

GEO5

Méthode des éléments finis : Tassement d'une fondation de silo circulaire

Résumé

L'objectif de ce cahier technique est d'analyser le tassement d'une fondation de silo circulaire en utilisant la méthode des éléments finis et le module de symétrie axiale.

Le fichier exemple correspondant est « Demo_manual_22.gmk ».

ATTENTION : Dans ce document, l'utilisateur sera guidé à travers toutes les étapes de définition et d'analyse d'un projet géotechnique, dans un contexte établi par l'auteur. L'utilisateur doit être informé que les réglages de l'analyse (onglet « Paramètres ») sont de sa responsabilité et doivent être vérifiés/adaptés avant de commencer tout nouveau projet.

1 Projet

Déterminer le tassement d'une fondation de silo circulaire (épaisseur de 0,5 m et diamètre de 20,0 m) induit par le remplissage complet du silo, c'est-à-dire la surcharge $q = 150$ kPa. Déterminer ensuite le tassement total du silo après son vidage. Le profil géologique et les paramètres des sols sont identiques à ceux du profil décrit dans l'étude précédente (chapitre 21. Analyse du tassement du terrain). Appliquer la symétrie axiale à ce cas particulier. La fondation du silo circulaire est en béton armé mure de classe C 20/25.

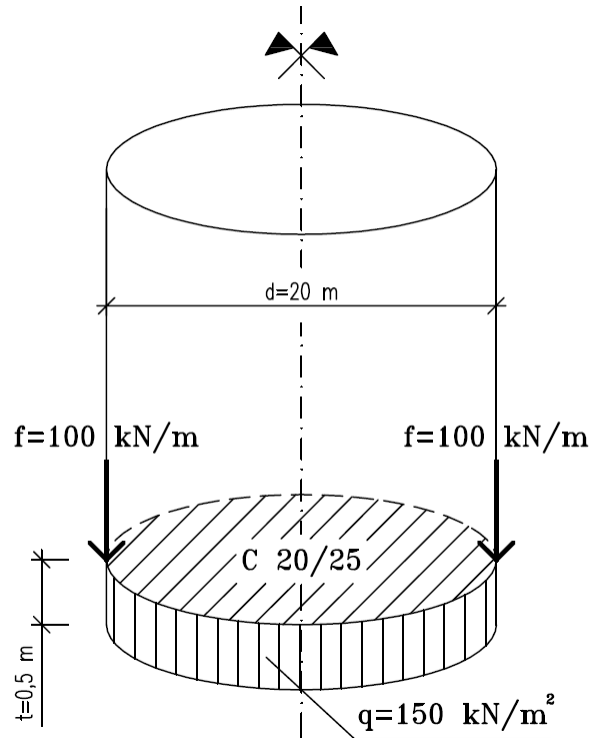


FIGURE 1 – Spécification de l'étude - Fondation de silo circulaire

Dans ce cas, les valeurs de la déformation verticale totale, c'est-à-dire le tassement d_z [mm], seront dérivées du modèle de matériau de Mohr-Coulomb uniquement. La comparaison d'autres modèles de matériaux avec différentes densités de maillage a été effectuée dans le chapitre 21 : Analyse du tassement du terrain induit par la surcharge en bande.

2 Solution

Nous allons utiliser le programme GEO5-MEF pour réaliser cette analyse. La résolution de ce problème étape par étape va suivre le plan suivant :

1. Topologie : paramétrage et modélisation du problème (points libres)
2. Phase de construction 1 : analyse des contraintes géostatiques
3. Phase de construction 2 : modélisation et chargement sur les éléments de poutre, calcul du tassement,
4. Phase de construction 3 : calcul du tassement (déformation) de la surface de la fondation déchargée et des efforts internes,
5. Évaluation des résultats : comparaison et conclusion.

Remarque : Pour résoudre cette tâche, nous allons représenter la fondation du silo en béton armé par des éléments de poutre sans éléments de contact supposant ainsi une liaison parfaite entre la fondation et le sol. La question des éléments de contact sera analysée plus en détail au chapitre 24 : Solution numérique à une structure de soutènement.

2.1 Topologie : paramétrage du problème et modélisation

Nous allons choisir l'option « Axialement symétrique » comme type de géométrie dans le cadre « Paramètres ». Les autres données resteront inchangées.

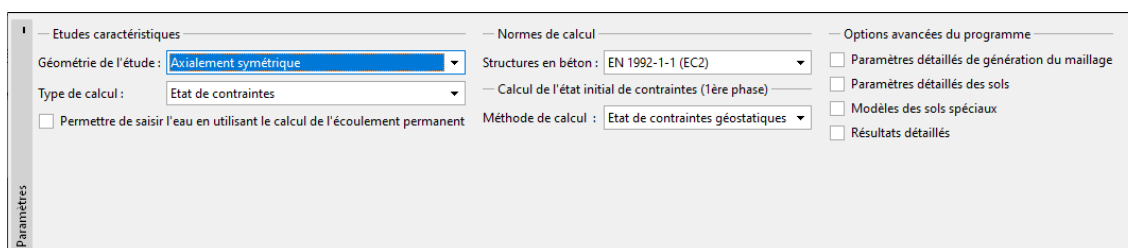


FIGURE 2 – Cadre « Paramètres »

Remarques :

1. la **symétrie axiale** convient à la résolution de problèmes à symétrie de rotation. Pour que cette hypothèse s'applique, il faut que l'invariance par rotation soit vérifiée à la fois par la disposition géométrique de la structure et par le chargement. Le problème d'une fondation de silo circulaire est donc un bon exemple
2. La solution se rapporte à 1 rad de l'arc de rayon $x(r)$. L'axe de symétrie représente toujours l'origine de la coordonnée $x(r)$. Les composantes de cisaillement de la déformation dans le sens de rotation peuvent être ignorées. L'évolution des composantes normales circonférentielles de la contrainte et de la déformation est également prise en compte tout comme les composantes de contrainte et de déformation dans le plan de coupe (pour plus de détails, consultez l'Aide - F1).

