

GEO5

Analyse de la capacité portante verticale et du tassement d'un groupe de pieux

Résumé

L'objectif de ce cahier technique est de montrer comment utiliser le programme GEO5 « Groupe de pieux ».

Le fichier exemple correspondant est « Demo_manual_17.gsp ».

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 Introduction

Les analyses proposées dans le programme « Groupe de pieux » peuvent être divisées en deux groupes :

- la méthode des ressorts
- les solutions analytiques.

La **méthode des ressorts** calcule la déformation de la fondation sur pieux entière et détermine les forces internes le long de chaque fût de pieu. La charge est définie comme une combinaison active générale des forces et moments N , M_x , M_y , M_z , H_x et H_y . L'analyse par la méthode des ressorts donne des résultats importants au sujet de la rotation et du déplacement de la tête de pieu rigide ainsi qu'à propos du dimensionnement de l'armature de chaque pieu. La méthode des ressorts est exposée plus en détail dans le cahier 18. *Analyse de la déformation et du dimensionnement d'un groupe de pieux.*

La **solution analytique** est utilisée pour évaluer la capacité portante verticale d'un groupe de pieux chargé uniquement par une force normale verticale. Ce type d'analyse donne la capacité portante verticale de la fondation sur pieux et le tassement moyen du groupe.

La solution analytique se décline ensuite en fonction du type de sol :

- les sols cohérents
- les sols pulvérulents.

La capacité portante verticale d'un groupe de pieux dans un **sol cohérent** est considérée en conditions non drainées. Elle est déterminée comme la capacité portante d'un corps de sol modélisé par un prisme entourant le groupe de pieux selon la FHWA (Federal Highway Administration). Seule la cohésion totale du sol (résistance au cisaillement non drainé) c_u est à spécifier pour réaliser l'analyse.

Le tassement d'un groupe de pieux dans un sol cohérent (en conditions non drainées) est basé sur le calcul du tassement d'une semelle élargie de substitution (ce qu'on appelle le *tassement de consolidation du groupe de pieux*, souvent abrégé en *méthode 2 : 1*).

Afin d'évaluer le tassement du groupe de pieux, l'analyse intègre l'influence de la profondeur de la fondation et de l'épaisseur de la zone de déformation selon la méthode de calcul du tassement de la semelle élargie. Pour une analyse de tassement de groupe de pieux en Tchéquie ou en Slovaquie, il est possible d'utiliser la procédure selon la norme *CSN 73 1001 - Sol sous les fondations superficielles*.

L'évaluation d'un groupe de pieux dans un **sol pulvérulent** est basée sur des procédures identiques à celles utilisées pour l'analyse d'un pieu isolé dans un sol pulvérulent (comme décrit dans le cahier 13. *Analyse de la capacité portante verticale d'un seul pieu*). Le seul ajout au processus est l'utilisation de la *efficacité du groupe de pieux* qui a pour effet de réduire la capacité portante verticale totale de la fondation sur pieux.

La courbe de charge d'un groupe de pieux dans un sol pulvérulent est construite de la même manière que la courbe pour un pieu isolé (illustrée dans le cahier 14. *Analyse du tassement d'un pieu isolé*), selon le prof. H. G. Poulos, à l'exception du tassement total du groupe de pieux. Le tassement total est pondéré par le coefficient de tassement de groupe g_f , qui représente l'effet de groupe des pieux. La valeur de ce paramètre dépend de la disposition géométrique des pieux dans le groupe.

2 Description du problème

La spécification générale du problème a été décrite dans un cahier précédent (12. *Fondations sur pieux - Introduction*). Effectuer tous les calculs de la capacité portante verticale d'un groupe de pieux conformément à la norme EN 1997-1 (DA 2) sur la base du problème 13. *Analyse de la capacité portante verticale d'un pieu isolé*. La résultante de la charge totale, qui consiste en N , M_y et H_y , agit à la base supérieure de la tête du groupe de pieux, juste en son centre.

