

European Organisation for Technical Approvals
Europäische Organisation für Technische Zulassungen
Organisation européenne pour l'agrément technique

ETAG 013

Édition Juin 2002

GUIDE D'AGRÉMENT TECHNIQUE EUROPÉEN

POUR

**LES PROCÉDÉS DE PRÉCONTRAINTÉ
PAR POST-TENSION**

B-1040 Bruxelles

EOTA
Kunstlaan 40 Avenue des Arts

Traduction de l'ETAG 013 Post Tensioning Kits for prestressing of Structures

La directive européenne 89/106/CEE relative au rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des Etats membres concernant les produits de construction dite « DPC » indique dans son article 11 que les guides d'agrément technique européen sont publiés par les Etats membres dans leur langue officielle.

Le présent document est la traduction de l'ETAG 013 « Post Tensioning Kits for prestressing of Structures » effectuée par un groupe de travail constitué de :

M. C. Binet SETRA
M. P. Boitel SETRA
M. R. Chaussin SETRA
M. S. Le Cunff SETRA
M. N. Manny SETRA
M. P. Marchand SETRA

L'ETAG 013, dans sa version française, est rendu applicable par l'arrêté du 29 janvier 2004 du Ministère de l'équipement, des transports, du logement, du tourisme et de la mer (NOR: EQU0400193A) paru au J.O du 14 février 2004, ainsi qu'à l'avis NOR: EQU0400194V paru le même jour.

Sommaire

AVANT PROPOS.....	4
DOCUMENTS DE REFERENCE.....	5
INTRODUCTION.....	8
1 REMARQUES PRELIMINAIRES.....	8
2 DOMAINE D'APPLICATION.....	9
3 TERMINOLOGIE.....	13
SECTION II GUIDE POUR L'EVALUATION DE L'APTITUDE A L'USAGE.....	18
4 EXIGENCES RELATIVES AUX OUVRAGES ET RAPPORT AVEC LES CARACTERISTIQUES DU PROCEDE DE PRECONTRAINTE.....	20
5 METHODES DE VERIFICATION.....	28
6 EVALUATION ET APPRECIATION DE L'APTITUDE A L'USAGE.....	36
METHODE D'ESSAI.....	46
7 HYPOTHESES ET RECOMMANDATIONS RELATIVES A L'EVALUATION DE L'APTITUDE A L'USAGE D'UN PROCEDE DE PRECONTRAINTE.....	48
SECTION III.....	50
8 ATTESTATION ET EVALUATION DE LA CONFORMITE (AC).....	50
CORRECTION DES DEFAUTS.....	53
DEPOT D'UNE NOUVELLE DEMANDE.....	53
CERTIFICATION.....	53
SECTION IV.....	57
9 CONTENU DE L'ATE.....	57
ANNEXE A TERMINOLOGIE ET ABREVIATIONS COMMUNES.....	62
ANNEXE B ESSAIS DES PROCEDES DE PRECONTRAINTE.....	66
ANNEXE C SPECIFICATIONS DE REFERENCE.....	96
ANNEXE D ANNEXES APPLICABLES AU CHAPITRE 7.....	113
ANNEXE E ANNEXES APPLICABLES AU CHAPITRE 8.....	122
PROGRAMME D'ESSAIS PRESCRIT : procédures minimales à exécuter.....	123
ESSAIS D'AUDIT : procédures minimales à exécuter.....	126
ANNEXE F FORMAT STANDARD PROPOSE POUR LES FICHES TECHNIQUES DES SYSTEMES DE PRECONTRAINTE.....	132

AVANT-PROPOS

Documents de référence

Les documents de référence sont référencés dans le corps de l'ETAG et sont soumis aux conditions suivantes :

La liste des documents de référence utilisés par cet ETAG (et mentionnant l'année de leur édition), est donnée ci-après. Si des parties additionnelles à cet ETAG étaient écrites postérieurement, elles pourraient comprendre des modifications à la liste des documents de référence qui leur sont applicables.

Conditions de mise à jour

L'édition d'un document de référence compris dans cette liste est celle qui a été adoptée par l'EOTA pour son usage spécifique.

Si une nouvelle édition devient disponible, elle ne se substitue à l'édition mentionnée dans la liste que lorsque l'EOTA a vérifié ou réaffirmé (éventuellement avec le lien approprié) sa compatibilité avec le guide.

Les rapports techniques de l'EOTA fournissent des précisions sur certains aspects et comme tels ne font pas partie de l'ETAG, mais expriment la compréhension commune à un instant donné de l'état de la connaissance et de l'expérience des organismes membres de l'EOTA. Lorsque la connaissance et l'expérience se développe, notamment grâce aux travaux d'agrément, ces rapports peuvent être modifiés et complétés.

Les documents interprétatifs de l'EOTA fournissent de manière permanente toute l'information utile sur la compréhension générale de cet ETAG élaborée au cours de la délivrance des ETA de manière consensuelle par les membres de l'EOTA. Les lecteurs et utilisateurs de cet ETAG sont invités à vérifier le statut actuel de ces documents auprès d'un membre de l'EOTA.

L'EOTA peut avoir besoin d'apporter des corrections à l'ETAG au cours de son usage. Ces modifications seront incorporées dans la version officielle publiée sur le site Web de l'EOTA www.eota.be et les actions correspondantes seront répertoriées et datées dans le **fichier historique** associé.

Les lecteurs et utilisateurs de cet ETAG sont invités à vérifier le statut actuel du contenu du document au regard de celui qui est publié sur le site Web de l'EOTA. La page de couverture indiquera si et quand des modifications auront été introduites.

Documents de référence

- Documents CE/EOTA :

[1] DPC : Directive relative aux produits de construction. Directive du Conseil du 21 décembre 1988, sur le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives des États membres concernant les produits de construction (89/106/CEE), tenant compte des dispositions modifiées (93/68/CEE).

[2] DI n° 1 (résistance mécanique et stabilité) : Directive du Conseil 89/106/CEE, Documents interprétatifs sur les produits de construction, Bruxelles, 16/07/1993.

[3] de la CE « A » : La désignation des organismes agréés dans le cadre de la directive Produits de construction.

[4] Document guide de la CE « B » : La définition du contrôle de la production en usine, dans les spécifications techniques relatives aux produits de construction.

[5] Document guide de la CE « C » : Le traitement des kits et des systèmes selon la directive Produits de construction.

[6] Document guide de la CE « D » : Le marquage CE selon la directive Produits de construction

[7] Format ATE : Décision de la Commission du 22 juillet 1997, sur le format général des agréments techniques européens relatifs aux produits de construction, 97/571/CE, J.O. N° L 236/7 à 13, 27 août 1997

[8] Document guide de l' EOTA 004/Édition Décembre 1999 « Origine des données nécessaires aux évaluations conduisant à un ATE »

[9] Document guide de la CE « L » : Application et utilisation des Eurocodes

- Normes européennes :

[10] ENV 1991 « Eurocode 1 » : Bases de calcul et actions sur les structures (1994)

[11] ENV 1992 « Eurocode 2 » : Conception des structures en béton (1994)

[12] ENV 1993 « Eurocode 3 » : Conception des structures en acier (1993)

[13] ENV 1994 « Eurocode 4 » : Conception des structures mixtes acier-béton (1994)

[14] ENV 1995 « Eurocode 5 » : Conception des structures en bois (1993)

[15] ENV 1996 « Eurocode 6 » : Conception des ouvrages en maçonnerie (1995)

[16] Avant-projet prEN 10138 : « Armatures de précontrainte » (1999)

[17] prEN 10080 Parties 1 à 4 : « Armatures pour béton armé – Armatures pour béton armé soudable – Partie 1 : Conditions générales ; Partie 2 : Conditions techniques de livraison pour la classe A ; Partie 3 : Conditions techniques de livraison pour la classe B ; Partie 4 : Conditions techniques de livraison pour la classe C » (1999)

[18] EN 10025 « Produits laminés à chaud pour aciers de construction non alliés – Conditions techniques de livraison (y compris amendement A1 : 1993) » (1993)

[19] EN 523 « Gaines en feuillard d'acier pour câbles de précontrainte – Terminologie, prescriptions, contrôle de qualité » (1997)

[20] prEN 10255 « Tubes en acier non allié pour la soudure ou le filetage » (1996)

[21] EN 524 – Parties 1 à 6 : « Gaines en feuillard d'acier pour câbles de précontrainte – Méthodes d'essai – Partie 1 : Détermination de la forme et des dimensions ; Partie 2 : Détermination du comportement à la flexion ; Partie 3 : Essai de flexion dans les deux sens ; Partie 4 : Détermination de la résistance à une force latérale ; Partie 5 : Détermination de la résistance à la traction ; Partie 6 : Détermination de l'étanchéité (détermination des pertes en eau) » (1997)

[22] EN 445 « Coulis d'injection pour câbles de précontrainte », Méthode d'essai (1996)

[23] EN 446 « Coulis d'injection pour câbles de précontrainte », Procédures d'injection de coulis (1996)

[24] EN 447 « Coulis d'injection pour câbles de précontrainte », Prescriptions pour les coulis courants (1996)

[25] Avant-projet prEN 934-4 « Adjuvants pour béton, mortier et coulis – Partie 4 : Adjuvants pour coulis d'injection pour câbles de précontrainte – Définitions, exigences et conformité » (1999)

[26] EN 10204 « Matériaux métalliques ; Types de documents de contrôle » (1991)

- Manuels de bonnes pratiques et recommandations de la FIP, et normes ISO :
 - [27] « Mise en tension des câbles : rapport force-élongation » (1986)
 - [28] « Gaines en plastique annelées pour post-tension intérieure adhérente » (2000)
 - [29] « Protection contre la corrosion des aciers de précontrainte » (1996)
 - [30] ISO 4200 « Tubes lisses en acier, soudés et sans couture ; Tableaux généraux des dimensions et des masses linéiques » (1991)

- Normes référencées en annexe C :
 - [31] EN ISO 527 – Parties 1 et 2 « Plastiques – Détermination des propriétés en traction – Partie 1 : Principes généraux ; Partie 2 : Conditions d'essai des plastiques pour moulage et extrusion » (1996)
 - [32] ISO 1183 « Plastiques – Méthodes pour déterminer la masse volumique et la densité relative des plastiques non alvéolaires » (1987)
 - [33] ISO 2137 « Produits pétroliers – Graisse lubrifiante et pétrolière – Détermination de la pénétration au cône » (1985)
 - [34] ISO 2176 « Produits pétroliers – Graisse lubrifiante – Détermination du point de goutte » (1995)
 - [35] ISO 4437 « Canalisations enterrées en polyéthylène (PE) pour réseaux de distribution de combustibles gazeux – Série métrique – Spécifications » (1997)
 - [36] ISO 6964 « Tubes et raccords en polyoléfine – Détermination de la teneur en noir de carbone par calcination et pyrolyse – Méthode d'essai et spécifications de base » (1986)
 - [37] ISO/TR 10837 « Détermination de la stabilité thermique du polyéthylène (PE) destiné à être utilisé dans les tubes et raccords pour la distribution du gaz » (1991)
 - [38] ISO 2160 « Produits pétroliers – Action corrosive sur le cuivre – Essai à la lame de cuivre » (1998)
 - [39] Avant-projet prEN 12201 – Parties 1 et 2 « Systèmes de canalisations en plastique pour l'alimentation en eau – Polyéthylène (PE) – Partie 1 : Généralités ; Partie 2 : Canalisations » (1995)
 - [40] EN 496 « Systèmes de canalisations en plastique ; Canalisations et raccords en plastique ; Mesure des dimensions et inspection visuelle des surfaces » (1991)
 - [41] NF C32-060 « Polyoléfine pour enveloppes isolantes et gaines de câbles de communication » (1996)
 - [42] NF M07-023 « Méthode de dosage des chlorures dans les pétroles bruts et les produits pétroliers » (1969)
 - [43] NF T51-029 « Plastiques – Détermination de l'action des agents chimiques liquides, y compris l'eau » (1982)
 - [44] NF T60-128 « Produits pétroliers – Détermination du point de figeage des paraffines, des cires, des vaselines et des pétrolata issus du pétrole » (1974)
 - [45] NF T60-119 « Produits pétroliers – Détermination de la pénétrabilité au cône des produits paraffineux » (1970)
 - [46] NF X41-002 « Protection contre les agents physiques, chimiques et biologiques – Tenue au brouillard salin » (1975)
 - [47] DIN 51802 « Essai sur graisses lubrifiantes pour déterminer leurs propriétés d'inhibition de la corrosion par la méthode SKF EMCOR » ; version originale : « Prüfung von Schmierstoffen; Prüfung von Schmierfetten auf korrosionsverhindernde Eigenschaften; SFK-Emcor-Verfahren » (1990)
 - [48] DIN 51808 « Essai sur lubrifiants ; détermination de la stabilité à l'oxydation des graisses ; méthode par oxygène », version originale : « Prüfung von Schmierstoffen; Bestimmung der Oxidationsbeständigkeit von Schmierstoffen; Sauerstoff-Verfahren » (1978)
 - [49] DIN 51817 « Détermination de la séparation de l'huile de la graisse lubrifiante en conditions statiques » ; version originale : « Prüfung von Schmierstoffen – Bestimmung der Ölabscheidung aus Schmierfetten unter statischen Bedingungen » (1998)
 - [50] BS 2000 : PT121 « Méthodes d'essai pour le pétrole et ses produits – Séparation de l'huile lors du stockage de la graisse » (1982)

[51] ASTM D942-90(1995)e1 « Méthode d'essai normalisé pour la stabilité à l'oxydation des graisses lubrifiantes par la méthode de la bombe à oxygène » (1995)

- Normes référencées en annexe E :

[52] EN ISO 7500-1 « Matériaux métalliques – Vérification des machines pour essais statiques uniaxiaux – Partie 1 : Machines d'essai de traction/compression – Vérification et étalonnage du système de mesure de charge » (1999)

[53] ISO 9513 « Matériaux métalliques – Étalonage des extensomètres utilisés lors d'essais uniaxiaux » (1999)

[54] prEN ISO 15630-3 « Acier pour béton armé et béton précontraint – Méthodes d'essai – Partie 3 : Armatures de précontrainte » (1999)

[55] ISO 6892 « Matériaux métalliques – Essais de traction à température ambiante » (1998)

INTRODUCTION

1 REMARQUES PRÉLIMINAIRES

1.1 Fondements juridiques

Le présent guide d'ATE a été établi conformément aux dispositions de la directive du Conseil 89/106/CEE (DPC) [1] en respectant les étapes suivantes :

- délivrance par la CE du mandat final : 16/04/1998
- délivrance par l'EFTA du mandat final : 16/04/1998
- adoption du guide par l'EOTA (commission exécutive) :
22/10/2001
- avus du Comité Permanent de la Construction
18-19/12/2001
- approbation par la CE :
28/05/2002

Le présent document est publié par les États membres dans leur langue officielle ou dans les langues précisées à l'article 11.3 de la DPC.

