

Méthode de dimensionnement

DIRECTIVES POUR L'APPLICATION DE L'EUROCODE 7 EN BELGIQUE SELON LA NBN EN 1997-1 ANB

**PARTIE 3 : LE DIMENSIONNEMENT GÉOTECHNIQUE DES TIRANTS
D'ANCRAGE PRÉCONTRAINTS**

Méthode de dimensionnement

DIRECTIVES POUR L'APPLICATION DE L'EUROCODE 7 EN BELGIQUE SELON LA NBN EN 1997-1 ANB

PARTIE 3 : LE DIMENSIONNEMENT GÉOTECHNIQUE DES TIRANTS D'ANCRAGE PRÉCONTRAINS

Ce document a été rédigé sous la supervision du groupe de travail "Soutènements" de Buildwise et a été approuvé par la commission de normalisation NBN E25007 "Eurocode 7" dont le secrétariat est tenu par Buildwise et SECO. Les membres de la commission de normalisation sont :

J. Andries (MOW), C. Basunga Ngelesi (FOD Economie), C. Bauduin (Besix/KUL), O. Bot (NBN), M. Bottiau (ABEF), B. Buysse (SECO/Secrétaire de la commission), R. Caspeele (UGent), H. de Chaunac (Fondytest), F. De Cock (Geo.be), J. Deceuster (CFE), N. Denies (Buildwise), N. Depauw (Buildwise), C. De Mey (NBN), F. De Meyer (SECO), M. De Vos (Buildwise/Secrétaire de la commission), B. François (ULG), P. Gérard (ULB), K. Haelterman (MOW), A. Holeyman (UCL), N. Huybrechts (Buildwise/KUL), S. Huyghe (Civiël), G. Jaspar (SPW), E. Leemans (ABEF), A. Madarasz (NBN), W. Maekelberg (Tuc Rail), J. Maertens[†] (Jan Maertens bvba), L. Maertens (Besix/Président de la commission), I. Mariën (MOW), P. Meireman (Geo Design), P. Mengé (DEME Group), H. Peiffer (Alpha studiebureau), X. Raucroix (Fugro), O. Rens (ABEF), C. Treve (CT-GeoConsult), G. Van Alboom, S. Vandemeulebroecke (Sweco Belgium), P. Vandenbosch (Regie der Gebouwen), D. Verastegui (MOW), H. Verbraken (Besix), S. Verfaille (MOW), J. Verstraelen (ABEF), L. Vincke (MOW), V. Whenham (Besix), Th. Wulleman (ABEF)

Les présentes directives sont basées sur la littérature la plus récente sur le sujet. Lors de l'élaboration de ces directives la plus grande facilité d'utilisation possible a été recherchée. Les membres du groupe de travail et de la commission de normalisation ne peuvent toutefois pas être tenus responsables d'éventuelles imperfections du document.

Les directives reprises dans ce document peuvent être appliquées à partir de leur publication en Belgique pour le dimensionnement géotechnique des tirants d'ancrage précontraints pour des structures ancrées (parois de soutènement, talus,...) appartenant à la catégorie géotechnique 2. Les



directives servent également de base pour le dimensionnement des tirants d'ancrage précontraints pour des structures ancrées appartenant à la catégorie géotechnique 3, mais dans ce cas des mesures supplémentaires sont nécessaires (monitoring des forces d'ancrage et/ou déplacement de la tête d'ancrage, analyse par éléments finis, etc.).

Si le dimensionnement est réalisé selon l'Annexe Nationale Belge de l'Eurocode 7 – Partie 1 (NBN EN 1997-1 ANB [4]), ces directives doivent être appliquées pour le dimensionnement géotechnique des tirants d'ancrage précontraints pour des structures ancrées appartenant à la catégorie géotechnique 2.

Contenu

1.	Introduction	6
2.	Catégories géotechniques, définitions et symboles	8
2.1	Catégories géotechniques	8
2.2	Définitions.....	8
2.3	Symboles.....	8
3.	Le dimensionnement géotechnique des ancrages	11
3.1	Définition d'un "ancrage"	11
3.2	Dimensionnement géotechnique des ancrages	14
3.2.1	Généralités	14
3.2.2	Détermination de la valeur de calcul de la charge reprise par l'ancrage	15
3.2.3	Détermination de la valeur de calcul de la capacité portante en traction d'un ancrage aux ELU : $R_{ULS,d}$	16
3.2.3.1	Détermination de $R_{ULS,d}$ sur base d'essais	16
3.2.3.2	Détermination de $R_{ULS,d}$ sur base de calculs au moyen de CPT pour les tirants d'ancrage.....	18
3.2.4	Détermination de la valeur de calcul de la capacité portante en traction d'un ancrage aux ELS : $R_{SLS,d}$	19
3.3	Essais sur ancrages.....	21
3.3.1	Généralités	21
3.3.2	Essais à la rupture (E: Investigation tests).....	21
3.3.3	Essais de contrôle sur ancrages (E: Suitability tests)	22
3.3.3.1	Traction d'épreuve minimale	22
3.3.3.2	Exigences en termes de capacité portante en traction ...	23
3.3.3.3	Exigences en termes de longueur libre équivalente L_{app} ..	23
3.3.4	Essais de réception sur des ancrages.....	25
3.3.4.1	Traction d'épreuve minimale	25
3.3.4.2	Critères de réception en termes de capacité portante en traction	26
3.3.4.3	Critères de réception en termes de longueur libre équivalente L_{app}	26
4.	Références	27

Préface

La première partie de l'Eurocode 7 intitulée « Dimensionnement géotechnique – Règles générales » a été publiée en 2005 en tant que norme belge NBN EN 1997-1 [2]. Une révision de celle-ci a été publiée en 2014 sous la référence NBN EN 1997-1/A1 [3] avec une adaptation importante du texte du chapitre ayant trait aux ancrages.

En 2014, l'Annexe nationale belge y afférente a également été publiée (NBN EN 1997-1 ANB) avec en 2022 une première révision de cette Annexe (NBN EN 1997-1 ANB [1]). Celle-ci établit entre autres un certain nombre de choix et de valeurs au niveau national, mais ne détermine aucune méthode de calcul.

Parallèlement, des lignes directrices sont en cours d'élaboration qui décrivent l'application de l'Eurocode 7 en Belgique de manière détaillée et pragmatique. Ces activités ont débuté au sein du groupe de travail interprofessionnel de Buildwise « Eurocode 7 » et se sont poursuivies au sein du comité de normalisation NBN E25007 « Eurocode 7 ». Comme contribution aux travaux du comité, il a été fait bon usage des résultats de divers projets de recherche prénormative organisés par Buildwise et cofinancés par le Service Public Fédéral Economie, le NBN et l'ABEF (Association Belge des Entrepreneurs de Travaux de Fondation).

Ce document concerne une troisième partie de ces directives et se concentre sur le dimensionnement géotechnique des tirants d'ancrage précontraints.

1. Introduction

Ce document décrit le dimensionnement géotechnique des tirants d'ancrage précontraints pour des structures ancrées (parois de soutènement, talus...) appartenant à la catégorie géotechnique 2 (voir figure 1).