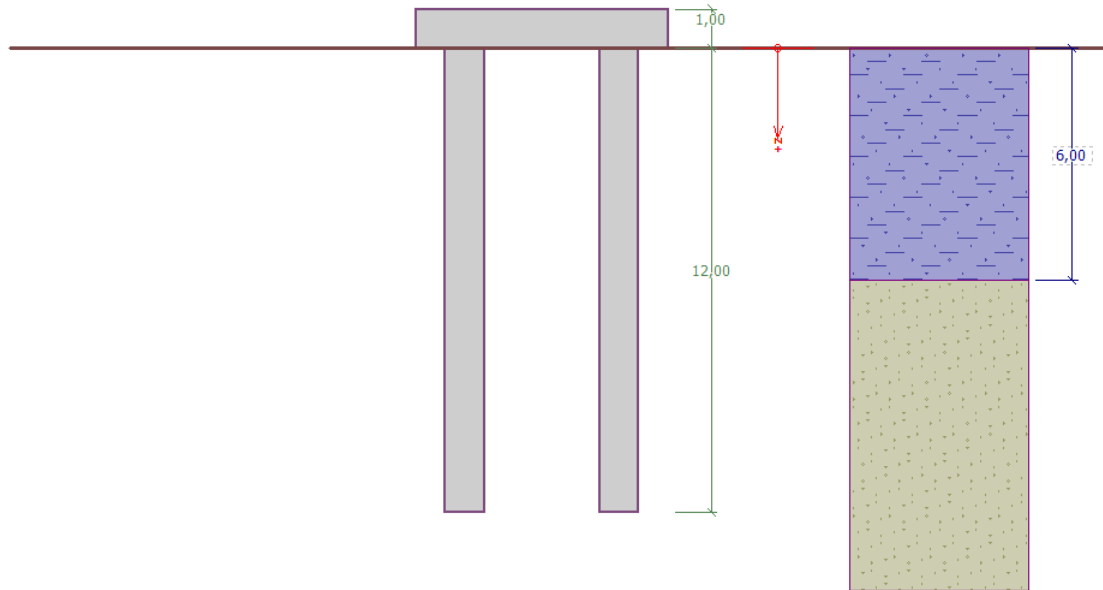


FIGURE 1 – Schéma de spécification du problème - Groupe de pieux

3 Solution

Nous utiliserons le programme GEO5 « Groupe de pieux » pour étudier ce problème. Pour simplifier le problème et accélérer la saisie des paramètres généraux du problème (la conception, les sols, l'assignation et le profil), nous importons les données du problème décrit dans le cahier 13. *Analyse de la capacité portante verticale d'un seul pieu.*

Dans cette analyse, nous évaluerons le groupe de pieux en utilisant les mêmes méthodes analytiques que celles utilisées précédemment pour le pieu isolé (NAVFAC DM 7.2, contrainte effective et CSN 73 1002). Nous nous concentrerons sur les paramètres d'entrée complémentaires qui affectent les résultats globaux.

3.1 Définition des données du problème

Dans le cadre « Paramètres », cliquez sur le bouton « Sélectionner paramètres » puis sélectionnez le paramètre de calcul « Standard - EN 1997 - DA2 ». Vérifiez que le type de calcul est bien « solution analytique ». Pour notre cas particulier, nous considérerons le type de sol comme pulvérulent car nous évaluerons les pieux 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 »

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 : $\gamma_{M0} = 1,00$
Calcul en conditions drainées : NAVFAC DM 7.2
Efficacité du groupe de pieux : La Barré (CSN 73 1002)
Méthode de vérification : calcul selon EN 1997
Approche de calcul : 2 - réduction de la charge et de la résistance

Type de calcul : solution analytique
Type du sol de fondation : sol pulvérulent

FIGURE 3 – Cadre « Paramètres »

Nous allons importer les données pour éviter de tout saisir à nouveau. Pour importer les données dans le programme « Groupe de pieux », ouvrez le fichier du cahier n° 13 « *Analyse de la capacité portante verticale d'un pieu isolé* » dans le programme GEO5 « Pieux ». Dans la barre d'outils supérieure, cliquez sur le bouton « Édition », puis sélectionnez l'option « Copier les données ».

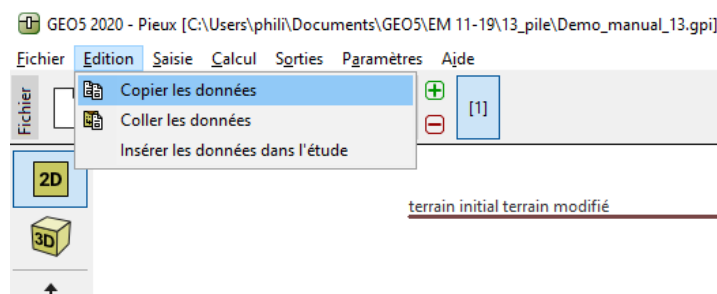


FIGURE 4 – Programme « Pieux »

Ensuite, dans le programme GEO5 « Groupe de pieux », cliquez sur le bouton « Édition » dans la barre d'outils supérieure et choisissez l'option « Coller les données ». Au cours de cette étape, les données nécessaires à l'analyse seront transférées et une partie importante du travail de saisie sera effectuée.