Il ne remplace aucun autre guide d'ATE.

Il est rendu applicable par l'arrêté du 29 janvier 2004 du Ministère de l'équipement, des transports, du logement, du tourisme et de la mer (NOR: EQU0400193A) paru au J.O du 14 février 2004, ainsi qu'à l'avis NOR: EQU0400194V paru le même jour.

1.2 Statut des guides d'ATE

a. Un ATE correspond à l'un des deux types de spécifications techniques, au sens de la directive Produits de construction CE 89/106. Cela signifie que les États membres doivent présumer que les produits approuvés sont aptes à l'utilisation prévue, c'est-à-dire qu'ils permettront aux ouvrages pour lesquels ils sont utilisés de satisfaire aux exigences essentielles pendant une durée de vie utile raisonnable du point de vue économique, à condition que :

- les ouvrages soient correctement conçus et réalisés ;
- la conformité des produits à l'ATE ait été dûment attestée.

b. Un guide d'ATE constitue la base des ATE, c'est-à-dire la base à l'évaluation technique de l'aptitude d'un produit à une utilisation prévue. Un guide d'ATE n'est pas en lui-même une spécification technique, au sens de la DPC.

Le présent guide d'ATE exprime l'interprétation commune, par les organismes d'agrément, des dispositions de la directive Produits de construction CE 89/106 et des documents interprétatifs, pour les produits et les usages concernés. Il est établi dans le cadre d'un mandat donné par la Commission, après consultation du comité permanent de la CE pour la construction.

c. Une fois accepté par la Commission Européenne après consultation du Comité Permanent de la Construction, le présent Guide d'ATE est d'application obligatoire pour la délivrance des ATE relatifs aux procédés de précontrainte destinés à des usages prévus. L'application et la satisfaction aux critères d'un Guide d'ATE (examens, essais et méthodes d'évaluation) ne peut conduire à la délivrance d'un ATE et à la présomption d'aptitude à l'emploi du procédé de précontrainte qu'après une procédure d'évaluation et d'agrément, puis une décision, suivies par l'Attestation de Conformité correspondante. Cette démarche distingue le Guide d'ATE d'une norme européenne harmonisée qui sert directement de base aux Attestations de Conformité.

Les produits qui ne relèvent pas du domaine d'application d'un Guide d'ATE peuvent être pris en considération, le cas échéant, par le biais de la procédure d'agrément sans guide, conformément à l'article 9.2 de la CPD.

Les exigences des Guides d'ATE sont formulées en objectifs et d'actions correspondantes à prendre en compte. Les Guides d'ATE spécifient les valeurs et les caractéristiques qui permettent de présumer que les exigences formulées sont satisfaites chaque fois que l'état de la technique le permet, après que ces exigences aient été jugées par l'ATE comme étant appropriées au produit concerné.

2 DOMAINE D'APPLICATION

2.1 Domaine d'application

- Cet ETAG sert à obtenir des ATE pour les procédés de précontrainte et pour certains produits décrits plus loin dans cette section.
- Communément appelés « Procédés de précontrainte », ces produits doivent être considérés comme des « kits » au sens du document guide de la CE « C » sur « Le traitement des systèmes et des kits selon la directive Produits de Construction.
- Ce guide concerne les procédés de précontrainte par post-tension d'ouvrages ou de parties d'ouvrages.
- Les procédés de précontrainte par post-tension comprennent généralement les composants énumérés ci-dessous. Ils peuvent comprendre tous ces composants ou seulement ceux nécessaires, tels que spécifiés par le candidat à l'ATE :
 - Armatures de précontrainte sous forme de fils, torons ou barres en acier de précontrainte.
 - Ancrages, c'est-à-dire des dispositifs permettant d'ancrer les armatures de précontrainte dans un ouvrage ou une partie d'ouvrage. Ils existent sous deux formes de base, les ancrages « actifs » et les ancrages « passifs ». Les ancrages actifs sont des dispositifs mécaniques, faits de différents composants tels que la tête d'ancrage, la plaque d'appui, les clavettes, la trompette, les manchons, etc. tels que définis par le candidat à l'ATE. Les ancrages passifs peuvent être des dispositifs mécaniques ou peuvent être basés sur l'adhérence des armatures de précontrainte au béton.
 - Coupleurs, c'est-à-dire des dispositifs utilisés pour raccorder les sections adjacentes des armatures de précontrainte. Les coupleurs mobiles raccordent les sections adjacentes des armatures de précontrainte prévues pour être tendues au même moment. Les coupleurs fixes raccordent la première section des armatures de précontrainte installée et tendue initialement, à la deuxième section installée et tendue ultérieurement. Ils sont faits de différents composants, spécifiés par le candidat à l'ATE.
 - Conduits, utilisés pour isoler, guider et protéger les armatures de précontrainte. Ils peuvent être faits en feuillard d'acier et en tubes d'acier, ou en plastique pour les tubes lisses et pour les gaines annelées.
 - Produit d'injection dans les ancrages et les conduits, tel que coulis de ciment, graisse et cire.
 - Tubes ou éléments spécifiques imprimant une déviation déterminée aux câbles extérieurs en des points précis de l'ouvrage. Ces déviateurs sont souvent faits en tubes d'acier lisses. Les éléments spécifiques peuvent comprendre des réservations formées à l'intérieur des éléments en béton ou des selles en acier de construction, pour former le déviateur du câble.
 - Armature de frettage assurant le confinement des pièces en béton qui contiennent les ancrages et/ou les déviateurs des câbles, pour l'introduction en toute sécurité des forces de précontrainte au niveau des ancrages ou des déviateurs, dans les armatures ou les ouvrages en béton.
 - Accessoires spécifiques facilitant la pose, la mise en tension, l'injection des conduits, la détension et le remplacement du procédé de précontrainte, comme les événements et les purges de conduits, les dispositifs spécifiques de support des câbles, les capots temporaires ou permanents au niveau des

ancrages et des coupleurs, les manchons de raccordement entre tronçons/sections de gaine ou entre gaines et ancrages, etc.

- Cet ETAG porte sur les procédés de précontrainte par post-tension utilisant les composants suivants :
 - armatures de précontrainte définies par la norme prEN 10138 [16] ;
 - armatures de précontrainte monotorons, définies en annexe C.1 ;
 - gaines en feuillard d'acier, définies par la norme EN 523 [19] ;
 - tubes d'acier, définis par les normes prEN 10255 [20] ou ISO 4200 [30] ;
 - tubes en plastique lisses, définis en annexe C.2 ;
 - gaines en plastique annelées, définies en annexe C.3 ;
 - produits d'injection, définis par la norme EN 447 [24] ;
 - produits d'injection spéciaux, définis en annexe C.4 ;
 - armatures de frettage définies par les normes prEN 10080 [17] et EN 10025 [18].

Les procédés de précontrainte par post-tension faits d'autres composants que ceux énumérés ci-dessus ne sont pas concernés.

- Les procédés de précontrainte par post-tension peuvent être utilisés pour les types de câbles suivants :
 - câbles intérieurs adhérents ;
 - câbles intérieurs non adhérents ;
 - câbles extérieurs dont le tracé est situé hors de la section transversale de l'ouvrage ou de la partie d'ouvrage, mais à l'intérieur de son enveloppe.

Les tirants d'ancrage enterrés, les câbles extérieurs dont le tracé est situé hors de l'enveloppe de l'ouvrage ou de la partie d'ouvrage, ainsi que les haubans ne sont pas traités par cet ETAG.

- Les ATE peuvent être obtenus pour :
 - un kit comprenant des armatures de précontrainte, des coupleurs (si spécifié), des conduits, un produit d'injection, des déviateurs (s'il y a lieu), des armatures de frettage et des accessoires spécifiques (si nécessaire) ;
 - les composants individuels suivants : produits d'injection spéciaux, tels que spécifiés en annexe C.4.
- Les procédés de précontrainte par post-tension sont utilisés dans :
 - les constructions nouvelles ;
 - la réparation et le renforcement des ouvrages existants.
- Les procédés de précontrainte par post-tension sont conçus pour être utilisés lorsque les Eurocodes relatifs aux ouvrages ou les règles de conception nationales équivalentes se réfèrent à la « précontrainte des constructions par post-tension ».
- Les procédés de précontrainte par post-tension sont surtout utilisés dans les ouvrages en béton. Ils peuvent néanmoins être employés avec d'autres matériaux de construction comme l'acier, la maçonnerie et le bois si ces applications sont déclarées comme des catégories d'utilisation dans l'ATE.
- Les procédés de précontrainte par post-tension peuvent être utilisés dans n'importe quel type d'ouvrage, mais se rencontrent plus fréquemment dans :
 - les ponts (ouvrages d'art, piles, culées, fondations) ;
 - les immeubles (planchers, fondations, écrans internes, murs, ossatures résistant aux forces latérales) ;
 - réservoirs (parois, planchers, toits) ;
 - silos (parois) ;
 - structures de confinement de matières nucléaires ;

- structures offshore (tous éléments) ;
- barges et plateformes flottantes (tous éléments) ;
- murs de soutènement ;
- barrages ;
- tunnels (câbles longitudinaux et transversaux/horizontaux) ;
- tubes de grand diamètre ;
- chaussées et routes.

Sauf indication contraire de l'ATE, les procédés de précontrainte par post-tension sont supposés convenir à toutes les applications énumérées ci-dessus et pour un usage permanent.

- En outre, le candidat à l'ATE doit fournir à l'organisme d'agrément, si nécessaire, la documentation suivante, jointe au procédé de précontrainte par post-tension :
 - spécifications et schémas de tous les composants ;
 - spécifications des équipements spéciaux pour l'installation, la mise en tension et l'injection des conduits ;
 - procédures à prendre en compte dans la conception des ouvrages ;
 - procédures de fabrication des composants ;
 - procédures de transport et de stockage des composants ;
 - procédures pour la mise en oeuvre des composants ;
 - procédures d'entretien des systèmes de précontrainte.

2.2 Catégories d'utilisation

- Les différents types de câbles peuvent requérir des considérations spécifiques. Le candidat à l'ATE doit donc spécifier la catégorie d'utilisation de base de son procédé de précontrainte par post-tension parmi l'un des types de câbles suivants :
 - câble intérieur adhérent pour ouvrages en béton ou mixtes ;
 - câble intérieur non adhérent pour ouvrages en béton ou mixtes ;
 - câble extérieur pour ouvrages en béton, avec tracé hors de la section transversale de l'ouvrage ou de la partie d'ouvrage, mais à l'intérieur de son enveloppe.
- Le candidat à l'ATE peut décider d'offrir, en supplément, des catégories d'utilisation optionnelles, allant au delà des caractéristiques de base de son procédé de précontrainte. Ces options peuvent être parmi les suivantes :
 - **(a)** Câble avec possibilité de remise en tension (intérieur ou extérieur)
 - **(b)** Câble remplaçable (intérieur ou extérieur)
 - **(c)** Câble pour applications cryogéniques
 - **(d)** Câble intérieur adhérent avec conduit en plastique
 - **(e)** Câble étanche
 - **(f)** Câble isolé électriquement
 - **(g)** Câble extérieur utilisable dans les constructions en acier ou mixtes
 - **(h)** Câble intérieur et/ou extérieur utilisable dans les constructions en maçonnerie
 - **(i)** Câble intérieur et/ou extérieur utilisable dans les constructions en bois

Toute option de ce type doit être spécifiée en tant que catégorie d'utilisation optionnelle par le candidat à l'ATE. Dans le cas des options combinant différentes catégories d'utilisation, comme par exemple un câble extérieur utilisable dans une construction en acier, il convient de vérifier qu'elles répondent aux exigences requises pour chaque catégorie d'utilisation, c'est-à-dire dans notre exemple, pour l'utilisation dans une construction en acier et pour un câble extérieur. La vérification de ces options supplémentaires est traitée aux chapitres 4, 5 et 6, dans la mesure où elle a pu être prévue au moment de la rédaction de cet ETAG, mais peut exiger des examens complémentaires de l'organisme d'agrément afin de vérifier les options spécifiées non prévues dans ce document.

