

Calcul des ponts aux Eurocodes

Utilisation du Fascicule 62 Titre V du C.C.T.G

Ouvrages
d'art
30

L'application de la norme NF EN 1997-1 (Eurocode 7 : calcul géotechnique – Partie 1 : règles générales) au calcul des fondations des ouvrages ne peut se faire qu'en s'appuyant sur son Annexe Nationale et sur des normes nationales complémentaires. Ces dernières sont en cours d'élaboration et, dans l'attente de leur parution, il est donc nécessaire pour pouvoir appliquer l'Eurocode 7 au calcul des ponts, de définir des règles complémentaires provisoires.

A cet égard, les règles du fascicule 62 Titre V du CCTG sont dans leur ensemble assez bien adaptées. L'objet de cette note est donc d'indiquer les conditions dans lesquelles celles-ci peuvent être utilisées, en complément de la norme NF EN 1997-1 et de son Annexe Nationale.

Il est important de souligner qu'il ne s'agit là que de dispositions provisoires pour l'application de cette norme pour le calcul des fondations des ponts, dans l'attente de la parution des normes nationales complémentaires.

Sommaire

| | |
|---|----|
| 1 - Introduction | 2 |
| 2 - Symboles et notations | 3 |
| 3 - Références normatives | 3 |
| 4 - Première partie – Dispositions communes | 4 |
| 5 - Deuxième partie – Fondations superficielles (section 6 de la norme NF EN 1997-1) | 7 |
| 6 - Troisième partie – Fondations profondes (section 7 de la norme NF EN 1997-1) | 9 |
| 7 - Annexes | 12 |
| 8 - Annexe complémentaire : Correspondance des notations de la norme NF EN 1997-1 et du Fascicule 62 Titre V du CCTG | 13 |

1 - Introduction

La norme NF EN 1997-1 Eurocode 7 : Calcul géotechnique - Partie 1 : règles générales - a été homologuée le 20 juin 2005. Son Annexe Nationale d'application (NF EN 1997-1/NA) est parue en septembre 2006.

La norme NF EN 1997-1 ne traite que des aspects généraux du calcul géotechnique. Son application sur le territoire français ne peut se faire qu'en s'appuyant sur son Annexe Nationale, qui définit notamment les approches de calcul retenues pour les ouvrages géotechniques et les valeurs des paramètres déterminées au plan national, et sur des normes nationales complémentaires. Celles-ci précisent notamment les conditions de justification des ouvrages géotechniques et surtout, les méthodes de calcul des efforts qui les sollicitent et des résistances du sol mobilisées.

Ces normes nationales complémentaires sont les suivantes :

- NF P 94-261 : Fondations superficielles
- NF P 94-262 : Fondations profondes
- NF P 94-270 : Remblais renforcés et clouage
- NF P 94-281 : Murs de soutènement
- NF P 94-282 : Ecrans de soutènement
- NF P 94-290 : Ouvrages en terre

Il est indiqué dans l'Annexe Nationale que ces normes sont en cours de préparation et, dans l'attente de leur parution, il est donc nécessaire, pour appliquer l'Eurocode 7 et son Annexe Nationale au calcul et à la justification technique des fondations des ouvrages, de définir, provisoirement du moins, des règles complémentaires.

Le fascicule 62 Titre V du CCTG intitulé "Règles techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil" constitue un ensemble de règles qui, à cet égard, sont assez bien adaptées pour ces ouvrages, et pour les ponts routiers en particulier.

En effet, ces règles ne sont pas en contradiction avec les dispositions générales du calcul géotechnique définies dans la norme NF EN 1997-1 et s'inscrivent bien dans l'approche de calcul 2* retenue dans l'Annexe Nationale (cf. clause 2.4.7.3) pour la vérification de la résistance (ou éventuellement de la déformation) de la structure ou d'éléments de la structure (états limites ultimes notés STR) et du terrain (états limites ultimes notés GEO). Enfin, le Fascicule 62 du CCTG comprend également un ensemble de règles pratiques complémentaires indispensables au calcul et à la justification des fondations (notamment modèles de comportement et méthodes de calcul) qui seront très probablement largement reprises par les normes nationales complémentaires en cours de rédaction.

L'objet de ce document est donc d'indiquer les conditions dans lesquelles le Fascicule 62 Titre V du CCTG peut être appliqué pour un calcul suivant les Eurocodes, en complément de la norme NF EN 1997-1 et de son annexe nationale, et dans l'attente de la parution des normes nationales complémentaires.

Lorsqu' aucune indication différente n'est donnée ci-après sur un article du Fascicule 62 Titre V du CCTG, les dispositions de celui-ci s'appliquent. Les textes indiqués en italique dans ce document correspondent à des commentaires.