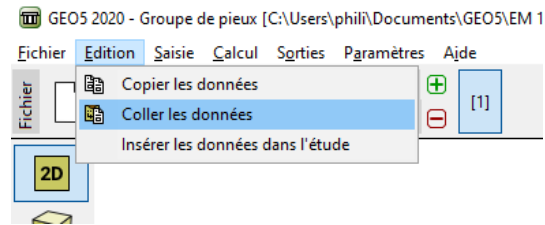


FIGURE 5 – Programme « Groupe de pieux »

Dans la fenêtre de dialogue qui apparaît, choisissez de coller toutes les données à l'exception de « Paramètres », « Charge » et « Nappe + Substratum ».

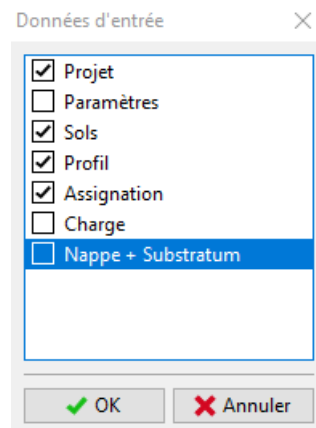


FIGURE 6 – Fenêtre de dialogue « Données à coller »

Passez maintenant au cadre « Structure », dans lequel vous allez spécifier : les dimensions de la dalle de fondation (tête de pieu), le nombre de pieux dans le groupe, leur diamètre et l'espacement de leurs centres (entre les pieux en direction x ou y) :

- largeur de la dalle : $b_x = b_y = 6,50$ m
- nombre de pieux : 2 dans les directions x et y .

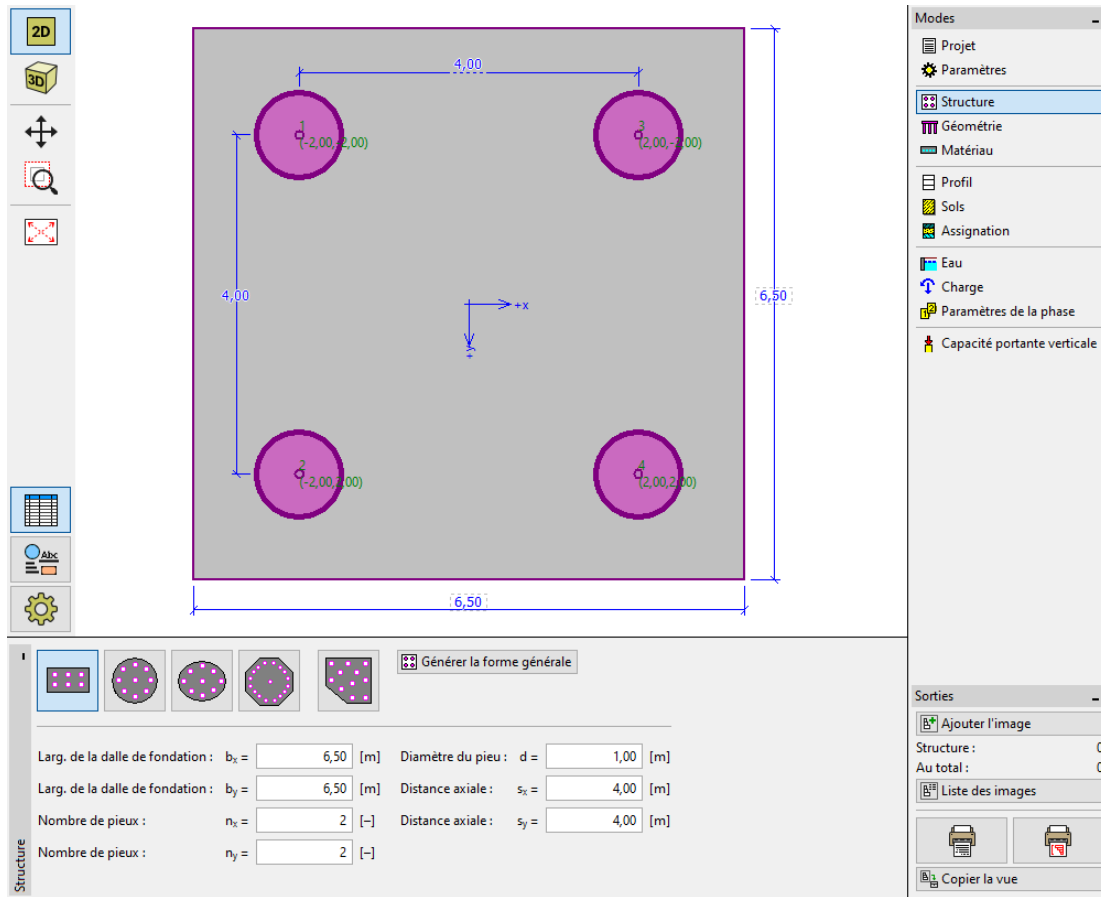


FIGURE 7 – Cadre « Structure »