Dans le cadre « Interface », nous allons d'abord définir les nouvelles coordonnées de l'espace de travail. Ensuite, nous allons définir les coordonnées du premier point de l'interface : (10;0), les autres points de l'interface (sur les bords) étant ajoutés automatiquement par le programme.

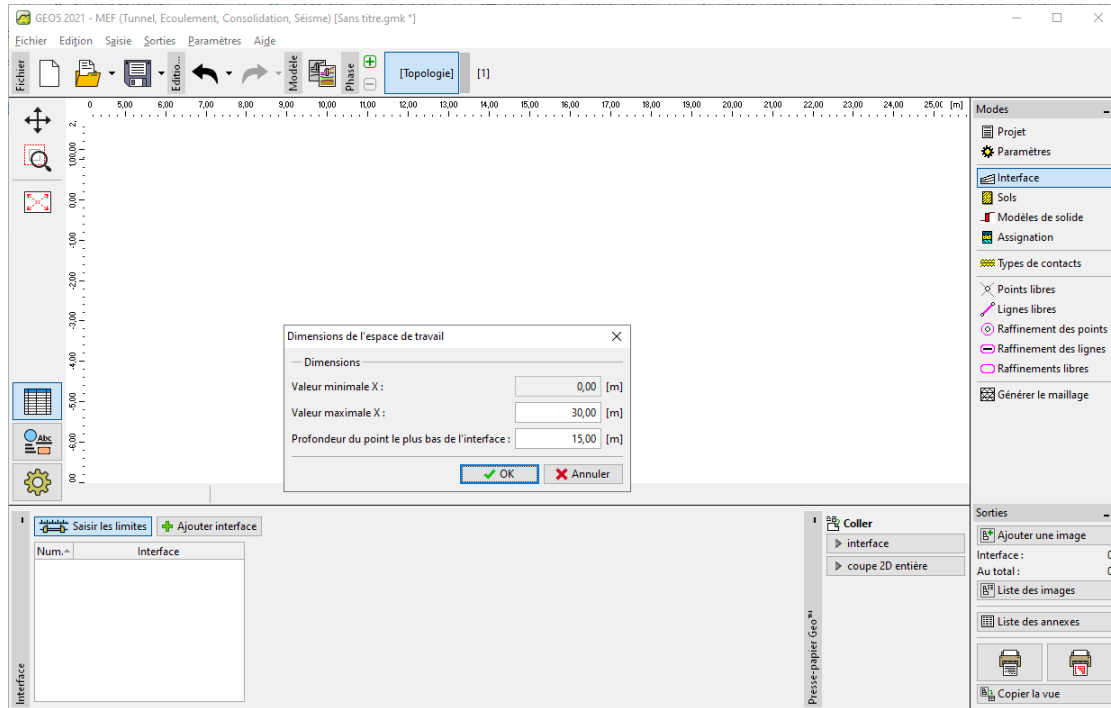


FIGURE 3 – Cadre « Interface » - Fenêtre de dialogue « Dimensions de l'espace de travail »

Ensuite, nous allons définir les paramètres des sols et les assigner à la région d'interface n° 1. Dans ce cas particulier, ni les corps rigides ni les types de contact ne seront considérés.

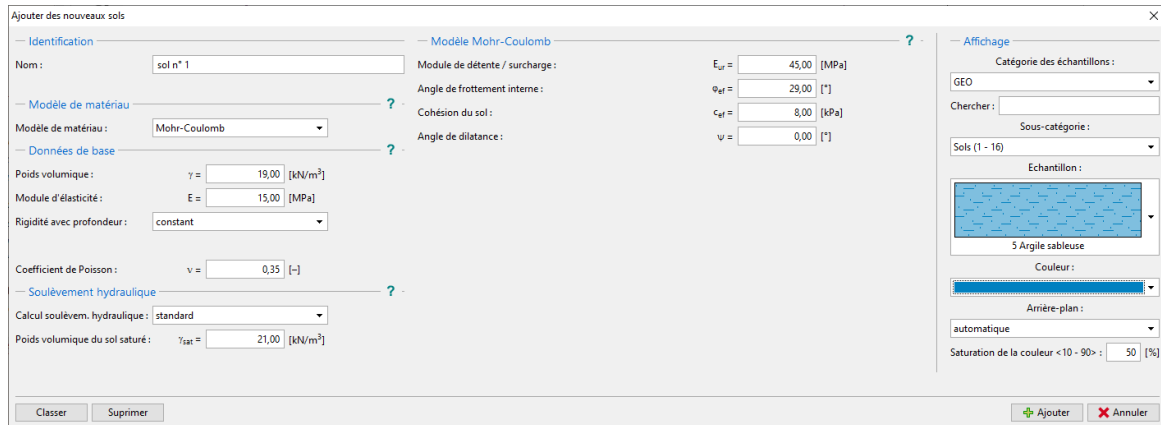


FIGURE 4 – Fenêtre de dialogue « Ajouter de nouveaux sols »

Pour la génération de maillage, nous allons dans un premier temps fixer la longueur du bord des éléments à 2,0 m.