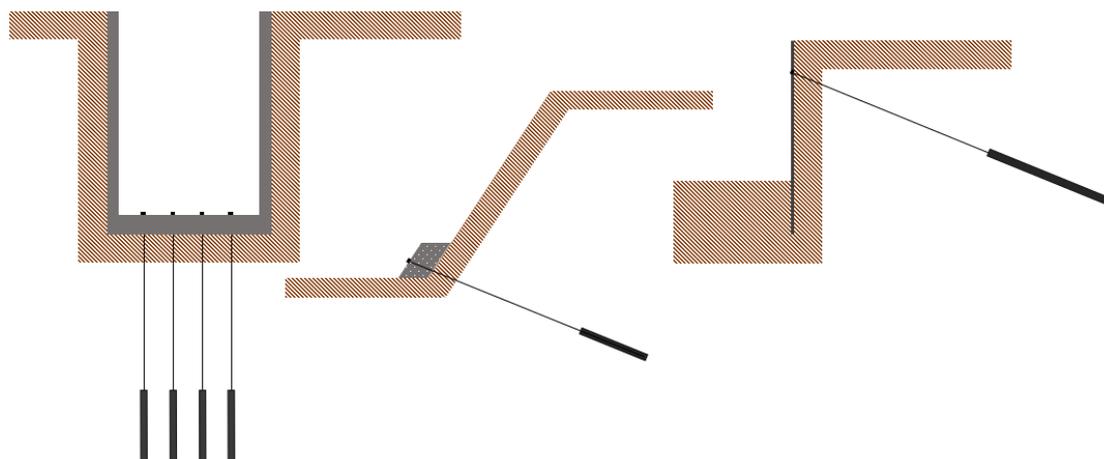


Figure 1: exemples de structures ancrées avec des ancres

Pour le dimensionnement des tirants d'ancrage précontraints utilisés pour la stabilisation horizontale des parois de soutènement encadrées, ce document doit être utilisé en combinaison avec les directives pour l'application de l'Eurocode 7 en Belgique selon la NBN EN 1997-1 ANB – partie 2 : Dimensionnement géotechnique d'ouvrages de soutènement encadrés : soutènements [4].

Pour le dimensionnement des tirants d'ancrage précontraints utilisés pour la stabilisation d'autres structures ancrées, ce document doit être utilisé en combinaison avec les sections pertinentes de la NBN EN 1997-1 [2] et de la NBN EN 1997-1 ANB [1].

Un bon dimensionnement est basé sur une investigation de sol approfondie. Une attention particulière doit être accordée à la qualité, à l'exhaustivité et au rapportage de l'investigation du sol. Depuis 2012, le GBMS (Groupement belge de mécanique de sols et de la géotechnique) a établi un certain nombre de procédures standard pour la reconnaissance géotechnique [5], [6] et [7].

Lors de la rédaction des présentes directives, il a été supposé que les ancres seront réalisés conformément à la réglementation en vigueur, par du personnel qualifié et avec du matériel et des équipements appropriés. Il a également été supposé que la mise en œuvre est minutieusement contrôlée et suivie. De plus amples informations sur les aspects précédents sont disponibles dans la norme NBN EN 1537 [8] pour les tirants d'ancrage.

Les Eurocodes et ces directives sont valables pour des construction et des conditions de dimensionnement courantes mais ne remplacent pas l' "engineering judgement".

Les valeurs des facteurs de sécurité conduisent à un niveau de sécurité normalement acceptable pour les ancrages utilisés pour des structures ancrées appartenant à la catégorie géotechnique 2. Dans certains cas, il peut être approprié ou autorisé d'augmenter ou de diminuer le niveau de fiabilité. Les instructions concernant le choix du niveau de fiabilité et la manière dont ce niveau peut être atteint sont données dans la NBN EN 1990 [9] et l'Annexe Nationale qui l'accompagne [10].

Les aspects suivants ne sont pas traités dans ce document :

- le dimensionnement géotechnique des structures ancrées,
- le dimensionnement des ancrages par corps morts (dood-man anchors) typiquement utilisés pour les batardeaux (cofferdamen) et ancrages fixés à leur extrémité à une paroi ou rideau de palplanches (ankerwanden).
- le dimensionnement géotechnique des pieux chargés en traction,
- le dimensionnement géotechnique des micropieux,
- le dimensionnement géotechnique des clous,
- l'effet de groupe,
- l'effet de la perte d'un ou de plusieurs ancrages sur la stabilité de la structure ancrée,
- la détermination de l'inclinaison de l'ancrage,
- le dimensionnement structurel de l'ancrage,
- la protection de l'ancrage contre la corrosion,
- l'effet de la longueur d'un ancrage avec une longueur de scellement importante en cas de dimensionnement sur base de l' « expérience comparable ».

Si ces aspects sont d'application, ils doivent être contrôlés par le concepteur.

2. Catégories géotechniques, définitions et symboles

2.1 Catégories géotechniques

Afin d'établir les exigences relatives au calcul géotechnique, on peut faire une distinction entre trois catégories géotechniques (GC for Geotechnical Category).

Les principes généraux pour la répartition de ces catégories sont décrits dans la NBN EN 1997-1:2005 [2] et spécifiquement dans [4] pour le dimensionnement géotechnique des ouvrages de soutènement encastrés.

Le présent document couvre uniquement les calculs géotechniques d'ancrages pour les structures ancrées de catégorie GC 2 et doit être pris comme base pour la catégorie GC 3.

Par ailleurs, cette dernière (GC3) doit faire l'objet de dispositions et de règles complémentaires (par ex. : analyse au moyen des éléments finis, monitoring, ...).

2.2 Définitions

Généralités :

Pour les définitions générales, on se référera à la norme NBN EN 1990 [9] et à la norme NBN EN 1997 – 1 [2].

2.3 Symboles

En ce qui concerne les symboles utilisés, il est fait référence aux normes NBN EN 1990 [9] et NBN EN 1997 – 1 [2]. Pour plus de clarté, certains de ces symboles sont repris ci-dessous, ainsi que certains symboles spécifiques à ce document :

A_t	la section transversale de l'armature
E_t	le module d'élasticité de l'armature
$E_{uls;d}$	la valeur de calcul aux ELU de la charge à laquelle l'ancrage doit pouvoir résister
$F_{serv;d}$	la valeur de calcul de la charge maximale sur un ancrage, incluant l'effet de la précontrainte, pour laquelle un état limite de service dans la structure ancrée est évité

$F_{serv;k}$	la valeur caractéristique de la charge maximale sur un ancrage, incluant l'effet de la précontrainte, pour laquelle un état limite de service dans la structure ancrée est évité
$F_{uls;d}$	la valeur de calcul de la charge pour laquelle tout état limite ultime dans la structure ancrée est empêché/évité
$F_{uls;k}$	la valeur caractéristique de la charge pour laquelle tout état limite ultime dans la structure ancrée est empêché/évité
L_{app}	la longueur libre équivalente de l'armature d'un ancrage
L_A	la longueur du tirant d'ancrage
L_e	la longueur extérieure de l'armature comprise entre son point de fixation sur la tête d'ancrage et son point de fixation sur le vérin
L_{ce}	la longueur de l'élément de compression d'un tirant d'ancrage de type à élément de compression
L_{fixed}	la longueur de scellement du tirant
L_{free}	la longueur libre du tirant
L_{tb}	la longueur de scellement de l'armature d'un ancrage
L_{tf}	la longueur libre de l'armature d'un ancrage
P	la charge appliquée pendant un essai de tirant
P_a	la traction de référence pendant un essai de tirant
P_c	la traction critique de fluage qui est déduite d'un essai à la rupture ou d'un essai de contrôle
P_p	la traction d'épreuve = la charge maximale qu'un ancrage subit pendant un essai de tirant
$R_m(\alpha_{uls})$	la valeur mesurée de la capacité portante en traction d'un ancrage correspondant à la valeur limite du taux de fluage α_{uls}
$R_m(\alpha_{sls}$ ou $P_c)$	la valeur mesurée de la capacité portante en traction de l'ancrage correspondant à un état limite de service – valeur limite (une traction critique de fluage P_c ou un taux de fluage α)
$R_{sls;m}$	la valeur mesurée de la capacité portante en traction de l'ancrage aux états limites de service
$R_{sls;k}$	la valeur caractéristique de la capacité portante en traction de l'ancrage qui satisfait aux critères des états limites de service
$(R_{sls;m})_{min}$	la plus petite valeur de $R_{sls;m}$ mesurée pour un nombre d'essais à la rupture ou de contrôle pour une situation géotechnique représentative
$R_{sls;d}$	la valeur de calcul de la capacité portante en traction d'un ancrage aux états limite de service
$R_{st,d} =$	la valeur de calcul de la résistance structurelle en traction de l'élément mis en traction
$R_{t,d}$	la valeur de calcul de la résistance au frottement, dans le cas présent calculée le long de la longueur de scellement, (aux ELU) sous charge de traction (calcul selon la méthode de dimensionnement 20 de Buildwise [11])
$R_{t,i}$	Pour chaque CPT i dans une situation géotechnique représentative : la résistance au frottement (résistance en traction) de l'ancrage déterminée aux ELU selon la méthode de dimensionnement 20 de Buildwise [11]
$R_{t,i,cal}$	la valeur calibrée de la résistance au frottement (résistance en traction) de l'ancrage déterminée aux ELU selon la méthode de dimensionnement 20 de Buildwise [11]