Ensuite, dans le cadre « Géométrie », nous allons définir la profondeur à partir de la surface du sol, le recépage du pieu, l'épaisseur de la dalle et la longueur des pieux du groupe. Les diamètres et les longueurs sont identiques pour tous les pieux.

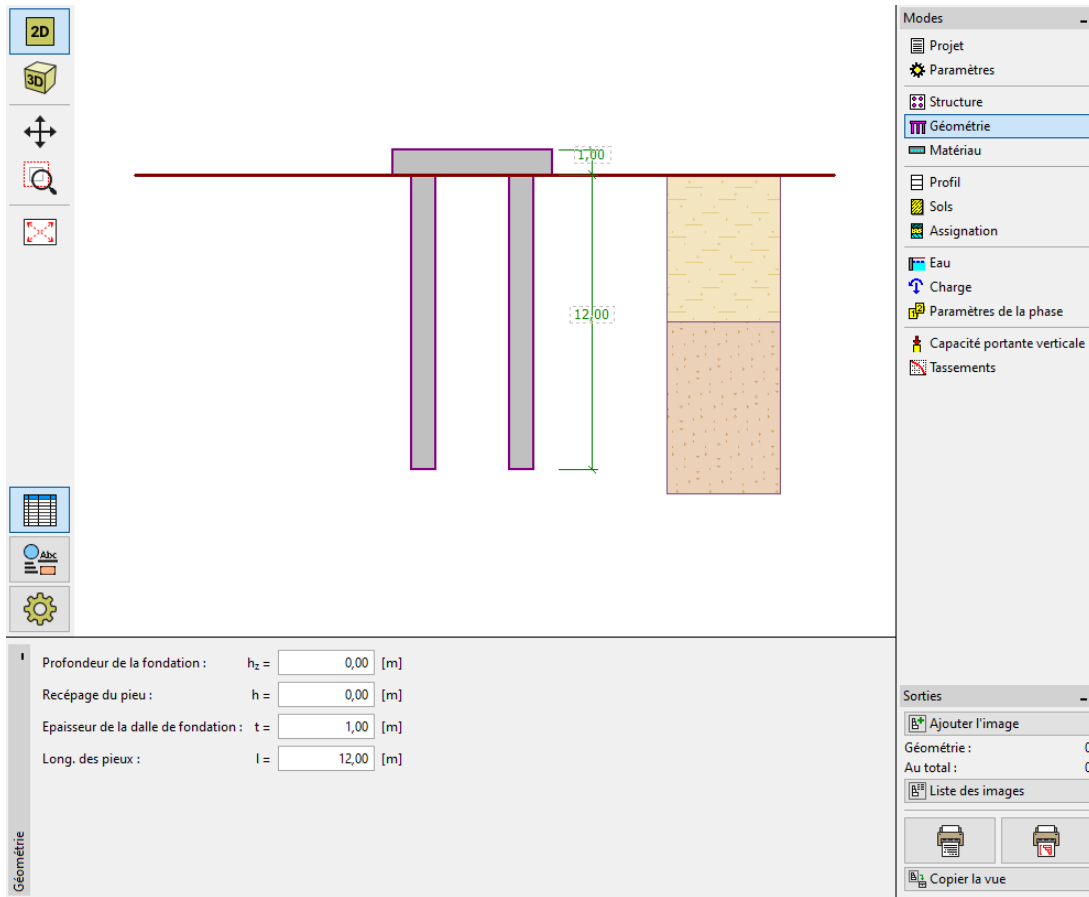


FIGURE 8 – Cadre « Géométrie »

Dans le cadre « Matériau », valorisez le poids volumique de la structure $\gamma = 23,0 \text{ kN/m}^3$.