Remarques importantes :

Il n'est pas traité ici des procédures de vérification vis-à-vis de l'équilibre limite (EQU) qui pour les ouvrages géotechniques, et lorsqu'il y a lieu, ne peut pratiquement concerner que les murs de soutènement fondés superficiellement. Ces ouvrages sortent du cadre d'application du fascicule 62 Titre V du CCTG. On notera par ailleurs que cette vérification est généralement assurée par les dispositions prévues à l'ELU de renversement (cf. article B.3.2).

Il en est pratiquement de même pour ce qui concerne les états-limites ultimes de soulèvement hydraulique (UPL), qui peuvent davantage concerner aussi le terrain en phase de construction. Si nécessaire, il conviendra donc de se reporter à la clause 2.4.7.4 de NF EN 1997-1 et de son Annexe Nationale (NF EN 1997-1/NA).

* Dans l'approche de calcul 2, les facteurs partiels sont appliqués aux actions - ou à leurs effets - et aux résistances du terrain. Par ailleurs, les mêmes combinaisons d'actions sont utilisées pour justifier aux ELU aussi bien la résistance de la structure que celle du terrain de fondation. Enfin ces combinaisons d'actions, qui sont celles définies à l'article 6.4.3 de la

norme NF EN 1990 et complétées pour les ponts par les dispositions de la norme NF EN 1990 A1/NA (annexe nationale à la norme NF EN 1990/A1), sont très sensiblement les mêmes que celles du Fascicule 62 Titre V du CCTG.

2 - Symboles et notations

Les symboles et notations du Fascicule 62 Titre V du CCTG diffèrent parfois de ceux des Eurocodes. Les principales correspondances seront indiquées ci-après (texte et § 8. "Annexe complémentaire").

3 - Références normatives

Les références au B.A.E.L et au B.P.E.L sont à remplacer par la référence à la norme NF EN 1992-2 (ponts en béton – Calcul et dispositions constructives, qui se réfère elle-même à la norme NF EN 1992-1-1) et à son annexe nationale (NF EN 1992-1-1/NA).

4 - Première partie – Dispositions communes

Chapitre A.1 – Principes et définitions

Article A.1.1 – Domaine d'application

Le domaine d'application du Fascicule 62 Titre V est inchangé. Il exclut notamment les procédés de soutènement* (murs en béton armé, massifs en sol renforcé, écrans de soutènement...), les tirants d'ancrage et les ouvrages en terre.

Il correspond aux ouvrages de catégorie 2 tels que définis à l'article 2.1 de la norme NF EN 1997-1. Pour les ouvrages de catégorie 3, le marché précise les conditions dans lesquelles il peut s'appliquer et les dispositions alternatives et/ou complémentaires nécessaires.

Le Fascicule 62 Titre V du CCTG n'est pas applicable sans discernement aux cas des fondations établies sur des terrains dont le comportement relève de la mécanique des roches (voir commentaire (*) à l'article A.2.1).

* Il est à noter toutefois que l'AN à la NF EN 1990/A1 fixe à 100 ans la durée d'utilisation des ouvrages de soutènement routiers (sauf indication contraire du projet individuel).

Article A.1.2 – Définitions

Article A.1.3 – Modèles de comportement

Chapitre A.2 – Données pour le calcul concernant les sols

Chapitre A.3 – Données pour le calcul concernant les matériaux

Article A.3.1 – Béton

Les conditions de calcul de la résistance caractéristique conventionnelle du béton notée ici f_c restent inchangées*.

Ainsi les valeurs de f_{clim} sont conservées. Par ailleurs, le produit des coefficients k_1 et k_2 , qui tiennent compte des conditions de mise en œuvre particulières pour les pieux, se substitue au coefficient k_f de l'article 2.4.2.5 de la norme NF EN 1992-1-1.

* Les notations du Fascicule 62 Titre V du CCTG diffèrent ici quelque peu de celles de la norme NF EN 1992-2. Ainsi, la résistance caractéristique en compression du béton à 28 jours y est notée f_{ck} (f_{ctk} pour la traction).

Rappelons par ailleurs que les références au B.A.E.L sont à remplacer par les références aux normes NF EN 1992-2 (ponts en béton – Calcul et dispositions constructives, qui se réfère elle-même à la norme NF EN 1992-1-1) et NF EN 1992-1-1/NA (annexe nationale). Cela concerne également ici les articles A.3.1.3 et A.1.3.4 relatifs à la résistance caractéristique à la traction et aux déformations longitudinales du béton.

Article A.3.2 – Aciers

Les dispositions relatives aux aciers pour gaines et aux pieux métalliques (y compris donc pieux en palplanches métalliques) restent applicables.