$R_{t,k}$	la valeur caractéristique de la résistance au frottement (aux ELU) en traction calculé selon la méthode de dimensionnement 20 de Buildwise [11]
$R_{uls,d}$	la valeur de calcul de la capacité portante en traction de l'ancrage qui satisfait les critères d'états limites ultimes
$R_{uls;m}$	la valeur mesurée de la capacité portante en traction de l'ancrage qui satisfait aux critères des états limites ultimes
$R_{uls,k}$	la valeur caractéristique de la capacité portante en traction de l'ancrage qui satisfait aux critères des états limites ultimes
$(R_{uls;m})_{min}$	la plus petite valeur de $R_{uls;m}$ mesurée pour un nombre d'essais à la rupture ou de contrôle pour une situation géotechnique représentative
α	le taux de fluage déterminé sur base de la courbe "déplacement de la tête d'ancrage versus logarithme du temps" (cf. NBN EN ISO 22477-5 [18])
α_1	la valeur limite du taux de fluage pour la méthode d'essai 1
α_3	la valeur limite du taux de fluage pour la méthode d'essai 3
ΔS	le raccourcissement élastique de l'ancrage au déchargement de la charge P à P_a
ξ_{sls}	un facteur de corrélation
ξ_{uls}	un facteur de corrélation
ξ_3	un facteur de corrélation
ξ_4	un facteur de corrélation
$\gamma_{a,acc,uls}$	un facteur partiel pour les ELU pour les essais de réception
$\gamma_{a,acc,sls}$	un facteur partiel pour les ELS pour les essais de réception
$\gamma_{a;uls}$	un facteur partiel pour les ELU
$\gamma_{a;sls}$	un facteur partiel pour les ELS
γ_F	un facteur partiel applicable aux actions
$\gamma_{R,d}$	un facteur de modèle
$\gamma_{s,t}$	un facteur partiel

3. Le dimensionnement géotechnique des ancrages

3.1 Définition d'un "ancrage"

Selon la norme NBN EN 1997-1/A1 [3], un ancrage est défini comme un élément structural par lequel il est possible de transférer une charge de traction appliquée, depuis la tête d'ancrage et via/à travers une longueur libre, à un élément résistant et finalement à une zone de sol bien déterminée. La force d'ancrage est donc transférée à une zone de sol suffisamment éloignée de la structure à ancrer afin qu'aucune force supplémentaire ne soit exercée sur cette structure.

La longueur libre nécessaire pour remplir cette condition doit résulter d'une analyse globale de stabilité de la structure à ancrer. Pour une structure de soutènement, cela signifie par exemple que la force d'ancrage est transmise suffisamment loin derrière le coin actif du soutènement (voir aussi [4]).

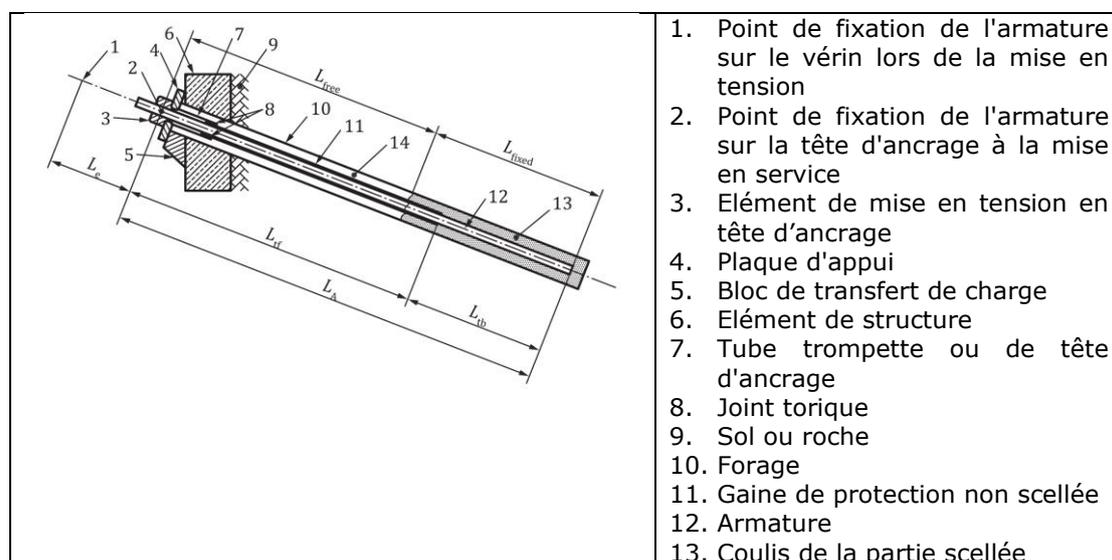
Différents types d'éléments structuraux satisfont à cette définition de la norme NBN EN 1997-1/A1 [3] (tirants d'ancrage avec coulis de scellement, ancrages à plaque, ancrages vissés, ancrages pliants, ...).

En Belgique, les tirants d'ancrage avec coulis de scellement sont la plupart du temps utilisés.

Le présent document traite du calcul géotechnique des tirants d'ancrage avec coulis de scellement.

Les règles peuvent être considérées comme base pour le dimensionnement des autres types de tirants (ancrages à plaque, ancrages vissés...) pour autant que ces ancrages comportent une longueur libre et qu'un essai de réception soit réalisé sur chaque ancrage de production.

Une norme d'exécution spécifique est rédigée pour les tirants d'ancrage, la NBN EN 1537 [8]. Les figures 2a et 2b illustrent les deux principaux types de tirants d'ancrage qui sont considérés dans la norme NBN EN 1537 [8].