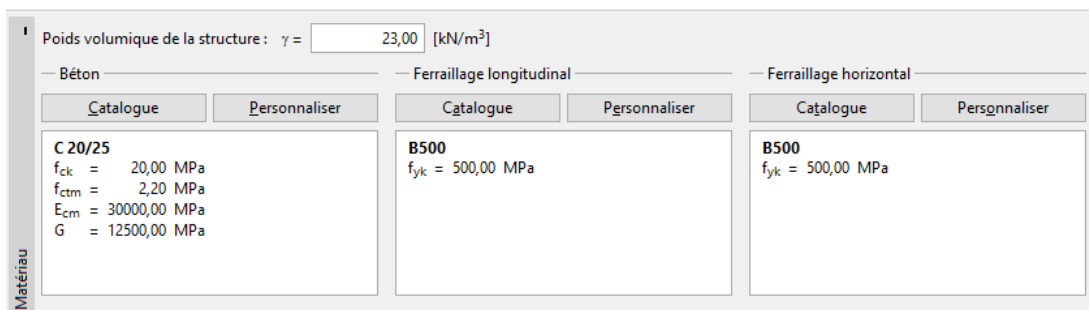


FIGURE 9 – Cadre « Matériau »

Ensuite, passez au cadre « Charge ». La capacité portante verticale d'un groupe de pieux est calculée à l'aide des charges de calcul ; la charge d'exploitation est utilisée pour calculer le tassement. Cliquez sur le bouton « Ajouter » et ajoutez une nouvelle charge de calcul et une nouvelle charge d'exploitation comme indiqué dans les figures ci-dessous.

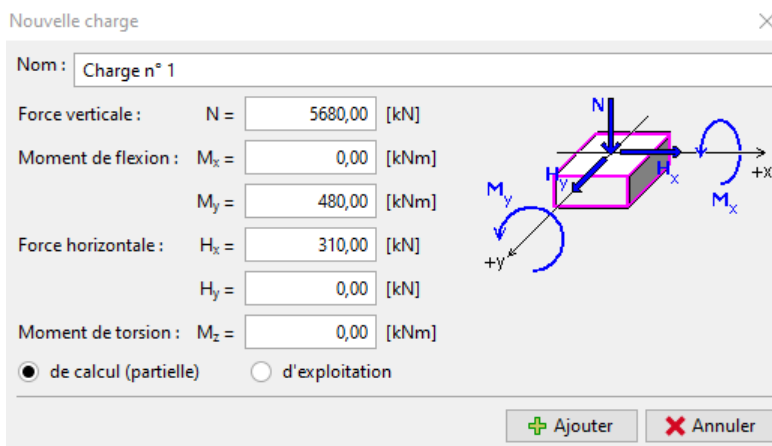


FIGURE 10 – Fenêtre de dialogue « Nouvelle charge » - Charge de calcul

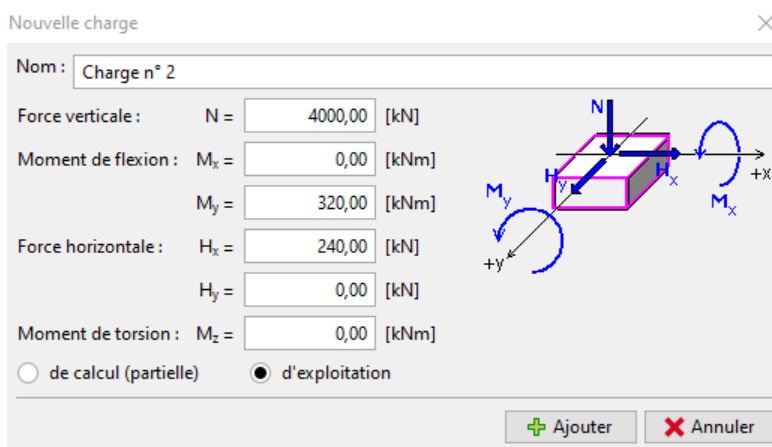


FIGURE 11 – Fenêtre de dialogue «Nouvelle charge» - Charge d'exploitation

3.2 Capacité portante verticale du groupe de pieux

3.2.1 Calculs

Passez au cadre « Capacité portante verticale » afin d'évaluer le groupe de pieux. Pour répondre à la condition de fiabilité, la valeur de R_g doit être supérieure à la valeur de la charge de calcul active V_d (pour plus de détails, consultez l'aide du programme - F1). En utilisant la méthode d'analyse NAVFAC DM 7.2 et l'efficacité du groupe de pieux selon La Barré (CSN 73 1002) conformément aux paramètres d'analyse initiaux, les résultats du calcul de la capacité portante verticale du groupe de pieux sont les suivants :

La Barré (CSN 73 1002) : $\eta_g = 0,84$, $R_g (= 7491,90 \text{ kN}) > V_d (= 6691,86 \text{ kN})$, la capacité portante verticale est donc **ADMISSIBLE**.