Rappelons que les références au fascicule du CCTG relatif à la conception et au calcul des constructions métalliques sont à remplacer par la référence à la norme NF EN 1993-1 avec son Annexe Nationale et à la norme NF EN 1993-5 qui traite plus spécifiquement des pieux et palplanches métalliques.

Chapitre A.4 – Situations et actions

Les dispositions du Fascicule 62 Titre V du CCTG relatives aux situations et actions restent applicables.

Chapitre A.5 – Combinaisons d'actions et sollicitations de calcul

Les articles A.5.2. et A.5.3. de ce chapitre sont modifiés comme suit :

Article A.5.2 – Combinaisons d'actions et sollicitations de calcul vis-à-vis des états-limites ultimes

Les différentes combinaisons à prendre en compte sont définies ci-après (pour les états-limites EQU et UPL, se reporter à la remarque faite en préambule).

A.5.2,1 – Combinaisons d'actions STR et GEO (situations durables ou transitoires)

Ces combinaisons d'actions sont à considérer dans le cadre de l'approche de calcul 2 retenue dans la norme NF EN 1997-1/NA pour les justifications des fondations d'ouvrages.

En règle générale, les sollicitations de calcul à considérer – ou valeurs de calcul des effets des actions selon les eurocodes – sont les suivantes (*) :

$$E_d = E \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j \geq 1} (\gamma_{Gj, \text{sup}} \cdot G_{kj, \text{sup}} + \gamma_{Gj, \text{inf}} \cdot G_{kj, \text{inf}}) + [\gamma_{sn} G_{sn}] + \gamma_{sp} G_{sp} \\ + \gamma_{Fw} \cdot F_w + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0,i} Q_{k,i} \end{array} \right\}$$

avec les notations suivantes :

- $G_{kj, \text{sup}}$ actions permanentes défavorables ;
- $G_{kj, \text{inf}}$ actions permanentes favorables ;
- G_{sn} actions éventuelles de frottement négatif ;
- G_{sp} actions éventuelles de poussées latérales ;
- F_w actions hydrodynamiques dans la situation considérée ;
- Q_{1k} valeur de combinaison de l'action variable dominante ;
- $\psi_{0,i} Q_{k,i}$ valeur de combinaison des actions variables d'accompagnement

Les valeurs des facteurs partiels sont celles données dans le tableau A2.4 (B)(NF) de la norme NF EN 1990 A1/NA, complétées comme suit :

- lorsqu'il y a lieu de prendre en compte des actions hydrodynamiques, γ_{Fw} vaut 1,35 ou 1,00, sa valeur étant choisie de manière à obtenir l'effet le plus défavorable ;
- lorsqu'il y a lieu de prendre en compte des déplacements du sol autour de la fondation :
 - γ_{sn} vaut 1,35 ou 1,00, sa valeur étant choisie de manière à obtenir l'effet le plus défavorable ;
 - γ_{sp} vaut 1,35 ou 0,65, sa valeur étant choisie de manière à obtenir l'effet le plus défavorable.

(*) Les actions dues au frottement négatif ont été isolées car elles ne se cumulent pas intégralement avec les actions variables (cf. clause 7.3.2.2 (7) de la norme NF EN 1997-1). Les règles de cumul sont précisées à l'article C.3.3.

Les combinaisons fondamentales du Fascicule 62 Titre V du CCTG ne concernent que les ELU **STR** (justifications vis-à-vis de la résistance ou de la déformation excessive de la structure) et **GEO** (justifications vis-à-vis de la résistance ou de la déformation excessive du terrain) des Eurocodes. Elles correspondent bien à l'approche de calcul 2 (cf. préambule) qui est retenue à la fois dans l'Annexe Nationale à la NF 1990/A1 et dans l'Annexe Nationale à la NF EN 1997-1 (EC7 – 1) pour ces ELU.

Ces combinaisons fondamentales ne s'appliquent pas à la justification vis-à-vis de l'équilibre statique (**EQU**) et, s'il y a lieu, du soulèvement hydraulique (**UPL**), pour lesquelles des combinaisons d'actions quelque peu différentes sont prévues dans la norme NF EN 1997-1 (cf. remarque du préambule).

A.5.2,2 – Combinaisons d'actions STR et GEO (situations accidentelles)

En général, les sollicitations de calcul à considérer – ou valeurs de calcul des effets des actions – sont les suivantes (*) (clauses A.2.3.2 des normes NF EN 1990/A1 et NF EN 1990 A1/NA) :

$$E_d = E \left\{ \sum_{j>1} (G_{kj,\text{sup}} + G_{kj,\text{inf}}) + G_{sp} + [G_{sn}] + A_d + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \right\}$$

Expression dans laquelle A_d est la valeur nominale de l'action accidentelle considérée. Les actions variables d'accompagnement à considérer ($Q_{k,1}$ et $Q_{k,i}$) et les valeurs des facteurs partiels qui les affectent sont définies dans les normes NF EN 1990/A1 et NF EN 1990 A1/NA.