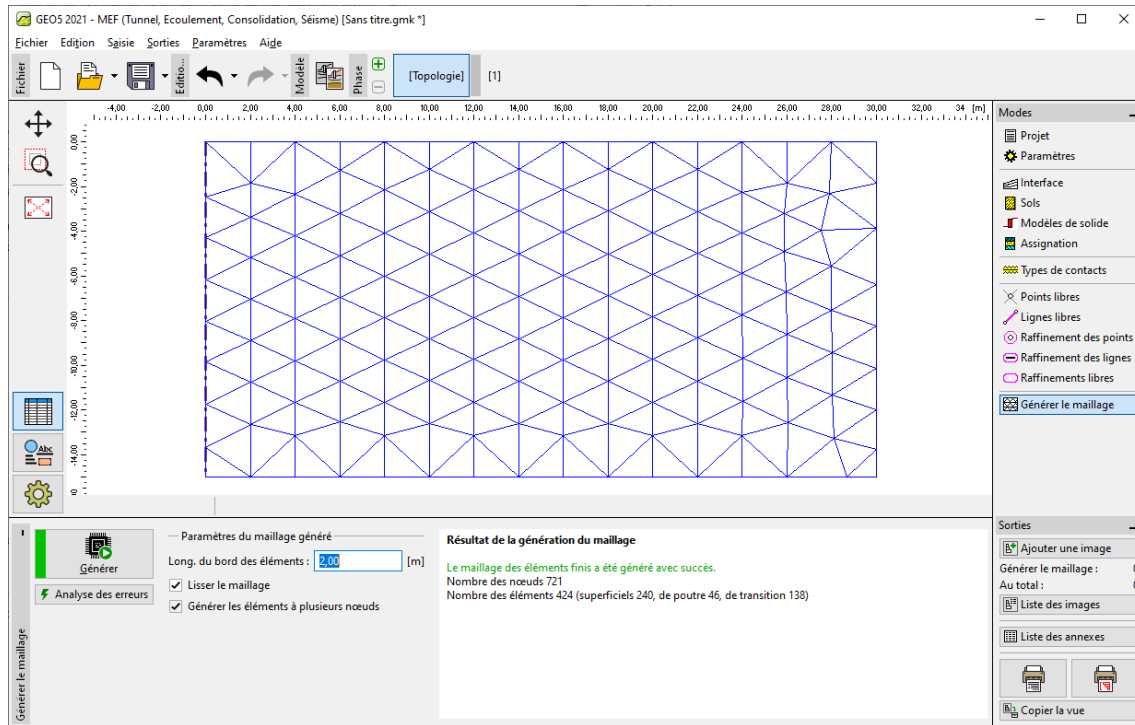


FIGURE 5 – Cadre « Générer le maillage » - Maillage triangulaire avec une longueur du bord des éléments de 2,0 m

En examinant le maillage généré, nous pouvons conclure que pour le problème donné, le maillage résultant est trop grossier. Pour cette raison, nous allons modifier la longueur des arêtes des éléments de maillage à 1,0 m.

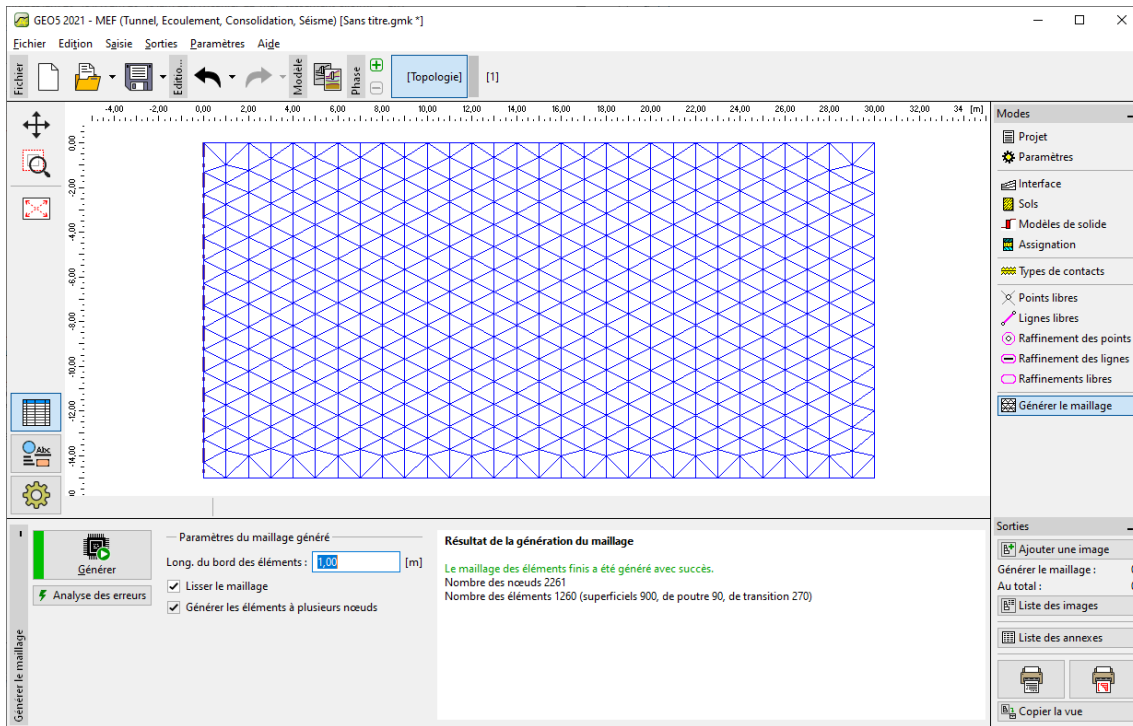


FIGURE 6 – Cadre « Générer le maillage » - Maillage triangulaire avec une longueur du bord des éléments de 1,0 m

Remarque : il serait raisonnable d'affiner la densité du maillage en utilisant le raffinement de ligne pour la zone sous la fondation du silo circulaire qui est en cours de résolution (pour plus de détails, consultez l'Aide - F1). Nous décrirons cette fonctionnalité plus en détail dans le cahier 23 : Analyse du revêtement d'un collecteur.

