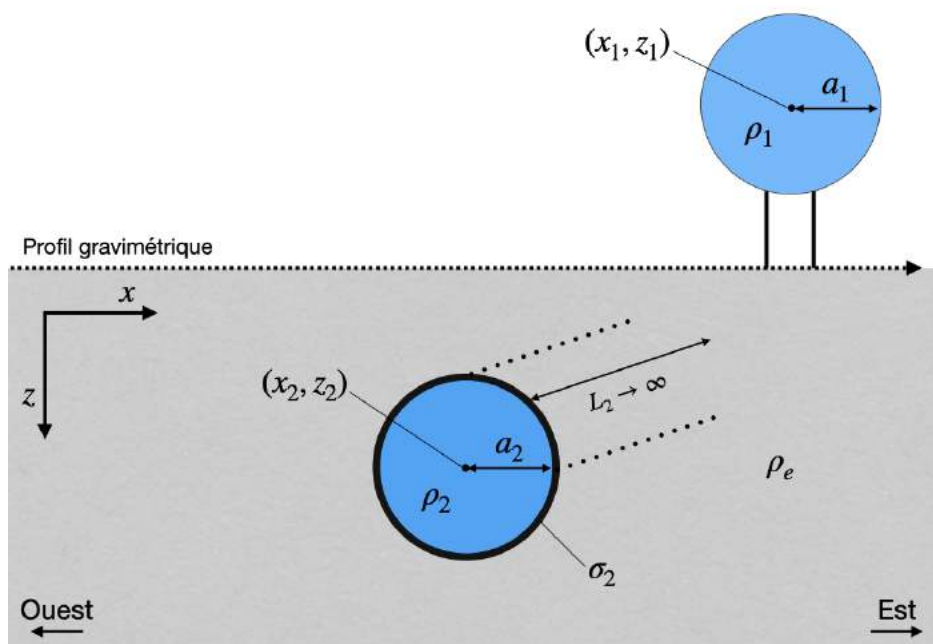


FIGURE 4 – Géométrie du problème pour la question 4.

On négligera la dérive de l'instrument, l'effet des marées et l'effet des poutres qui soutiennent le réservoir. Le profil est orienté est-ouest.

- Calculez la réponse gravimétrique du réservoir d'eau partout sur l'axe des x .
- Calculez la réponse gravimétrique de la conduite enfouie partout sur l'axe des x .
- Tracez l'anomalie de Bouguer qui serait obtenue sur le profil gravimétrique. Votre graphique doit montrer la forme (amplitude et largeur à mi-hauteur) exacte de l'anomalie.
- Discutez de l'ambiguïté liée à l'interprétation des données gravimétriques selon ce que vous venez d'apprendre en b) et c).

Question 5. Détermination de l'épaisseur des alluvions (4 points)

Une alluvion est déposée sur un socle rocheux, tel que montré à la figure 5. L'épaisseur totale de l'alluvion est D . À la surface terrestre, le contraste de densité entre l'alluvion et le roc est $\Delta\rho_0$. Cependant, plus on descend dans l'alluvion plus sa densité est élevée à cause de la compaction des grains. Le contraste de densité entre l'alluvion et le socle ($\Delta\rho$) en fonction de la profondeur est

$$\Delta\rho = \Delta\rho_0 e^{-\lambda z}, \quad (2)$$

où λ est une constante strictement positive exprimée en m^{-1} . La surface terrestre correspond à $z = 0$ et z , exprimé en m, est positif vers le bas.

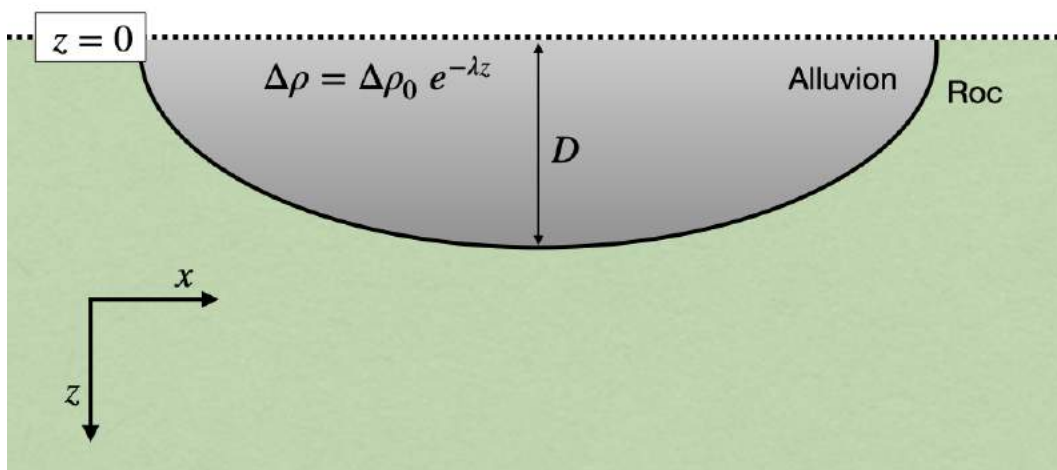


FIGURE 5 – Géométrie du problème pour la question 5.

- Expliquez pourquoi la compaction de l'alluvion en profondeur fait augmenter sa densité.
- Calculez l'accélération gravitationnelle telle que mesurée au centre de l'alluvion à la surface terrestre. On suppose que l'alluvion est tellement grande dans les directions $\hat{x}$ et $\hat{y}$ qu'elle peut être paramétrisée comme une tranche de Bouguer.
- Montrez que quand la profondeur totale du bassin est très grande ($D \rightarrow \infty$), la gravité obtenue en b) tend vers une valeur limite constante.
- D'après ce que vous venez d'apprendre, est-ce que ça vous semble une bonne idée d'utiliser la méthode de gravimétrie pour estimer l'épaisseur des alluvions?