(*) Les actions dues au frottement négatif ont été isolées car elles ne se cumulent pas intégralement avec les actions variables. Les règles de cumul sont précisées à l'article C.3.3.

A.5.2,3 – Combinaisons vis-à-vis des états-limites ultimes de stabilité d'ensemble (situations durables ou transitoires)

Ces combinaisons d'actions sont à considérer dans le cadre de l'approche de calcul 2 autorisée par la clause 2.4.7.3.4.1 (P) de la norme NF EN 1997-1/NA pour les justifications de la stabilité d'ensemble.

En règle générale, les sollicitations de calcul à considérer sont les suivantes :

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} (\gamma_{Gj,\text{sup}} \cdot G_{kj,\text{sup}} + \gamma_{Gj,\text{inf}} \cdot G_{kj,\text{inf}}) + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Qi} \cdot \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\}$$

Les valeurs des facteurs partiels qui affectent ces actions sont celles définies à l'article A.5.2.1. ci-avant, y compris pour les actions permanentes géotechniques.

Article A.5.3 – Combinaisons d'actions et sollicitations de calcul vis-à-vis des états-limites de service

Les différentes combinaisons à prendre en compte sont définies ci-après.

Il n'est pas prévu de combinaison non fréquente d'actions pour les ponts routiers et pour les ponts ferroviaires (cf. clause A2.4.1 NOTE 2 de la NF EN 1990 A1/NA).

A.5.3,1 – Combinaisons caractéristiques (*)

$$E \left\{ \sum_{j \geq 1} (G_{kj,\text{sup}} + G_{kj,\text{inf}}) + [G_{sn}] + G_{sp} + F_w + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right\}$$

(*) Les actions dues au frottement négatif ont été isolées car elles ne se cumulent pas intégralement avec les actions variables. Les règles de cumul sont précisées à l'article C.3.3.

A.5.3,2 – Combinaisons fréquentes (*)

$$E \left\{ \sum_{j \geq 1} (G_{kj,\text{sup}} + G_{kj,\text{inf}}) + [G_{sn}] + G_{sp} + F_w + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \right\}$$

(*) Les actions dues au frottement négatif ont été isolées car elles ne se cumulent pas intégralement avec les actions variables. Les règles de cumul sont précisées à l'article C.3.3.

A.5.3,3 – Combinaisons quasi-permanentes

$$E \left\{ \sum_{j \geq 1} (G_{kj,\text{sup}} + G_{kj,\text{inf}}) + G_{sn} + G_{sp} + F_w + \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \right\}$$

5 - Deuxième partie – Fondations superficielles (section 6 de la norme NF EN 1997-1)

Chapitre B.1 – Domaine d'application

A défaut d'une définition d'une fondation superficielle dans la norme NF EN 1997-1, on retient celle donnée au commentaire de cet article.

Chapitre B.2 – Modèles de comportement

Chapitre B.3 – Justifications

Les états-limites à considérer sont définis à l'article 6.2 de la norme NF EN 1997-1. Pour les fondations d'ouvrages d'art, il y aura lieu de procéder dans tous les cas aux justifications qui suivent.

Article B.3.1 – Etats-limites de mobilisation du sol

B.3.1,1 – Etats-limites ultimes de mobilisation de la capacité portante

Cet article correspond à l'article 6.5.2 de la norme NF EN 1997-1 qui vise la justification vis-à-vis de la portance.

Cette justification est conduite dans le Fascicule 62 Titre V du CCTG à partir des contraintes. Elle correspond bien toutefois à celle présentée dans la norme NF EN 1997-1 à partir des charges (charge verticale transmise à la fondation V_d et résistance de calcul du terrain sous celle-ci notée R_d), de laquelle elle ne diffère donc que par sa présentation.

Cette présentation à partir des contraintes est par ailleurs généralement nécessaire pour le calcul des efforts dans la semelle et les justifications de la résistance structurelle de celle-ci (STR).

On considère que le facteur partiel sur la résistance noté γ_q ici et pris égal à 2 est le produit du facteur partiel de résistance γ_R (tableau A5 de l'Annexe A de la norme NF EN 1997-1) et d'un coefficient de modèle dont la valeur est prise égale à 2/1,4.

Ce coefficient de modèle est introduit ici dans l'attente de la parution de la norme complémentaire correspondante (NF P 94-261 : Fondations superficielles), et notamment des règles de calcul de la résistance caractéristique du sol qui y seront définies et des dispositions complémentaires éventuelles.