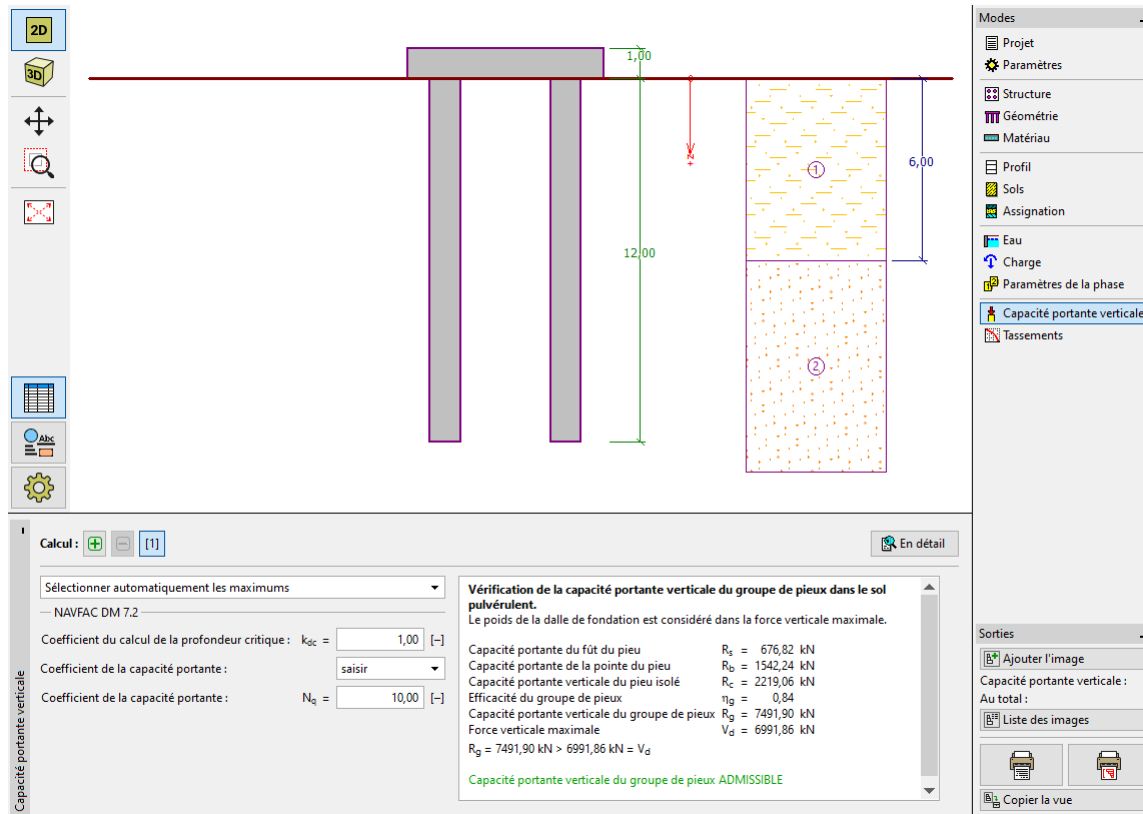


FIGURE 12 – Cadre « Capacité portante verticale »

Remarque : la capacité portante verticale calculée d'un groupe de pieux dans un sol pulvérulent doit être réduite car les pieux s'affectent statiquement les uns les autres. L'évaluation dans le programme propose plusieurs méthodes pour déterminer l'efficacité du groupe de pieux. Ce nombre sans dimension (généralement compris entre 0,5 et 1,0) réduit la capacité portante verticale totale du groupe de pieux en ce qui concerne :

- les nombres de pieux du groupe n_x et n_y
- l'espacement des pieux par rapport à leur centre s_x et s_y
- le diamètre des pieux du groupe d .

L'efficacité du groupe de pieux η_g dépend uniquement de la géométrie du groupe de pieux, et non de la méthode d'analyse.

Nous pouvons étudier comment la capacité portante verticale varie lorsque nous modifions la méthode de détermination de l'efficacité du groupe de pieux. Tout d'abord, revenez au cadre « Paramètres », cliquer sur le bouton « Édition » dans la partie centrale inférieure de l'écran et sélectionnez l'une des possibilités restantes « UFC 3-220-01A » ou « Seiler-Keeney » dans l'onglet « Groupe de pieux » (l'autre possibilité fera l'objet de l'étape suivante).