2.2 Phase de construction 1 : analyse des contraintes primaires

Après avoir généré le maillage, nous allons passer à la phase de construction 1 et effectuer l'analyse primaire des contraintes géostatiques. Les paramètres d'analyse resteront quant à eux sur «Standard» (pour plus de détails, consultez l'Aide - F1).

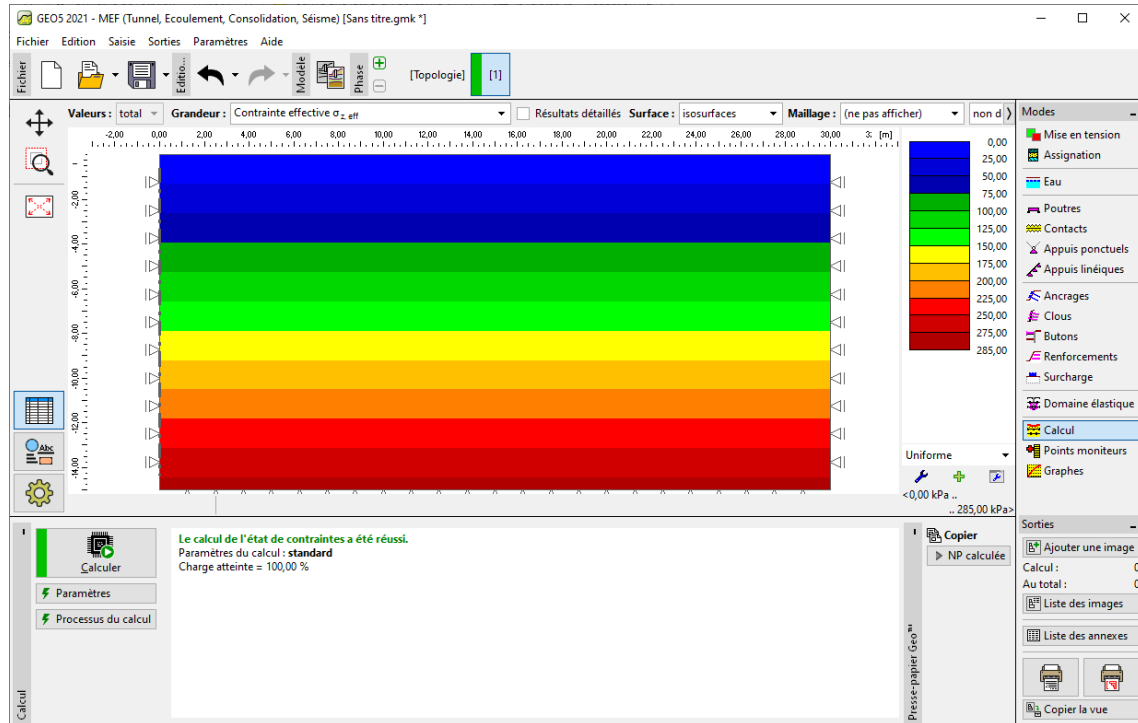


FIGURE 7 – Cadre « Analyse » - Phase de construction 1

2.3 Phase de construction 2 : modélisation et chargement des éléments de poutre

Dans un premier temps, nous allons ajouter une deuxième phase de construction. Ensuite, dans le cadre « Poutres », nous allons définir les paramètres suivants : emplacement de la poutre, classe de matériau et de béton, hauteur de la section (0,5 m) et appuis d'extrémité de poutre (pour plus de détails, consultez l'Aide - F1).