2.3 Hypothèses

Les procédés de précontrainte sont supposés être utilisés dans des ouvrages conçus conformément aux Eurocodes [10, 11, 12, 13, 14, 15] ou aux règles de conception nationales équivalentes.

Il est présupposé que le procédé de précontrainte est correctement installé, conformément aux spécifications des titulaires de l'ATE. La qualité de la mise en oeuvre a des conséquences importantes sur la fiabilité et la durabilité du procédé de précontrainte. En conséquence, Il incombe aux États membres de prendre des mesures pour contrôler la planification, la conception et la construction des ouvrages, et vérifier les qualifications des parties et des personnes concernées.

Les autres hypothèses de base relatives à l'utilisation de cet ETAG sont énumérées au chapitre 7.

3 TERMINOLOGIE

3.1 Terminologie et abréviations communes (voir Annexe A)

3.2 Terminologie et abréviations particulières

3.2.1 Terminologie

Accessoires : composants supplémentaires utilisés dans un procédé de précontrainte pour faciliter la pose, la mise en tension et l'injection des conduits, tels qu'évents et purges de conduits, dispositifs spécifiques de support des câbles, capots temporaires ou permanents au niveau des ancrages et des coupleurs, manchons de raccordement entre tronçons/sections de gaine ou entre gaines et ancrages, etc.

Ancrage : dispositif mécanique, comprenant en général plusieurs composants, conçus pour retenir la force de précontrainte dans le câble tendu et la transmettre à l'ouvrage.

Ancrage actif : ancrage permettant de mettre le câble en tension, également appelé ancrage mécanique.

Ancrage passif : ancrage ne permettant pas la mise en tension ou ancrage formé par l'adhérence entre les armatures de précontrainte et le béton (ancrage par adhérence).

Armatures de frettage : armatures situées dans la zone d'ancrage locale, juste à côté de l'ancrage, permettant de confiner le béton et de résister aux contraintes de traction transversales dues à l'introduction de la force de précontrainte. Ces armatures font partie du procédé.

Armature de précontrainte : élément individuel tel qu'un toron, un fil ou une barre exerçant une précontrainte.

Bloc ou tête d'ancrage : pièce maintenant une ou plusieurs armatures de précontrainte par des clavettes/boutons/écrous et transférant la force de précontrainte à la plaque d'appui, ou pour les câbles de petite taille, directement à l'ouvrage. La tête d'ancrage est parfois appelée « bloc d'ancrage ».

Bouton : voir clavette.

Câble : armature individuelle de précontrainte ou ensemble d'armatures utilisées pour la précontrainte d'un ouvrage, et comprenant les protections et les ancrages nécessaires.

Câble étanche : câble pourvu d'une enveloppe étanche (conduit et capot).

Câble avec possibilité de remise en tension : câble dont la force de mise en tension peut être modifiée à n'importe quel moment de la durée de vie de référence de l'ouvrage.

Câble remplaçable : câble pouvant être remplacé à n'importe quel moment de la durée de vie de référence de l'ouvrage, c'est-à-dire que le câble peut être retiré de l'ouvrage puis remplacé par un nouveau câble.

Candidat à l'ATE : société sollicitant un ATE.

Capot d'ancrage : capot spécial en acier ou en plastique, placé à l'extrémité des armatures de précontrainte pour rendre l'ancrage étanche.

Clavette, bouton, écrou, douille sertie ou manchon filé : pièce maintenant chaque armature élémentaire de précontrainte et transmettant la force de précontrainte à la tête d'ancrage, ou dans le cas d'une armature de précontrainte individuelle, directement à la plaque d'appui.

Coefficient de frottement : coefficient utilisé pour calculer la perte de précontrainte lors de la mise en tension, due au frottement entre les armatures de précontrainte et le conduit par l'effet des courbures intentionnelles du tracé.

Composant d'ancrage : partie de l'ancrage ou du coupleur, telle qu'une clavette, un bouton ou un écrou, la tête d'ancrage ou la plaque d'appui.

Composant (d'un procédé de précontrainte) : partie d'un procédé de précontrainte, telle qu'une armature de précontrainte, un ancrage, un coupleur, un conduit, un produit d'injection, un déviateur, une armature de frettage ou un accessoire particulier.

Conduit : enveloppe dans laquelle sont placées plusieurs armatures de précontrainte et qui permet de manière temporaire ou permanente le mouvement relatif entre les armatures de précontrainte et le béton environnant. Le vide restant dans le conduit peut ultérieurement être comblé par un produit d'injection.

Coulis : produit d'injection en ciment, défini par la norme EN 447.

Coulis spécial : produit d'injection en ciment dont les caractéristiques sont conformes à l'annexe C.4.3.

Coupleur : dispositif raccordant deux tronçons de câbles adjacents.

Coupleur fixe : coupleur permettant de raccorder deux tronçons de câble adjacents non tendus au même moment.

Coupleur mobile : coupleur permettant de raccorder deux tronçons de câble adjacents, tendus au même moment.

Département : terme utilisé dans cet ETAG pour désigner la fonction et les ressources d'un organisme pour assurer des tâches et des procédures définies. Il ne désigne pas une entité de cet organisme.

Déviateur : élément de structure dans lequel les câbles extérieurs sont déviés et par lequel les forces des câbles sont transmises à l'ouvrage.

Écrou : voir clavette.

Évent : tube ou flexible permettant à l'air de s'échapper du conduit par le point haut du tracé du câble.

Fabricant de composant : société fabriquant des composants du procédé de précontrainte, conformément aux spécifications du titulaire de l'ATE.

Festonnage : déviation angulaire parasite du câble, due à la tolérance de pose du conduit et entraînant une perte de précontrainte, en raison du frottement complémentaire entre les armatures de précontrainte et le conduit par l'effet des déviations.

Gaine : voir conduit.

Gaine individuelle : enveloppe assurant l'étanchéité d'une armature de précontrainte élémentaire, habituellement séparée de cet élément par une épaisseur de graisse ou de cire.

Directeur de travaux en précontrainte : expert possédant la qualification technique ou l'autorisation nécessaire, ainsi qu'une expérience particulière dans la direction des grands travaux de précontrainte, et reconnu par le titulaire de l'ATE.

Ingénieur qualifié : ingénieur compétent en génie civil ou en ouvrages d'art.

Manchon de gaine: élément spécial, raccordant les tronçons/sections de gaines entre eux ou raccordant un segment de gaine à l'ancrage.

Manchon fileté : voir clavette

Monotoron : toron individuel protégé par de la graisse ou de la cire et une gaine individuelle en plastique. Il n'est jamais adhérent à l'ouvrage.

Organisation internationale : organisation telle que la fib, la FIP, le CEB ou l'ISO.

Perte par frottement : perte de précontrainte lors de la mise en tension des armatures de précontrainte, due au frottement entre les armatures de précontrainte et le conduit, par l'effet des déviations prévues du câble.

Plaque d'appui : partie supportant la tête d'ancrage et transférant la force de précontrainte à ou dans l'ouvrage. La plaque d'appui est parfois appelée « unité de transfert ».

Procédé de précontrainte innovant : procédé de précontrainte notablement différent dans sa conception ou dans le choix des produits ou des procédures de pose, de mise en tension ou d'injection des conduits, par rapport aux procédés de précontrainte habituellement utilisés dans l'industrie depuis un certain temps.

Procédé de précontrainte par post-tension : il est plus facilement désigné dans ce texte, par le terme « procédé de précontrainte ».

Produit d'injection : produit utilisé pour combler totalement l'espace entourant les armatures de précontrainte à l'intérieur d'un conduit, afin d'assurer une protection contre la corrosion et/ou une adhérence. Un produit d'injection à base de ciment est également appelé « coulis d'injection ».

Purge : tube ou flexible drainant l'eau du conduit jusqu'au point bas du tracé du câble.

Recul d'ancrage : mouvement relatif entre l'armature de précontrainte et l'ancrage, lors du transfert de la force de précontrainte, de l'équipement de mise en tension à l'ancrage.

Résistance moyenne réelle à la traction : valeur moyenne de la résistance à la traction réellement mesurée sur les armatures de précontrainte, déterminée à partir d'au moins 3 essais individuels.

Société spécialisée en précontrainte : société chargée de la pose, de la mise en tension et de l'injection des conduits du procédé de précontrainte.

Spécifications techniques européennes : Eurocodes, normes sur les produits, et agréments techniques européens, y compris les publications officielles d'avant-projets de ces documents.

Support de conduit : dispositif supportant et maintenant fermement un conduit en place.

Chargé de la mise en précontrainte (CMP) : spécialiste possédant une expérience particulière en travaux de précontrainte et reconnu par le titulaire de l'ATE.

Titulaire de l'ATE : société ayant obtenu un ATE. Le terme est également employé dans les cas où les clauses s'appliquent à la fois au candidat à l'ATE et au titulaire de l'ATE.

Tube : tube lisse et épais, en plastique ou en acier.

Type : modèle spécifique d'ancrage, de coupleur, de conduit ou de câble, etc., habituellement fabriqué en plusieurs tailles, à partir d'une conception, de matériaux, d'un système de protection contre la corrosion et d'une forme identiques pour toutes les tailles.

3.2.2 Abréviations

CEB : Comité européen du béton.

EE : exigence essentielle (voir annexe A.2.3).

EEE : Espace économique européen.

fib : Fédération internationale du béton (créée après la fusion de la FIP et du CEB).

FIP : Fédération internationale de la précontrainte.

JO : Journal officiel des communautés européennes.

OC : organisme de certification remplissant les exigences de la DPC [1] et du Document guide de la CE « A » [3].

Système AC : système d'attestation de conformité.

3.3 Symboles

A_p	Section nominale des armatures de précontrainte d'un câble.
A_{pm}	Section moyenne réelle des armatures de précontrainte d'un câble.
F_{pk}	Valeur caractéristique de la résistance ultime à la traction des armatures de précontrainte d'un câble : $F_{pk} = A_p \times f_{pk}$.
F_{pm}	Valeur réelle de la résistance ultime à la traction des armatures de précontrainte d'un câble : $F_{pm} = A_{pm} \times f_{pm}$.
$F_{p0,1k}$	Valeur caractéristique de la force des armatures de précontrainte d'un câble à la limite conventionnelle d'élasticité : $F_{p0,1k} = A_p \times f_{p0,1k}$.
F_{Tu}	Force maximale mesurée des armatures de précontrainte constituant un câble.
F_u	Force maximale mesurée lors de l'essai de transfert de charge.
Max F	Charge maximale lors de l'essai de fatigue (essai de charge dynamique) sur un assemblage de câbles.
Min F	Charge minimale lors de l'essai de fatigue (essai de charge dynamique) sur câble.
ΔF	Amplitude de charge lors de l'essai de fatigue (essai de charge dynamique) : $\Delta F = \text{Max F} - \text{Min F}$.
R_{min}	Rayon de courbure minimal d'un câble particulier, spécifié par le titulaire de l'ATE.
ε_{Tu}	Allongement relatif des armatures de précontrainte sur la longueur libre du câble, à la force maximale F_{Tu} .
ε_v	Déformation longitudinale à la surface du corps d'épreuve soumis à l'essai de transfert de charge.
ε_t	Déformation transversale à la surface du corps d'épreuve soumis à l'essai de transfert de charge.
$\Delta\sigma_p$	Amplitude de contrainte lors de l'essai de fatigue (essai de charge dynamique).
a	Dimension de référence de la section du corps d'épreuve soumis à l'essai de transfert de charge, spécifiée par le titulaire de l'ATE, mesurée dans le sens des x.

b	Dimension de référence de la section du corps d'épreuve soumis à l'essai de transfert de charge, spécifiée par le titulaire de l'ATE, mesurée dans le sens des y.
c	Enrobage des armatures.
h	Hauteur du corps d'épreuve soumis à l'essai de transfert de charge.
max w	Largeur maximale de fissure mesurée lors de l'essai de transfert de charge.
n	Nombre maximal d'armatures de précontrainte pour la taille de câble utilisée lors de l'essai de fatigue.
n'	Nombre réduit d'armatures de précontrainte dans le câble installé lors de l'essai de fatigue.
t	Temps.
t ₀	Temps au terme duquel 80 % de la valeur caractéristique de la résistance à la traction des armatures de précontrainte est atteinte lors de l'essai de charge statique.
f _{ck}	Résistance caractéristique en compression du béton à 28 jours.
f _{cm,0}	Résistance moyenne en compression du béton à laquelle une précontrainte totale est autorisée par l'ATE.
f _{cm,e}	Résistance moyenne en compression du béton lors de l'essai final de rupture, pendant les essais de transfert de charge.
f _{pk}	Valeur caractéristique de la résistance à la traction des armatures de précontrainte.
f _{pm}	Résistance moyenne réelle à la traction des armatures de précontrainte utilisées pour l'essai (moyenne des résultats d'au moins trois essais).
f _{p0,1k}	Valeur caractéristique de la limite conventionnelle d'élasticité à 0,1 % des armatures de précontrainte.
f _{yk}	Valeur caractéristique de la limite conventionnelle d'élasticité des armatures passives.
A _c	Section du corps d'épreuve soumis à l'essai de transfert de charge.
x	Distance minimale d'axe en axe ou double de la distance de l'axe de l'ancrage au bord, dans l'ouvrage, dans le sens des x, découlant des dimensions de référence a et b.
y	Distance minimale d'axe en axe ou double de la distance de l'axe de l'ancrage au bord, dans l'ouvrage, dans le sens des y, découlant des dimensions de référence a et b.
α	Déviation angulaire du câble au droit du déviateur.

