

# GEO5

## Analyse de la capacité portante verticale d'un pieu isolé

### Résumé

L'objectif de ce cahier technique est d'expliquer comment utiliser le programme GEO5 « Pieux » dans le but d'évaluer la capacité portante verticale d'un pieu isolé dans un problème pratique.

Le fichier exemple correspondant est « Demo\_manual\_13.gpi ».

**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 Description du problème

Une description générale du problème a été donnée dans le cahier précédent (*12. Fondations sur pieux - Introduction*). Toutes les analyses de capacité portante verticale du pieu isolé doivent être effectuées conformément à la norme EN 1997-1 (approche de calcul 2). La résultante des composants de charge  $N_1$ ,  $M_{y,1}$ ,  $H_{x,1}$  agit à la tête du pieu.

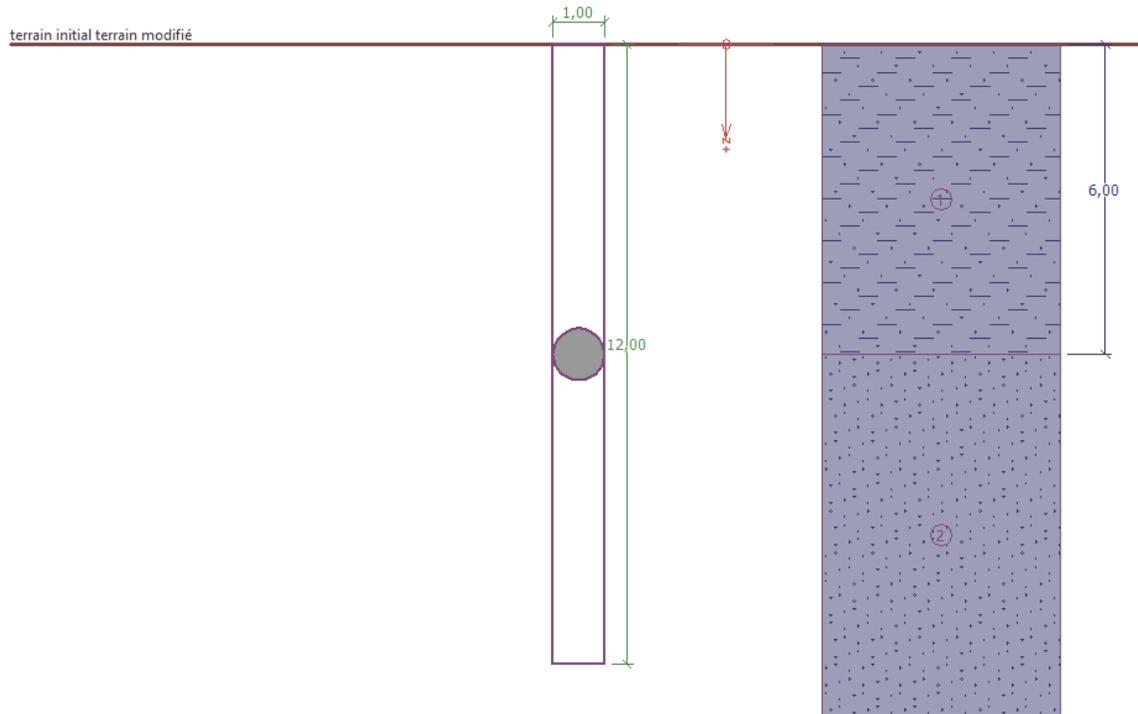


FIGURE 1 – Schéma de spécification du problème - Pieu isolé

## 2 Solution

Nous utiliserons le programme GEO5 « Pieux » pour analyser le problème. Le texte ci-dessous décrit la solution de ce problème étape par étape.

Dans cette analyse, nous évaluerons un pieu isolé à l'aide de diverses méthodes analytiques de calcul (« NAVFAC DM 7.2 », « Contrainte effective » et « CSN 73 1002 ») et nous nous concentrerons sur les **paramètres saisis** qui influencent les résultats globaux.

### 2.1 Données saisies

Tout d'abord, cliquez sur le bouton « Sélectionner paramètres » (en bas de l'écran) dans le cadre « Paramètres » puis sélectionnez l'option n° 4 « Standard - EN 1997 - DA2 ». Dans notre cas, nous utiliserons la solution analytique comme méthode de calcul de la capacité portante verticale et le pieu sera évalué en conditions drainées.

| Numéro | Nom   | Validité |
|--------|---|----------|
| 1      | Standard - coefficients de sécurité                                   | Tous     |
| 2      | Standard - états limites  | Tous     |
| 3      | Standard - EN 1997 - DA1  | Tous     |
| 4      | Standard - EN 1997 - DA2  | Tous     |
| 5      | Standard - EN 1997 - DA3  | Tous     |
| 6      | Standard - LRFD 2003  | Tous     |
| 7      | Standard - sans réduction   | Tous     |
| 8      | République tchèque - normes anciennes CSN (73 1001, 73 1002, 73 0037) | Tous     |
| 37     | France - EN 1997  | Tous     |
| 38     | France - EN 1997, gamma d'eau=1.0                                     | Tous     |
| 45     | Chine - normes de construction (JGJ)                                  | Tous     |
| 46     | Chine - normes de transport (JT)                                      | Tous     |
| 47     | Chine - normes ferroviaires (TB)                                      | Tous     |
| 48     | Chine - normes de protection de l'eau (SL)                            | Tous     |
| 49     | Chine - coefficient de sécurité (ASD)                                 | Tous     |

FIGURE 2 – Fenêtre de dialogue « Liste des paramètres de calcul »

Pour l'évaluation initiale du pieu, nous utiliserons la méthode « NAVFAC DM 7.2 », qui est celle par défaut pour ce paramètre d'analyse (voir la figure ci-dessous). Nous n'analyserons pas la capacité portante horizontale dans cette étude, nous vérifions que l'option « Ne pas considérer la capacité portant horizontale » est bien cochée.

