

# GEO5

## Fondations sur pieux - Introduction

### Résumé

L'objectif de ce cahier technique est d'illustrer l'utilisation pratique des programmes GEO5 d'analyse de fondations sur pieux.

Il concerne les programmes : « Pieux », « Pieux CPT », « Groupe de pieux ».

**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

La suite logicielle GEO5 contient trois programmes d'analyse des fondations sur pieux : « **Pieux** », « **Pieux CPT** », « **Groupe de pieux** ». Le texte ci-dessous décrit des procédures plus détaillées concernant les programmes à utiliser en fonction de conditions particulières - chacun des programmes sera décrit dans les cahiers techniques suivants.

## 2 Choix du programme

### 2.1 Caractéristiques de la structure à évaluer

#### 2.1.1 Capacité portante verticale

La capacité portante verticale des fondations sur pieux peut être déterminée à l'aide de différentes méthodes :

- **essais statiques de pieux** : ces essais sont requis dans certains pays et l'analyse structurale produite n'est considérée que comme une proposition préliminaire de fondation sur pieux
- **analyse basée sur les paramètres de résistance au cisaillement des sols** : en utilisant les méthodes d'analyse « NAVFAC DM 7.2 », « Tomlinson », « CSN 73 1002 » et « Contrainte effective » dans les programmes « **Pieux** » et « **Groupe de pieux** »
- **analyse basée sur l'évaluation d'essais de pénétration** : programme « **Pieux CPT** »
- **analyse selon les équations de la courbe de régression obtenues à partir des résultats d'essais de charge statique** (selon Masopust) : programme « **Pieux** » ; la capacité portante verticale est déterminée à partir de la courbe de charge du pieu pour le tassement correspondant (admissible) (la norme CSN 73 1002 spécifie la valeur de tassement correspondante  $s_{lim} = 25,0$  mm)
- **analyse basée sur les paramètres de Mohr-Coulomb et les propriétés contrainte-déformation des sols** : utilisation de la méthode dite « des ressorts » dans les programmes « **Pieux** » et « **Groupe de pieux** »
- **analyse numérique à l'aide de la méthode des éléments finis** : le programme « **MEF** ».

Comme le montre cette liste, les pieux peuvent être évaluées de différentes manières et sur la base de différents paramètres d'entrée. Par conséquent, bien que les résultats d'analyse puissent être identiques, ils diffèrent souvent de manière significative.

Le fait que l'utilisateur puisse utiliser différentes méthodes d'analyse paramétrables pour déterminer le comportement le plus probable de la fondation sur pieux et ensuite calculer la capacité portante totale ou le tassement d'un pieu isolé ou d'un groupe de pieux est un des grands avantages de la suite GEO5.

La capacité portante verticale des fondations sur pieux est évaluée dans les programmes GEO5 uniquement pour la force normale verticale agissant sur la fondation (à l'exception du programme « **Groupe de pieux** » en cas d'utilisation de la méthode des ressorts). Les forces horizontales agissant sur la fondation, la flexion et les moments de torsion n'ont aucune influence sur l'analyse de la capacité portante verticale des pieux.

L'analyse de la capacité portante verticale d'un pieu isolé dans le programme « **Pieux** » est présentée dans les cahiers techniques 13 et 14, l'analyse du même pieu sur la base d'essais CPT est décrite dans le cahier 15.

### 2.1.2 Capacité portante horizontale des fondations sur pieux

Le résultat de l'analyse d'un pieu chargé horizontalement est la déformation horizontale du pieu et la courbe des efforts internes le long du fût du pieu. Dans le cas d'un pieu isolé, sa déformation et son renforcement horizontal dépendent du module de réaction horizontale du sous-sol calculé et du chargement par la force latérale ou le moment de flexion. La procédure d'analyse est décrite dans le cahier 16. La procédure d'analyse d'un groupe de pieux est présentée dans le cahier 18.

