

# GEO5

## Analyse de la déformation et du dimensionnement des groupes de pieux

### Résumé

L'objectif de ce cahier technique est de montrer comment utiliser le programme GEO5 « Groupe de pieux » dans le but d'étudier la rotation et le déplacement d'une tête de pieux rigide, de déterminer les forces internes sur le fût de chaque pieu ainsi que le dimensionnement de pieux.

Le fichier exemple correspondant est « Demo\_manual\_18.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 Description du problème

La spécification générale du problème a été décrite dans le un cahier précédent (12. *Fondations sur pieux - Introduction*). Toutes les analyses de capacité portante verticale d'un groupe de pieux doivent être réalisées sur la base du problème précédent 17. *Analyse de la capacité portante verticale et du tassement d'un groupe de pieux*. La résultante de la charge totale  $N$ ,  $M_y$  et  $H_y$  agit à la partir supérieure de la dalle couvrant le groupe de pieux, juste en son centre. Le dimensionnement du groupe de pieux doit être effectué conformément à la norme EN 1992-1-1 (EC 2), en utilisant des valeurs standard de coefficients partiels.

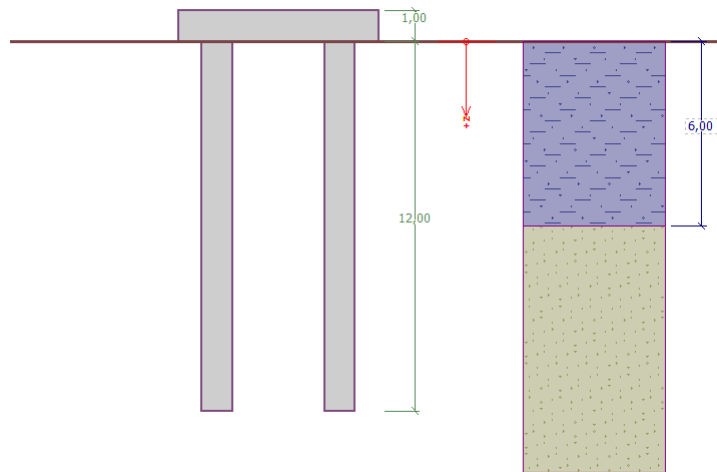


FIGURE 1: Schéma de spécification du problème - Groupe de pieux

## 2 Solution

Pour résoudre ce problème, nous utiliserons le programme GEO5 « Groupe de pieux ». Afin de simplifier le problème et d'accélérer le réglage des paramètres généraux du problème, **nous baserons notre solution sur l'exemple du précédent cahier technique 17. Analyse de la capacité portante verticale du groupe de pieux.**

Nous analyserons le groupe de pieux en utilisant la méthode dite des ressorts, qui modélise chaque pieu sous forme de poutre sur un lit élastique. Chaque pieu est divisé en dix sections, pour lesquelles les valeurs des ressorts horizontaux et verticaux sont calculées. La dalle de base (tête de pieu) est considérée comme infiniment rigide. La solution en elle-même est réalisée en utilisant une variante de la méthode des éléments finis.

## 2.1 Définition des données du problème

Tout d'abord, ouvrez le fichier du cahier n° 17 dans le programme « Groupe de pieux ». Dans le cadre « Paramètres », sélectionnez « méthode des ressorts » comme type de calcul. La connexion entre les pieux et la dalle de fondation est considéré comme **rigide**, c'est-à-dire **fixe**. Considérez, comme condition aux limites, que le moment de flexion est transféré dans les têtes de pieux.

Sélectionnez l'option « pieux flottants - calculer la raideur des ressorts à partir des paramètres des sols » comme mode d'installation de la pointe des pieux.

