

## Aux éditions « Techniques de l'Ingénieur »

### Dans la même collection

- **Pratique des traitements thermochimiques**  
par Dominique Ghiglione, Claude Leroux et Christian Tournier  
en coédition avec l'Association Technique des Traitements Thermiques  
(mai 1997 – 198 pages)
- **Technologie des échangeurs thermiques**  
par André Bontemps, Alain Garrigue, Charles Goubier, Jacques Huetz, Christophe Marvillet,  
Pierre Mercier et Roland Vidil  
en coédition avec le Groupement pour la Recherche sur les Echangeurs Thermiques  
(avril 1998 – 166 pages)
- **Traction électrique ferroviaire**  
par Christian Courtois, François Lacôte, Marc Provoost, Victor Sabaté  
en coédition avec Alstom et la SNCF  
(janvier 1999 – 92 pages)

### Dans la collection des ouvrages à mise à jour trimestrielles

Agroalimentaire (1 volume)  
Analyse et Caractérisation (5 volumes)  
Constantes physico-chimiques (4 volumes)  
Construction (9 volumes)  
Convertisseurs et machines électriques (6 volumes)  
Elaboration et propriétés des métaux (7 volumes)  
Electronique (6 volumes)  
Environnement (1 volume)  
Fonctions et composants mécaniques (4 volumes)  
Génie des procédés (6 volumes)  
Génie énergétique (5 volumes)  
Génie nucléaire (2 volumes)  
Informatique (4 volumes)  
Informatique industrielle (3 volumes)  
L'entreprise industrielle (6 volumes)  
Lexiques des termes techniques (2 volumes – 1 CD-Rom)  
Machines hydrauliques et thermiques (4 volumes)  
Mesures et Contrôle (7 volumes)  
Mise en œuvre et traitement des métaux (5 volumes)  
Plastiques et Composites (5 volumes)  
Réseaux et applications de l'électricité (4 volumes)  
Sciences fondamentales (5 volumes)  
Télécoms (4 volumes)  
Travail des matériaux – Assemblage (3 volumes)

Roger FRANK

# Calcul des fondations superficielles et profondes

Techniques de l'Ingénieur (TI)  
Presses de l'École nationale des Ponts et Chaussées



## AVANT-PROPOS

Il existe deux grands modes de transmission des charges des constructions aux couches de sol sous-jacentes : par fondation superficielle et par fondation profonde. Le mot « fondation » est pris dans cet ouvrage au sens de l'élément de la construction (en béton armé ou acier, le plus généralement). Il peut, dans certaines conditions, signifier les couches de sol elles-mêmes (sur lesquelles ou au travers desquelles on entend précisément « fonder » la construction).

Les fondations superficielles sont, par définition, les fondations qui reposent sur le sol ou qui n'y sont que faiblement encastées. Ce sont les semelles, radiers, etc. Les charges qu'elle transmettent ne sollicitent que les couches superficielles et peu profondes. Les fondations superficielles travaillent essentiellement grâce à la résistance du sol sous la base.

Lorsque le sol en surface n'a pas les propriétés mécaniques suffisantes pour supporter les charges par l'intermédiaire de fondations superficielles, soit que sa résistance soit trop faible, soit que les tassements prévus soient préjudiciables à la construction, on fait appel à des fondations profondes ou semi-profondes. Les fondations profondes (pieux, puits et barrettes) sont celles qui permettent de reporter les charges dues à la construction qu'elles supportent sur des couches situées depuis la surface jusqu'à une profondeur variant de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres. Dans le calcul de la capacité portante des fondations profondes, il y a donc lieu de considérer, en plus de la résistance du sol sous la base, la résistance du sol le long du fût, c'est-à-dire le frottement sur les parois latérales de la fondation.

Les barrettes sont des parois moulées porteuses qui, bien que de forme différente et faisant appel à une technique particulière, ont un mode d'exécution et un comportement généralement comparables à ceux des pieux forés.

Entre les deux extrêmes, fondations superficielles et fondations profondes, on distingue les fondations semi-profondes dont la base se trouve relativement près de la surface, mais pour lesquelles le frottement latéral ne peut être négligé : il s'agit des puits et pieux courts ou des barrettes de faible profondeur et de la plupart des caissons. Il n'y a pas de méthode de calcul propre à cette catégorie de fondations qui ne constituent que des cas particuliers ; il faudra adapter, suivant les cas, les méthodes retenues pour les fondations superficielles ou pour les fondations profondes. On sera notamment guidé par le mode d'exécution ou de mise en œuvre, proche de celui d'une fondation superficielle ou de celui d'une fondation profonde.

Cet ouvrage expose les méthodes géotechniques de dimensionnement courantes des fondations superficielles et profondes, notamment celles qui sont recommandées par les règlements aux états limites en vigueur en France (Fascicule 62-Titre V du CCTG et DTU 13.12 et 13.2).

Il est composé de quatre chapitres : le premier est une introduction aux concepts des calculs aux états limites, appliqués au dimensionnement des fondations, en général. Les chapitres 2 et 3 traitent respectivement des fondations superficielles et des fondations profondes. Le chapitre 4 regroupe un certain nombre de données sur les déplacements admissibles des structures, problème commun à tous les types de fondations.

Souhaitons, enfin, que cet ouvrage constitue une préparation à l'utilisation des futures normes de calcul aux états limites, liées à l'Eurocode 7 « Calcul géotechnique ».