Paramètres du calcul : Standard - EN 1997 - DA2

Structures en béton : EN 1992-1-1 (EC2)  
Coefficients EN 1992-1-1 : standard  
Structures en acier : EN 1993-1-1 (EC3)  
Coefficient partiel de capacité portante de la section en acier :  $\gamma_{M0} = 1,00$   
Structures en bois : EN 1995-1-1 (EC5)  
Coefficient partiel des propriétés du bois :  $\gamma_M = 1,30$   
Coefficient de l'effet de charge et d'humidité (bois) :  $k_{mod} = 0,50$   
Coefficient de la largeur de section en glissement (bois) :  $k_{cr} = 0,67$

Calcul en conditions drainées : **NAVFAC DM 7.2**  
Courbe de charge : linéaire (Poulos)  
Capacité portante horizontale : demi-espace élastique  
Méthode de vérification : calcul selon EN 1997  
Approche de calcul : 2 - réduction de la charge et de la résistance

Méthode du calcul  
Calcul de la capacité portante verticale : solution analytique  
Type de calcul : calcul en conditions drainées

Ne pas considérer la capacité portante horizontale

FIGURE 3 – Cadre « Paramètres »

Ensuite, allez dans le cadre « Profil », où nous ajouterons une nouvelle interface à 6,0 m.

Nouvelle interface

Profondeur de l'interface : z = 6,00 [m]

Epaisseur de la couche : t = [m]

FIGURE 4 – Cadre « Profil » - Ajout d'une nouvelle interface

Ensuite, dans le cadre « Sols », nous définissons les paramètres des sols nécessaires à l'analyse et les affectons au profil dans le cadre « Assignation ». La méthode **NAVFAC DM 7.2** impose que le type de sol soit défini en premier, c'est-à-dire s'il s'agit d'une couche de sol cohérent ou pulvérulent. Tous les paramètres énumérés ci-dessous influencent la valeur du résistance au frottement latéral (capacité portant du fût du pieu)  $R_s$  [kN].

| Sols   | Poids volumique $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ] | Angle de frottement interne $\varphi_{ef}$ [°] | Cohésion du sol $c_{ef}/c_u$ [kPa] | Coefficient d'adhérence $\alpha$ [-] | Coefficient de capacité portante $\beta_p$ [-] |
|--|---|--|------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Argile sableuse (CS), consistance ferme                | 18,5  | 24,5   | - / 50                             | 0,60                                 | 0,30   |
| Sable avec trace de fines (S-F), sol moyennement dense | 17,5  | 29,5   | 0 / -                              | -                                    | 0,45   |

TABLE 1 – Tableau des paramètres des sols - Capacité portante verticale (solution analytique)

Pour la 1ère couche, qui est considérée comme un **sol cohérent non drainé** (classe F4, consistance ferme), il faut en outre préciser la cohésion totale du sol (résistance au cisaillement non drainé)  $c_u$  [kPa] et le coefficient dit d'adhérence  $\alpha$  [-]. Ce facteur est déterminé par rapport à la consistance du sol, le matériau du pieu et la cohésion totale du sol (pour plus de détails, visitez l'aide du programme - F1).

FIGURE 5 – Fenêtre de dialogue « Ajouter de nouveaux sols » - Sol CS

Pour la 2ème couche, qui est considérée comme un **sol pulvérulent** (classe S3, moyennement dense), il convient préciser l'angle de frottement latéral  $\delta$  [°], qui dépend du matériau du pieu. De plus, il faut définir le coefficient de pression latérale des terres  $K$  [-], qui est affecté par le type de charge (traction - compression) et par la technologie d'installation du pieu (pour plus de détails visitez l'aide du programme - F1). Pour simplifier l'étude, nous sélectionnerons l'option « finir le calcul » pour ces deux données.

Ajouter des nouveaux sols

— Identification

Nom :

Sable avec l'addition de sol fin (S-F), moyennement dense

— Données de base

Poids volumique :  $\gamma =$   [kN/m<sup>3</sup>] 17,5

Coefficient de Poisson :  $\nu =$   [-] 0,30

— Méthode NAVFAC

Type de sol :

Angle de frottement interne :  $\varphi_{ef} =$   [°] 28 - 31

Angle de frottement du fût du pieu :

Coefficient de la pression latérale du sol :

— Caractéristiques de déformation

Calcul de tassement :

Module oedométrique :  $E_{oed} =$   [MPa] 16 - 26

— Soulèvement hydraulique

Calcul soulèvem. hydraulique :

Poids volumique du sol saturé :  $\gamma_{sat} =$   [kN/m<sup>3</sup>]

— Affichage

Catégorie des échantillons :

Chercher :

Sous-catégorie :

Echantillon :

Couleur :

Arrière-plan :

Saturation de la couleur <10 - 90> :  [%]

Classer Supprimer

FIGURE 6 – Fenêtre de dialogue « Ajouter de nouveaux sols » - Sol S-F

Ensuite, affectez les sols au profil dans le cadre « Assignment ».