GUIDE POUR L'ÉVALUATION DE L'APTITUDE À L'USAGE

REMARQUES GÉNÉRALES

(a) Applicabilité de l' ETAG

Cet ETAG fournit un guide pour l'évaluation d'une famille de procédés de précontrainte et de leurs utilisations prévues. C'est le candidat à l'ATE qui définit le procédé de précontrainte pour lequel il demande l'ATE, ainsi que son mode d'utilisation en chantier, ce qui détermine le programme d'évaluation.

Il est donc possible que pour certains procédés de précontrainte, qui sont relativement classiques, seuls quelques-uns des essais et leurs critères d'acceptation correspondants soient suffisants pour établir l'aptitude à l'usage (excepté pour les exigences prévues aux paragraphes 4.1.1-I à 4.1.3-I, pour lesquelles les résultats des essais doivent toujours être présentés). Dans les autres cas, par exemple pour des procédés de précontrainte innovants ou des matériaux spéciaux ou nouveaux, ou lorsque les applications sont variées, l'ensemble des essais et des évaluations peut être exigé.

(b) Organisation générale de cette section

L'évaluation de l'aptitude des procédés de précontrainte à l'usage prévu dans les travaux de construction est une procédure comprenant les principales étapes suivantes :

- **Chapitre 4** : Il précise les exigences spécifiques aux ouvrages faisant appel aux procédés de précontrainte et aux usages concernés, en commençant par les exigences essentielles relatives aux ouvrages (DPC art. 11.2) et en continuant avec les caractéristiques correspondantes des procédés de précontrainte.
- **Chapitre 5** : Il complète la liste du chapitre 4 par des définitions plus précises et par les méthodes disponibles pour vérifier les caractéristiques des procédés de précontrainte et pour indiquer comment les exigences et les caractéristiques correspondantes des procédés de précontrainte sont décrites. Cette étape est habituellement réalisée à l'aide d'essais, et éventuellement grâce à des méthodes de calcul, des analyses, des expériences et des comparaisons avec les comportements connus. Les procédures d'essai des procédés de précontrainte sont présentées en annexe B et, pour les composants non normalisés, en annexe C.
- **Chapitre 6** : Il fournit un guide sur les méthodes d'évaluation et d'appréciation destinées à vérifier l'aptitude du procédé de précontrainte à l'usage prévu. Il comprend en particulier la liste des critères d'acceptation.
- **Chapitre 7** : Dans ce chapitre, les hypothèses et les recommandations ne sont applicables que dans la mesure où elles concernent les bases sur lesquelles est faite l'évaluation du procédé de précontrainte au regard de l'aptitude à l'usage prévu.

(c) Niveaux, classes ou exigences minimales liées aux exigences essentielles et aux performances des procédés de précontrainte (voir DI [2], paragraphe 1.2)

Aucun niveau ou classe n'est défini pour les procédés de précontrainte, dans le mandat.

(d) Durée de vie (durabilité) et aptitude au service

Les dispositions et les méthodes d'essai et d'évaluation figurant dans cet ETAG ont été rédigées en partant de l'hypothèse que la durée de vie de référence estimée (valeur de référence nominale de la longévité prévue de l'ouvrage) des procédés de précontrainte est la même que celle spécifiée par les Eurocodes relatifs à l'ouvrage pour lequel il sont prévus d'être utilisés, à condition que les procédés de précontrainte soient utilisés et entretenus de manière appropriée (voir chapitre 7). L'Eurocode 1 [10] indique une durée de vie de référence de 100 ans pour les ponts et autres ouvrages d'art. Ces dispositions reposent sur l'état actuel de l'art ainsi que sur les connaissances et l'expérience disponibles.

Les indications données sur la durée de vie de référence d'un produit ne peuvent être interprétées comme une garantie accordée par le fabricant (ou l'organisme d'agrément). Elles ne doivent être

considérées que comme un moyen de choisir les composants et les matériaux appropriés, en fonction de la durée de vie de référence prévue des ouvrages, et qui soit raisonnable du point de vue économique (voir DI, paragraphe 5.2.2.).

Il est particulièrement important que l'installation, (par exemple l'injection des conduits), soit assurée par un personnel qualifié afin d'assurer la durabilité du procédé de précontrainte, pendant la durée de vie de référence.

(e) Aptitude à l'usage prévu

Conformément à la DPC, il est entendu que dans le cadre de cet ETAG, les procédés de précontrainte doivent « présenter des caractéristiques telles que les ouvrages dans lesquels ils sont incorporés, assemblés, appliqués ou installés, puissent, s'ils sont correctement conçus et réalisés, satisfaire aux exigences essentielles » (voir DPC, article 2.1).

En conséquence, les procédés de précontrainte doivent convenir à une utilisation dans des ouvrages de construction qui, considérés dans leur ensemble ou dans leurs parties, sont aptes à l'usage prévu, compte tenu de l'aspect économique, et tout en satisfaisant aux exigences essentielles. Sous réserve d'un entretien normal, celles-ci doivent être satisfaites pour une durée de vie raisonnable du point de vue économique. Les exigences concernent généralement des actions qui sont prévisibles (voir DPC, Annexe 1, Préambule).

4 EXIGENCES RELATIVES AUX OUVRAGES ET RAPPORT AVEC LES CARACTÉRISTIQUES DU PROCÉDÉ DE PRÉCONTRAINTÉ

Ce chapitre énumère les performances à examiner afin de satisfaire aux exigences essentielles correspondantes :

- en formulant plus précisément, dans les limites du domaine d'application de l' ETAG, les exigences essentielles correspondantes de la DPC, dans les documents interprétatifs et dans le mandat, pour des ouvrages ou parties d'ouvrage, en tenant compte des actions à envisager, ainsi que de la durabilité et de l'aptitude au service prévues des ouvrages ;
- en les rapportant au domaine d'application de l' ETAG (procédé de précontrainte par post-tension et ses constituants, composants et usages prévus) et en fournissant une liste des caractéristiques et autres propriétés appropriées.

4.1 Généralités

Une bonne précontrainte n'est possible que lorsque les procédés de précontrainte ayant fait l'objet d'un agrément sont mis en oeuvre par un personnel qualifié et expérimenté. Compte tenu des risques encourus, la délivrance d'un ATE est limitée aux sociétés pouvant démontrer qu'elles possèdent les connaissances et l'expérience en matière de conception, de fabrication et de mise en oeuvre des procédés de précontrainte qu'elles mettent sur le marché. Les chapitres 4, 5 et 6 concernent les procédés de précontrainte proprement dits. Le chapitre 7 traite, quant à lui, de la mise en oeuvre ainsi que de la qualification du personnel et des sociétés.

Les procédés de précontrainte doivent exercer des forces de précontrainte précises, correctement localisées, aux extrémités et le long des câbles, pendant la construction et la durée de vie prévue de l'ouvrage. L'équipement de mise en tension du procédé de précontrainte doit être adapté à l'usage prévu ; il doit être précis et étalonné régulièrement.

Le système d'ancrage doit résister au pourcentage spécifié de résistance du câble et la force de précontrainte qui lui est transmise pendant toute la durée de vie prévue de l'ouvrage.

Les matériaux utilisés pour les composants doivent être conformes aux spécifications techniques européennes (normes EN ou ATE). Si ces spécifications n'existent pas, les normes ISO seront alors prises en compte. Si celles-ci n'existent pas non plus, les spécifications et normes nationales, ou les recommandations de la FIP, du CEB et de la FIB peuvent être considérées comme acceptables. Cependant, pour les monotorons graissés et gainés individuellement, pour les tubes en plastique servant aux câbles extérieurs, pour les tubes en plastique servant aux câbles intérieurs adhérents et pour les produits d'injection spéciaux, les spécifications utilisées seront celles indiquées en annexe C.

La protection contre la corrosion de tous les composants d'un procédé de précontrainte est une question essentielle pour la production, le transport, le stockage et la pose jusqu'à l'utilisation finale/permanente dans l'ouvrage, afin d'assurer, pendant toute la durée de vie de ce dernier, le maintien des caractéristiques spécifiées.

Le raccordement entre le câble et l'équipement de mise en tension doit être protégé dans toutes les conditions rencontrées sur le chantier, à la fois pendant la mise en tension et pendant le transfert de charge de l'équipement de mise en tension à l'ancrage. Le béton ou les autres matériaux de la zone d'ancrage, ainsi que les armatures qui y sont associées, doivent être en mesure de supporter la force de précontrainte en toute sécurité.

Le tableau 4.1 énumère les exigences essentielles applicables, les paragraphes des DI correspondants et les exigences relatives aux performances des procédés de précontrainte, en fonction des catégories d'utilisation. Le tableau 4.2 donne les références aux spécifications des composants figurant en annexe C.

Tableau 4.1 : Correspondances entre les paragraphes de l' ETAG sur les performances des procédés de précontrainte, les méthodes de vérification, d'évaluation et d'appréciation de l'aptitude à l'usage et les procédures d'essai

EE	Paragraphe du DI correspondant pour les ouvrages	Paragraphe du DI correspondant pour les performances du procédé de précontrainte	Catégorie d'application/ d'utilisation	Paragraphe de l' ETAG sur le procédé de précontrainte	Méthodes de vérification	Évaluation et appréciation de l'aptitude à l'usage	Procédure d'essai
1	§ 4.2 Dispositions concernant les ouvrages	§ 4.3 Dispositions concernant les produits + Paragraphe 3 § de l'annexe sur les caractéristiques des éléments suivants : – « Acier de précontrainte » – « Dispositifs de précontrainte par post-tension » – « Conduits et gaines » – « Coulis »	I. Tous procédés	4.1.1 Résistance à la charge statique	5.1.1 Résistance à la charge statique	6.1.1 Résistance à la charge statique	B.1.1 Essai de charge statique
				4.1.2 Résistance à la fatigue	5.1.2 Résistance à la fatigue	6.1.2 Résistance à la fatigue	B. 2.1 Essai de fatigue
				4.1.3 Transfert de charge à l'ouvrage	5.1.3 Transfert de charge à l'ouvrage	6.1.3 Transfert de charge à l'ouvrage	
				4.1.4 Coefficient de frottement	5.1.4 Coefficient de frottement	6.1.4 Coefficient de frottement	Par évaluation ou par essai : B.4 Pertes par frottement dans les ancrages B.6.1 Essai d'assemblage/ de pose/de mise en tension
				4.1.5 Déviation/ Déformation (limites)	5.1.5 Déviation/ Déformation (limites)	6.1.5 Déviation/ Déformation (limites)	B.5.1 Essai de charge statique du déviateur B.5.2 Essai sur câble dévié
				4.1.6 Faisabilité/ fiabilité de la mise en oeuvre	5.1.6 Faisabilité/ fiabilité de la mise en oeuvre	6.1.6 Faisabilité/ fiabilité de la mise en oeuvre	Par évaluation des procédures de pose ou par essai : B.6 Faisabilité/ fiabilité de la mise en oeuvre

Tableau 4.1 (suite)

			II. Procédés avec catégories d'utilisation optionnelles et procédés innovants				
			Câble avec possibilité de remise en tension	4.1.6 (a) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre	5.1.6 (a) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre	6.1.6 (a) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre	
			Câble remplaçable	4.1.6 (b) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre	5.1.6 (b) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre	6.1.6 (b) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre	
			Câble pour applications cryogéniques	4.1.6 © Résistance à la charge statique	5.1.6 © Résistance à la charge statique	6.1.6 © Résistance à la charge statique	B.1.3 Essai de charge statique cryogénique
			Câble intérieur adhérent avec conduit en plastique	4.1.6 (d) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre	5.1.6 (d) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre	6.1.6 (d) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre	B.6.2 Essai d'injection des conduits
			Câble étanche	4.1.6 (e) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre	5.1.6 (e) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre	6.1.6 (e) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre	B.6.4 Essai d'étanchéité
			Câble à isolation électrique	4.1.6 (f) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre	5.1.6 (f) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre	6.1.6 (f) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre	B.6.5 Essai de résistance électrique