B.3.1,2 – Etats-limites de service

En règle générale, pour les fondations superficielles d'ouvrages d'art, il y a lieu d'appliquer les dispositions de cet article, notamment pour les combinaisons d'actions caractéristiques.

Dans l'attente de la parution de la norme complémentaire, et dans la mesure où les tassements et déformations du terrain ne sont généralement calculés que pour les combinaisons d'actions quasi-permanentes (cf. § 1 de l'annexe F.2.).

Article B.3.2 – Etat-limite ultime de renversement

Cette disposition entre dans le cadre de l'application de l'article 6.5.4 (1) de la norme NF EN 1997-1 relatif aux charges fortement excentrées. Pour les ponts cette disposition reste donc applicable. Elle concerne notamment le cas des charges fortement excentrées.

Article B.3.3 – Etat-limite de service de décompression du sol

Le terme combinaisons rares est à remplacer ici par combinaisons caractéristiques (cf. article A.5.3.).

Article B.3.4 – Etat-limite ultime de glissement

Cet article B.3.4 est remplacé par l'article 6.5.3. de la norme NF EN 1997-1 auquel il convient de se reporter, et dans lequel il est demandé de vérifier l'inégalité :

$$H_d \leq R_d + R_{p,d}$$

Sauf disposition différente du marché on négligera le terme R_{pd} relatif à la valeur de calcul de la force résistance due à la pression des terres sur le coté de la fondation.

La valeur du facteur partiel sur la résistance au glissement $\gamma_{R,h}$ est de 1,1 (cf. tableau A5 de l'Annexe A de la norme NF EN 1997-1 et Annexe AN 2 de son 'Annexe Nationale').

Toutefois, s'il est admis dans le marché de tenir compte d'une cohésion en conditions drainées, les dispositions du présent article B.3.4 et les valeurs des coefficients partiels notés γ_{g1} et γ_{g2} restent applicables.

Article B.3.5 – Etats-limites concernant les matériaux constitutifs de la fondation

On rappelle que les références au B.A.E.L sont à remplacer par les références à la norme NF EN 1992-2 (ponts en béton – Calcul et dispositions constructives, qui se réfère elle-même à la norme NF EN 1992-1-1) et à son Annexe Nationale NF EN 1992-1-1/NA.

Article B.3.6 – Etat-limite ultime de stabilité d'ensemble

Le texte et les commentaires correspondants du Fascicule 62 Titre V du CCTG sont applicables, en se référant aux sollicitations définies à l'article A.5.2,3 ci-avant, l'article B.3.6,1 étant modifié comme suit.

B.3.6,1 – Vérifications relatives à la situation initiale

Les justifications sont effectuées dans le cadre de l'approche de calcul 2 (cf. article A.5.2,3 ci-avant), en adoptant un facteur partiel de réduction γ_{Re} de 1,2 sur la résistance globale au cisaillement du terrain sur la surface de rupture potentielle (cf. note 2 de la clause 2.4.7.3.4 (1) de la norme NF EN 1997-1/NA relative à l'application de l'approche 2).

B.3.6,2 – Vérifications relatives à la situation finale

Chapitre B.4 – Dispositions constructives

Les dispositions de ce chapitre sont applicables.

6 - Troisième partie – Fondations profondes (section 7 de la norme NF EN 1997-1)

Chapitre C.1 – Domaine d'application

A défaut d'une définition d'une fondation profonde dans la norme NF EN 1997-1, on retient celle donnée au commentaire de cet article.

Chapitre C.2 – Modèles de comportement en l'absence de déplacements d'ensemble du sol

Les modèles définis ici sont compatibles avec les dispositions de la norme NF EN 1997-1.

Chapitre C.3 – Modèles de comportement en présence de déplacements d'ensemble du sol

Les modèles définis ici sont compatibles avec les dispositions de la norme NF EN 1997-1 (cf. § 7.3.2 de celle-ci).

Il est rappelé que les actions dues au frottement négatif ne se cumulent pas intégralement avec les actions variables (cf. clause 7.3.2.2 (7) de la norme NF EN 1997-1). Les règles de cumul sont précisées à l'article C.3.3.

Chapitre C.4 – Justifications

Les états-limites à considérer sont définis à l'article 7.2, 7.6.1 et 7.7.1 de la norme NF EN 1997-1. Pour les fondations d'ouvrages d'art, il y aura lieu de procéder dans tous les cas aux justifications qui suivent.

Article C.4.1 – Etats limites de mobilisation du sol

Les dispositions du présent article complètent celles de l'article 7.6.2 (portance) et 7.6.3 (résistance à la traction) de la norme NF EN 1997-1.