	14. Remplissage de la partie libre si cela est approprié
--	--

Figure 2a – schéma d'un tirant d'ancrage de type « scellé » selon la norme NBN EN 1537

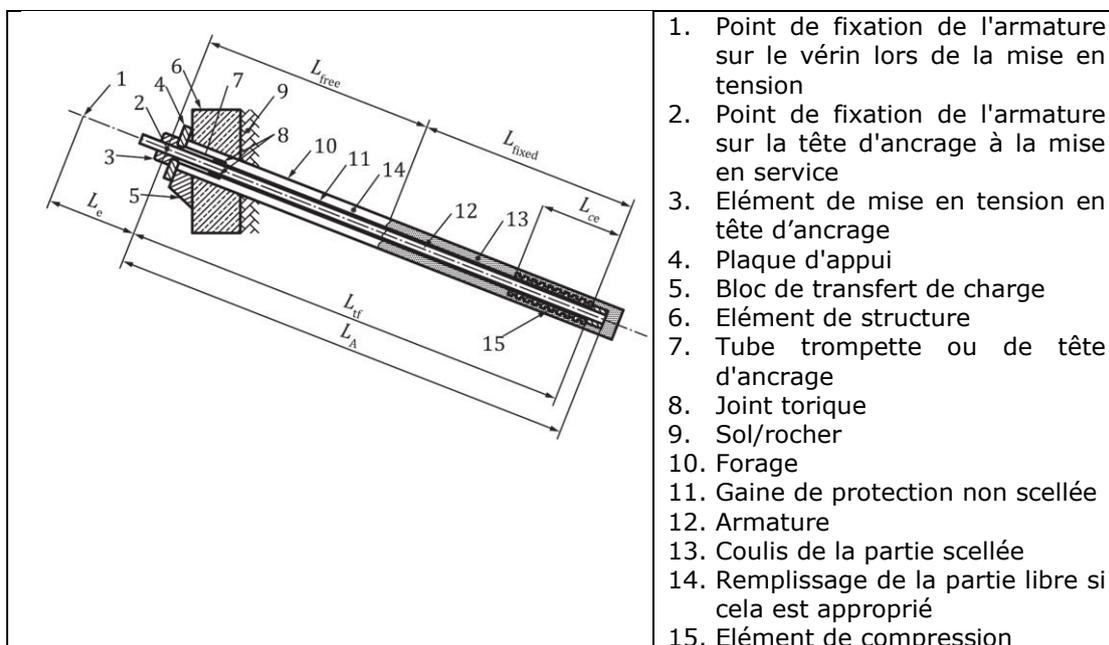


Figure 2b – schéma d'un tirant d'ancrage de type « à élément de compression » selon la norme NBN EN 1537

avec :

- L_A : la longueur du tirant d'ancrage
- L_e : la longueur extérieure de l'armature comprise entre son point de fixation sur la tête d'ancrage et son point de fixation sur le vérin
- L_{ce} : la longueur de l'élément de compression
- L_{fixed} : la longueur de scellement du tirant
- L_{free} : la longueur libre du tirant
- L_{tb} : la longueur de scellement de l'armature
- L_{tf} : la longueur libre de l'armature

Au-delà de la définition des ancrages, la norme NBN EN 1537 [8] spécifie l'exigence supplémentaire suivante pour les tirants d'ancrage: un court essai de réception doit être réalisé sur chaque ancrage de production, au cours duquel il doit être démontré que chaque ancrage de production satisfait aux critères de réception relatifs à sa capacité portante en traction et à la longueur libre équivalente de l'armature de l'ancrage L_{app} .

Après l'essai de réception, l'ancrage est (la plupart du temps) calé à une force de précontrainte prédéterminée.

Si l'élément structurel mis en traction ne répond pas aux définitions et exigences susmentionnées d'un ancrage (par exemple pas de longueur libre, ou pas d'essais de réception sur tous les éléments de production, etc.), l'élément structurel doit être considéré comme un micropieu chargé en traction ou comme un clou. La capacité portante en traction de cet

élément structurel mis en traction doit alors être déterminée selon la méthode de dimensionnement 20 de Buildwise [11].

La figure 3 illustre les différents composants et les principes d'un tirant d'ancrage (à gauche) et d'un micropieu en traction (à droite) qui sont utilisés comme éléments d'ancrage structurels d'une structure de soutènement encastree.

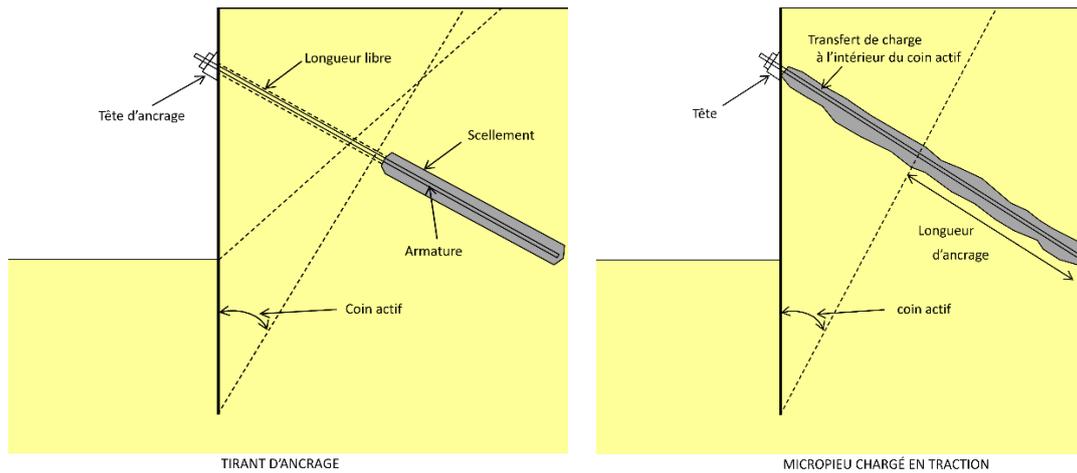


Figure 3. Illustration d'un tirant d'ancrage (à gauche) et d'un micropieu en traction (à droite) pour une structure de soutènement encastree. Dans le cas d'un ancrage (à gauche), l'armature est enveloppée sur la longueur libre par une gaine de protection non scellée de sorte que l'armature peut se déplacer librement par rapport au coulis l'entourant et/ou au sol environnant, de sorte que la charge introduite dans l'ancrage via la tête d'ancrage soit transférée au sol suffisamment loin derrière le coin actif

3.2 Dimensionnement géotechnique des ancrages

3.2.1 Généralités

Le dimensionnement géotechnique des ancrages doit être réalisé selon la norme NBN EN 1997-1/A1 [3].

Selon cette norme, la valeur de calcul de la capacité portante en traction de l'ancrage, $R_{ULS;d}$, qui satisfait aux critères des état limites ultimes, doit satisfaire l'inégalité suivante :

$$E_{ULS;d} = \max (F_{ULS;d} ; F_{serv;d}) \leq \min (R_{ULS;d} ; R_{st,d}) \text{ avec}$$

$E_{ULS;d}$ = la valeur de calcul aux ELU de la charge à laquelle l'ancrage doit pouvoir résister

$F_{ULS;d}$ = la valeur de calcul de la charge pour laquelle tout état limite ultime dans la structure ancrée est empêché/évit

$F_{serv;d}$ = la valeur de calcul de la charge maximale sur un ancrage, incluant l'effet de la précontrainte, pour laquelle un état limite de service dans la structure ancrée est évité

$R_{ULS;d}$ = la valeur de calcul de la capacité portante géotechnique en traction d'un ancrage aux ELU

$R_{st,d}$ = la valeur de calcul de la résistance structurelle en traction de l'élément mis en traction, calculée conformément aux normes pertinentes (NBN EN 1993-5 [12], NBN EN 1993-1-1 [13], NBN EN 1992-1-1 [14] et leur annexe nationale respective [15], [16] et [17])

De plus, si le dimensionnement exige une évaluation séparée de la situation aux ELS d'un ancrage, l'inégalité suivante doit également être satisfaite :

$$F_{serv;k} \leq R_{sls;d} \text{ avec}$$

$F_{serv;k}$ = la valeur caractéristique de la charge maximale sur l'ancrage, incluant l'effet de la précontrainte, pour laquelle un état limite de service dans la structure ancrée est évité

$R_{sls;d}$ = la valeur de calcul de la capacité portante en traction d'un ancrage aux états limite de service

3.2.2 Détermination de la valeur de calcul de la charge reprise par l'ancrage

Comme décrit au §3.2.1, $E_{uls;d}$ est déterminé comme suit :

$$E_{uls;d} = \max (F_{uls;d} ; F_{serv;d})$$

$F_{uls;d}$ peut être déduite des calculs comme suit :

$$F_{uls;d} = \gamma_F \times F_{uls;k}$$

$F_{uls;k}$ est la valeur caractéristique de la charge pour laquelle tout état limite ultime dans la structure ancrée est empêché/évit

$F_{serv;d}$ est déterminé comme suit :

$$F_{serv;d} = \gamma_F \times F_{serv;k} \text{ avec}$$

$F_{serv;k}$ est la valeur caractéristique de la charge maximale sur l'ancrage, incluant l'effet de la précontrainte, pour laquelle un état limite de service dans la structure ancrée est évité

Pour les situations permanentes et transitoires, pour des structures ancrées de classe de risque RC2, cela signifie :

$$E_{uls;d} = \max (1.35 F_{uls;k} ; 1.35 F_{serv;k})$$

Si une vérification séparée de la situation aux états limites de service de l'ancrage est exigée, la charge sur l'ancrage $F_{serv;k}$ est utilisée à cet effet (voir ci-dessus).