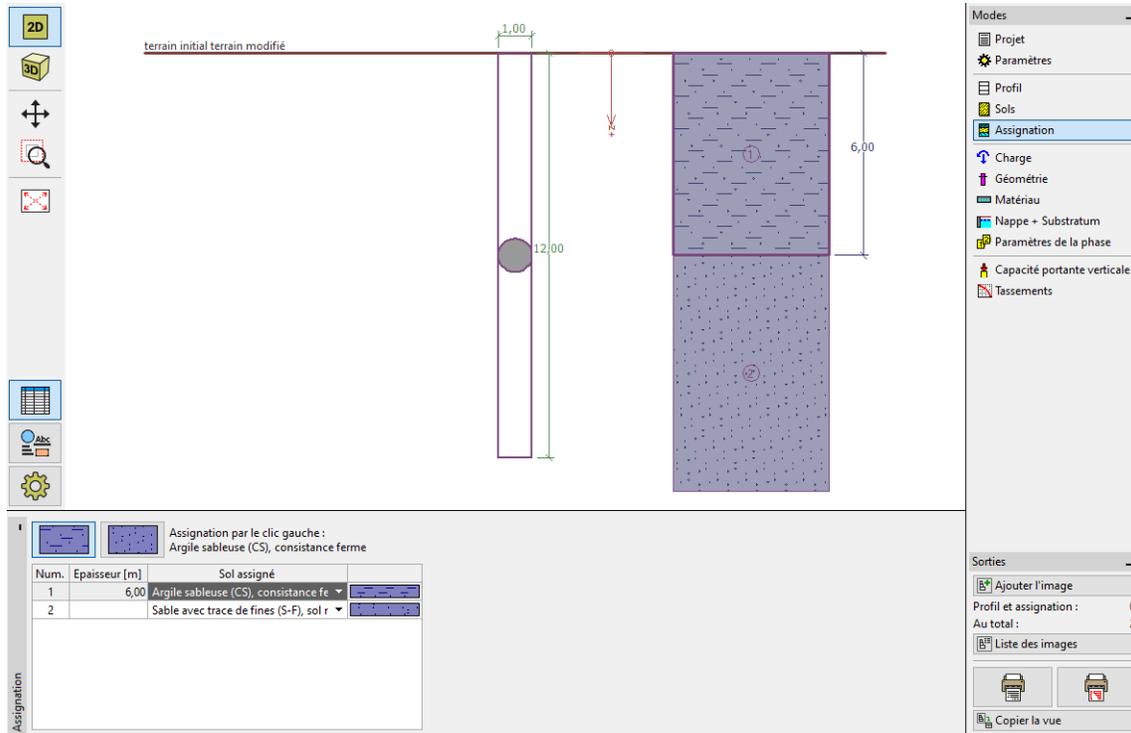


FIGURE 7 – Cadre « Assignation » - Affectation des sols au profil

Ensuite, nous définissons la charge agissant sur le pieu dans le cadre « Charge ». La charge de calcul est prise en compte dans le calcul de la capacité portante verticale du pieu, tandis que la charge d'exploitation est prise en compte dans le calcul du tassement. Par conséquent, nous ajoutons une nouvelle charge de calcul comme indiqué dans la figure ci-dessous.

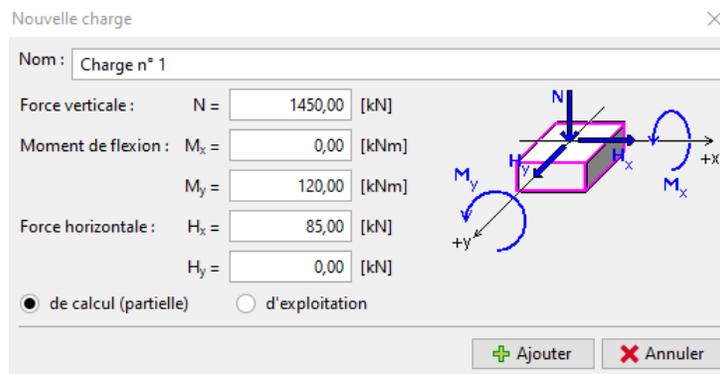


FIGURE 8 – Fenêtre de dialogue « Nouvelle charge »

Dans le cadre « Géométrie », nous définissons :

- le type de section du pieu : circulaire
- ses dimensions : son diamètre et sa longueur
- son type de technologie d'installation.

FIGURE 9 – Cadre « Géométrie »

Dans le cadre « Matériau », nous spécifions les caractéristiques du matériau du pieu et le poids volumique de la structure  $\gamma = 23,0 \text{ kN/m}^3$ .

FIGURE 10 – Cadre « Matériau »

Le cadre « Nappe + Substratum » n'est pas valorisé. Dans le cadre « Paramètres de la phase », nous conservons la situation de calcul définie comme « permanente ». Nous continuons l'évaluation du pieu dans le cadre « Capacité portante verticale ».

## 2.2 Analyse de la capacité portante verticale d'un pieu unique

### 2.2.1 Méthode d'analyse : NAVFAC DM 7.2

Dans le cadre « Capacité portante verticale », il nous faut tout d'abord spécifier les paramètres de calcul affectant la valeur de la capacité portante de la pointe du pieu  $R_b$  [kN]. Tout d'abord, nous définissons le coefficient de calcul de la profondeur critique  $k_{dc}$  [-], qui est dérivé de la profondeur dite critique en fonction de la densité du sol (pour plus de détails, consultez l'aide du programme - F1), nous choisissons  $k_{dc} = 1,0$ .

Un autre paramètre important est le coefficient de la capacité portante  $N_q$  [-], qui est déterminé par l'angle de frottement interne du sol par rapport à la technologie d'installation du pieu (pour plus de détails, consultez l'aide du programme - F1), nous choisissons  $N_q = 10,0$ .