### 2.1.3 Tassement des fondations sur pieux

La capacité portante réelle d'un pieu est directement associée à son tassement du fait que pratiquement n'importe quel pieu se tasse sous une charge donnée et se déforme verticalement.

Le tassement des pieux isolés est déterminé dans le programme « **Pieux** » en utilisant les méthodes suivantes :

- **selon Masopust** (non linéaire) : le programme calcule le tassement d'un pieu isolé sur la base des coefficients de régression le long de la chemise et sous la pointe du pieux
- **selon Poulos** (linéaire) : le programme calcule la valeur du tassement total sur la base de la capacité portante de pointe du pieu déterminée  $R_b$  et du frottement latéral  $R_s$
- **au moyen de la méthode des ressorts** : le programme calcule la courbe de charge sur la base des paramètres donnés des sols en utilisant la méthode des éléments finis.

Le programme « **Pieux** » construit la courbe de charge (aussi nommée « diagramme de travail ») pour toutes les méthodes.

Le tassement d'un groupe de pieux est décrit dans le cahier 17, le tassement des pieux conçu sur la base d'essais de pénétration CPT est présenté dans le cahier 15.

## 2.2 Type de structure et données géologiques

La sélection est basée sur la rigidité de la dalle de fondation (tête de pieu), lorsque cette dalle est considérée comme infiniment rigide, la solution « **Groupe**

de pieux » est à privilégier. Dans d'autres cas, les pieux isolés sont examinés. Si la sélection est basée sur les résultats d'une étude géologique, si les résultats des tests CPT sont disponibles, le programme « **Pieux CPT** » est à privilégier pour analyser le pieu isolé ou le groupe de pieux (voir le chapitre 15). Dans d'autres cas, sur la base de paramètres des sols donnés, il convient d'utiliser le programme « **Pieux** » (ou « **Groupe de pieux** ») pour résoudre le problème. Ce qui se résume par le diagramme ci-dessous :

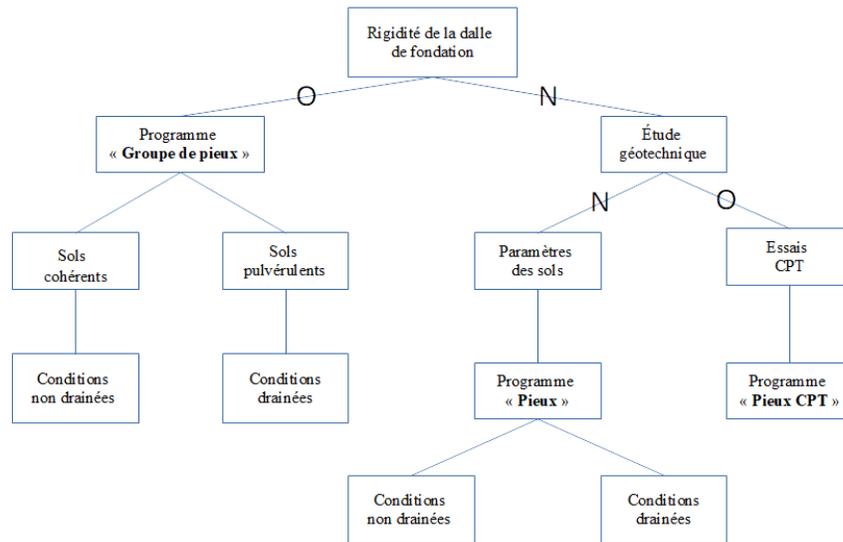


FIGURE 1 – Diagramme de décision

En fonction du type d'analyse, nous distinguons :