Pour des soutènements, les valeurs à prendre en compte pour les facteurs partiels applicables aux actions γ_F sont fixées dans les directives Soutènements [4]. Pour les autres structures ancrées, les valeurs à prendre en compte pour les facteurs partiels applicables aux actions γ_F sont fixées dans l'Annexe Nationale NBN EN 1990 ANB [10].

Pour les situations de calcul accidentelles, tous les facteurs de charge sont égaux à 1,00.

3.2.3 Détermination de la valeur de calcul de la capacité portante en traction d'un ancrage aux ELU : $R_{ULS,d}$

3.2.3.1 Détermination de $R_{uls,d}$ sur base d'essais

La valeur de calcul de la capacité portante en traction d'un ancrage aux ELU doit être déterminée selon la norme NBN EN 1997-1/A1 sur base d'un nombre d'essais à la rupture (*en anglais: investigation tests; en néerlandais: ontwerpproeven*) ou d'essais de contrôle (*en anglais: suitability tests; en néerlandais: geschiktheidsproeven*) qui doivent être réalisés sur place. Cela s'explique par le fait que les facteurs liés à l'exécution peuvent avoir une grande influence sur la capacité portante en traction d'un ancrage.

Les essais doivent être réalisés conformément à la norme d'essai pour les tirants d'ancrage, la NBN EN ISO 22477-5 [18].

Trois méthodes d'essai sont fournies dans cette norme : méthode d'essai 1 (TM1); méthode d'essai 2 (TM2) et méthode d'essai 3 (TM3).

En Belgique, seules les méthodes d'essai 1 (TM1) et 3 (TM3) sont retenues. La méthode d'essai à utiliser (TM1 ou TM3) doit être fixée dans le cahier des charges des travaux ou dans les documents contractuels. Si ce n'est pas le cas, la méthode d'essai 1 (TM1) doit être appliquée.

Pour chaque situation géotechnique représentative, la valeur de calcul de la capacité portante en traction de l'ancrage aux ELU doit être déduite sur base :

- d'un minimum de 3 essais à la rupture ou 3 essais de contrôle, exécutés sur le terrain même, si l'on a opté pour la méthode d'essai 1 (TM1), ou
- d'un minimum de 2 essais à la rupture et 3 essais de contrôle, sur le terrain même, si l'on a opté pour la méthode d'essai 3 (TM3)

Remarque

Une situation géotechnique représentative est définie comme une zone délimitée sur un chantier/terrain où la stratification et les caractéristiques du sol sont similaires et où les mêmes types d'ancrage (méthodes d'exécution + dimensions) sont mis en œuvre.

Pour chaque ancrage testé, la valeur mesurée de la capacité portante en traction aux ELU ($R_{uls;m}$) est déduite de l'essai de chargement comme étant le minimum soit de la traction d'épreuve P_p , soit de la charge pour laquelle une situation d'état limite ultime est atteinte ($R_m(\alpha_{uls})$):

$$R_{uls;m} = \min \{R_m(\alpha_{uls}) \text{ et } P_p\}$$

$R_{uls;m}$ = la valeur mesurée de la capacité portante en traction de l'ancrage qui satisfait aux critères des états limites ultimes

$R_m(\alpha_{uls})$ = la valeur mesurée de la capacité portante en traction d'un ancrage correspondant à la valeur limite du taux de fluage α_{uls}
 Cette valeur limite dépend de la méthode d'essai. En Belgique, la valeur limite est fixée comme suit :

La charge correspondant à un taux de fluage $\alpha_1 = 2$ mm en cas d'utilisation de la méthode d'essai 1

La charge correspondant à un taux de fluage $\alpha_3 = 5$ mm en cas d'utilisation de la méthode d'essai 3

Concernant la manière dont les taux de fluage α_1 ou α_3 sont déduits d'un essai de chargement, réalisé respectivement selon la méthode d'essai 1 ou 3, il est fait référence à la norme NBN EN ISO 22477-5 [18].

P_p = la traction d'épreuve = la charge maximale qu'un ancrage subit pendant un essai de tirant

Pour une situation géotechnique représentative, une valeur caractéristique de la capacité portante en traction de l'ancrage aux ELU est déterminée comme suit :

$$R_{uls;k} = (R_{uls;m})_{\min} / \xi_{uls} \text{ avec}$$

$R_{uls;k}$ = la valeur caractéristique de la capacité portante en traction de l'ancrage qui satisfait aux critères des états limites ultimes

$(R_{uls;m})_{\min}$ = la plus petite valeur de $R_{uls;m}$ mesurée pour un nombre d'essais à la rupture ou de contrôle pour une situation géotechnique représentative

ξ_{uls} = un facteur de corrélation; en Belgique, ξ_{uls} est fixé comme étant égale à 1,00 pour toutes les méthodes d'essai

Finalement, la valeur de calcul de la capacité portante en traction d'un ancrage aux ELU ($R_{uls;d}$) est déterminé comme suit :

$$R_{uls;d} = R_{uls;k} / \gamma_{a;uls} \text{ avec}$$

$R_{uls;d}$ = la valeur de calcul de la capacité portante en traction de l'ancrage qui satisfait les critères d'états limites ultimes

$\gamma_{a;uls}$ = facteur partiel; En Belgique, pour les situations permanentes et transitoires, $\gamma_{a;uls}$ est fixé comme étant égal à 1,1 pour toutes les méthodes d'essai

Remarque

Pour estimer $R_{uls,m}$ et la traction d'épreuve P_p , on peut s'inspirer de la méthode de dimensionnement pour les micropieux chargés en traction (Catégorie IVa, IVb ou IVc selon la méthode d'exécution) de la méthode de dimensionnement 20 de Buildwise [11].

3.2.3.2 Détermination de $R_{uls,d}$ sur base de calculs au moyen de CPT pour les tirants d'ancrage

Selon la norme NBN EN 1997-1/A1, on peut, pour le dimensionnement des ancrages, également s'appuyer sur l'« expérience comparable » (*En anglais : comparable experience*) pour autant qu'elle repose sur le même type d'ancrage (méthode de forage, méthode d'injection, dimensions, ...) dans des couches de sol comparables et dans la mesure où cette « expérience comparable » est documentée.

Étant donné que de nombreuses recherches expérimentales ont été menées en Belgique ces dernières années sur différents types de tirants d'ancrages, pour lesquelles les résultats d'essais ont été corrélés avec les résultats des investigations de sol couramment disponibles (CPT), il est possible d'appliquer, dans certaines circonstances/sous certaines conditions, une méthode de calcul sur base des résultats CPT pour déterminer la valeur de calcul de la capacité portante en traction (ELU).

Pour les systèmes d'ancrage pour lesquels une « expérience comparable » est disponible, on peut se baser sur la méthode de dimensionnement pour des micropieux chargés en traction (Catégorie IVa, IVb ou IVc selon la méthode d'exécution) de la méthode de dimensionnement 20 de Buildwise [11].

