$\boxed{4}$
Stabilité d'une galerie renforcée

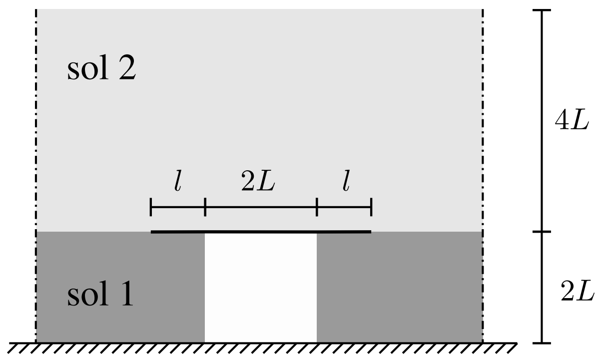


Figure 1 – Problème de stabilité d'une galerie renforcée

On se propose d'étudier la stabilité d'une galerie carrée de dimension $2L = 5$ m creusée dans un massif comportant 2 couches de sol de hauteurs respectives 5 m et 10 m et de propriétés élastiques $E = 1$ GPa, $\nu = 0.25$, de poids volumique $\gamma = 20$ kN/m^3 et obéissant à un critère de Tresca de cohésion $C_1 = 1$ MPa pour le sol 1 et $C_2 < C_1$ pour le sol 2 (cf. Figure 1). On prendra $K_0 = 1$ pour l'état initial.

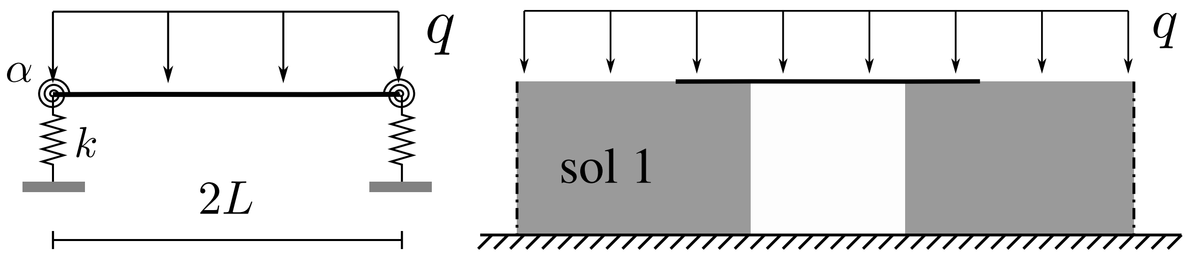
La galerie est renforcée en face supérieure par une dalle en béton d'épaisseur $e = 20$ cm et ancrée dans le sol de part et d'autre sur une longueur l. La résistance de la dalle est donnée par sa résistance en traction $N_0 = 6000$ kN/m et en flexion $M_0 = 400$ kN.m/m. Dans toute la suite, on négligera le poids propre de la dalle.

1 Calcul élastoplastique sur un modèle simplifié

1. On considère, **dans un premier temps**, le modèle simplifié représenté sur la Figure 2a constitué de la dalle en béton dont on ne modélise que la longueur $2L$ et appuyée sur des ressorts verticaux et de torsion de raideurs respectives k et α. Rappeler les relations entre les réactions d'appuis et les déplacements d'appuis dans ce cas.

2. Cette poutre est soumise à un effort distribué uniforme q. Donner une expression de q représentative des données du problème initial. Décrire de manière simplifiée les effets que représentent les ressorts d'appuis et de quels paramètres du problème initial vont dépendre, *a priori*, k et α.

https://educnet.enpc.fr/course/view.php?id=198



(a) Modèle simplifié de poutre (b) Modèle simplifié poutre+sol

Figure 2 – Deux modélisations simplifiées

3. Donner l'expression des moments à mi-travée et sur appuis en fonction des données du modèle simplifié. On introduira $\eta = \dfrac{\alpha L}{EI}$ et on discutera des valeurs obtenues pour les cas limites $\eta = 0$ et $\eta \to \infty$.

4. On considère à présent un comportement élastoplastique pour la dalle en flexion (moment limite M_0) et pour le ressort de torsion, de moment limite m. Décrire l'évolution du système en fonction des valeurs de η et du rapport m/M_0.

5. Effectuer la résolution analytique de la réponse élastoplastique dans le cas où $m \ll M_0$ et $k = \infty$. On donnera en particulier la courbe effort-déplacement à mi-travée ainsi que la valeur de la pente élastique et la charge limite.