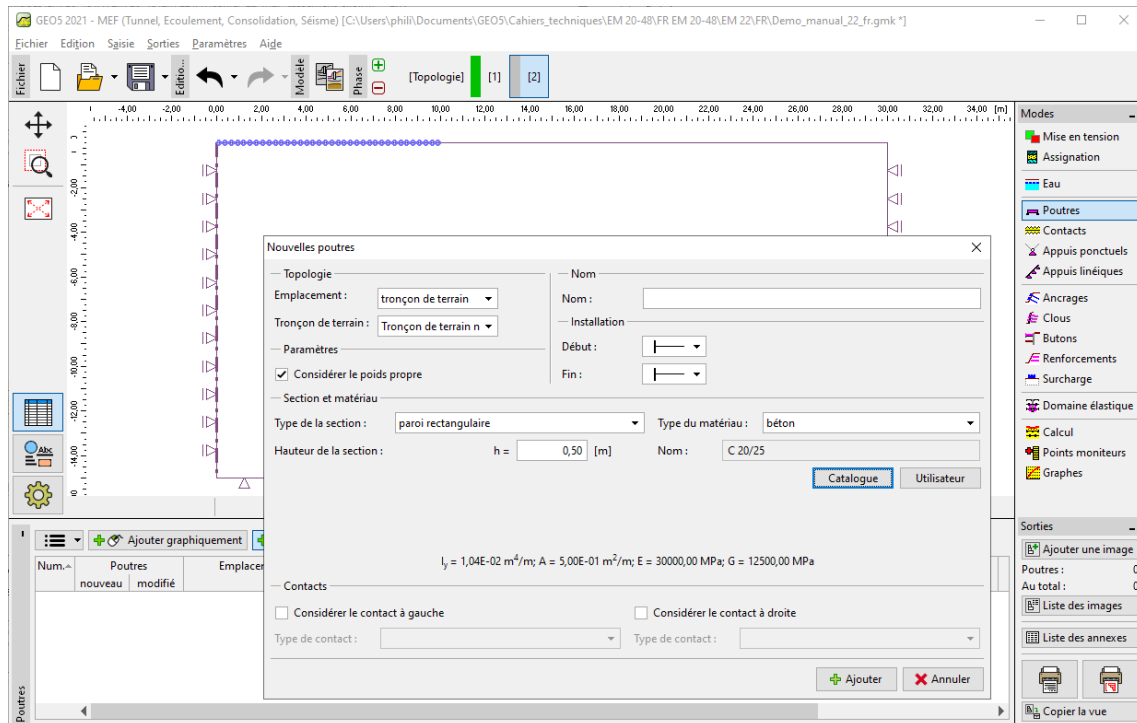


FIGURE 8 – Fenêtre de dialogue « Nouvelles poutres » - Phase de construction 2

Ensuite, passons au cadre « Charge appliquée aux poutres », dans lequel nous allons définir l'intensité de la charge $f = 100 \text{ kN/m}$; nous la considérerons comme le poids des parois circulaires du silo agissant sur la fondation.

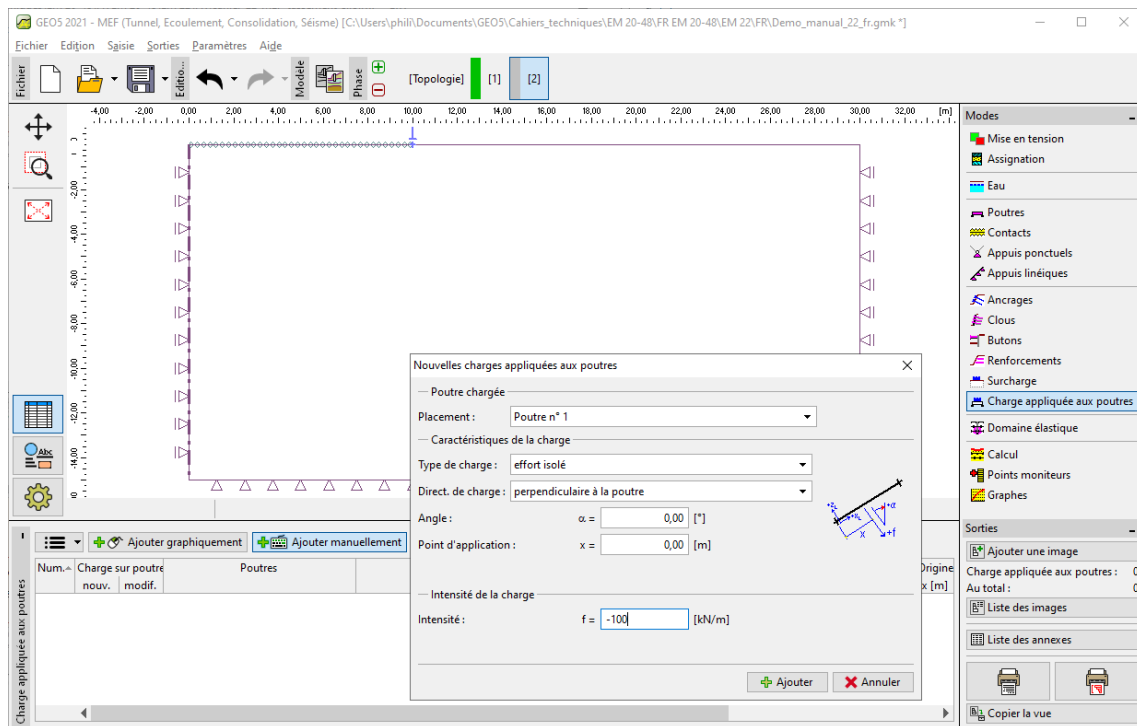


FIGURE 9 – Fenêtre de dialogue « Nouvelles charges appliquées aux poutres » - Charge induite par les murs, agissant sur la fondation circulaire

À présent, nous allons fixer la valeur de la charge continue uniforme à $q = -150 \text{ kN/m}^2$, elle représente le remplissage du silo circulaire, elle agit sur son fond ou le bord supérieur de la fondation.