Les deux catégories d'états-limites considérés conventionnellement ici sont :

- les états limites de mobilisation locale du sol, qui correspondent au défaut de portance (ou de traction) des pieux pris individuellement ;
- les états limites de mobilisation globale du sol, qui correspondent au comportement du groupe agissant comme un bloc.

C.4.1.1 – Etats-limites de mobilisation locale du sol

Les termes Q_{\min} et Q_{\max} utilisés ici correspondent respectivement à $R_{c,d}$ (valeur de calcul de la portance d'un pieu) et $R_{t,d}$ (valeur de calcul de la résistance à la traction d'un pieu) tels qu'ils sont définis aux articles 7.6.2 et 7.6.3 de la norme NF EN 1997-1.

De même, les termes Q_u et Q_{tu} utilisés ici correspondent respectivement à $R_{c,k}$ (valeur caractéristique de la portance d'un pieu – ou portance ultime) et $R_{t,k}$ (valeur caractéristique de la résistance à la traction d'un pieu).

Les procédures de calcul des résistances caractéristiques déduites des résultats d'essais sur les sols définies dans le présent fascicule (cf. Annexes C.2, C.3 et C.4) correspondent à l'application de la procédure dite alternative définie aux articles 7.6.2.3 (8) et 7.6.3.3 (6) de la norme NF EN 1997-1.

Sauf disposition différente du marché, l'évaluation des paramètres de charge des pieux à partir d'essais statiques ne pourra se faire qu'à partir d'essais simples instrumentés ou d'essais d'étalonnage tels qu'ils sont définis aux articles 3.3 et 3.4 de l'Annexe C.1. Les procédures de calcul des résistances caractéristiques déduites des résultats de tels essais sont celles définies à l'article 4.2 de cette annexe.

Si le marché autorise l'évaluation des paramètres de charge à partir d'essais statiques de chargement non instrumentés, il définit également les conditions de détermination des valeurs caractéristiques des paramètres de charge des pieux*.

* Il conviendra de se reporter à l'article 4.1 de l'Annexe C1 du Fascicule 62 Titre V du CCTG, modifié ci-après (cf. § 6 - annexes au texte).

C.4.1,11 – Principe des justifications

C.4.1,12 – Etats-limites ultimes

Les combinaisons fondamentales et accidentelles considérées ici sont celles définies respectivement aux articles A.5.2.1 et A.5.2.2 ci-avant.

Le tableau précisant les valeurs de Q_{\min} et Q_{\max} , en fonction des combinaisons d'actions considérées est remplacé par le suivant :

| ELU GEO et STR | Q_{\min} | Q_{\max} |
|---------------------------------------|--|---|
| Combinaisons durables ou transitoires | $- Q_{tu}$ (ou $R_{t;k}$) / ($\gamma_R \cdot 1,20$) | Q_u (ou $R_{c;k}$) / ($\gamma_R \cdot 1,20$) |
| Combinaisons accidentelles | $- Q_{tu}$ (ou $R_{t;k}$) / ($\gamma_R \cdot 1,10$) | Q_u (ou $R_{c;k}$) / ($\gamma_R \cdot 1,10$) |

Dans ce tableau le facteur partiel γ_R représente le facteur partiel sur la résistance dont la valeur vaut pour les principaux types de pieux considérés (cf. tableaux A6, A7 et A8 de l'Annexe A de la norme NF EN 1997-1) :

- 1,1 si le pieu est sollicité en compression ;
- 1,15 si le pieu est sollicité en traction.

C.4.1,13 – Etats-limites de service

Dans le tableau correspondant du Fascicule 62 Titre V, il faut lire combinaisons caractéristiques à la place de combinaisons rares (cf. article A.5.3,1 ci-avant).

Article C.4.2 – Etats limites concernant les matériaux constitutifs de la fondation

C.4.2,1 – Eléments de fondation en béton armé

C.4.2,14 – Etats-limites de service sous sollicitations normales

Les dispositions du présent article sont remplacées par celles définies ci-après. Ces dispositions dispensent de prendre en compte un abattement forfaitaire sur le diamètre tel qu'il est indiqué à l'article 2.3.4.2 de la norme NF EN 1992-1-1.

Les justifications requises par la norme NF EN 1992-2 (Ponts en béton – Calcul et dispositions constructives, qui se réfère elle-même à la norme NF EN 1992-1-1) et son annexe nationale (NF EN 1992-1-1/NA) sont complétées comme suit :

- la contrainte moyenne de compression du béton sur la surface comprimée de celui-ci est limitée à $0,3 \cdot f_c$ (cf. article A.3.1) ;
- la contrainte de traction des armatures ou des gaines, lorsque ces dernières sont prises en compte dans la résistance de la section, est limitée aux deux tiers de la limite d'élasticité de l'acier.