2 Comparaison avec un calcul élastoplastique

1. Dans cette partie, on considère le deuxième modèle simplifié représenté Figure 2b. Effectuer la modélisation du problème sous OptumG2 en phase élastique. Discuter de l'influence de la longueur l sur les valeurs des moments dans la dalle. Identifier la valeur de α pour le cas particulier $l = 0.5$ m.

2. Effectuer un calcul élastoplastique jusqu'à une valeur de $q = 140$ kN/m. Identifier la valeur de m du modèle de poutre précédent à partir d'une courbe moment/rotation.

3. Comparer la courbe effort/déplacement obtenue à celle calculée en 1.5 et commenter les résultats obtenus.

3 Calcul à la rupture sur modèle simplifié

1. En reprenant le modèle simplifié de la Figure 2b, proposer un majorant analytique de la charge limite de la structure ne dépendant que de la résistance M_0 de la plaque et de L.

2. Calculer un majorant de la charge limite en considérant le mécanisme représenté Figure 3. Effectuer l'application numérique afin de déterminer le meilleur majorant pour le cas $l = 0.5$ m et $l = 1$ m. Commenter.

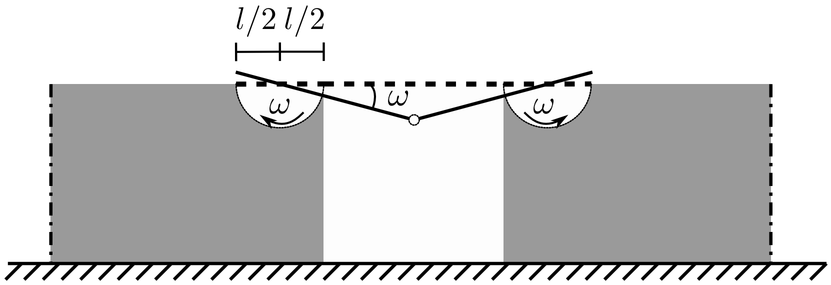
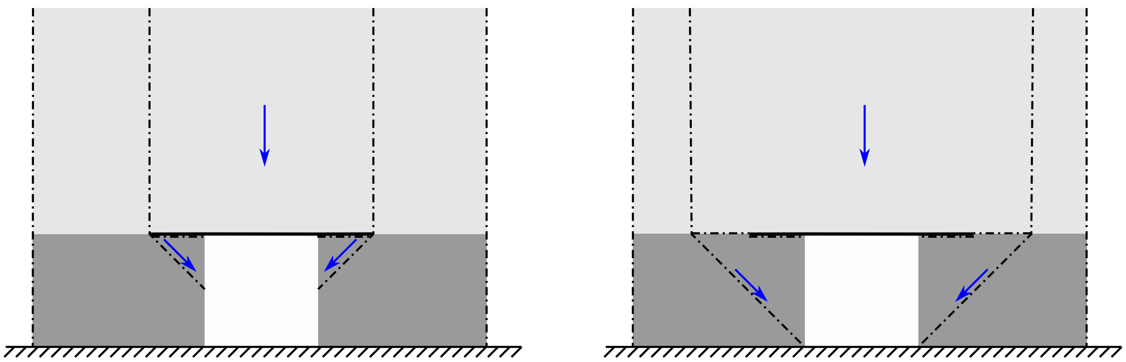


Figure 3 – Mécanisme mettant en jeu des blocs en rotation à une vitesse ω et de rayon $l/2$



(a) Mécanisme M1

(b) Mécanisme M2

Figure 4 – Mécanismes de ruine de blocs rigides (angles à 45°)

3. Retrouver les résultats précédents en faisant un calcul de type *Limit analysis* avec OptumG2.

4 Calcul à la rupture sur le modèle complet

1. On modélise à présent le problème complet (Figure 1). On fixera dans toute la suite la longueur $l = 1$ m et on considérera à chaque fois 3 valeurs différentes pour la cohésion du sol 2: $C_2 = 100, 200$ et 500 kPa. Estimer la charge limite sous OptumG2 et commenter l'ordre de grandeur trouvé pour le facteur de stabilité par rapport à ceux obtenus dans la section précédente. Expliquer d'où provient la différence.

2. Calculer analytiquement un majorant du facteur de stabilité en considérant les deux mécanismes de la Figure 4. On notera qu'au niveau de la dalle, la discontinuité horizontale passe dans le sol 1 tandis que pour le mécanisme M2 la partie horizontale située en dehors de la dalle passe dans le sol de plus faible cohésion, le sol 2 ici.

3. Comparer les estimations analytiques et numériques et commenter les écarts observés.

4. Effectuer des estimations de la charge limite sous OptumG2 en considérant la dalle comme infiniment résistante. Comparer à nouveau les résultats obtenus aux estimations analytiques et commenter.