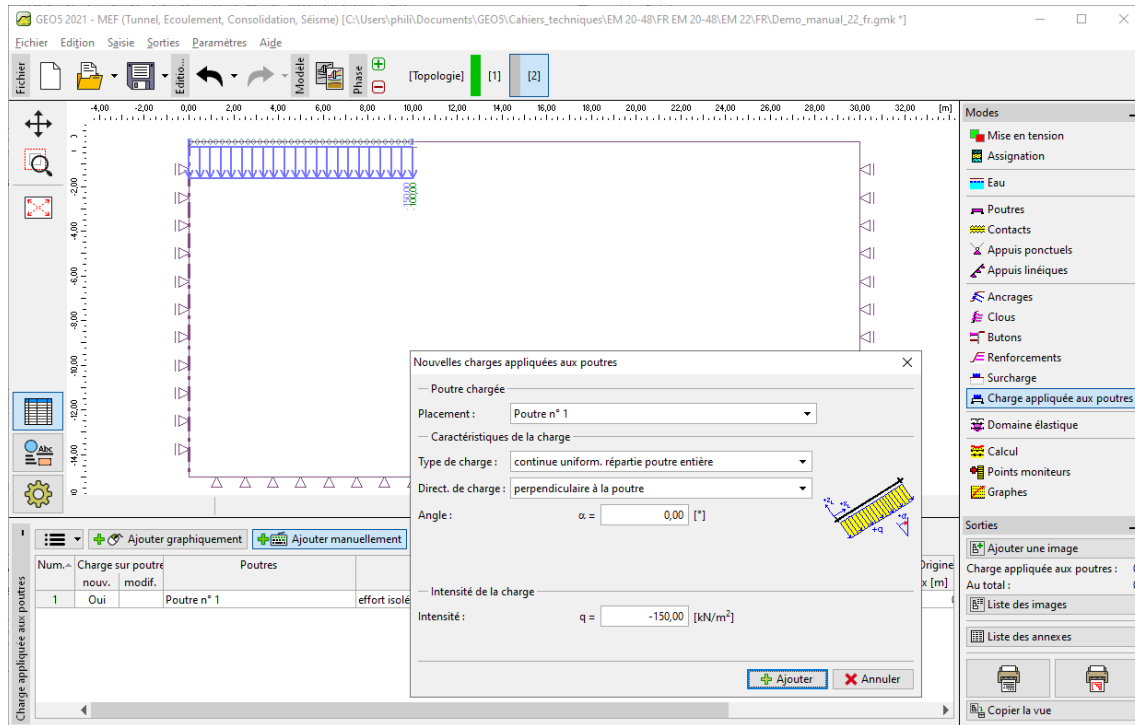


FIGURE 10 – Fenêtre de dialogue « Nouvelles charges appliquées aux poutres » - Charge sur la fondation circulaire induite par le remplissage du silo

À ce stade, nous allons soumettre le calcul et examiner les résultats associé au tassement d_z [mm]. Il résulte du calcul que le déplacement vertical maximal est de 101,7 mm. Pour mieux comprendre le comportement de la structure, nous allons visualiser le maillage déformé (le bouton dans la partie supérieure de l'écran).

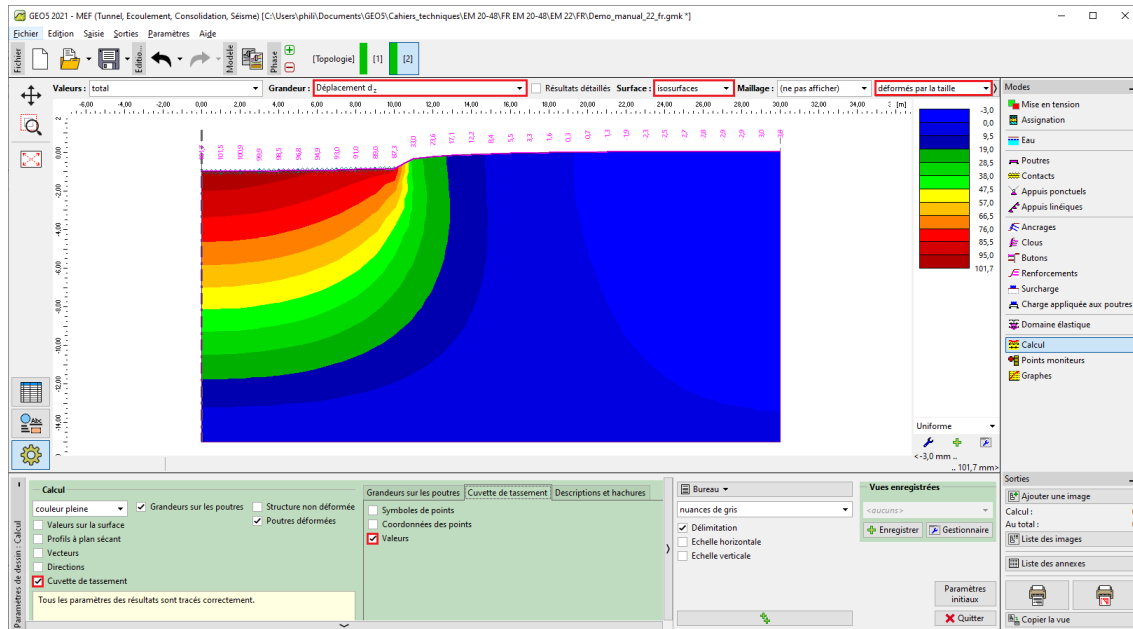


FIGURE 11 – Cadre « Calcul » - Phase de construction 2 (déformation verticale d_z et cuvette de tassement)

Afin de mieux visualiser le tassement, nous allons cliquer sur le bouton « Paramètres » et cocher les options « Cuvette de tassement » et « Valeurs » dans l'onglet « Cuvette de tassement » (pour plus de détails, consultez l'Aide - F1).

2.4 Phase de construction 3 : tassement de la surface du terrain déchargé, efforts internes

Maintenant nous allons ajouter la phase de construction 3, dans laquelle nous allons supprimer la charge continue uniforme. Ensuite, nous ne prendrons en considération que la charge de poutre induite par les parois circulaires du silo (elle est identique à celle définie dans la phase de construction précédente : $q = 100 \text{ kN/m}$).