Tableau 4.1 (suite)

			Câble pour constructions en acier ou mixtes	4.1.3 (g) Transfert de charge à l'ouvrage	5.1.3 (g) Transfert de charge à l'ouvrage	6.1.3 (g) Transfert de charge à l'ouvrage	En fonction de la conception
			Câble pour constructions en maçonnerie	4.1.3 (h) Transfert de charge à l'ouvrage	5.1.3 (h) Transfert de charge à l'ouvrage	6.1.3 (h) Transfert de charge à l'ouvrage	En fonction de la conception
			Câble pour constructions en bois	4.1.3 (i) Transfert de charge à l'ouvrage	5.1.3 (i) Transfert de charge à l'ouvrage	6.1.3 (i) Transfert de charge à l'ouvrage	En fonction de la conception
			Procédés innovants	4.1.6 (k) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre	5.1.6 (k) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre	6.1.6 (k) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre	Par évaluation ou par essai : B.6.1 Essai d'assemblage/de pose/de mise en tension B.6.2 Essai d'injection des conduits
2			Tous procédés	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet
3				4.3 Hygiène, santé et environnement	5.3 Hygiène, santé et environnement	6.3 Hygiène, santé et environnement	Par évaluation
4, 5, 6			Tous procédés	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet
Aspects liés à l'aptitude au service				4.7 Aspects liés à l'aptitude au service	5.7 Aspects liés à l'aptitude au service	6.7 Aspects liés à l'aptitude au service	Par évaluation

Remarque : EE = Exigences essentielles

Tableau 4.2 : Exigences relatives aux composants, méthodes de vérification et critères d'acceptation

Composant	EE	Référence spécifications		Méthodes de vérification		Critères d'acceptation	
		Norme	Annexe	Matériaux	Composants	Matériaux	Composants
Armatures de précontrainte	1	prEN 10138	Néant	prEN 10138	prEN 10138	prEN 10138	prEN 10138
Armatures de précontrainte monotorons	1	Néant	C.1	C.1.2	C.1.3	C.1.2	C.1.3
Gaines en feuillard d'acier	1	EN 523	Néant	EN 523	EN 524	EN 523	EN 523
Tubes en acier	1	prEN 10255 ISO 4200	Néant	prEN 10255 ISO 4200	prEN 10255 ISO 4200	prEN 10255 ISO 4200	prEN 10255 ISO 4200
Conduits en plastique lisses	1	prEN 12201	C.2	prEN 12201 et C.2.2	prEN 12201 et C.2.3	prEN 12201 et C.2.2	PrEN 12201 et C.2.3
Gaines en plastique annelées	1	Néant	C.3	C.3.2	C.3.3	C.3.2	C.3.3
Produits d'injection	Aspects liés à l'aptitude au service	EN 447	Néant	EN 445	EN 445	EN 447	EN 447
Graisse	Aspects liés à l'aptitude au service	Néant	C.4.1	C.4.1.2	Néant	C.4.1.2	Néant
Cire	Aspects liés à l'aptitude au service	Néant	C.4.2	C.4.2.2	Néant	C.4.2.2	Néant
Coulis spéciaux	Aspects liés à l'aptitude au service	Néant	C.4.3	C.4.3.2	C.4.3.3	C.4.3.2	C.4.3.3
Armatures de frettage	1	prEN 10080 EN 10025	Néant	prEN 10080 EN 10025	prEN 10080 EN 10025	prEN 10080 EN 10025	prEN 10080 EN 10025

EE = Exigences essentielles

Résistance mécanique et stabilité des procédés

Les exigences figurant au paragraphe 4.1 sont regroupées dans les parties I et II. La partie I énumère les exigences obligatoires s'appliquant à tous les procédés de précontrainte. La partie II indique les exigences complémentaires s'appliquant aux procédés de précontrainte, pour certaines catégories d'utilisation optionnelles, qui peuvent être définies comme des options par le candidat à l'ATE. Certaines de ces exigences complémentaires peuvent également s'appliquer aux procédés de précontrainte innovants utilisant des composants non normalisés, comme les gaines en plastique annelées pour câbles adhérents, spécifiées en annexe C.3. Les catégories d'utilisation optionnelles combinant les caractéristiques de plusieurs catégories d'utilisation doivent répondre aux exigences requises pour chaque catégorie (par exemple, le câble extérieur pour constructions en acier doit répondre aux exigences requises pour les câbles extérieurs et pour les câbles destinés aux constructions en acier).

Partie I : Exigences communes tous les procédés de précontrainte

4.1.1-I Résistance à la charge statique (de l'armature de précontrainte/de l'ancrage/du coupleur)

Les procédés de précontrainte doivent résister à un pourcentage spécifié de la résistance ultime à la traction de l'armature de précontrainte avec une déformation minimale, sans rupture prématurée des composants d'ancrage, sans déformation excessive des composants et sans mouvement relatif disproportionné entre les armatures de précontrainte et les composants d'ancrage.

4.1.2-I Résistance à la fatigue (de l'armature de précontrainte/de l'ancrage/du coupleur)

Les procédés de précontrainte doivent résister aux charges de fatigue spécifiées (résistance dynamique) sans dépasser un pourcentage spécifié de pertes en section de l'armature de précontrainte.

4.1.3-I Transfert de charge à l'ouvrage (ancrages mécaniques et ancrages adhérents)

Les procédés de précontrainte doivent pouvoir transférer un pourcentage spécifié de la résistance ultime à la traction de l'armature de précontrainte, de l'ancrage à l'ouvrage en béton d'une classe de résistance spécifiée, sans fissuration excessive de l'ouvrage et avec des déformations stabilisées dans un laps de temps donné.

4.1.4-I Coefficient de frottement

Les procédés de précontrainte doivent permettre l'application de charges de précontrainte précises aux ancrages, ainsi qu'une prévision fiable des charges dues aux pertes par frottement et aux effets de festonnage le long du câble, pendant la construction et toute la durée de vie de référence de l'ouvrage. La perte de précontrainte, due au recul d'ancrage, au frottement dans les ancrages et le long du tracé du câble, doit être connue (le domaine de validité et les coefficients de frottement et de festonnage recommandés doivent être indiqués, l'effet du coefficient de remplissage des conduits sur les valeurs doit être connu).

4.1.5-I Déviation/déformation (limites)

Les rayons de courbure minimum du câble doivent être spécifiés, afin de limiter à des valeurs acceptables les contraintes appliquées par le câble sur le béton, les pertes par frottement, l'usure du conduit ou de la gaine individuelle, les contraintes secondaires sur les armatures de précontrainte, etc.

Les déviations parasites et le festonnage des câbles, ainsi que les tolérances de pose des éléments, ne doivent pas réduire la résistance ultime à la traction des câbles définie aux paragraphes 4.1.1 à 4.1.3, ni influencer de manière excessive sur l'application des forces de précontrainte, définies en 4.1.4.

4.1.6-I Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre (p. ex., injection des conduits)

Les procédés de précontrainte doivent permettre une manutention, une pose, une mise en tension sûres et fiables, ainsi qu'une injection totale des conduits et des ancrages dans les ouvrages.

Partie II : Exigences complémentaires pour les catégories d'utilisation optionnelles et les procédés de précontrainte innovants

(a) Câble avec possibilité de remise en tension

4.1.6-II(a) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre (p. ex., injection des conduits)

Les procédés de précontrainte doivent permettre une remise en tension sûre et fiable du câble, à n'importe quel moment de la durée de vie de référence de l'ouvrage, sans en compromettre le système de protection contre la corrosion.

(b) Câble remplaçable

4.1.6-II(b) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre (p. ex., injection des conduits)

Les procédés de précontrainte doivent permettre un remplacement sûr et fiable du câble dans l'ouvrage, pendant la durée de vie de référence, tout en assurant une protection permanente et fiable contre la corrosion.

(c) Câble pour applications cryogéniques

4.1.6-II(c) Résistance à la charge statique (de l'armature de précontrainte/de l'ancrage/du coupleur)

Les températures extrêmes pour lesquelles le procédé de précontrainte a reçu l'agrément ne doivent pas altérer la résistance à la charge statique ni la résistance à la rupture des matériaux.

(d) Câble intérieur adhérent avec conduit en plastique

4.1.6-II(d) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre (p. ex., injection des conduits)

Les procédés de précontrainte doivent permettre un assemblage, une pose, une mise en tension et une injection des conduits fiables.

(e) Câble étanche

4.1.6-II(e) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre (p. ex., injection des conduits)

Les procédés de précontrainte doivent être suffisamment hermétiques pour assurer une étanchéité parfaite.

(f) Câble à isolation électrique

4.1.6-II(f) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre (p. ex., injection des conduits)

Les procédés de précontrainte doivent créer une résistance électrique suffisante entre les armatures de précontrainte et l'ouvrage pour être considérés comme pourvus d'une isolation électrique.

(g) Câble utilisable comme câble extérieur dans les constructions en acier ou mixtes

4.1.6-II(g) Transfert de charge à l'ouvrage

Les procédés de précontrainte doivent pouvoir transférer en toute sécurité un pourcentage spécifié de la résistance ultime à la traction de l'armature de précontrainte, de l'ancrage à l'ouvrage en acier ou mixte.

(h) Câble utilisable comme câble intérieur adhérent ou non adhérent ou comme câble extérieur dans les constructions en maçonnerie

4.1.6-II(h) Transfert de charge à l'ouvrage

Les procédés de précontrainte doivent pouvoir transférer en toute sécurité un pourcentage spécifié de la résistance ultime à la traction de l'armature de précontrainte, de l'ancrage à l'ouvrage en maçonnerie.

(i) Câble utilisable comme câble intérieur non adhérent ou comme câble extérieur dans les constructions en bois

4.1.6-II(i) Transfert de charge à l'ouvrage

Les procédés de précontrainte doivent pouvoir transférer en toute sécurité un pourcentage spécifié de la résistance ultime à la traction de l'armature de précontrainte, de l'ancrage à l'ouvrage en bois.

(k) Procédés innovants

4.1.6-II(k) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre (p. ex., injection des conduits)

Les procédés de précontrainte doivent permettre un assemblage, une pose, une mise en tension et une injection des conduits sûrs et fiables.

4.3 Sécurité en cas d'incendie

Sans objet.

4.4 Hygiène et environnement

Émission de substances dangereuses

Le produit ou procédé doit remplir, sous réserve d'être posé conformément aux dispositions appropriées des États membres, l'exigence essentielle 3 de la DPC, formulée dans les dispositions nationales des États membres. En particulier, il ne doit pas occasionner d'émissions nocives de gaz toxiques, de particules dangereuses ou de radiations dans l'environnement interne, ni de contamination dans l'environnement externe (air, sol ou eau).

4.5 Sécurité d'utilisation

Sans objet.

4.6 Protection contre le bruit

Sans objet.

4.7 Économie d'énergie et isolation thermique

Sans objet.

4.8 Aspects liés à l'aptitude au service

Sans objet, excepté pour les aspects liés à la durée de vie de référence (voir paragraphe 4.0), indiqués ci-dessous.

Protection des armatures de précontrainte, des composants d'ancrages, des coupleurs, des conduits, etc. pendant le transport, le stockage et la construction, afin de prévenir la corrosion et ses effets négatifs sur le frottement, en fonction du temps/de la durée d'exposition, de l'environnement, etc.

Les câbles doivent, dans tous les cas, faire l'objet d'une protection permanente contre la corrosion.

Les endroits où les câbles sont exposés à l'environnement, tels que les ancrages, les événements et les purges, etc. doivent être indiqués avec précision, afin de sceller et de protéger efficacement les armatures de précontrainte et les composants d'ancrages. Cette disposition s'applique également aux manchons de raccordement entre sections de gaines ainsi qu'aux ancrages, lorsqu'ils sont exposés.

La qualité du produit d'injection et la qualité d'exécution de l'injection des conduits sur chantier ont un effet majeur sur la qualité de la protection contre la corrosion, et donc sur la durabilité du procédé de précontrainte.

5 MÉTHODES DE VÉRIFICATION

5.1 Généralités

Le document de l'EOTA « Apport de données portant sur les évaluations nécessaires à l'obtention d'un ATE » [8] énumère les principes actuels d'acceptation des résultats d'essais.

Les caractéristiques matérielles réelles des composants à utiliser pour les essais (mécaniques, chimiques, métallurgiques, géométriques, autres si nécessaire) doivent être déterminées et documentées (voir « Apport de données portant sur les évaluations nécessaires à l'obtention d'un ATE » [8]) et doivent être conformes aux spécifications du candidat à l'ATE.

Les résultats des essais doivent être soumis par le candidat à l'ATE pour vérification des exigences obligatoires énumérées aux paragraphes 4.1.1-I à 4.1.3-I. Les essais réalisés avant la publication de cet ETAG sont acceptables si leurs procédures sont conformes à cet ETAG. L'analyse et la comparaison avec les expériences concluantes sont acceptables pour la vérification des exigences énumérées dans la partie I, paragraphes 4.1.4-I à 4.1.6-I, et dans la partie II, paragraphes 4.1.3. à 4.1.6., excepté pour les procédés innovants.