La valeur de calcul de la capacité portante en traction de l'ancrage aux ELU ($R_{uls,d}$) peut alors être déterminée comme suit :

$$R_{uls,d} = R_{t,d} \text{ avec}$$

$R_{t,d}$ = la valeur de calcul de la résistance au frottement, dans le cas présent calculée le long de la longueur de scellement, (aux ELU) sous charge de traction

Pour déterminer $R_{t,d}$, la méthode de dimensionnement 20 de Buildwise [11] est suivie.

Pour chaque CPT i d'une situation géotechnique représentative, la résistance au frottement $R_{t,i}$ (aux ELU) de l'ancrage est d'abord déterminée.

Un facteur de modèle γ_{Rd} est ensuite appliqué aux valeurs calculées $R_{t,i}$ afin d'obtenir une valeur calibrée de la capacité portante en traction :

$$R_{t,i,cal} = R_{t,i}/\gamma_{Rd}$$

Si un type d'ancrage est utilisé pour lequel on dispose d'une "expérience comparable" (= exigence de la norme NBN EN 1997-1/A1), le facteur de modèle $\gamma_{Rd1} = 1,55$ doit être appliqué.

Pour les systèmes d'ancrage (ou systèmes de micropieux réalisés selon des principes équivalents) qui disposent d'un Agrément Technique (ATG) avec certification ou équivalent, l'ATG indique quel facteur de modèle ($\gamma_{Rd1} = 1,55$

ou éventuellement une valeur réduite (γ_{Rd2}) peut être utilisé dans quelles circonstances. La procédure pour obtenir un Agrément Technique (ATG) avec certification peut être demandée auprès de l'UBAtc (www.ubatc.be; info@butgb-ubatc.be)

Si des essais à la rupture ou des essais de contrôle sont réalisés sur le terrain même, la méthode de dimensionnement sur base d'essais doit être suivie (voir paragraphe précédent §3.2.3.1).

La valeur caractéristique de la capacité portante en traction de l'ancrage ($R_{t;k}$) est ensuite déterminée.

Pour les ancrages, les facteurs de corrélation ξ_3 et ξ_4 peuvent cependant être fixés comme étant égaux à 1. Cela s'explique par le fait que, par définition, tous les ancrages de production doivent être soumis à un essai de réception.

Concrètement, cela signifie aussi que pour une situation géotechnique représentative où un nombre n de CPT sont disponibles, le plus mauvais CPT est automatiquement déterminant :

$$R_{t;k} = R_{t,i,cal} = R_{t,i}/\gamma_{Rd}$$

Finalement, la valeur de calcul de la capacité portante en traction de l'ancrage aux ELU est déterminé :

$$R_{t,d} = R_{t,k}/\gamma_{s,t}$$

Pour les ancrages, $\gamma_{s,t} = 1,10$ doit être appliqué (voir tableau 10 de la méthode de dimensionnement 20 de Buildwise [11]).

3.2.4 Détermination de la valeur de calcul de la capacité portante en traction d'un ancrage aux ELS : $R_{s;s,d}$

La valeur de calcul de la capacité portante en traction d'un ancrage aux ELS est déterminée sur base d'essais à la rupture ou d'essais de contrôle qui sont exécutés sur place.

Pour ce qui concerne le nombre d'essais et les méthodes d'essais : voir §3.2.3

Dans le cas où l'on opte pour la méthode d'essai 1, $R_{s;s,d}$ ne doit pas être déterminée, puisque la valeur limite ($\alpha_1 = 2\text{mm}$) à laquelle $R_{u;s;d}$ doit satisfaire est déjà assez conservatrice.

Dans le cas où l'on opte pour la méthode d'essai 3, $R_{s;s,d}$ doit bien être déterminée sur base de minimum 2 essais à la rupture (*en anglais : investigation tests; en néerlandais : ontwerpproeven*) pour chaque situation géotechnique représentative.

Pour chaque ancrage testé, la valeur mesurée de la capacité portante en traction aux ELS ($R_{s;s,m}$) est déduite de l'essai de chargement comme le

minimum soit de la traction d'épreuve P_p , soit de la charge pour laquelle une valeur limite aux ELS est atteinte ($R_m(\alpha_{uls}$ ou P_c):

$$R_{sls;m} = \min\{R_m(\alpha_{sls} \text{ ou } P_c) \text{ et } P_p\} \text{ avec}$$

$R_{sls;m}$ = la valeur mesurée de la capacité portante en traction de l'ancrage aux états limites de service

$R_m(\alpha_{sls}$ ou P_c) = la valeur mesurée de la capacité portante en traction de l'ancrage correspondant à un état limite de service – valeur limite. En première instance, cette valeur est assimilée à la traction critique de fluage P_c .

Concernant la manière dont P_c peut être déterminée du diagramme "taux de fluage (α) versus chargement (P)", il est fait référence à la norme NBN EN ISO 22477-5 [18]. Si P_c ne peut pas être déterminée sans équivoque, on peut prendre la valeur de la charge correspondant à un taux de fluage $\alpha = 1$ mm.

Pour une situation géotechnique représentative, une valeur caractéristique de la capacité portante en traction de l'ancrage est ensuite déterminée comme suit :

$$R_{sls;k} = (R_{sls;m})_{\min}$$

$R_{sls;k}$ = la valeur caractéristique de la capacité portante en traction de l'ancrage qui satisfait aux critères des états limites de service

$(R_{sls;m})_{\min}$ = la plus petite valeur de $R_{sls;m}$ mesurée pour un nombre d'essais à la rupture ou de contrôle pour une situation géotechnique représentative

Finalement, la valeur de calcul de la capacité portante en traction de l'ancrage aux ELS ($R_{sls;d}$) est déterminée comme suit :

$$R_{sls;d} = R_{sls;k} / \gamma_{a;sls}$$

$R_{sls;d}$ = la valeur de calcul de la capacité portante en traction d'un ancrage qui satisfait aux critères des états limite de service

$\gamma_{a;sls}$ = facteur partiel; En Belgique, $\gamma_{a;sls}$ est fixé comme étant égal à 1,20 pour les ancrages permanents. Pour les ancrages temporaires, $\gamma_{a;sls}$ peut être fixé comme étant égal à 1,10.

Remarque

Dans le cas où le dimensionnement est réalisé sur base de l'expérience comparable au moyen d'un calcul sur base de résultats CPT, l'ELS de l'ancrage est normalement couvert par les niveaux de sécurité plus élevés qui sont appliqués dans cette méthode. Si sur base des essais de réception réalisés sur chaque ancrage de production, il s'avère qu'il y a des problèmes au niveau des états limites de service, une analyse supplémentaire est nécessaire.

3.3 Essais sur ancrages

3.3.1 Généralités

Les procédures pour l'exécution des essais sur tirants d'ancrage sont décrits en détail dans la norme NBN EN ISO 22477-5 [18].

Cette norme fait une distinction entre

- Essais à la rupture (*En anglais: investigation tests; en néerlandais : ontwerpproeven*)
- Essais de contrôle (*En anglais : suitability test; en néerlandais : geschiktheidsproeven*)
- Essais de réception (*En anglais : acceptance tests; en néerlandais : aanvaardingsproeven*)

Pour chacun de ces types d'essais, trois méthodes d'essais sont fournies dans la norme.

En Belgique, la méthode d'essai 1 (TM 1) et la méthode d'essai 3 (TM3) sont utilisées.

Les différents types d'essais ainsi que les critères d'acceptation sont abordés dans les paragraphes suivants.