L'attention est attirée sur l'importance que revêt, pour les éléments de fondation du groupe B (cf. article A.3.1,2), la compatibilité entre la dispositions des armatures et la mise en place correcte du béton (cf. clause (2) de l'article 9.8.5 de la norme NF EN 1992-1-1). Il est conseillé de veiller à bien motiver la classe d'exposition retenue et de s'assurer que les dispositions constructives relatives au ferrailage puissent être respectées.

C.4.2,2 – Eléments de fondation métalliques

Article C.4.4 – Etat limite ultime de stabilité d'ensemble

Chapitre C.5 – Dispositions constructives

Article C.5.4 – Pieux exécutés en place et barrettes

C.5.4,1 – Dispositions géométriques

C.5.4,2 – Armatures

C.5.4,22 – Constitution et dimensions des cages d'armatures

C.5.4,23 – Armatures longitudinales

Les dispositions de cet article sont remplacées par celles définies ci-après* :

- le nombre minimal de barres longitudinales est de 6 et leur diamètre n'est pas inférieur à 16 mm ;
- l'espacement des barres longitudinal ne peut être inférieur à 100 mm entre nus. Sauf disposition différente du marché, cet espacement ne peut être supérieur à 200 mm ;
- la section minimale d'armatures longitudinales $A_{s,bpmin}$ est donnée par le tableau 9.6N de l'article 9.8.5 de la norme NF EN 1992-1-1 repris ci-après :

| Section transversale du pieu A_c | Aire minimale d'armatures longitudinales $A_{s,bpmin}$ |
|--|--|
| $A_c \leq 0,5 \text{ m}^2$ | $A_s \geq 0,005 \cdot A_c$ |
| $0,5 \text{ m}^2 < A_c \leq 1,0 \text{ m}^2$ | $A_s \geq 25 \text{ cm}^2$ |
| $A_c > 1,0 \text{ m}^2$ | $A_s \geq 0,0025 \cdot A_c$ |

* Ces dispositions reprennent et complètent celles de la clause (3) de l'article 9.8.5 de la norme NF EN 1992-1-1.

C.5.4,24 – Armatures transversales

C.5.4,4 – Enrobage

Les dispositions de cet articles sont remplacées par celles ci-après.

L'épaisseur du béton qui enrobe les armatures est au moins égale à :

- 7 cm pour les pieux, parties de pieux ou barrettes dans le cas général ;
- 4 cm pour les pieux ou parties de pieux comprenant un tubage permanent ou une chemise, cet enrobage étant compté à partir de la surface intérieure du tubage ou de la chemise.

On notera que les dispositions de l'article C.5.4.22 relatives au diamètre extérieur (ou à la largeur) de la cage d'armatures en cas d'utilisation d'un tubage provisoire fixent de fait un enrobage minimal pour les éléments de fondations concernés.

7 - Annexes

Annexes au texte

Les annexes au texte A à D sont applicables, à l'exception de l'article 4.1 de l'annexe C.1. qui est modifié comme suit.

Annexe C.1. Evaluation des paramètres de charge d'un élément de fondation profonde à partir d'essais de chargement statique

4.1 – Pieux non instrumentés*

Les dispositions de cet article sont remplacées par ce qui suit.

Pour déterminer la valeur caractéristique de la résistance à la compression du terrain sous le pieu $R_{c;k}$ (ou la valeur caractéristique de la résistance du terrain à la traction $R_{t;k}$) il convient d'appliquer l'équation (7.2) de la clause (8) du paragraphe 7.6.2.2 de la norme NF EN 1997-1. Les valeurs des coefficients de corrélation ξ_1 et ξ_2 sont donnés dans le tableau A.9 du paragraphe A.3.3.3. de l'annexe normative A de cette norme.

** Il est rappelé que ce type d'essai ne peut convenir que dans des configurations particulières (cf. article 3.2 de la présente annexe C1) et qu'en règle générale, l'évaluation des paramètres de charge des pieux des ouvrages d'art se fait à partir d'essais statiques simples instrumentés ou d'essais d'étalonnage tels qu'ils sont définis aux articles 3.3 et 3.4 de la présente annexe C.1.*

Les autres paramètres de charge, et notamment les valeurs caractéristiques des charges de fluage sont fixés à partir d'une interprétation critique des résultats de ces essais.

Annexes aux commentaires

Ces annexes gardent le caractère d'annexes aux commentaires.