Les essais du procédé de précontrainte doivent donner lieu à un rapport d'essai, comprenant les informations suivantes :

- Déclaration signée du laboratoire ou de l'organisme ayant effectué ou assisté aux essais, attestant que les essais ont été réalisés conformément à cet ETAG.
- Certificats de tous les matériaux appropriés, démontrant leur conformité aux spécifications applicables. Caractéristiques réelles des composants (mécaniques, chimiques, métallurgiques, géométriques, autres si nécessaire) au moment de l'essai, et source de fabrication. Cela concerne en particulier les armatures de précontrainte, les composants d'ancrages, les conduits, le produit d'injection, l'armature, ainsi que le béton (l'acier, la maçonnerie ou le bois).
- Certificats d'étalonnage de l'équipement et des machines d'essai.
- Description et schéma du corps d'épreuve avec dimensions réelles.
- Description et schéma de l'installation d'essais et de l'équipement de mesure, avec certificat d'étalonnage.
- Description détaillée des procédures d'essai.
- Recueil de toutes les mesures et observations.
- Photographies du corps d'épreuve avant, pendant et après les essais.
- Date et lieu des essais.
- Nom et signature de la personne responsable des essais.
- Tous les essais d'une série, réalisés pour obtenir un ATE, doivent être consignés sur le rapport d'essai, qu'ils aient été réussis ou non.

Lorsque les Eurocodes sont mentionnés dans cet ETAG, en tant que méthodes de vérification des caractéristiques de certains produits, leur application dans cet ETAG ainsi que dans les ATE correspondants, émis ultérieurement selon cet ETAG, doit être conforme aux principes établis dans le Document guide de la CE sur l'utilisation des Eurocodes dans les spécifications techniques européennes harmonisées [9].

Les méthodes de vérification énumérées s'appliquent à la vérification d'une demande initiale d'ATE. Pour le renouvellement et la prolongation d'un ATE, les dispositions applicables sont les suivantes.

En cas de renouvellement d'un ATE, aucune nouvelle vérification n'est requise. Cependant, le renouvellement doit être accordé en fonction des rapports récapitulants les expériences précédentes (domaine d'utilisation, problèmes, etc.), présentés par le titulaire de l'ATE et par l'Organisme de certification à l'organisme d'agrément, et en fonction des autres informations recueillies par l'organisme d'agrément.

En cas d'extension d'un ATE déjà existant, la vérification peut être limitée aux modifications apportées depuis la délivrance de l'ATE et à la compatibilité de ces modifications avec l'ATE existant.

Le tableau 5.1 indique les correspondances entre le paragraphe de l' ETAG sur les performances du procédé de précontrainte, les caractéristiques du procédé de précontrainte et le paragraphe de l' ETAG sur la méthode de vérification en fonction de la catégorie d'utilisation. Le tableau 5.2 donne les références aux spécifications des composants, figurant en annexe C.

Tableau 5.1 : Correspondances entre le paragraphe de l' ETAG sur les performances du procédé de précontrainte, les caractéristiques du procédé de précontrainte et le paragraphe de l' ETAG sur la méthode de vérification en fonction de la catégorie d'utilisation.

Exigences essentielles	Application/catégorie d'utilisation	Paragraphe de l' ETAG pour la vérification du procédé de précontrainte
1	I. Tous procédés	5.1.1-I Résistance à la charge statique
		5.1.2-I Résistance à la fatigue
		5.1.3-I Transfert de charge à l'ouvrage
		5.1.4-I Coefficient de frottement
		5.1.5-I Déviation/déformation (limites)
		5.1.6 Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre
	II. Procédés avec catégories d'utilisation optionnelles et procédés innovants	
	Câble avec possibilité de remise en tension	5.1.6-II (a) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre
	Câble remplaçable	5.1.6-II (b) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre
	Câble pour applications cryogéniques	5.1.1-II (c) Résistance à la charge statique
	Câble intérieur adhérent avec conduit en plastique	5.1.6-II (d) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre
	Câble étanche	5.1.6-II (e) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre
	Câble à isolation électrique	5.1.6-II (f) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre
	Câble utilisable dans les constructions en acier ou mixtes	5.1.3-II (g) Transfert de charge à l'ouvrage
Câble utilisable dans les constructions en maçonnerie	5.1.3-II (h) Transfert de charge à l'ouvrage	
Câble utilisable dans les constructions en bois	5.1.3-II (i) Transfert de charge à l'ouvrage	
Procédés innovants	5.1.6-II (k) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre	
2	Tous procédés	5.1.6 (e) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre
3	Tous procédés	5.3 Hygiène et environnement
4, 5, 6	Tous procédés	Sans objet
Aspects liés à l'aptitude au service	Tous procédés	5.7 Aspects liés à l'aptitude au service

Tableau 5.2 : Méthodes de vérification pour les composants

Composant	Exigences essentielles	Méthodes de vérification	
		Matériaux	Composants
Armatures de précontrainte	1	prEN 10138	prEN 10138
Armatures de précontrainte monotorons	1	C.1.2	C.1.3
Gaines en feuillard d'acier	1	EN 523	EN 524
Tubes en acier	1	prEN 10255 ISO 4200	prEN 10255 ISO 4200
Conduits en plastique lisses	1	prEN 12201 et C.2.2	prEN 12201 et C.2.3
Gaines en plastique annelées	1	C.3.2	C.3.3
Produits d'injection	Aspects liés à l'aptitude au service	EN 445	EN 445
Graisse	Aspects liés à l'aptitude au service	C.4.1.2	Néant
Cire	Aspects liés à l'aptitude au service	C.4.2.2	Néant
Coulis spéciaux	Aspects liés à l'aptitude au service	C.4.3.2	C.4.3.3
Armatures de frettage	1	prEN 10080 EN 10025	prEN 10080 EN 10025

5.2 Résistance mécanique et stabilité des procédés

Le paragraphe 5.1 énumère les méthodes de vérification des exigences applicables pour la résistance mécanique et la stabilité des procédés de précontrainte, indiquées au paragraphe 4.1. Les critères d'acceptation correspondants sont indiqués au paragraphe 6.1.

Les méthodes de vérification figurant au paragraphe 5.1 sont regroupées dans les parties I et II, avec le même objectif que celui indiqué au paragraphe 4.1. Les méthodes de vérification figurant dans la partie II ne doivent être appliquées que si l'aspect en question a été défini comme catégorie d'utilisation optionnelle par le candidat à l'ATE.

Partie I : Méthodes obligatoires de vérification communes à tous les procédés de précontrainte

Les méthodes/essais de vérification suivants doivent être appliqués pour chaque type d'ancrage et de coupleur spécifié par le candidat à l'ATE.

5.2.1-I Résistance au chargement statique (de l'armature de précontrainte/de l'ancrage/du coupleur)

Essai de chargement statique/essai d'efficacité de l'ancrage → [Annexe B.1.1]

5.2.2-I Résistance à la fatigue (de l'armature de précontrainte, de l'ancrage et du coupleur)

Essai de fatigue ou dynamique → [Annexe B.2.1]

5.2.3-I Transfert de charge à l'ouvrage (ancrages mécaniques et adhérents)

Essai de transfert de charge → [Annexe B.3.1]

5.2.4-I Coefficient de frottement

- Les pertes par frottement sur le tracé du câble peuvent être évaluées par comparaison avec les valeurs indiquées dans les normes, ou en fonction du comportement observé lors des expériences précédentes (p. ex., valeurs enregistrées de mise en tension, essais de pesage, etc.). Si cette comparaison n'est pas possible, ou bien s'il n'existe pas d'expérience de ce type, les essais suivants sont requis :
 - essai d'assemblage/de pose/de mise en tension → [Annexe B.6.1].
- Les pertes par frottement dans les ancrages doivent être évaluées et documentées, en fonction de l'un des deux critères suivants :
 - expérience d'autres chantiers (voir rapport de la FIP « Mise en tension de câbles : relation force/allongement » [27] ;
 - essai de pertes par frottement dans les ancrages → [Annexe B.4].

Le candidat à l'ATE doit déclarer comment ces pertes ont été mesurées/déterminées, et doit déclarer si ces pertes sont prises en compte ou non dans l'étalonnage de l'équipement de mise en tension.

5.2.5-I Déviation (limites)

- Les rayons de courbure des câbles intérieurs adhérents doivent être fondés sur le comportement observé lors des expériences précédentes ou sur les valeurs indiquées dans les normes.
- Les rayons de courbure des câbles extérieurs dans les déviateurs doivent être conformes à ENV 1992-1-5. Des rayons de courbure inférieurs peuvent être acceptés si la capacité du câble a été évaluée lors de l'essai de chargement statique du déviateur → [Annexe B.5.1].
- L'usure du conduit, et en particulier de la gaine individuelle des armatures de précontrainte monotonons pour câbles extérieurs, doit être évaluée en fonction du comportement observé lors des expériences précédentes. S'il n'existe pas d'expérience de ce type, ou si elle n'est pas considérée comme suffisante pour confirmer l'efficacité et la fiabilité de la protection contre la corrosion du câble dans le déviateur, un essai doit être effectué sur le câble dévié → [Annexe B.5.2].

5.2.6-I **Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre** (p. ex., injection des conduits)

Examen des procédures de pose du procédé.

Les effets à évaluer sont les suivants :

- respect de toutes les procédures concernant les opérations de pose prévues ;
- marges de tolérance dans la pose ;
- influence sur les performances du procédé de précontrainte de l'oxydation et de la poussière sur le chantier ;
- mise en oeuvre facile et fiable du béton à l'arrière des ancrages ;
- influence sur les activités spécifiques des conditions ambiantes extrêmes (humidité, sécheresse, chaleur, froid, etc.) ;
- possibilité de contrôler par étape la mise en tension, la force et l'allongement ;
- possibilité de mettre simultanément en tension toutes les armatures de précontrainte ;
- détension des câbles (partielle ou totale) pendant les opérations de mise en tension ;
- probabilité d'une distribution relativement uniforme de la force de précontrainte entre les armatures de précontrainte ;
- faisabilité de l'injection des conduits, en particulier détails, tels que la taille et l'emplacement des événements et la résistance contre les dommages accidentels survenant pendant la construction ;
- taux d'injection des conduits permettant une pose fiable des armatures de précontrainte.

En général, la vérification peut se baser sur la conception/l'appréciation/l'expérience acquise/les références. Cependant, lorsqu'on manque d'expérience pour un type de procédé, la vérification doit être fondée sur les essais → [Annexe B.6].

Partie II : Méthodes complémentaires de vérification pour les catégories d'utilisation optionnelles et les procédés de précontrainte innovants

Ces méthodes de vérification ne doivent être appliquées que si l'aspect en question a été défini comme une catégorie d'utilisation optionnelle par le candidat à l'ATE.

(a) Câble avec possibilité de remise en tension

5.2.6-II(a) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre (p. ex., injection des conduits)

En fonction de la conception/de l'appréciation, de l'expérience acquise ou des références. Si l'appréciation n'est pas considérée comme suffisante, et s'il n'existe pas d'expérience précédente ou de référence, la possibilité de remise en tension des câbles extérieurs peut être démontrée à l'aide de l'installation d'essais sur câble dévié, en simulant une remise en tension → [Annexe B.5.2, essai A].

Pour les câbles intérieurs avec possibilité de remise en tension, l'essai d'assemblage, de pose et de mise en tension peut être utilisé pour la vérification, en simulant une remise en tension → [Annexe B.6.1].

La résistance du système de protection contre la corrosion doit être vérifiée lorsque des déviations parasites ne peuvent pas être évitées ou lorsque de petites déviations, n'excédant pas 1 degré, sont autorisées sans disposition particulière sur la selle du déviateur spécifique → [Annexe B.5.2, essai B].

(b) Câble remplaçable

5.2.6-II(b) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre (p. ex., injection des conduits)

Essai de remplacement d'un câble, pour câbles extérieurs ou pour câbles intérieurs non adhérents → [Annexe B.6.3]

En fonction de la conception, de l'appréciation, de l'expérience acquise et des références.

(c) Applications cryogéniques

5.2.6-II(c) Résistance sous charge statique (de l'armature de précontrainte/de l'ancrage/du coupleur)

Essai cryogénique → [Annexe B.1.2]

(d) Câble intérieur adhérent avec conduit en plastique

5.2.6-II(d) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre (p. ex., injection des conduits)

Essai d'assemblage, de pose et de mise en tension → [Annexe B.6.1]

Essai d'injection des conduits → [Annexe B.6.2]

En fonction de la conception, de l'appréciation, de l'expérience acquise et des références.

(e) Câble étanche

5.2.6-II(e) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre (p. ex., injection des conduits)

Essai d'étanchéité → [Annexe B.6.4]

En fonction de la conception, de l'appréciation, de l'expérience acquise et des références.

(f) Câble à isolation électrique

5.2.6-II(f) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre (p. ex., injection des conduits)

Essai de résistance électrique → [Annexe B.6.5]

En fonction de la conception, de l'appréciation, de l'expérience acquise et des références.