3.3.2 Essais à la rupture (*E: Investigation tests*)

Des essais à la rupture sont réalisés sur des ancrages installés au préalable, spécialement dans le but de mieux comprendre le comportement d'un type d'ancrage. Habituellement, une traction d'épreuve P_p suffisamment élevée est appliquée pour provoquer une rupture géotechnique de l'ancrage.

En plus des informations concernant la capacité portante géotechnique en traction du système d'ancrage, des informations sont également obtenues concernant la traction critique de fluage P_c , la longueur libre équivalente L_{app} , la corrélation avec les résultats de l'investigation du sol (par exemple les résultats CPT), ...

Des essais à la rupture peuvent être réalisés dans le but suivant :

- Optimiser le dimensionnement pour un site spécifique, par exemple la détermination de la longueur de scellement optimale, l'effet de la méthode d'installation, la détermination de la traction d'épreuve pour les essais de contrôle et les essais de réception... Les résultats de ces essais peuvent éventuellement être utilisés pour la méthode de dimensionnement sur base d'essais (§3.2.3.1 en §3.2.4) pour autant que la méthode d'exécution et les dimensions des ancrages de production correspondent à celles des ancrages d'essai.

- Comme méthode d'essai plus étendue pour réaliser le dimensionnement sur base d'essais (selon les méthodes expliquées aux paragraphes §3.2.3.1 en §2.3.4)
- La construction de l'« expérience comparable », pour un type d'ancrage bien déterminé dans un type de sol bien déterminé, qui peut ensuite être utilisée pour la procédure de dimensionnement sur base de calculs (§3.2.3.2) sur d'autres sites avec des types de sol comparables.

Comme indiqué précédemment, la méthode d'essai 1 (procédure d'essai avec cycles) et la méthode d'essai 3 (procédure d'essai avec charge maintenue) sont utilisées en Belgique.

Pour les essais à la rupture, les valeurs limites pour le taux de fluage sont $\alpha_1 = 2$ mm lorsqu'on applique la méthode d'essai 1 et $\alpha_3 = 5$ mm lorsqu'on applique la méthode d'essai 3.

Pour plus de détails sur la procédure d'essai, il est fait référence à la norme NBN EN ISO 22477-5 [18].

3.3.3 Essais de contrôle sur ancrages (E: Suitability tests)

Les essais de contrôle sont toujours réalisés sur le site même pour vérifier si, pour une situation géotechnique représentative, un ancrage peut résister à la traction d'épreuve P_p . En outre, un essai de contrôle fournit également des informations sur le comportement au fluage d'un système d'ancrage jusqu'à la traction d'épreuve ainsi que sur la longueur libre équivalente L_{app} . La procédure d'essai est généralement un peu plus courte que pour les essais à la rupture.

Les essais de contrôle sont en fait la plupart du temps des essais de type "design verification", ce qui implique que la méthode d'exécution, l'inclinaison, les dimensions... doivent être identiques à celles des ancrages de production. Pour atteindre la charge maximale sans difficulté, la section de l'armature peut éventuellement être ajustée (augmentée).

Les essais de contrôle sont de préférence réalisés au préalable à la réalisation des ancrages de production. Les essais sont exécutés sur des ancrages installés séparément à cet effet ou, si la traction d'épreuve et la structure le permettent, sur des ancrages de production.

3.3.3.1 Traction d'épreuve minimale

Dans le cas de la méthode d'essai 1 (TM1), la valeur minimale de la traction d'épreuve P_p s'élève à (dans le cas d'une structure ancrée de classe de risque RC2):

$$P_p \geq \xi_{uls} \times \gamma_{a,uls} \times E_{uls,d} = 1,00 \times 1,1 \times 1,35 \times F_{uls,k} = 1,5 \times F_{uls,k}$$

pour les situations permanentes et transitoires.

Dans le cas de la méthode d'essai 3 (TM3), la valeur minimale de la traction d'épreuve P_p s'élève à (dans le cas d'une structure ancrée de classe de risque RC2):

$$\begin{aligned} P_p &\geq \xi_{sls} \times (\gamma_{a,sls} + 0.05)_{test} \times F_{serv,k} = 1,00 \times 1,25 \text{ (ou } 1,15) \times F_{serv,k} \\ &= 1,25 \times F_{serv,k} \text{ pour les ancrages permanents} \\ &= 1,15 \times F_{serv,k} \text{ pour les ancrages temporaires} \end{aligned}$$

Remarque:

Cette dernière formule est une correction de celle reprise pour la TM3 dans la norme NBN EN1997-1/A1 [3].

ξ_{uls} et ξ_{sls} facteurs de corrélation; en Belgique, ξ_{uls} et ξ_{sls} sont fixés comme étant égaux à 1,00 pour toutes les méthodes d'essai.

Comme le montre la formule ci-dessus, P_p peut être liée à la force d'ancrage $F_{uls,k}$ et $F_{serv,k}$ résultant du calcul de dimensionnement de la structure ancrée.

Pour la procédure d'essai en elle-même, il est fait référence à la norme NBN EN ISO 22477-5 [18].

3.3.3.2 Exigences en termes de capacité portante en traction

Concernant la capacité portante en traction de l'ancrage, la norme NBN EN 1997-1/A1 + ANB formule l'exigence suivante par rapport au taux de fluage sous traction d'épreuve P_p :

- $\alpha_1 < 2$ mm dans le cas où la méthode d'essai 1 est appliquée
- $\alpha_3 < 1,2$ mm ou 1,0 mm respectivement pour les ancrages temporaires et permanents dans le cas où la méthode d'essai 3 est appliquée

La manière dont le taux de fluage est déduit d'un essai est donnée pour les deux méthodes d'essai dans la norme NBN EN ISO 22477-5 [18].

3.3.3.3 Exigences en termes de longueur libre équivalente L_{app}

De plus, il y a des exigences supplémentaires par rapport à la longueur libre équivalente de l'armature d'un ancrage.

Dans le cas de la méthode d'essai 1, (méthode avec des cycles), on mesure le raccourcissement élastique s_{el} (of Δs) après chaque déchargement entre la charge appliquée P et la traction de référence P_a .

A partir de là, on peut calculer une longueur libre équivalente de l'armature L_{app} :

$$L_{app} = (A_t \times E_t \times \Delta s) / (P - P_a) \text{ avec,}$$

A_t la section transversale de l'armature

E_t le module d'élasticité de l'armature

Δs le raccourcissement élastique de l'ancrage au déchargement de la charge P à P_a

P_a la traction de référence pendant l'essai

L'exigence ici est que la valeur de L_{app} qui est déduite, de cette manière, de l'essai, se situe, à partir d'une charge de 70 % de P_p , entre les limites définies pour L_{app} dans la norme NBN EN 1537 [8], à savoir :

Limite supérieure pour des ancrages de type « scellé » (voir figure 2a)

$$L_{app} \leq L_{tf} + L_e + 0,5 L_{tb}$$

Limite supérieure pour des ancrages de type « à élément de compression » (voir figure 2b)

$$L_{app} \leq 1,1L_{tf} + L_e$$

Limite inférieure pour les deux types d'ancrage ("scellé" et "à élément de compression"):

$$L_{app} \geq 0,8 \times L_{tf} + L_e$$

avec (voir figure 2a et 2b):

L_{tb} la longueur de scellement de l'armature

L_{tf} la longueur libre de l'armature

L_e la longueur extérieure de l'armature comprise entre son point de fixation sur la tête d'ancrage et son point de fixation sur le vérin

Dans le cas de la méthode d'essai 3, on peut seulement déterminer L_{app} de la mesure du raccourcissement élastique de l'armature lorsque la traction d'épreuve P_p est relâchée, donc :

$$L_{app} = (A_t \times E_t \times \Delta s) / (P_p - P_a) \text{ avec,}$$

L_{app} doit satisfaire aux mêmes valeurs limites que celles décrites ci-dessus pour la méthode d'essai 1.