- analyse en conditions drainées : les paramètres effectifs de résistance au cisaillement des sols  $\varphi_{ef}$  et  $c_{ef}$  sont utilisés dans les programmes « **Pieux** » et « **Groupe de pieux** » comme standard pour les méthodes d'analyse « CSN 73 1002 » et « Contrainte effective »
- analyse en conditions non drainées : seule la valeur de la cohésion totale du sol  $c_u$  est fixée dans les programmes « **Pieux** » et « **Groupe de pieux** ». La capacité de charge verticale d'un pieu isolé est déterminée selon la méthode de Tomlinson, tandis qu'un groupe de pieux est analysé comme la capacité de charge d'un cylindre de sol (bloc) selon la FHWA. La méthode NAVFAC DM 7.2 combine les deux procédures d'analyse susmentionnées. Il est possible de choisir si chacune des couches de sol sera considérée comme drainée (pulvérulente) ou non drainée (cohérente).

### 3 Spécification générale des études

Analyser la capacité portante verticale et le tassement d'une fondation sur pieux (voir le schéma ci-dessous) dans le profil géologique défini; en outre, déterminer la déformation horizontale des pieux et proposer un renforcement pour chaque pieu. La fondation sur pieux se compose de quatre pieux forés de diamètre  $d = 1,0$  m et de longueur  $l = 12,0$  m. La force résultante de la charge totale  $N$ ,  $M_y$ ,  $H_x$  agit au niveau de la surface supérieure de la dalle de fondation (tête de pieu), notamment au centre de la dalle. Du béton armé C 20/25 est utilisé pour la construction des pieux.

#### 3.1 Charge agissant sur les pieux

Pour simplifier le problème, nous considérerons toujours un cas de charge dans le programme.

La détermination des charges agissant sur la fondation du pieu est différente selon le type de structure et la solution ultérieure, c'est-à-dire si nous traitons un pieu isolé ou un groupe de pieux.

**Groupe de pieux** Nous supposons que la dalle reliant les pieux est rigide. Dans notre cas, nous considérerons une dalle de fondation d'épaisseur  $t = 1,0$  m. Dans ce cas, nous déterminons la réaction totale en son centre.

*Remarque : une méthode simple pour obtenir les charges agissant sur un groupe de pieux à l'aide de l'un des programmes statiques est décrite dans l'aide du programme « Groupe de pieux » «Détermination du chargement sur un groupe de pieux».*

#### Description des charges

1. Charge de calcul :
  - force normale verticale :  $N = 5680$  kN
  - moment de flexion :  $M_y = 480$  kNm
  - force horizontale :  $H_x = 310$  kN
2. Charge d'exploitation :
  - force normale verticale :  $N = 4000$  kN
  - moment de flexion :  $M_y = 320$  kNm
  - force horizontale :  $H_x = 240$  kN