*Remarque : le programme propose plusieurs options de conditions aux limites concernant la rotation des pieux dans le sens vertical. Pour les pieux porteurs ou les pieux encastrés dans le substratum rocheux, la raideur verticale des ressorts n'est pas spécifiée - la pointe du pieu est modélisée comme un joint ou un joint coulissant. Pour les pieux flottants, il est nécessaire de définir les tailles des ressorts verticaux, à la fois sur le fût puis à la base du pieu. Le programme permet de spécifier la taille des ressorts, mais il est généralement approprié de sélectionner l'option « calculer la taille des ressorts ». Dans ce cas, le programme calcule les ressorts en utilisant les propriétés de déformation des sols pour le jeu de charges typique (pour plus de détails, consultez l'aide du programme - F1).*

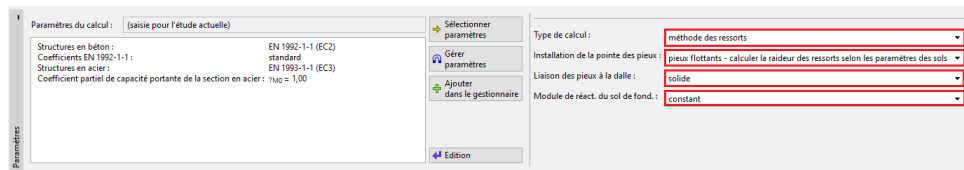


FIGURE 2: Cadre « Paramètres » - Méthode des ressorts

Le module de la réaction horizontale du sous-sol caractérise le comportement du pieu dans la direction latérale. Dans cette analyse, nous considérerons que le module (y compris les paramètres affectant sa valeur) est identique à celui utilisé dans la solution proposée pour un pieu isolé (voir cahier technique n° 16. *Analyse de la capacité portante horizontale d'un pieu isolé*). Dans la première partie de ce chapitre, nous effectuerons l'analyse en utilisant le module **constant** de réaction du sous-sol puis, dans la deuxième partie, nous comparerons les différences entre les résultats lorsque d'autres méthodes sont utilisées (linéaire - selon Bowles, selon CSN 73 1004 et selon Vesic).

Lors de la modification de la méthode de détermination du module de réaction du sous-sol, il conviendra également de modifier les paramètres du sol dans le cadre « Sols ». La valeur de ces paramètres est identique à celle donnée dans le cahier n° 16. Pour plus de clarté, elles sont également présentées dans le tableau ci-dessous.

Module de réaction du sous-sol $K_h$ [MN/m <sup>3</sup> ]	Angle de transfert $\beta$ [°]	Coefficient $k$ [MN/m <sup>3</sup> ]	Module d'élasticité $E$ [MPa]	Module de compressibilité horizontale $n_h$ [MN/m <sup>3</sup> ]
CONSTANT	10 - CS	—	—	—
	15 - S-F			
LINÉAIRE (Bowles)	10 - CS	60 - CS	—	—
	15 - S-F	150 - S-F		
CSN 73 1004	Sol cohérent - CS, de consistance ferme			—
	Sol pulvérulent - S-F, moyennement dense			4,5
VESIC	—	—	5,0 - CS	—
			15,5 - S-F	

TABLE 1: Tableau récapitulatif des paramètres de sols déterminant le module de sous-sol  $K_h$

Dans le cadre « Ressorts verticaux », sélectionnez la charge dite typique, qui est utilisée pour calculer la rigidité des ressorts verticaux. Pour cette étude, sélectionnez la « Charge n° 2 » (la charge d'exploitation).

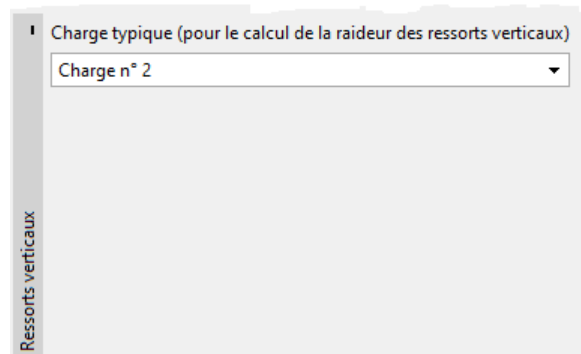


FIGURE 3: Cadre « Ressorts verticaux » - Charge typique

Remarques :

- dans le cas de l'option « Charge typique », la charge de d'exploitation qui caractérise le mieux le comportement de la structure doit être appliquée (pour plus de détails, consultez l'aide du programme - F1). La procédure de calcul des ressorts verticaux est la suivante :
  - la charge calculée est répartie entre chaque pieux
  - la taille des ressorts verticaux sur le fût du pieu comme à sa pointe est déterminée pour chacun des pieux, en fonction de la charge et des paramètres du sol
- l'effet de la charge sur la raideur calculée est significatif - par exemple, la raideur du ressort à la base est toujours nulle pour un pieu en tension.