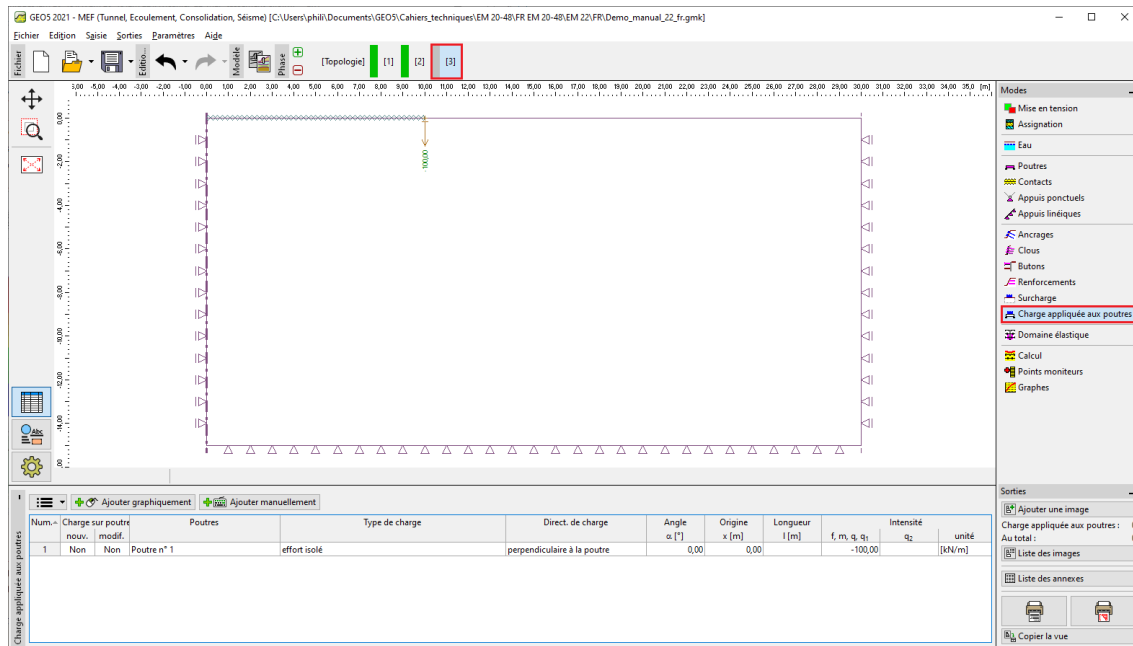


FIGURE 12 – Cadre « Charges appliquées aux poutres » - Phase de construction 3

Ensuite, nous allons soumettre une nouvelle fois le calcul et déterminer les valeurs des déformations. La valeur totale du tassement d_z après le déchargement de la surface du terrain est de 69,6 mm.

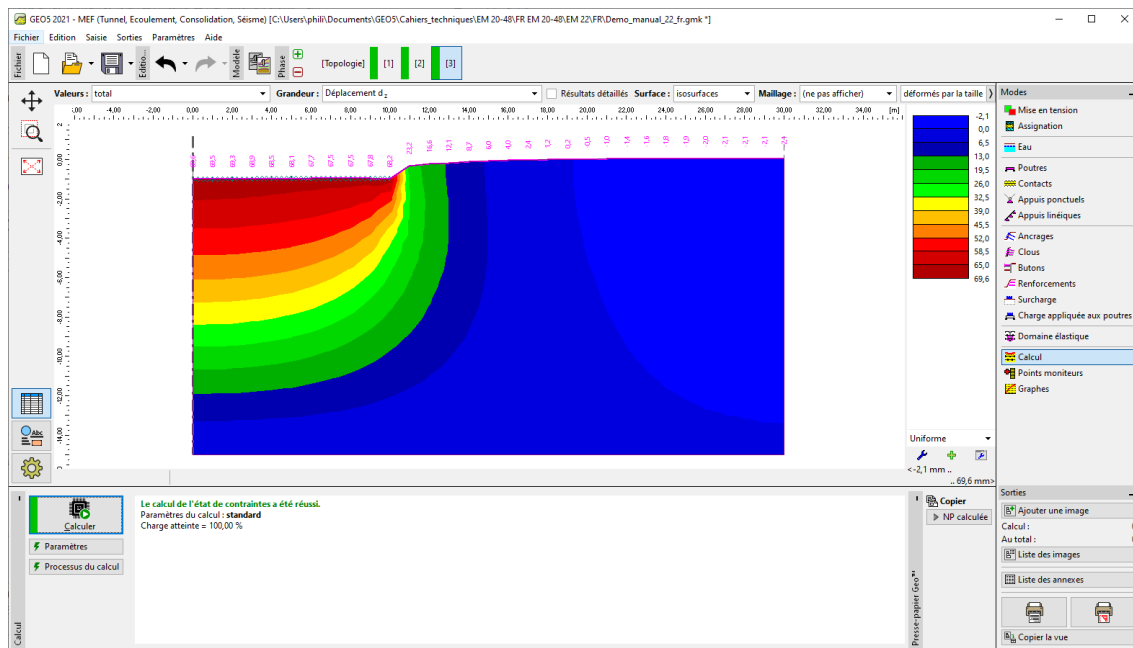


FIGURE 13 – Cadre « Calcul » - Phase de construction 3 (déformation verticale d_z et cuvette de tassement)

Nous allons maintenant examiner les diagrammes du moment radial M_r [kNm/m] associés aux phases de construction 2 ou 3 (en utilisant le bouton « Paramètres » dans l'onglet « Grandeurs sur les poutres ») et noter la valeur des extrema locaux dans un tableau. Le renforcement structurel principal de la fondation du silo circulaire peut être conçu et évalué pour ces valeurs dans un programme de mécanique statique (par exemple FIN EC - CONCRETE 2D).