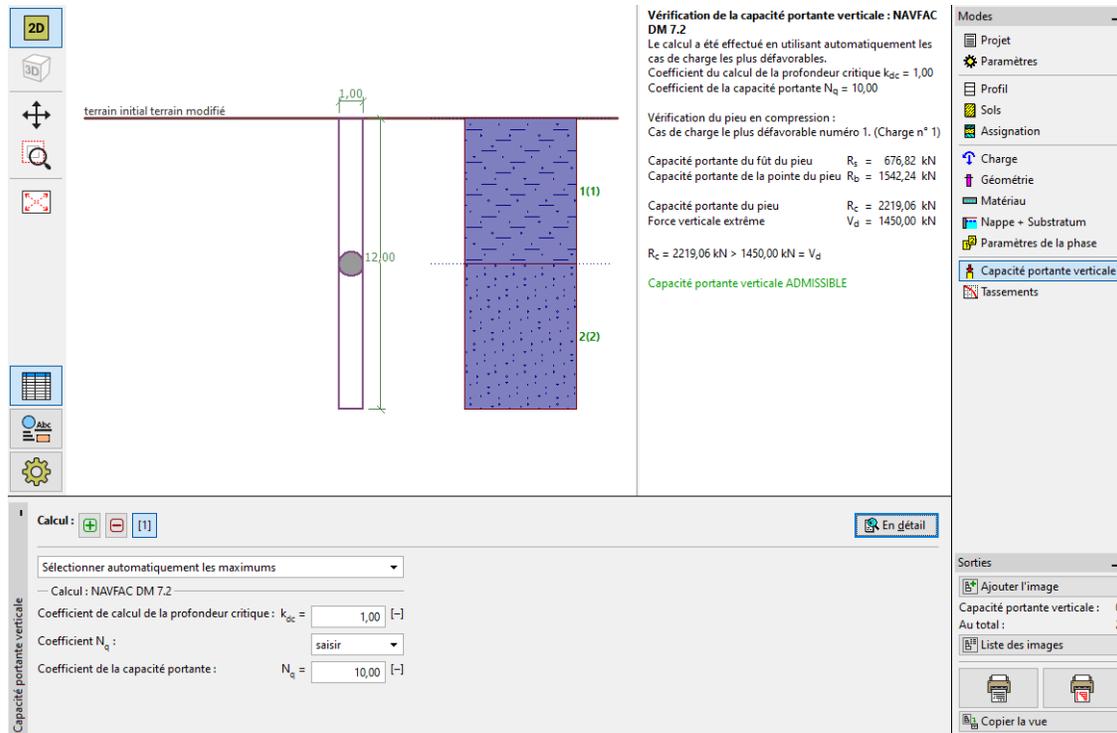


FIGURE 11 – Cadre « Capacité portante verticale » - Évaluation selon la norme NAVFAC DM 7.2

La capacité portante verticale de calcul d'un pieu chargé en son centre  $R_c$  [kN] est égale à la somme de la résistance au frottement latéral  $R_s$  et de la résistance de la pointe du pieu  $R_b$ . Pour que le critère d'évaluation soit satisfait, la valeur de la capacité portante verticale de calcul doit être supérieure à la valeur de la charge nominale  $V_d$  [kN] agissant sur la tête de pieu.

Dans notre cas, la méthode **NAVFAC DM 7.2** donne :  $R_c (= 2219,06 \text{ kN}) > V_d (= 1450,0 \text{ kN})$ , la capacité portante verticale est donc **SATISFAISANTE**.

### 2.2.2 Méthode d'analyse : Contrainte effective

Nous allons maintenant revenir aux paramètres saisis et effectuer l'analyse de la capacité portante verticale d'un pieu en utilisant d'autres méthodes de la contrainte effective.

Dans le cadre « Paramètres », cliquez sur le bouton « Édition ». Ensuite, dans l'onglet « Pieu », sélectionnez l'option « Contrainte effective ». Les autres paramètres restent inchangés.