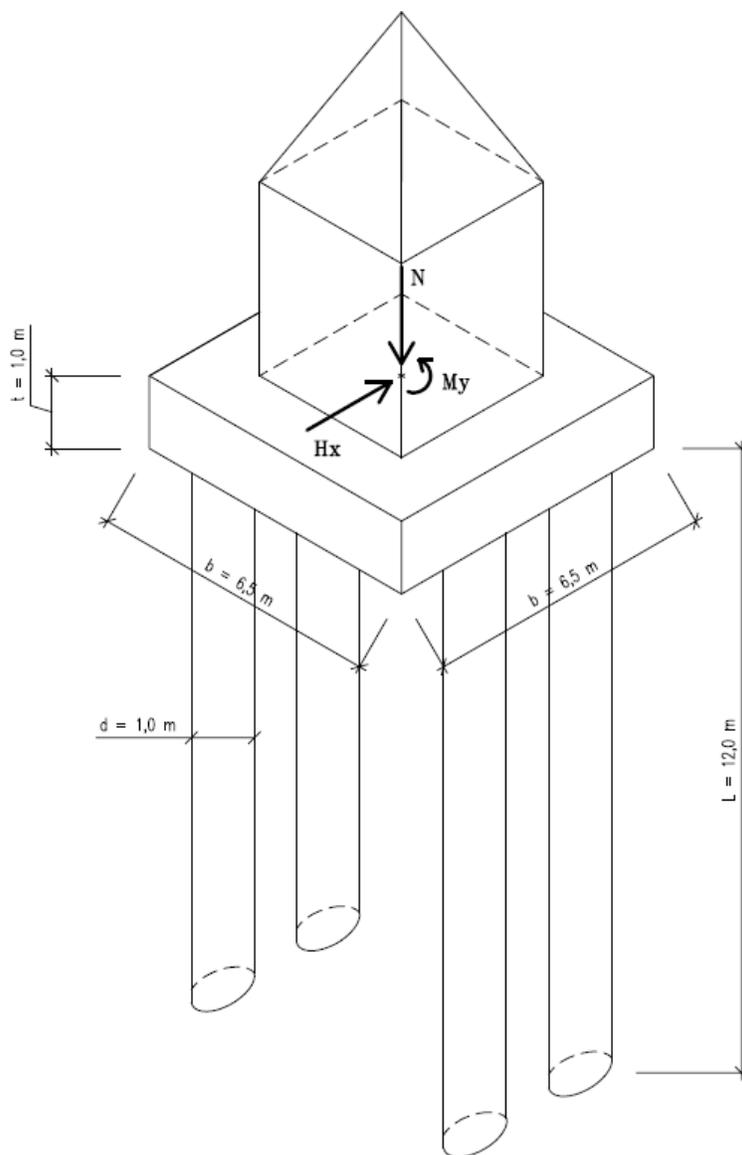


FIGURE 2 – Schéma de spécification du problème - Fondation sur pieux

**Pieux isolés** Si la dalle est souple en flexion (non rigide) ou que le bâtiment est fondé sur une tête de pieux, le schéma structurel est différent, et nous obtiendrons des réactions en tête de chaque pieu à partir d'un programme de statique (par exemple GEO 5 - Dalle, FIN 3D, SCIA Engineer, Dlubal RStab, etc.). Dans cet exemple, nous effectuerons l'analyse des pieux en utilisant un seul cas de charge afin de simplifier l'étude.

**Description des charges**

1. Charge de calcul :
  - force normale verticale :  $N_1 = 1450$  kN
  - moment de flexion :  $M_{y,1} = 120$  kNm
  - force horizontale :  $H_{x,1} = 85$  kN
2. Charge d'exploitation :
  - force normale verticale :  $N_1 = 1015$  kN
  - moment de flexion :  $M_{y,1} = 80$  kNm
  - force horizontale :  $H_{x,1} = 60$  kN

