

Exercice #4

La rupture du “Transcona Grain Elevator”



FIGURE 1 – Rupture par rotation de la fondation superficielle du complexe de silos à grains de Transcona (circa 1913).

Le complexe de silos à grains de Transcona (Canada - Nord-Est de Winnipeg) consistant de 5 rangées de 13 silos (28 mètres de haut / 4.4 mètres de diamètre interne, épaisseur 5cm en béton - toit ~ rectangulaire de 20cm d'épaisseur) est rentré en service en septembre 1913. Mi-Octobre 1913, alors que le taux de remplissage arriva à 87.5%, une rupture (lente) en rotation s'est produite. L'inclinaison finale (au bout de 24h) se 'stabilisa' autour de 27°. La fondation de cet ouvrage est un simple radier (dimensions $b = 23.5$ m, $L = 59.5$ m, épaisseur 1.5 mètre), à une profondeur de 3.7 m au dessous de la surface. On notera que le grain stocké avait un poids de $\gamma = 13.15\text{kN/m}^3$ (valeur prenant en compte la 'porosité' de ce milieu granulaire). Un profil simplifié du sol est représenté sur la figure 2. La géologie du site consiste en une couche d'argile de même texture / composition mais 2 couches de propriétés mécanique différentes sont clairement visible.

On se propose de revisiter par différentes approches la capacité portante à court terme de cet ouvrage.

1 Analyse limite cinématique du mécanisme de rupture (borne supérieure)

En s'inspirant du mécanisme de ruine observé réellement, dériver une borne supérieure de la capacité portante q_p en faisant l'hypothèse d'une semelle filante (calcul 2D - longueur de fondation infini), d'un sol homogène de cohésion non-drainée c_u et d'une charge q à la profondeur de la fondation en raison du sol au-dessus du niveau de base de la fondation. On suppose également que la force transmise au sol sous la fondation est uniforme, malgré l'espacement entre le bord des silos et le bord du radier. On se reportera à la figure 3 pour une description du mécanisme de ruine (on notera que $\sin \alpha = b/R$ pour simplifier les calculs). On néglige l'effet du poids du sol pour le calcul de cette borne supérieure.

- Obtenir une expression (semi-analytique) de la capacité portante
- Comparer le résultat obtenu avec la solution exacte de Prandtl
- Effectuer ensuite une application numérique pour le cas de Transcona - calculer un facteur de sécurité
- Discuter comment prendre en compte le fait que le sol est mécaniquement inhomogène