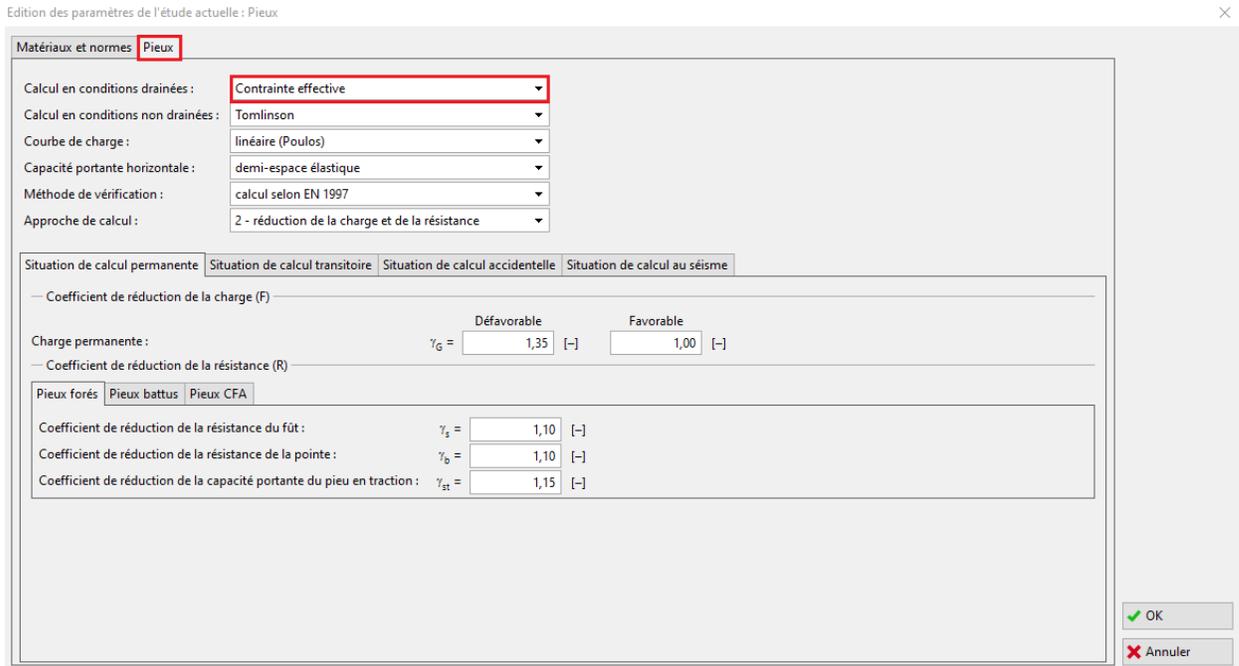


FIGURE 12 – Fenêtre de dialogue « Modifier les paramètres de l'étude actuelle »

Ensuite, nous passons au cadre « Sols ». Cette méthode d'analyse nécessite que nous définissions de plus le coefficient de la capacité portante du pieu  $\beta_p$  [-], qui affecte la valeur de la résistance au frottement latéral  $R_s$  [kN]. Ce paramètre est déterminé par l'angle de frottement interne du sol  $\varphi_{ef}$  [°] et le type de sol (pour plus de détails, consultez l'aide du programme - F1).

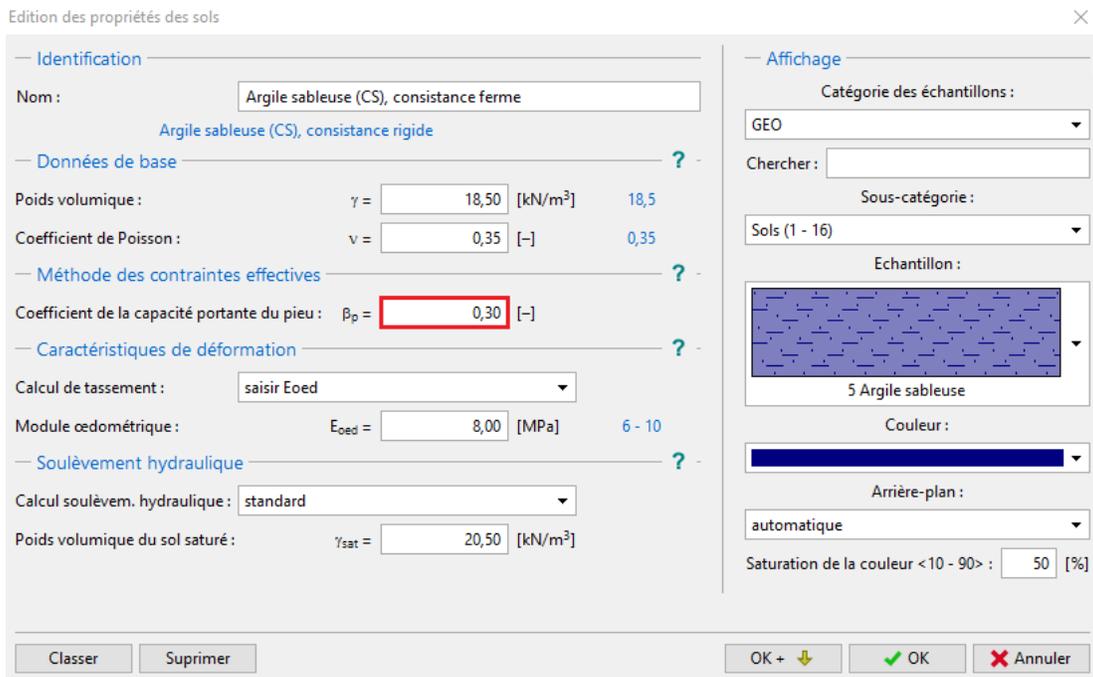


FIGURE 13 – Fenêtre de dialogue « Modifier les propriétés du sol » - Sol CS

FIGURE 14 – Fenêtre de dialogue « Modifier les propriétés du sol » - Sol S-F

Les autres cadres restent inchangés. Nous allons maintenant revenir au cadre « Capacité portante verticale ». Pour la méthode de la contrainte effective, nous devons d'abord spécifier la valeur du coefficient de la capacité portante  $N_p$  [-], qui affecte de manière significative la capacité portante de la pointe du pieu  $R_b$  [kN]. Ce paramètre est déterminé par l'angle de frottement interne du sol  $\varphi_{ef}$  [°] et le type de sol (pour plus de détails, consultez l'aide du programme - F1).

L'influence significative de ce paramètre sur le résultat est démontrée par le tableau suivant :

|            |  |                    |
|------------|--|--------------------|
| $N_p = 10$ | la pointe du pieu se trouve dans le sol <i>argileux</i>  | $R_b = 1542,24$ kN |
| $N_p = 30$ | la pointe du pieu se trouve dans le sol <i>sableux</i>   | $R_b = 4626,71$ kN |
| $N_p = 60$ | la pointe du pieu se trouve dans le sol <i>graveleux</i> | $R_b = 9253,42$ kN |

Dans notre problème, nous considérons le coefficient de la capacité portante  $N_p = 30$  (la base du pieu se trouve dans un sol *sableux*). Les valeurs indicatives de  $N_p$  peuvent être trouvées dans l'aide du programme - F1.