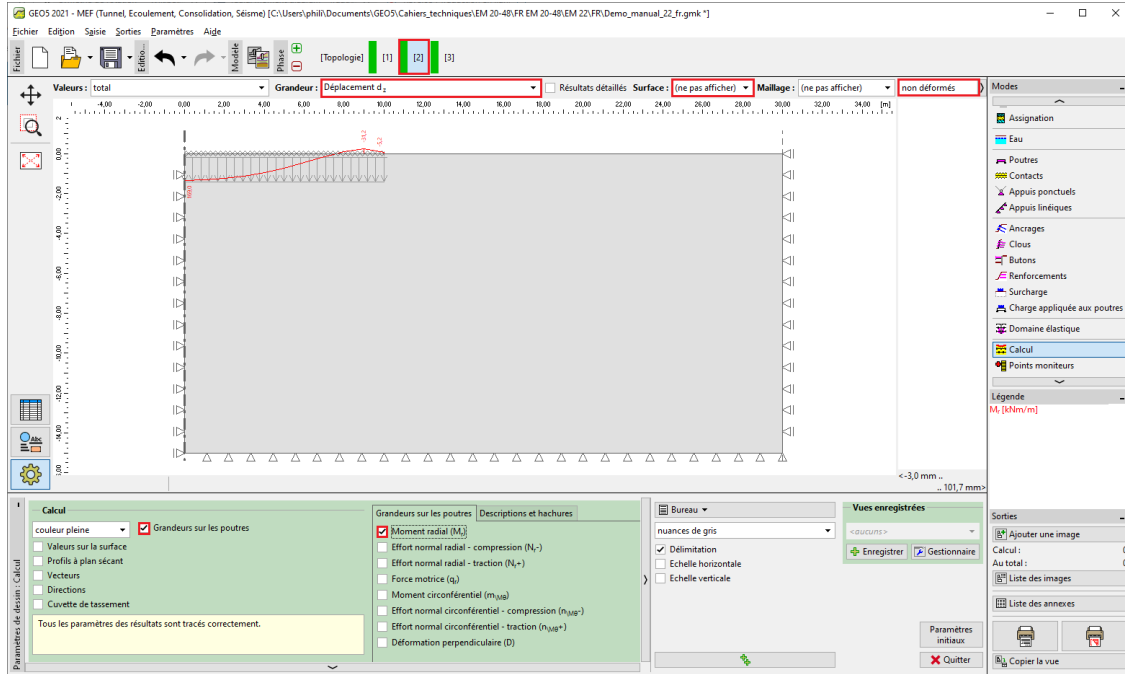


FIGURE 14 – Cadre « Calcul » - Phase de construction 2 (variation du moment radial M_r)

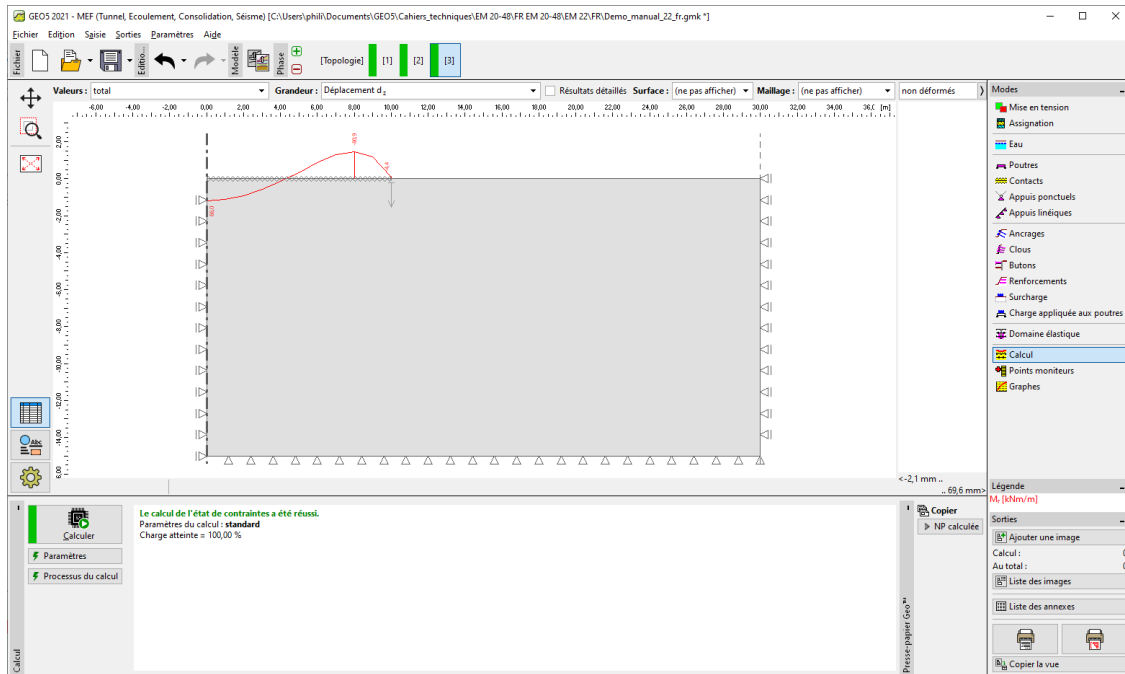


FIGURE 15 – Cadre « Calcul » - Phase de construction 3 (variation du moment radial M_r)

2.5 Évaluation des résultats

Le tableau suivant présente les résultats pour le tassement total d_z [mm] et le moment radial M_r [kNm/m] pour les phases de construction 2 et 3, dans lesquelles ont été modélisés le chargement ou le déchargement de la fondation du silo circulaire. Nous avons effectué l'analyse pour le modèle de matériau de Mohr-Coulomb avec le maillage d'éléments triangulaires ayant une longueur d'arête égale à 1,0 m.

Modèle de matériau	Phase 2 d_z [mm]	Phase 3 d_z [mm]	Phase 2 M_r [kNm/m]	Phase 3 M_r [kNm/m]
Mohr-Coulomb (1,0 m)	101,7	69,6	+169,0	+66
			-31,2	-80,9

TABLE 1 – Résultats pour le tassement total et les extrema du moment radial pour chaque étape de construction

3 Conclusion

Plusieurs conclusions peuvent être tirées des résultats pour les quantités examinées :

1. lorsque le silo est plein (sous l'action d'une charge continue uniforme), un moment de flexion positif prévaut sur la longueur de la poutre, là où ses fibres inférieures sont étirées
2. après vidage du silo (suite au déchargement), la fondation circulaire n'est plus chargée que par les parois du silo, un moment de flexion négatif prévaut sur la longueur de la poutre, là où ses fibres supérieures sont étirées.