En cas de perte d'effort considérable dans la longueur libre, la norme NBN EN ISO 22477-1 (Annexe D) prévoit également une procédure permettant de déterminer cette perte au moyen d'un cycle de chargement supplémentaire et de considérer l'effet de cette perte d'effort lors de l'évaluation des résultats de l'essai.

Conformément au paragraphe 9.8.3 de la norme NBN EN 1537 [8]: lorsque la longueur libre équivalente de l'armature se trouve à l'extérieur des limites définies ci-dessus, le tirant d'ancrage peut être soumis à des cycles de traction répétés jusqu'à P_p .

3.3.4 Essais de réception sur des ancrages

Comme déjà indiqué au §3.1, un court essai de réception doit être réalisé sur chaque ancrage de production, au cours duquel il doit être démontré que chaque ancrage de production satisfait les critères de réception relatifs à la capacité portante en traction et à la longueur libre.

Après l'essai de réception, l'ancrage est (la plupart du temps) calé à une force de précontrainte prédéterminée.

Pour les procédures d'essai des essais de réception selon la méthode d'essai 1 et la méthode d'essai 3, il est fait référence à la norme NBN EN ISO 22477-5 [18].

3.3.4.1 Traction d'épreuve minimale

La traction d'épreuve minimale (P_p) qui doit être imposée pendant un essai de réception est spécifiée dans la norme NBN EN 1997-1/A1 [3].

Si la méthode d'essai 1 est appliquée, la traction d'épreuve minimale appliquée pendant l'essai de réception s'élève à :

$$P_p \geq \gamma_{a,acc,uls} \times E_{uls;d} = 1,1 \times 1,35 \times F_{uls;k} = 1,5 \times F_{uls;k}$$

(dans le cas d'une structure ancrée de classe de risque RC2)

pour les situations permanentes et transitoires.

Si la méthode d'essai 3 est appliquée, la traction d'épreuve minimale appliquée pendant l'essai de réception s'élève à :

$$P_p \geq \gamma_{a,acc,sls} \times F_{serv;k} = 1,25 \times F_{serv;k} \text{ pour les ancrages permanents}$$
$$= 1,15 \times F_{serv;k} \text{ pour les ancrages temporaires}$$

$\gamma_{a,acc,sls}$ s'élève à 1,25 ou 1,15 respectivement pour les ancrages permanents ou temporaires.

3.3.4.2 Critères de réception en termes de capacité portante en traction

Si la méthode d'essai 1 est appliquée, conformément à la norme NBN EN ISO 22477-5 [18], les exigences suivantes s'appliquent pour une traction d'épreuve imposée P_p :

- Sols non cohésifs et roches $\Delta S_{2\text{min} \rightarrow 5\text{min}} \leq 0,2 \text{ mm}$
- sols cohésifs $\Delta S_{5\text{min} \rightarrow 15\text{min}} \leq 0,25 \text{ mm}$

Si un ancrage de production ne satisfait pas ces exigences, la traction d'épreuve P_p doit être maintenue plus longtemps: jusqu'à minimum 15 minutes dans le cas de sols non cohésifs et de roches et jusqu'à minimum 30 minutes dans le cas de sols cohésifs.

La traction d'épreuve doit être maintenue jusqu'à ce que le taux de fluage α_1 de l'ancrage soit stabilisé.

Si α_1 est $\leq 2 \text{ mm}$ après stabilisation, l'ancrage est accepté.

La méthode d'essai 1 ne fait pas de distinction entre ancrages temporaires et permanents.

Si la méthode d'essai 3 est appliquée, les exigences suivantes s'appliquent: Le taux de fluage α_3 sous la traction d'épreuve P_p doit être plus petite que 1,5 mm pour les ancrages permanents.

Pour les ancrages temporaires, l'exigence suivante s'applique : $\alpha_3 \leq 2,5 \text{ mm}$.

Si après la durée normalement prévue pour l'application de P_p (15 minutes), on ne satisfait pas à ces exigences, la durée d'application de la traction d'épreuve P_p doit être prolongé (par exemple jusqu'à 1h), jusqu'à ce qu'une valeur stable du taux de fluage α_3 soit atteinte; les mêmes valeurs limites de α_3 restent cependant valables.

3.3.4.3 Critères de réception en termes de longueur libre équivalente L_{app}

Aussi bien pour la méthode d'essai 1 que pour la méthode d'essai 3, la longueur libre équivalente L_{app} , qui peut être déduite du raccourcissement élastique entre P_p et P_a , doit satisfaire à la valeur limite de la norme NBN EN 1537 [8] (voir §3.3.3.3).

Conformément au paragraphe 9.8.3 de la norme NBN EN 1537 [8]: lorsque la longueur libre équivalente de l'armature se trouve à l'extérieur des limites définies ci-dessus, le tirant d'ancrage peut être soumis à des cycles de traction répétés jusqu'à P_p .

4. Références

1. NBN EN 1997-1 ANB Eurocode 7 : Calcul géotechnique - Partie 1 : Règles générales - Annexe nationale, 2022.
2. NBN EN 1997-1:2004 Eurocode 7: Calcul géotechnique - Partie 1: Règles générales.
3. NBN EN 1997-1/A1 Eurocode 7 : Calcul géotechnique – Partie 1 : Règles générales, Addendum 2014.
4. GBMS – CSTC. Directives pour l’application de l’Eurocode 7 en Belgique selon la NBN EN 1997-1 ANB. Partie 2: le dimensionnement géotechnique d’ouvrages de soutènement encastrés : soutènements, mars 2022.
5. GBMS. Procédures standards pour la reconnaissance géotechnique : Dispositions générales, 14 juillet 2016.
6. GBMS. Procédures standards pour la reconnaissance géotechnique : Essais de pénétration. Partie 1: planification, exécution et rapportage des résultats, 14 juillet 2016.
7. BGGG. Standaardprocedures voor geotechnisch onderzoek: Sonderingen. Deel 2: Geotechnisch advies bij het ontwerp, 27 april 2017.
8. NBN EN 1537. Exécution des travaux géotechniques spéciaux – Tirants d’ancrage, 2013.
9. NBN EN 1990 Eurocodes structuraux – Eurocodes : Bases de calcul des structures, 2002.
10. NBN EN 1990 ANB Eurocode 0 – Bases de calcul des structures – Annexe Nationale, 2013.
11. Buildwise. Méthode de dimensionnement 20. Directives pour l’application de l’Eurocode 7 en Belgique selon la NBN EN 1997-1 ANB. Partie 1: dimensionnement géotechnique à l’état limite ultime (ELU) de pieux et de micropieux sous charge axiale à partir d’essais de pénétration statique (CPT), 2020.
12. NBN EN 1993-5 Eurocode 3 - Calcul des structures en acier – Partie 5: Pieux et palplanches (+AC 2009), 2007.
13. NBN EN 1993-1-1 Eurocode 3: Calcul des structures en acier - Partie 1-1: Règles générales et règles pour les bâtiments (+ AC:2009), 2005.

14. NBN EN 1992-1-1 Eurocode 2: Calcul des structures en béton - Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments (+AC:2010), 2005.
15. NBN EN 1993-5 ANB Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 5: Pieux et palplanches – Annexe Nationale, 2011.
16. NBN EN 1993-1-1 ANB Eurocode 3: Calcul des structures en acier - Partie 1-1: Règles générales et règles pour les bâtiments - Annexe Nationale, 2018.
17. NBN EN 1992-1-1 ANB. Eurocode 2: Calcul des structures en béton - Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments – Annexe Nationale, 2010.
18. NBN EN ISO 22477-5. Reconnaissance et essais géotechniques - Essais des structures géotechniques - Partie 5: Essais de tirants d'ancrage (ISO 22477-5:2018)