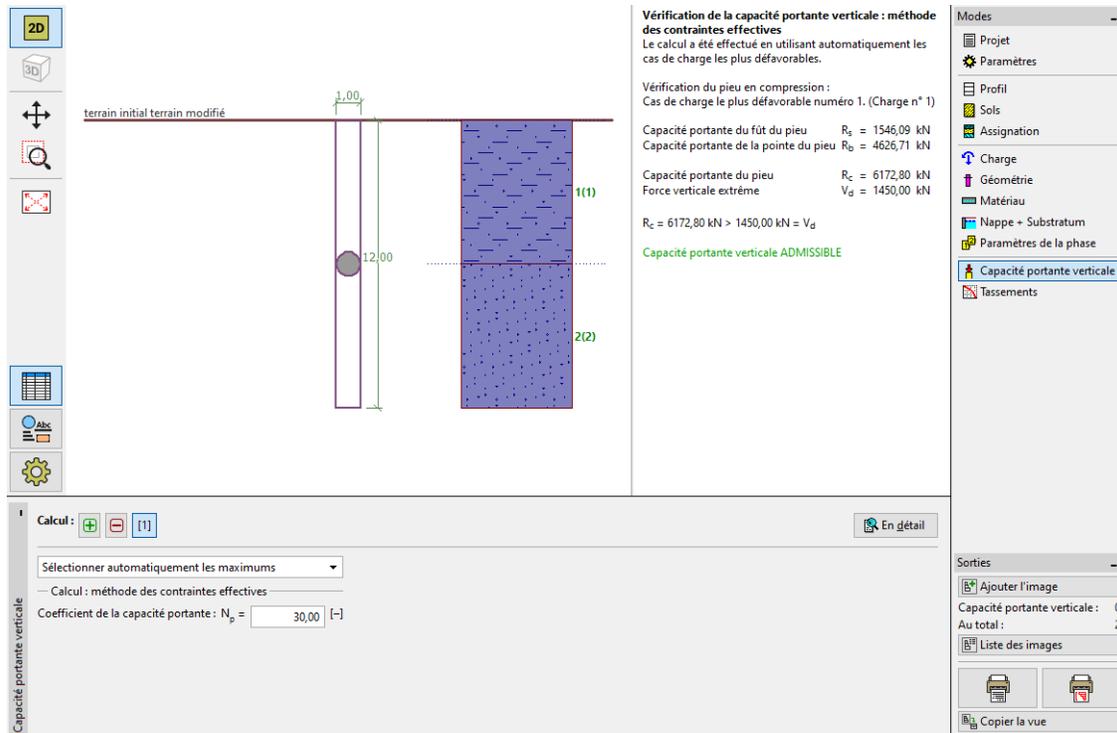


FIGURE 15 – Cadre « Capacité portante verticale » - Évaluation selon la méthode de la contrainte effective

Dans notre cas, la méthode de la **contrainte effective** donne :  $R_c (= 6172,8 \text{ kN}) > V_d (= 1450,0 \text{ kN})$ , la capacité portante verticale est donc **SATISFAISANTE**.

### 2.2.3 Méthode d'analyse : ČSN 73 1002

Maintenant, nous retournons dans le cadre « Paramètres », dans lequel nous modifions la méthode d'analyse en conditions drainées en cliquant sur le bouton « Édition » et choisissons la méthode d'analyse « ČSN 73 1002 ». Tous les autres paramètres restent inchangés.

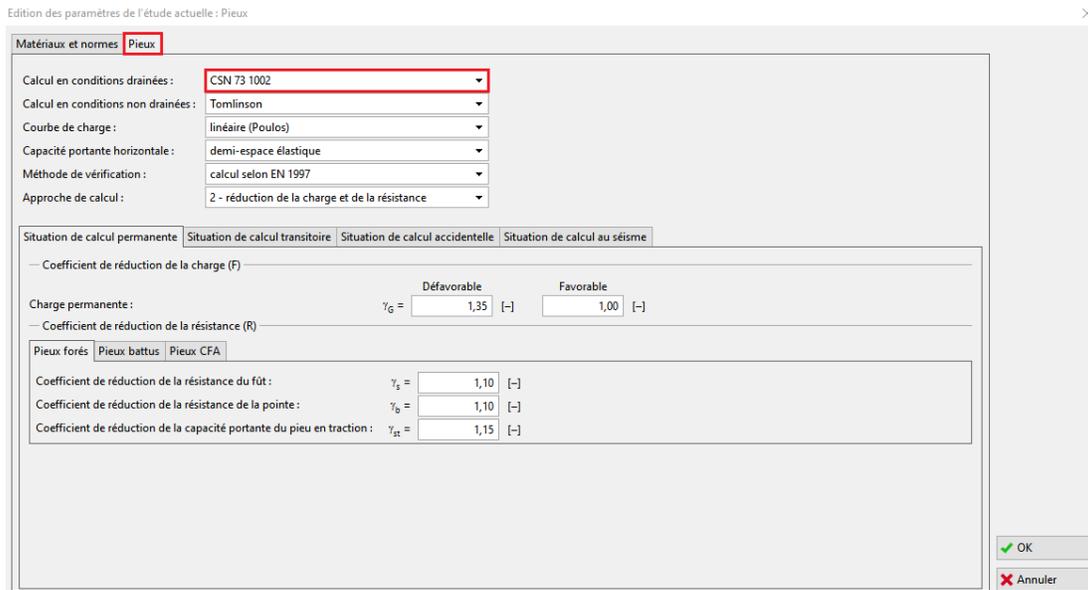


FIGURE 16 – Fenêtre de dialogue « Modifier les paramètres de l'étude actuelle »

*Remarque : La procédure d'analyse est présentée dans la publication «Fondations sur pieux - Commentaires sur CSN 73 1002» (Chapitre 3 : Conception, partie B - Solution générale selon le groupe 1 de la théorie des états limites, p. 15). Toutes les procédures du programme sont basées sur les relations contenues dans ce texte, à l'exception des coefficients de calcul, qui dépendent de la méthodologie d'évaluation adoptée (pour plus de détails, consultez l'aide du programme - F1).*

Nous allons maintenant revenir au cadre « Sols », dans lequel il est nécessaire de définir des paramètres de sol effectifs pour chaque sol.