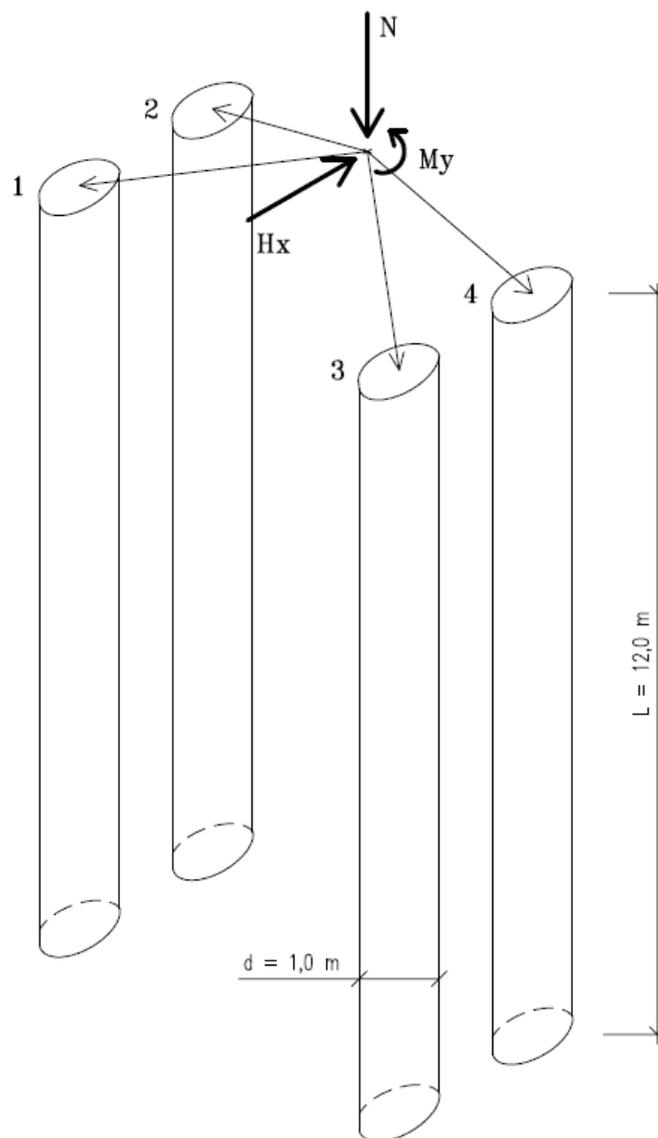


FIGURE 3 – Schéma d’action des charges - Répartition des charges entre chaque pieu

*Remarque : si nous supposons des dimensions et un renforcement identiques pour chacun des pieux, nous pouvons évaluer tous les pieux comme un pieu isolé par des combinaisons de charges agissant ceux-ci.*

## 3.2 Profil géologique

Le profil géologique est composé de deux couches :

- de 0,0 à 6,0 m : argile sableuse (CS), consistance ferme
- au delà des 6,0 m : sable avec trace de fines (S-F), sol moyennement dense.

*Remarque : Les paramètres de base du sol sont identiques pour l'analyse des pieux isolés comme pour celle des groupes de pieux. Leurs valeurs sont données dans le tableau ci-dessous.*

Paramètres du sol / Classification	Argile sableuse (CS), consistance ferme	Sable avec trace de fines (S-F), sol moyennement dense
Poids volumique $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,5	17,5
Poids volumique du sol saturé $\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	20,5	19,5
Cohésion du sol $c_{ef}/c_u$ [kPa]	14,0/50,0	0/0
Angle de frottement interne $\varphi_{ef}$ [°]	24,5	29,5
Coefficient d'adhérence $\alpha$ [-]	0,6	-
Coefficient de capacité portante $\beta_p$ [-]	0,3	0,45
Coefficient de Poisson $\nu$ [-]	0,35	0,3
Module œdométrique $E_{eod}$ [MPa]	8,0	21,0
Module de déformation $E_{def}$ [MPa]	5,0	15,5
Type de sol	Argile (sol cohérent)	Sable, gravier (sol pulvérulent)
Angle de dispersion <sup>1</sup> $\beta$ [°]	10,0	15,0
Coefficient $k$ [MN/m <sup>3</sup> ]	60,0	150,0
Module de compression horizontale $n_h$ [MN/m <sup>3</sup> ]	-	4,5
Module d'élasticité $E$ [MPa]	5,0	15,5

TABLE 1 – Tableau des paramètres du sol - Fondations sur pieux (résumé)

1. nommé « Angle de transfert » dans l'interface des programmes

## **4 Liste des cahiers relatifs aux fondations sur pieux**

- Cahier 12 : Fondations sur pieux - Introduction
- Cahier 13 : Analyse de la capacité portante verticale d'un pieu isolé
- Cahier 14 : Analyse du tassement d'un pieu isolé
- Cahier 15 : Analyse d'un pieu isolé basée sur des essais CPT
- Cahier 16 : Analyse de la capacité portante horizontale d'un pieu isolé
- Cahier 17 : Analyse de la capacité portante verticale et du tassement d'un groupe de pieux
- Cahier 18 : Analyse de la déformation et dimensionnement d'un groupe de pieux
- Cahier 36 : Vérification d'une fondation sur micropieux.