*Pour cette raison, il peut être avantageux dans certains cas d'effectuer plusieurs fois le calcul pour différentes charges typiques.*

## 2.2 Analyse : méthode des ressorts

Dans le cadre « Analyse », réalisez l'évaluation du groupe de pieux en utilisant les réglages initiaux (c'est-à-dire pour le module de réaction horizontale du sous-sol constant) et affichez les résultats incluant les courbes d'efforts internes.

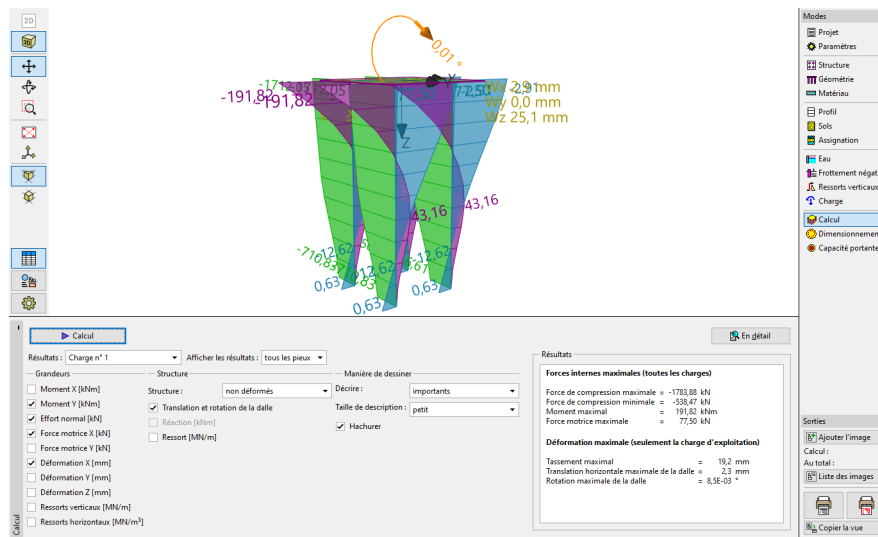


FIGURE 4: Cadre « Calcul » - Méthode des ressorts (module de réaction du sous-sol constant)

*Remarque : la rigidité des pieux du groupe est automatiquement modifiée en fonction de leur emplacement. Les pieux sur le bord et à l'intérieur du groupe ont des valeurs de raideur horizontale et au cisaillement des ressorts réduites par rapport à un pieu isolé. Les ressorts à la pointe des pieux ne sont pas réduits (pour plus de détails, consultez l'aide du programme - F1).*

Les résultats du calcul avec les réglages initiaux (pour une déformation maximale) sont les suivants :

- tassement maximal : 19,2 mm
- translation horizontale maximale de la dalle : 2,3 mm
- rotation maximale de la dalle :  $9,5 \cdot 10^{-3} \text{ °}$

### 2.3 Dimensionnement

Passez maintenant au cadre « Dimensionnement » et, comme pour le cahier 16. *Analyse de la capacité portante horizontale du pieu unique*, vous allez définir et évaluer le renforcement structural principal des pieux. Il sera caractérisé par un taux de ferrailage identique pour tous les pieux du groupe - 16 pièces Ø 16 mm et la couverture béton minimale de 60 mm, selon le degré d'exposition XC1.

Le taux de renforcement pour un groupe de pieux généralement chargé est, dans ce cas, considéré comme conforme à la norme CSN EN 1536 : 1999 (identique à celui du cahier 16). Dans le programme, cette option est définie comme « pieu » (pour plus de détails, visitez l'aide du programme - F1).