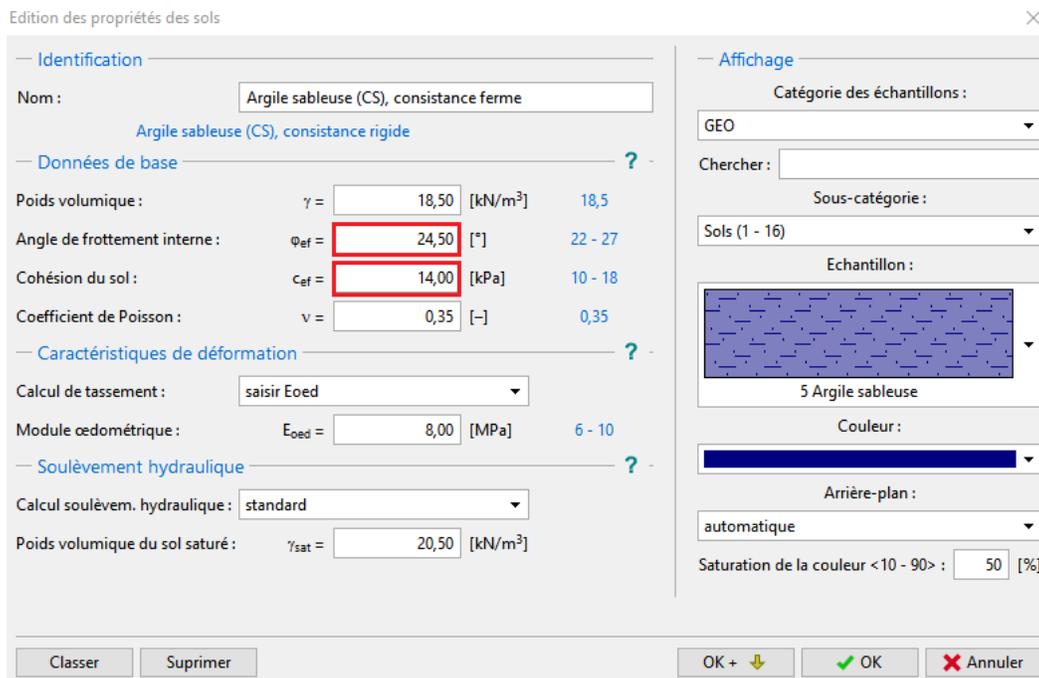


FIGURE 17 – Fenêtre de dialogue « Modifier les propriétés du sol » - Sol CS

Edition des propriétés des sols

— Identification

Nom :

*Sable avec l'addition de sol fin (S-F), moyennement dense*

— Données de base

Poids volumique :  $\gamma =$   [kN/m<sup>3</sup>] 17,5

Angle de frottement interne :  $\varphi_{ef} =$   [°] 28 - 31

Cohésion du sol :  $c_{ef} =$   [kPa] 0

Coefficient de Poisson :  $\nu =$   [-] 0,30

— Caractéristiques de déformation

Calcul de tassement :

Module oedométrique :  $E_{oed} =$   [MPa] 16 - 26

— Soulèvement hydraulique

Calcul soulèvem. hydraulique :

Poids volumique du sol saturé :  $\gamma_{sat} =$   [kN/m<sup>3</sup>]

— Affichage

Catégorie des échantillons :

Chercher :

Sous-catégorie :

Echantillon :

Couleur :

Arrière-plan :

Saturation de la couleur <10 - 90> :  [%]

Classer Supprimer OK + ↑ OK Annuler

FIGURE 18 – Fenêtre de dialogue « Modifier les propriétés du sol » - Sol S-F

Ensuite, nous évaluerons le pieu dans le cadre « Capacité portante verticale », le coefficient d'influence technologique égal à 1,0 (l'analyse de la capacité portante verticale d'un pieu sans la réduction due à la technologie d'installation).