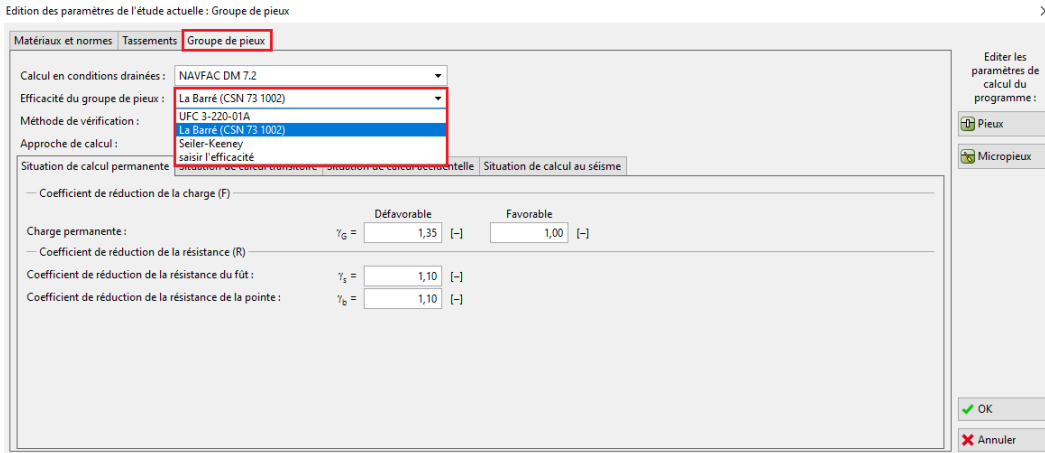


FIGURE 13 – Fenêtre de dialogue « Édition des paramètres de l'étude actuel »

En utilisant les autres méthodes d'analyse, le calcul est analogue à la solution du problème du cahier n° 13. *Analyse de la capacité portante verticale d'un pieu isolé*. Dans le cas de la méthode de la contrainte effective, nous fixerons le coefficient de capacité portante N_p à 30. Les résultats de l'analyse de la capacité portante verticale d'un groupe de pieux dans un sol pulvérulent (c'est-à-dire en conditions drainées) par rapport à la méthode utilisée et à l'efficacité du groupe de pieux η_g sont présentés dans les tableaux suivants :

Méthode de calcul	Efficacité du groupe de pieux η_g
La Barré (CSN 73 1002)	0,84
UFC 3-220-01A	0,80
Seiler-Keeney	0,99

(a) Efficacité du groupe de pieux η_g

EN 1997-1, DA2 (sol pulvérulent) Méthode de calcul	Efficacité du groupe de pieux η_g [-]	Capacité portante du pieu isolé R_c [kN]	Capacité portante du groupe de pieux R_q [kN]
NAVFAC DM 7.2	0,84	2219,06	7491,90
	0,80		7100,98
	0,99		8829,18
Contrainte effective	0,84	6172,80	20840,41
	0,80		19572,96
	0,99		24560,34
CSN 73 1002	0,84	5776,18	19501,36
	0,80		18483,79
	0,99		22982,28

(b) Capacité portante verticale du groupe de pieux en conditions drainées

TABLE 1 – Résumé des résultats

3.2.2 Conclusion

La capacité portante verticale d'un groupe de pieux calculée R_q dans un sol pulvérulent doit être réduite (en utilisant l'efficacité du groupe de pieux η_g) car les pieux s'affectent mutuellement statiquement. En général, les piles interagissent davantage lorsque l'espacement entre leurs centres

est réduit.

Le concepteur doit toujours examiner attentivement s'il convient d'utiliser le calcul en conditions drainées ou non drainées pour une solution analytique de la capacité portante verticale d'un groupe de pieux. Les deux types de calcul sont sensiblement différents.

3.3 Tassement du groupe de pieux

L'analyse du tassement d'un groupe de pieux est quasi-identique à celle appliquée à un pieu isolé ; la seule différence est que le tassement calculé est en plus, multiplié par le coefficient de tassement du groupe g_f .

Remarque : la valeur du coefficient de tassement du groupe dépend de la disposition géométrique des pieux dans le groupe, c'est-à-dire du diamètre des pieux et de la largeur de la dalle.

3.3.1 Calcul

Nous allons analyser le tassement d'un groupe de pieux selon la théorie de Poulos. Nous utiliserons les valeurs du module E_s du cahier n° 14 *Analyse du tassement d'un seul pieu* (17 MPa pour la 1ère couche, 24 MPa pour la 2ème couche). Le tassement maximum est de 50 mm.