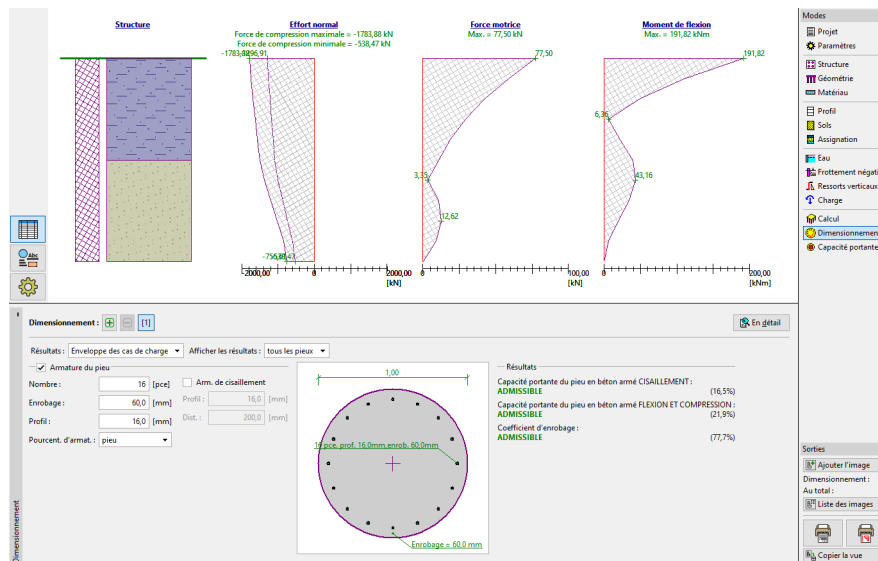


FIGURE 5: Cadre « Dimensionnement » - Résultats pour tous les pieux du groupe à partir de l'enveloppe des cas de charge

Les résultats nous montrent le taux de travail de la section de tous les pieux du groupe en termes de flexion ainsi que le taux d'enrobage pour l'enveloppe globale des cas de charge :

- capacité portante du groupe de pieux en cisaillement : 16,5 %, elle est donc **ADMISSIBLE**
- capacité portante du groupe de pieux en flexion/compression : 21,9 %, elle est donc **ADMISSIBLE**
- taux d'enrobage : 77,7 %, il est donc **ADMISSIBLE**.

## 2.4 Résultats du calcul

La procédure pour les autres analyses est analogue à celle appliquée à la précédente étape. Il faut :

- modifier la méthode de calcul du module de réaction du sous-sol dans le cadre « Paramètres »,
- éditer les paramètres du sol selon les besoins dans le cadre « Sols »,
- effectuer l'évaluation du groupe de pieux dans les cadres « Analyse » et « Dimensionnement ».

Les résultats sont résumés dans les tableaux récapitulatifs suivants :

Module de réaction du sous-sol $K_h$ [MN/m <sup>3</sup> ]	Force de compression (min/max) kN	Moment de flexion maximal [kNm]	Force de cisaillement maximale [kN]
CONSTANT	-1783,88	191,82	77,50
	-538,47		
LINÉAIRE (Bowles)	-1800,17	224,41	77,50
	-533,10		
Selon CSN 73 1004	-1794,75	213,56	77,50
	-534,91		
Selon VESIC	-1805,52	235,11	77,50
	-531,35		

(a) Vérification d'un groupe de pieux - Efforts internes (méthode des ressorts)

Module de réaction du sous-sol $K_h$ [MN/m <sup>3</sup> ]	Tassement maximum [mm]	Déplacement horizontal maximum [mm]	Rotation maximale de la dalle [°]	Capacité portante [%]
CONSTANT	19,2	2,3	$8,5 \cdot 10^{-3}$	21,9
LINÉAIRE (Bowles)	19,5	3,1	$1,4 \cdot 10^{-3}$	23,2
Selon CSN 73 1004	19,4	2,9	$1,2 \cdot 10^{-3}$	22,8
Selon VESIC	19,4	4,3	$1,5 \cdot 10^{-3}$	23,7

(b) Vérification d'un groupe de pieux - Déplacements et dimensionnement d'un groupe de pieux

TABLE 2: Synthèse des résultats

### **3 Conclusion**

Les valeurs du tassement maximal du groupe de pieux, des déplacements de tassement et de la rotation de la dalle de base sont dans les limites autorisées.

Il découle des résultats de l'analyse que les valeurs observées des efforts internes sur la longueur de chaque pieu et des déformations maximales aux têtes de pieux du groupe sont légèrement différentes, mais l'influence de la méthode choisie pour le calcul du module de réaction du sous-sol n'est pas trop marquée.

L'armature de renforcement des pieux proposée est satisfaisante. La condition d'évaluation du taux d'enrobage des pieux est également remplie.