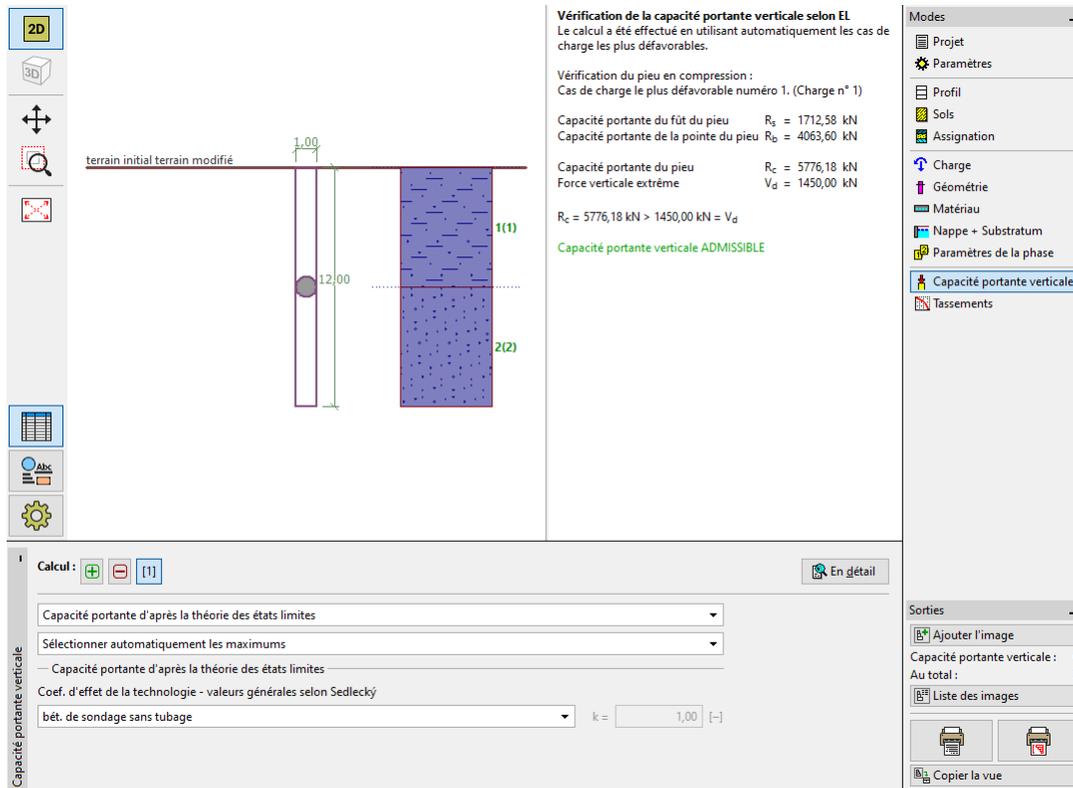


FIGURE 19 – Cadre « Capacité portante verticale » - Évaluation selon la méthode ČSN 73 1002

Dans notre cas, la méthode ČSN 73 1002 donne :  $R_c (= 5776,18 \text{ kN}) > V_d (= 1450,0 \text{ kN})$ , la capacité portante verticale est donc **SATISFAISANTE**.

### 2.3 Résultat de l'analyse de la capacité portante verticale d'un pieu isolé

Les valeurs de la capacité portante verticale totale d'un pieu diffèrent selon les méthodes d'analyse utilisées et les paramètres saisis supposés pour ces méthodes :

— NAVFAC DM 7.2 :

1. Coefficient d'adhérence  $\alpha$  [-]
2. Angle de frottement latéral du pieu  $\delta$  [°]
3. Coefficient de pression latérale des terres  $K$  [-]
4. Coefficient de calcul de la profondeur critique  $k_{dc}$  [-]

— Contrainte effective :

1. Coefficient de la capacité portante  $N_p$  [-]
2. Coefficient de la capacité portante du pieu  $\beta_p$  [-]

— ČSN 73 1002 :

1. Cohésion du sol  $c_{ef}$  [kPa]
2. Angle de frottement interne  $\varphi_{ef}$  [°]

Les résultats de l'analyse de la capacité portante verticale d'un pieu isolé en conditions drainées par rapport à la méthode d'analyse utilisée sont présentés dans le tableau suivant :

| EN 1997-1, DA2<br>(en conditions drainées)<br>Méthode d'analyse | Capacité portante du fût du pieu $R_s$ [kN] | Capacité portante de la pointe du pieu $R_b$ [kN] | <b>Capacité portante verticale du pieu <math>R_c</math> [kN]</b> |
|---|---|---|--|
| NAVFAC DM 7.2   | 676,82                                      | 1542,24   | <b>2219,06</b>   |
| Contrainte effective  | 1546,09                                     | 4626,71   | <b>6172,80</b>   |
| ČSN 73 1002   | 1712,58                                     | 4063,60   | <b>5776,18</b>   |

TABLE 2 – Résumé des résultats - Capacité portante verticale d'un pieu en conditions drainées

La capacité portante verticale totale d'un pieu  $R_c$  (subissant une charge en son centre) est supérieure à la valeur de la charge de calcul  $V_d$  qui y agit. La condition d'évaluation correspondant à l'état limite ultime est remplie; la conception du pieu est donc satisfaisante.

### 3 Conclusion

Il découle des résultats des calculs que la capacité portante verticale totale d'un pieu diffère pour chaque calcul. Ce fait est dû à la fois aux différents paramètres saisis et à la méthode d'analyse choisie.

L'évaluation des pieux dépend principalement de la méthode d'analyse choisie et des paramètres décrivant le sol. Les concepteurs doivent toujours utiliser des procédures de calcul pour lesquelles ils disposent des paramètres de sol requis, par exemple, des valeurs résultant des résultats des levés géologiques ou des valeurs qui reflètent les pratiques locales.

Il est certainement inapproprié d'évaluer un pieu en utilisant toutes les méthodes d'analyse contenues dans le programme et de choisir les meilleurs ou les pires résultats.

Pour les Républiques tchèque et slovaque, les auteurs du logiciel GEO5 recommandent de calculer la capacité portante verticale d'un pieu à l'aide des deux méthodes suivantes :

- une analyse prenant en compte la valeur du tassement admissible  $s_{lim} = 25$  mm (la procédure selon **Masopust** est basée sur la résolution des équations des courbes de régression)
- une analyse selon la norme **ČSN 73 1002**. La procédure d'analyse des pieux reste identique à celle contenue dans la ČSN, mais les coefficients de charge et de calcul réduisant les paramètres du sol ou la résistance des pieux sont spécifiés selon l'EN 1997-1. Cette analyse est donc entièrement conforme à la norme EN 1997-1.