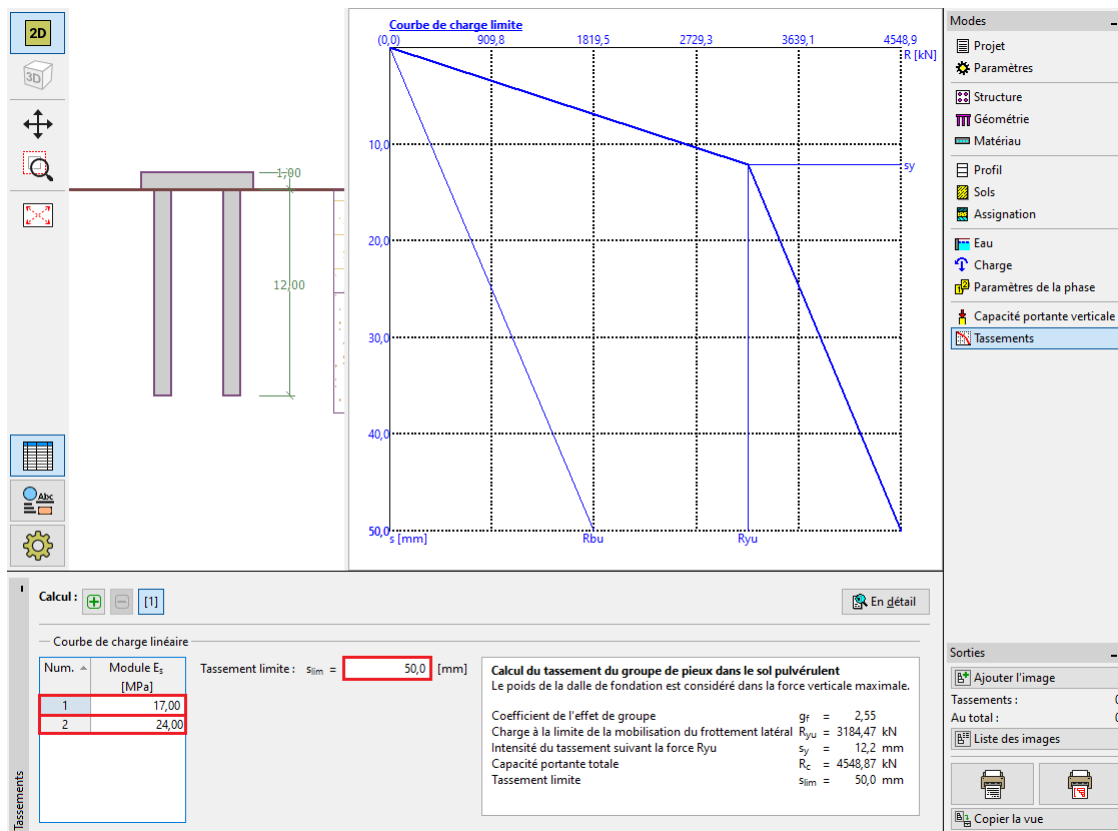


FIGURE 14 – Cadre « Tassement » - Méthode NAVFAC DM 7.2

Les résultats de l'analyse sont présentés dans le tableau suivant :

Méthode d'analyse de la capacité portante verticale d'un groupe de pieux	Charge au début de la mobilisation du frottement latéral R_{yu} [kN]	Tassement du groupe de pieux s [mm] soumis à la force $V = 4000$ kN
NAVFAC DM 7.2	3184,47	34,8
Contrainte effective	7274,43	15,3
CSN 73 1002	8057,77	15,3

TABLE 2 – Résumé des résultats - Tassement du groupe de pieux selon Poulos

3.3.2 Conclusion

Il découle des résultats de l'analyse que la capacité portante verticale d'un groupe de pieux varie à l'opposé de son tassement total. L'analyse du tassement du groupe de pieux dans un sol pulvérulent (en conditions drainées) est basée sur la théorie du tassement linéaire, qui a besoin des valeurs de frottement latéral R_s et de la résistance en pointe du pieu R_b en entrée.

A l'inverse, le tassement d'un groupe de pieux dans un sol cohérent (en conditions non drainées) est basé sur le calcul d'une fondation de substitution. Cette méthode de calcul est souvent intitulée le *tassement de consolidation* d'un groupe de pieux ou généralement abrégée comme la *méthode 2 :1*. Pour cette évaluation du tassement de groupe de pieux, l'effet de la profondeur à partir de la surface du sol et de la profondeur de la zone de déformation est introduit dans le calcul conformément à la méthode d'évaluation du tassement des semelles élargies.

Les deux méthodes de calcul fournissent des résultats complètement différents. Les développeurs de GEO5 recommandent que la capacité portante verticale et le tassement d'un groupe de pieux soient calculés selon les normes locales.