8 - Annexe complémentaire : Correspondance des notations de la norme NF EN 1997-1 et du Fascicule 62 Titre V du CCTG

Seules les principales notations sont indiquées ici. Par ailleurs certaines correspondances de notations sont mentionnées dans le texte de cette note ; elles ne sont donc pas nécessairement reprises ici.

| Notations du F 62 Titre V du CCTG | Notations de l'EC 7 – Norme NF EN 1997-1 |
|---|---|
| A' Surface comprimée d'une semelle | A' Surface effective d'une semelle |
| A Surface de la base d'un pieu | A_b Surface de la base d'un pieu |
| B Largeur (d'un pieu, d'une semelle, d'une barrette) ou diamètre d'un pieu | B ou b Largeur d'une fondation |
| D Hauteur (d'une fondation) contenue dans le sol | d Profondeur d'encastrement |
| L Longueur d'une semelle ou de la section d'une barrette | L Longueur de la fondation |
| q_u Contrainte de rupture sous la pointe d'un élément de fondation profonde | $q_{b,k}$ Valeur caractéristique de la pression résistante à la base |
| $q_s(z)$ Frottement latéral unitaire limite sur le fût d'un élément de fondation profonde à la profondeur z | $q_{s,i,k}$ Valeur caractéristique de la contrainte de frottement latéral dans la couche i |
| Q_{pu} Effort limite mobilisable sous la pointe d'un élément de fondation profonde | $R_{b,k}$ Valeur caractéristique de la résistance de pointe |
| Q | $R_{c,d}$ Valeur de calcul de la résistance à la compression du terrain sous un pieu à l'ELU |
| Q_u Charge limite d'un élément de fondation profonde | $R_{c,k}$ Valeur caractéristique de la résistance à la compression du terrain sous un pieu à l'ELU |
| Q_{su} Effort limite mobilisable par frottement latéral sur le fût d'un élément de fondation profonde | $R_{s,k}$ Valeur caractéristique de la résistance latérale sur le fût d'un élément de fondation profonde |
| Pas de notation correspondante | $R_{t,d}$ Valeur de calcul de la résistance à la traction d'un pieu ou d'un groupe de pieux |
| Q_{tu} Charge limite en traction d'un élément de fondation profonde | $R_{t,k}$ Valeur caractéristique de la résistance à la traction d'un pieu ou d'un groupe de pieu |
| Pas de notation correspondante | V Charge verticale ou composante normale de la résultante des actions appliquées à la base de la fondation |
| V_d Composante de calcul verticale de l'effort appliqué à la fondation | V_d Valeur de calcul de V |
| γ_x Coefficient " γ_m " relatif à la résistance considérée (indice variable) <i>exemple : γ_q</i> Coefficient " γ_m " relatif à la contrainte de rupture d'un sol | γ_R Facteur partiel pour une résistance |
| γ_{g1} Coefficient " γ_m " relatif à $\tan \varphi$ | $\gamma_{\varphi i}$ facteur partiel pour l'angle de frottement interne ($\tan \varphi$) |
| γ_{g2} Coefficient " γ_m " relatif à la cohésion | $\gamma_{c'}$ facteur partiel pour la cohésion effective |

46 avenue
Aristide Briand
BP 100
92225 Bagneux Cedex
France
téléphone :
33 (0)1 46 11 31 31
télécopie :
33 (0)1 46 11 31 69
internet : [www.setra.
equipement.gouv.fr](http://www.setra.equipement.gouv.fr)

Rédacteurs

Gilbert Haiun – Sétra/CTOA
téléphone : 33 (0)1 46 11 32 07 – télécopie : 33 (0)1 45 36 83 07
mél : gilbert.haiun@equipement.gouv.fr

Vivien Darras – Sétra/CTOA
téléphone : 33 (0)1 46 11 34 10 – télécopie : 33 (0)1 45 36 85 10
mél : vivien.darras@equipement.gouv.fr

Document imprimé par téléchargement à partir des sites web du Sétra :

- Internet : <http://www.setra.equipement.gouv.fr>

- I² (réseau intranet) : <http://intra.setra.i2>

Directeur de la publication : Jean-Claude Pauc – Directeur du Sétra

L'autorisation du Sétra est indispensable pour la reproduction même partielle de ce document.

Référence : 0804w – ISSN : 1250-8675

AVERTISSEMENT

La collection des notes d'information du Sétra est destinée à fournir une information rapide. La contre-partie de cette rapidité est le risque d'erreur et la non exhaustivité. Ce document ne peut engager la responsabilité ni de son rédacteur ni de l'administration.

Les sociétés citées le cas échéant dans cette série le sont à titre d'exemple d'application jugé nécessaire à la bonne compréhension du texte et à sa mise en pratique.

Le Sétra appartient
au Réseau Scientifique
et Technique
de L'Équipement