(g) Câble utilisable comme câble extérieur dans les constructions en acier ou mixtes

5.2.6-II(g) Transfert de charge à l'ouvrage

En fonction de la conception de la zone d'introduction de la charge, conformément à l'Eurocode 3 Calcul des structures en acier [12] et/ou à l'Eurocode 4 Calcul des structures mixtes acier-béton [13] ou des réglementations nationales équivalentes.

(h) Câble utilisable comme câble intérieur adhérent ou non adhérent ou comme câble extérieur dans les constructions en maçonnerie

5.2.6-II(h) Transfert de charge à l'ouvrage

En fonction de la conception de la zone d'introduction de la charge, conformément à l'Eurocode 6 Calcul des ouvrages en maçonnerie [15] ou des réglementations nationales équivalentes.

(i) Câble utilisable comme câble intérieur non adhérent ou comme câble extérieur dans les constructions en bois

5.2.6-II(i) Transfert de charge à l'ouvrage

En fonction de la conception de la zone d'introduction de la charge, conformément à l'Eurocode 5 Calcul des structures en bois [14] ou des réglementations nationales équivalentes.

(k) Procédés innovants

5.2.6-II(k) Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre (p. ex., injection des conduits)

Essai d'assemblage, de pose et de mise en tension → [Annexe B.6.1]

Essai d'injection des conduits → [Annexe B.6.2]

5.3 Sécurité en cas d'incendie

Sans objet.

5.4 Hygiène et environnement

Émission de substances dangereuses :

5.4.1 – Présence de substances dangereuses dans le produit

Le candidat doit présenter une déclaration écrite attestant que le produit ou procédé contient ou non des substances dangereuses, conformément aux réglementations européennes et nationales, si cela est obligatoire dans les États membres de destination, et énumérer ces substances.

5.4.2 – Conformité aux réglementations applicables

Si le produit ou procédé contient des substances dangereuses, comme indiqué ci-dessus, l'ATE doit mentionner la ou les méthode(s) utilisée(s) pour démontrer la conformité aux réglementations applicables dans les États membres de destination, conformément à la base de données actualisée de l'UE (méthode(s) concernant la teneur ou l'émission, selon le cas).

5.4.3 – Application du principe de précaution

Un membre de l'EOTA a la possibilité de transmettre aux autres membres, par l'intermédiaire du secrétaire général, un avertissement concernant des substances qui, d'après les autorités sanitaires de son pays, sont considérées comme dangereuses, en raison de preuves scientifiques évidentes, mais qui ne sont pas encore réglementées. Des références complètes concernant ces preuves doivent être fournies.

Lorsque ces informations font l'objet d'un accord, elles sont conservées dans une base de données de l'EOTA et transmises aux services de la Commission.

Les informations figurant dans cette base de données de l'EOTA sont également communiquées à tout candidat à l'ATE.

En fonction de ces informations, un protocole d'évaluation du produit, concernant cette substance, peut être établi à la demande du fabricant, avec la participation de l'organisme d'agrément qui a soulevé la question.

5.5 Sécurité d'utilisation

Sans objet.

5.6 Protection contre le bruit

Sans objet.

5.7 Économie d'énergie et isolation thermique

Sans objet.

5.8 Aspects liés à l'aptitude au service

La protection des armatures de précontrainte, des composants d'ancrages, des coupleurs, des conduits, etc. pendant le transport, le stockage et la construction, afin de prévenir la corrosion et ses effets négatifs sur le frottement, doit être évaluée selon les méthodes indiquées dans le guide du candidat à l'ATE.

La protection permanente contre la corrosion doit être évaluée en fonction des schémas d'assemblage du procédé de précontrainte et des méthodes indiquées, en veillant tout particulièrement aux points de scellement sur les ancrages, aux manchons de raccordement entre conduits ainsi qu'aux ancrages et coupleurs, et à l'injection des conduits sur chantier.

La protection permanente contre la corrosion des pièces exposées doit être évaluée en fonction du traitement de surface et des mesures d'entretien spécifiés dans le guide du candidat à l'ATE.

6 ÉVALUATION ET APPRÉCIATION DE L'APTITUDE À L'USAGE

6.1 Généralités

Ce chapitre énumère les exigences de performance à remplir pour les procédés de précontrainte indiquées au chapitre 4, en termes précis et mesurables ou qualitatifs, en utilisant les méthodes de vérification indiquées au chapitre 5. En ce qui concerne l'étendue et la précision de la vérification, l'organisme d'agrément doit examiner si l'évaluation concerne des procédés, des composants et des matériaux connus de longue date ou s'il s'agit de procédés de précontrainte innovants, de composants et de matériaux nouveaux.

L'évaluation et l'appréciation des exigences obligatoires énumérées dans la partie I, paragraphes 4.1.1-I à 4.1.3-I doivent être fondées sur les résultats d'essais appropriés, fournis par le candidat à l'ATE. Toutefois, une justification par le calcul peut être acceptée pour l'interpolation entre différentes tailles d'ancrages et de coupleurs présentant une conception similaire. Cette interpolation basée sur le calcul doit permettre de vérifier que les contraintes dans les composants d'ancrages et de coupleurs, ainsi que dans le béton ne sont pas supérieures à celles effectivement obtenues lors des essais (voir paragraphe 5.0 pour l'acceptation des laboratoires d'essais).

Le nombre d'essais que le candidat de l'ATE doit présenter est indiqué au tableau 6.3. Pour les grandes séries d'ancrages de tailles différentes, en général trois tailles seront soumises à chaque essai obligatoire de 6.1.1-I à 6.1.3-I, soit une petite taille, une moyenne et une grande taille. Toutefois, pour les séries plus petites, comportant au maximum cinq tailles différentes d'ancrages ou de coupleurs, au moins deux tailles seront testées. La taille moyenne d'ancrage ou de coupleur peut alors être remplacée par la grande taille d'ancrage ou de coupleur. Tous les essais doivent satisfaire aux critères d'acceptation. Si un essai n'est pas concluant, deux autres essais identiques doivent être réalisés avec succès.

Le tableau 6.1 indique la correspondance entre les performances à évaluer des procédés de précontrainte et les catégories d'utilisation. Le tableau 6.2 donne les références des critères d'acceptation pour les composants.

Tableau 6.1 : Correspondance entre les performances à évaluer des procédés de précontrainte et les catégories d'utilisation

Exigences essentielles	Application/catégorie d'utilisation	Paragraphe de l' ETAG sur l'évaluation et l'appréciation de l'aptitude à l'usage des procédés de précontrainte
1	I. Tous procédés	6.1.1-I Résistance au chargement statique
		6.1.2-I Résistance à la fatigue
		6.1.3-I Transfert de charge à l'ouvrage
		6.1.4-I Coefficient de frottement
		6.1.5-I Déviation (limites)
		6.1.6-I Faisabilité/fiabilité de la mise en oeuvre
	II. Procédés avec catégories d'utilisation optionnelles et procédés innovants	
	Câble avec possibilité de remise en tension	6.1.6-II (a) Faisabilité et fiabilité de la mise en oeuvre
	Câble remplaçable	6.1.6-II (b) Faisabilité et fiabilité de la mise en oeuvre
	Câble pour applications cryogéniques	6.1.1-II (c) Résistance à la charge statique
	Câble intérieur adhérent avec conduit en plastique	6.1.6-II (d) Faisabilité et fiabilité de la mise en oeuvre
	Câble étanche	6.1.6-II (e) Faisabilité et fiabilité de la mise en oeuvre
	Câble à isolation électrique	6.1.6-II (f) Faisabilité et fiabilité de la mise en oeuvre
	Câble utilisable dans les constructions en acier ou mixtes	6.1.3-II (g) Transfert de charge à l'ouvrage
Câble utilisable dans les constructions en maçonnerie	6.1.3-II (h) Transfert de charge à l'ouvrage	
Câble utilisable dans les constructions en bois	6.1.3-II (i) Transfert de charge à l'ouvrage	
Procédés innovants	6.1.6-II (k) Faisabilité et fiabilité de la mise en oeuvre	
2	Tous procédés	Sans objet
3	Tous procédés	6.3 Hygiène et environnement
4, 5, 6	Tous procédés	Sans objet
Aspects liés à l'aptitude au service	Tous procédés	6.7 Aspects liés à l'aptitude au service

Tableau 6.2 : Critères d'acceptation pour les composants

Composant	Exigences essentielles	Méthodes de vérification	
		Matériaux	Composants
Armatures de précontrainte	1	prEN 10138	prEN 10138
Armatures de précontrainte monotorons	1	C.1.2	C.1.3
Gaines en feuillard d'acier	1	EN 523	EN 523
Tubes en acier	1	prEN 10255 ISO 4200	prEN 10255 ISO 4200
Conduits en plastique lisses	1	prEN 12201 et C.2.2	prEN 12201 et C.2.3
Gaines en plastique annelées	1	C.3.2	C.3.3
Produits d'injection	Aspects liés à l'aptitude au service	EN 447	EN 447
Graisse	Aspects liés à l'aptitude au service	C.4.1.2	Néant
Cire	Aspects liés à l'aptitude au service	C.4.2.2	Néant
Coulis spéciaux	Aspects liés à l'aptitude au service	C.4.3.2	C.4.3.3
Armatures de frettage	1	prEN 10080 EN 10025	prEN 10080 EN 10025

Résistance mécanique et stabilité des procédés

Le paragraphe 6.1 énumère les critères d'acceptation à respecter dans les méthodes de vérification pour satisfaire aux exigences de résistance mécanique et de stabilité des procédés de précontrainte, indiquées au paragraphe 4.1.

Les critères d'acceptation figurant au paragraphe 6.1 sont regroupés dans les parties I et II, avec les mêmes objectifs que ceux indiqués au paragraphe 4.1.

Partie I : Critères d'acceptation pour les exigences obligatoires, applicables à tous les procédés de précontrainte

6.2.1-I Résistance à la charge statique (de l'armature de précontrainte, de l'ancrage et du coupleur)

Le nombre d'essais est spécifié au tableau 6.3. La procédure d'essai est spécifiée en annexe B.1.1.

Les critères d'acceptation sont les suivants :

- La charge maximale mesurée ne doit pas être inférieure à 95 % de la résistance ultime réelle $A_{pm} f_{pm}$, c'est-à-dire qu'elle doit assurer une efficacité d'ancrage de 95 %, et ne doit pas être inférieure à 95 % de la résistance caractéristique spécifiée $A_p f_{pk}$, des armatures de précontrainte.
- La déformation ε_{Tu} des armatures de précontrainte sur la longueur libre, sous la charge maximale mesurée, doit être au moins 2 %.
- La rupture se produit par rupture des armatures de précontrainte. La rupture du câble ne doit pas être causée par la rupture des composants d'ancrage.
- Les déformations résiduelles des composants d'ancrage, après les essais, doivent confirmer la fiabilité de l'ancrage.
- Le déplacement relatif entre les composants d'ancrage, ainsi qu'entre les armatures de précontrainte et les composants d'ancrage, doit diminuer avec l'augmentation de la charge du câble, jusqu'à 80 % de la résistance caractéristique des armatures de précontrainte.
- Lorsque la charge est maintenue à 80 % de la résistance caractéristique des armatures de précontrainte, les mouvements relatifs mentionnés au paragraphe précédent, ainsi que les déformations Δt et Δz , pour les câbles extérieurs, doivent se stabiliser dans les 30 premières minutes.

6.2.2-I Résistance à la fatigue (de l'armature de précontrainte, de l'ancrage et du coupleur)

Le nombre d'essais est spécifié au tableau 6.3. La procédure d'essai est spécifiée en annexe B.2.

Pour les ancrages adhérents, le corps d'épreuve doit être fabriqué en béton, avec la plus petite résistance moyenne du béton au moment de la mise en tension $f_{cm,0}$ déclarée par le candidat à l'ATE.

Les critères d'acceptation sont les suivants :

- Aucune rupture par fatigue ne doit se produire dans les composants d'ancrage.
- La perte maximale autorisée à la section d'une armature de précontrainte est de 5 % lors des essais de fatigue sur 2 millions de cycles, avec une amplitude de contrainte minimale de $\Delta\sigma_p = 80$ MPa et avec une charge maximale de 65 % de la résistance caractéristique de l'armature de précontrainte F_{pk} .

6.2.3-I Transfert de charge à l'ouvrage (ancrages mécaniques et ancrages adhérents)

Le nombre d'essais est spécifié au tableau 6.3. Le nombre total d'essais de transfert de charge par type d'ancrage et de coupleur, pour la plus petite résistance moyenne du béton au moment de la mise en tension $f_{cm,0}$, déclarée par le candidat à l'ATE, doit être de quatre : une petite taille, une taille moyenne et deux grandes tailles de câble doivent être testées. Pour la plus grande résistance moyenne du béton au moment de la mise en tension $f_{cm,0}$, déclarée par le candidat à l'ATE, une autre série d'essais

doit être effectuée. S'il existe plus de deux résistances déclarées, et si la plus petite et la plus grande résistance moyenne du béton au moment de la mise en tension $f_{cm,0}$ diffèrent de plus de 20 MPa, une autre série d'essais avec une résistance moyenne du béton au moment de la mise en tension $f_{cm,0}$ intermédiaire est requise. Les résistances moyennes du béton au moment de la mise en tension doivent de préférence être choisies dans les classes de résistance du béton énumérées dans l'Eurocode 2 [11] ou doivent être liées à ces classes de résistance du béton, par exemple en pourcentage de la résistance caractéristique f_{ck} . La procédure d'essai est spécifiée en annexe B.3.