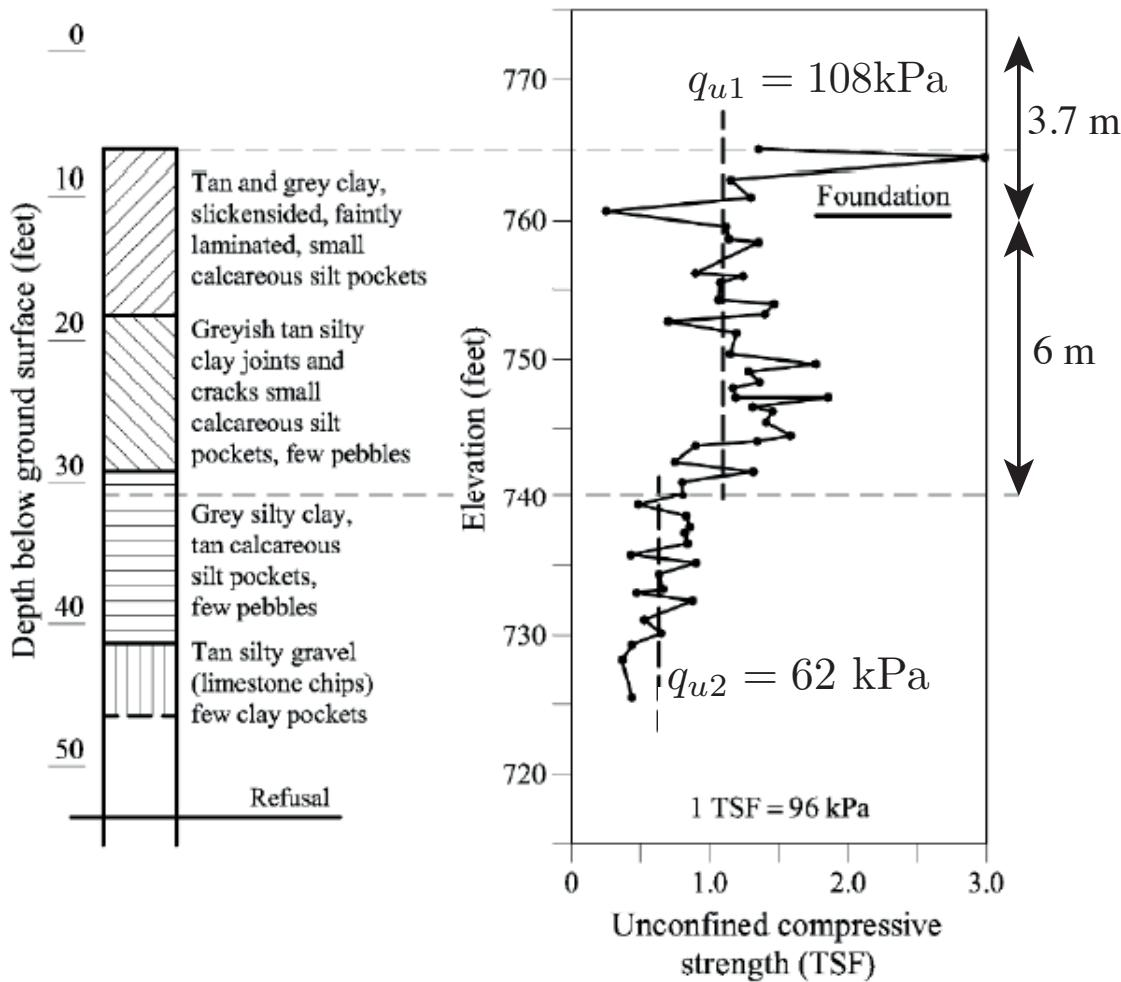


FIGURE 2 – Profil lithographique du sol & résultats d'essai uni-axial non-drainée (en fonction de la profondeur). Le poids de l'argile dans les 2 couches est de $\gamma = 18.7 \text{ kN/m}^3$. On déduira c_u à partir de la résistance à la compression uniaxial non-drainée q_u . Données d'après Peck & Bryant, 1955.

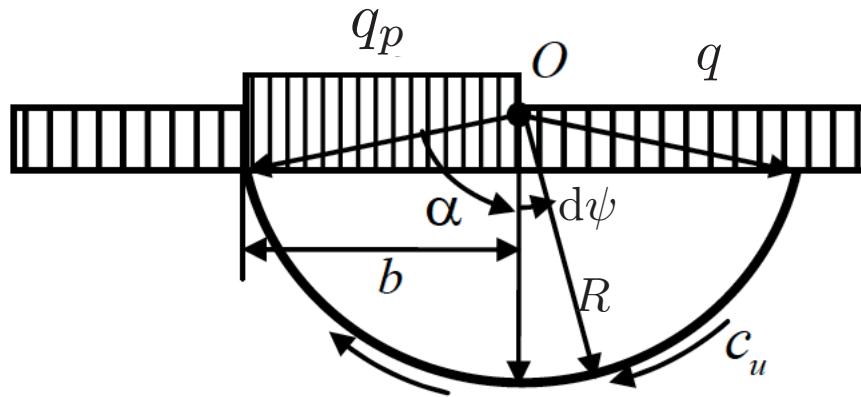


FIGURE 3 – Mécanisme de ruine circulaire (avec un centre potentiellement au dessus du niveau de la fondation superficielle).

2 Calcul à court terme - approche classique

En utilisant la formule de la capacité portante à court terme vue en cours (Prandtl), estimer la capacité portante pour le cas des dimensions réelles de l'ouvrage. Discuter.

3 Calcul à court terme - chargement différent

On effectue maintenant un calcul hypothétique, en prenant en compte

- qu'une action horizontale de $2.5MN$ s'applique perpendiculairement à la plus grande dimension de l'ouvrage à mi-hauteur de la partie hors-sol du bâtiment (charge externe due au vent)
- que les silos n'étaient pas remplis de manière uniforme : les trois rangées de silo d'un côté de l'ouvrage étaient plus remplis et comptaient au final pour 75% de la charge due aux grains

Re-estimer la capacité portante pour ce cas en prenant la charge horizontale du même côté que les silos les moins remplis. Faites le calcul en prenant la cohésion non-drainée de la couche supérieure pour comparer.