# SOMMAIRE

## CHAPITRE 1

### ACTIONS POUR LE CALCUL AUX ÉTATS LIMITES

<b>1.1. Définition des actions</b> .....	p. 2
1.1.1 Actions permanentes $G$ .....	p. 2
1.1.2 Actions dues à l'eau $F_W$ .....	p. 3
1.1.3 Poussées latérales $G_{sp}$ .....	p. 3
1.1.4 Frottement négatif $G_{sf}$ .....	p. 3
1.1.5 Actions variables $Q$ .....	p. 5
1.1.6 Actions accidentelles $F_A$ .....	p. 5
<b>1.2. Combinaisons d'actions types et sollicitations de calcul</b> .....	p. 5
1.2.1 États limites ultimes (ELU) .....	p. 6
1.2.2 États limites de service (ELS) .....	p. 7

## CHAPITRE 2

### FONDATEMENTS SUPERFICIELLES

<b>2.1. Définitions</b> .....	p. 10
2.1.1 Types de fondations superficielles .....	p. 10
2.1.2 Capacité portante et tassement .....	p. 10
<b>2.2. Capacité portante des fondations superficielles</b> .....	p. 11
2.2.1 Calcul de la capacité portante à partir des essais de laboratoire (méthode « $c-\varphi$ ») .....	p. 12
2.2.2 Méthodes pressiométrique et pénétrométrique : définitions .....	p. 19
2.2.3 Calcul de la capacité portante à partir de l'essai au pressiomètre Ménard .....	p. 22
2.2.4 Calcul de la capacité portante à partir de l'essai de pénétration statique (CPT) .....	p. 28
<b>2.3. Détermination des tassements</b> .....	p. 30
2.3.1 Méthodes de calcul des tassements .....	p. 30
2.3.2 Utilisation de la méthode des éléments finis .....	p. 42
<b>2.4. Justifications d'une fondation superficielle</b> .....	p. 44
2.4.1 États limites concernant le sol .....	p. 45
2.4.2 États limites concernant les matériaux constitutifs de la fondation .....	p. 47
2.4.3 États limites de déplacement concernant la structure portée .....	p. 47
<b>2.5. Dispositions constructives</b> .....	p. 48
2.5.1 Généralités et conditions de site .....	p. 48
2.5.2 Dispositions constructives .....	p. 48

## CHAPITRE 3

### FONDATEMENTS PROFONDES

<b>3.1. Classification des pieux</b> .....	p. 52
3.1.1 Pieux refoulant le sol à la mise en place .....	p. 52
3.1.2 Pieux ne refoulant pas le sol à la mise en place .....	p. 53
3.1.3 Pieux particuliers .....	p. 59

<b>3.2. Pieu isolé sous charge axiale</b> .....	p. 59
3.2.1 Définitions. Introduction .....	p. 59
3.2.2 Prévision de la charge limite $Q_f$ et de la charge de fluage $Q_c$ à partir d'un essai de chargement statique .....	p. 62
3.2.3 Prévision de la charge limite $Q_f$ par la méthode pressiométrique .....	p. 66
3.2.4 Prévision de la charge limite $Q_f$ à partir des résultats du pénétromètre statique (CPT) .....	p. 68
3.2.5 Prévision de la charge limite $Q_c$ à partir de méthodes dynamiques .....	p. 72
3.2.6 Évaluation du frottement négatif maximal .....	p. 75
3.2.7 Tassement d'un pieu isolé .....	p. 79
<b>3.3. Pieu isolé sous charges latérales</b> .....	p. 80
3.3.1 Comportement du sol. Définitions .....	p. 80
3.3.2 Équation d'équilibre .....	p. 82
3.3.3 Méthode générale de résolution .....	p. 83
3.3.4 Prévision du déplacement libre du sol $g(z)$ .....	p. 85
3.3.5 Choix de la courbe de réaction $P/\Delta y$ .....	p. 90
3.3.6 Conditions aux limites .....	p. 94
3.3.7 Essai statique de pieu isolé sous effort transversal .....	p. 96
3.3.8 Formulaire pour pieux souples et pour pieux rigides, dans le cas d'un sol homogène et linéaire .....	p. 98
<b>3.4. Comportement des groupes de pieux</b> .....	p. 102
3.4.1 Modifications du comportement d'un pieu par effet de groupe .....	p. 102
3.4.2 Calcul général des efforts et des déplacements d'un groupe de pieux .....	p. 111
3.4.3 Répartition des efforts sur les pieux d'un groupe. Cas simplifiés .....	p. 114
<b>3.5. Justifications d'une fondation sur pieux</b> .....	p. 115
3.5.1 États limites à considérer .....	p. 115
3.5.2 États limites de mobilisation du sol .....	p. 115
3.5.3 États limites concernant les matériaux constitutifs des pieux .....	p. 117
3.5.4 États limites de déplacement .....	p. 120
<b>3.6. Dispositions constructives et marche à suivre</b> .....	p. 120
3.6.1 Types de pieux .....	p. 121
3.6.2 Dimensions. Inclinaison .....	p. 121
3.6.3 Disposition en plan des pieux d'un groupe .....	p. 122
3.6.4 Recommandation particulière pour les pieux exécutés en place et les barrettes .....	p. 122
3.6.5 Contrôle des pieux exécutés en place et des barrettes .....	p. 122
3.6.6 Marche à suivre pour une étude de fondations profondes .....	p. 123

## CHAPITRE 4

### TASSEMENTS ET DÉPLACEMENTS ADMISSIBLES DES STRUCTURES

<b>4.1. Introduction</b> .....	p. 126
<b>4.2. Tassements admissibles des bâtiments</b> .....	p. 126
<b>4.3. Déplacements admissibles des fondations de ponts</b> .....	p. 130
<b>ANNEXES</b> .....	p. 135
<b>Références bibliographiques</b> .....	p. 137

## Chapitre 1

# Actions pour le calcul aux états limites