Les critères d'acceptation sont les suivants :

- Largeurs de fissures max w :
 - en atteignant pour la première fois la charge maximale de 80 % de la résistance caractéristique de l'armature de précontrainte, largeur 0,15 mm au plus ;
 - en atteignant pour la dernière fois la charge minimale de 12 % de la résistance caractéristique de l'armature de précontrainte, largeur 0,15 mm au plus ;
 - en atteignant pour la dernière fois la charge maximale de 80 % de la résistance caractéristique de l'armature de précontrainte, largeur 0,25 mm au plus.
- Les enregistrements des fissures longitudinales et transversales doivent se stabiliser pendant le chargement cyclique.
- Les enregistrements des largeurs de fissures doivent se stabiliser pendant le chargement cyclique.
- Les ancrages mécaniques doivent avoir au moins la force ultime mesurée suivante :

$$F_u \geq 1,1 F_{pk} (f_{cm,e}/f_{cm,0})$$

- Les ancrages adhérents doivent avoir au moins la force ultime mesurée suivante :

$$F_u \geq 1,1 F_{pk} (f_{cm,e}/f_{cm,0})$$

- Le glissement des ancrages adhérents doit se stabiliser pendant le chargement cyclique.

6.2.4-1 Coefficient de frottement

- Pertes par frottement le long du tracé du câble

L'appréciation par comparaison avec les valeurs indiquées dans les normes ou avec le comportement observé lors des expériences précédentes peut être considérée comme suffisante pour les procédés comprenant des composants habituellement utilisés.

Si les valeurs indiquées dans les normes ne sont pas applicables et si aucune expérience n'est disponible, les essais d'assemblage, de pose et de mise en tension doivent être effectués pour la combinaison câble-conduit spécifiée par le candidat à l'ATE. Le nombre d'essais est spécifié au tableau 6.3. La procédure d'essai est spécifiée en annexe B.6.1.

Les critères d'acceptation sont les suivants :

Les coefficients de frottement et de festonnage spécifiés par le candidat à l'ATE doivent être compris entre les valeurs habituellement indiquées dans les normes, par exemple dans le document [11], ou utilisées avec succès dans l'industrie depuis un certain temps, pour des combinaisons câble-conduit comparables, ou bien encore être conformes aux résultats des essais relatifs à la combinaison câble-conduit spécifiée.

- Pertes par frottement dans les ancrages

L'expérience bien documentée sur d'autres chantiers peut être prise en compte. Si elle n'en existe pas, des mesures de pertes par frottement dans les ancrages doivent être effectuées. Le nombre d'essais est spécifié au tableau 6.3. La procédure d'essai est spécifiée en annexe B.4.

Les critères d'acceptation sont les suivants :

Les pertes par frottement dans les ancrages spécifiées par le candidat à l'ATE doivent être comprises parmi les valeurs observées sur les autres chantiers, ou parmi celles mesurées lors d'essais.

6.2.5-I Déviation (limites)

- L'appréciation des rayons de courbure minimaux pour les câbles intérieurs adhérents et non adhérents, et pour les câbles extérieurs, fondée sur le calcul, l'expérience et la comparaison avec les comportements observés ayant donné satisfaction ou les valeurs spécifiées dans les normes, peut être suffisante pour les procédés de précontrainte comprenant des composants habituellement utilisés, et dont on possède une longue expérience concluante.

Les critères d'acceptation sont les suivants :

Les rayons de courbure minimaux doivent être compris entre les valeurs observées dans les expériences précédentes concluantes ou dans les limites spécifiées dans les normes, par exemple ENV 1992-1-5.

- Pour les câbles extérieurs dont les rayons de courbure minimaux ne sont pas conformes à ENV 1992-1-5, des essais de charge statique du déviateur doivent être effectués. Le nombre d'essais est spécifié au tableau 6.3. La procédure d'essai est spécifiée en annexe B 5.1.

Les critères d'acceptation sont les suivants :

- La charge maximale mesurée ne doit pas être inférieure à 95 % de la résistance ultime réelle $A_{pm} f_{pm}$, ni être inférieure à 95 % de la résistance caractéristique spécifiée $A_p f_{pk}$ des armatures de précontrainte.
- La déformation totale ε_{Tu} sur la longueur libre du câble, avec la charge maximale mesurée, doit être au moins égale à 2 %.
- La rupture du câble se produit par rupture des armatures de précontrainte. La rupture du câble ne doit pas être causée par la rupture des composants du déviateur.
- L'appréciation de l'usure du conduit de câble extérieur ou de la gaine individuelle de l'armature de précontrainte, fondée sur l'expérience et la comparaison avec les comportements observés ayant donné satisfaction, peut être considérée comme suffisante. S'il n'existe rien de tel, des essais sur câble dévié doivent être effectués. Le nombre d'essais est spécifié au tableau 6.3. La procédure d'essai est spécifiée en annexe B 5.2.

Les critères d'acceptation sont les suivants :

- La gaine de l'armature individuelle de précontrainte, si elle existe, ne doit pas être déchirée ni arrachée.
- Le conduit général du câble en contact avec les armatures de précontrainte ne doit pas être déchiré.
- Dans les deux cas, la paroi du conduit ou l'épaisseur de la gaine résiduelle minimale après les essais ne doit pas être inférieure à 50 % de l'épaisseur initiale de la paroi, ni inférieure à 0,8 mm quand il s'agit d'une gaine plastique.

6.2.6-I Faisabilité et fiabilité de la mise en oeuvre (p. ex., injection des conduits)

L'appréciation et l'expérience acquise sont suffisantes pour les procédés de précontrainte comprenant des composants habituels, installés selon les techniques de pose traditionnelles dont l'expérience a démontré qu'elles étaient appropriées.

Les critères d'acceptation sont les suivants :

Les procédures concernant les opérations de pose prévues pour le procédé doivent être décrites avec suffisamment de précision pour permettre d'apprécier leur faisabilité et leur fiabilité. Les valeurs,

hypothèses et méthodes spécifiées doivent être comprises parmi les valeurs tirées d'expériences concluantes dans l'industrie pour des procédés de précontrainte comparables.

Si les essais s'avèrent nécessaires, voir le nombre d'essais spécifié au tableau 6.3. La procédure d'essai est spécifiée en annexe B.6.

Les critères d'acceptation sont les suivants :

Les résultats des essais doivent démontrer la faisabilité et la fiabilité des procédures de pose proposées.

Partie II : Critères d'acceptation pour les exigences complémentaires, applicables aux catégories d'utilisation optionnelles et aux procédés de précontrainte innovants

(a) Câble avec possibilité de remise en tension

6.2.6-II(a) Faisabilité et fiabilité de la mise en oeuvre (p. ex., injection des conduits)

En fonction de l'appréciation et de l'expérience acquise. Si celles-ci ne sont pas considérées comme suffisantes, un essai sur câble dévié (pour les câbles extérieurs), comme spécifié en annexe B.5.2, ou un essai d'assemblage/de pose/de mise en tension (pour les câbles intérieurs), comme spécifié en annexe B.6.1, doit être effectué, en simulant une remise en tension. Le nombre d'essais est spécifié au tableau 6.3.

Les critères d'acceptation sont les suivants :

Démontrer la faisabilité de la méthode proposée.

Les essais conformes à l'annexe B.5.2 doivent satisfaire aux critères d'acceptation suivants :

- La gaine individuelle des monotorons doit avoir, après les essais, une épaisseur de paroi résiduelle minimale au moins égale à 50 % de l'épaisseur de paroi initiale et au moins 1,0 mm.
- Le conduit du câble doit avoir, après les essais, une épaisseur de paroi résiduelle minimale au moins égale à 75 % de l'épaisseur de paroi initiale et au moins 2,0 mm.
- Il ne doit pas y avoir de fuite de graisse sur le conduit du câble.
- Les armatures de précontrainte ne doivent pas être endommagées.
- Les autres particularités de procédés exclusifs, telles que l'acceptation des déformations pour la protection contre la corrosion, doivent être évaluées séparément.

Les essais conformes à l'annexe B.6.1 doivent satisfaire à des critères d'acceptation comparables à ceux décrits ci-dessus, s'ils sont applicables.

(b) Câble remplaçable

6.2.6-II(b) Faisabilité et fiabilité de la mise en oeuvre (p. ex., injection des conduits)

Si l'appréciation ou l'expérience acquise ne sont pas considérées comme suffisantes, un essai de remplacement de câble, pour les câbles non adhérents extérieurs ou intérieurs, doit être effectué, comme spécifié en annexe B.6.3. Le nombre d'essais est spécifié au tableau 6.3.

Les critères d'acceptation sont les suivants :

Démontrer de manière cohérente la faisabilité de la méthode proposée.

(c) Applications cryogéniques

6.2.6-II(c) Résistance au chargement statique (de l'armature de précontrainte, de l'ancrage et du coupleur)

La plus grande taille de câble doit être testée, dans la mesure du possible, avec le matériel d'essai disponible. La procédure d'essai est spécifiée en annexe B.1.2. Le nombre d'essais est spécifié au tableau 6.3.

Les critères d'acceptation sont les suivants :

- La charge maximale mesurée ne doit pas être inférieure à 95 % de la résistance ultime réelle $A_{pm} f_{pm}$, c'est-à-dire qu'elle doit assurer une efficacité d'ancrage de 95 %, et ne doit pas être inférieure à 95 % de la résistance caractéristique spécifiée $A_p f_{pk}$, à température ambiante.
- La déformation totale ε_{Tu} des armatures de précontrainte sur la longueur libre, avec la charge maximale mesurée, doit être déclarée.
- La rupture se produit par rupture des armatures de précontrainte. La rupture des câbles ne doit pas être causée par la rupture des composants d'ancrage.
- Les déformations résiduelles des composants d'ancrage, après les essais, doivent confirmer la fiabilité de l'ancrage.
- Le déplacement relatif entre les composants d'ancrage, ainsi qu'entre les armatures de précontrainte et les composants d'ancrage, avant abaissement de la température jusqu'au niveau cryogénique, doit diminuer proportionnellement à l'augmentation de la charge du câble, jusqu'à 80 % de la résistance caractéristique des armatures de précontrainte.

(d) Câble intérieur adhérent avec conduit en plastique

6.2.6-II(d) Faisabilité et fiabilité de la mise en oeuvre (p. ex., injection des conduits)

Si l'appréciation et l'expérience acquise ne sont pas considérées comme suffisantes, un essai d'assemblage, de pose et de mise en tension, comme spécifié en annexe B.6.1, ainsi qu'un essai d'injection des conduits, comme spécifié en annexe B.6.2, doivent être effectués. Le nombre d'essais est spécifié au tableau 6.3.

Les critères d'acceptation sont les suivants :

- Démontrer que les valeurs et les hypothèses de conception, telles que les coefficients de frottement, sont respectées de manière cohérente.
- Démontrer la faisabilité de la méthode d'assemblage, de pose et de mise en tension proposée.
- L'injection des conduits doit être effectuée de telle sorte que les vides locaux dans toute section d'un conduit ne représentent pas plus de 5 % de celle-ci. Il convient d'utiliser un produit d'injection d'une qualité correspondante.
- L'épaisseur de paroi résiduelle du conduit, après usure, ne doit pas être inférieure à 1 mm lors de l'essai de mise en tension.

(e) Câble étanche

6.2.6-II(e) Faisabilité et fiabilité de la mise en oeuvre (p. ex., injection des conduits)

Si l'appréciation et l'expérience acquise ne sont pas considérées comme suffisantes, un essai d'étanchéité, comme spécifié en annexe B.6.4, doit être effectué. Le nombre d'essais est spécifié au tableau 6.3.

Les critères d'acceptation sont les suivants :

- Démontrer de manière cohérente que les valeurs et les hypothèses de conception sont respectées.
- Démontrer de manière cohérente la faisabilité de la méthode proposée.
- La perte de pression pendant une durée d'essai de 5 minutes ne doit pas dépasser 10 % de la pression initiale.

(f) Câble à isolation électrique

6.2.6-II(f) Faisabilité et fiabilité de la mise en oeuvre (p. ex., injection des conduits)

Si l'appréciation et l'expérience acquise ne sont pas considérées comme suffisantes, un essai de résistance électrique, comme spécifié en annexe B.6.5, doit être effectué. Le nombre d'essais est spécifié au tableau 6.3.

Les critères d'acceptation sont les suivants :

- Démontrer de manière cohérente que les valeurs et les hypothèses de conception sont respectées.
- Démontrer de manière cohérente la faisabilité de la méthode proposée.
- La résistance électrique entre les armatures de précontrainte et l'ouvrage (mesurée sur la cage en armatures d'acier) ne doit pas être inférieure à 1 k Ω .

(g) Câble utilisable comme câble extérieur dans les constructions en acier ou mixtes

6.2.6-II(g) Transfert de charge à l'ouvrage

Conception des composants en acier assurant l'ancrage du procédé de précontrainte, conforme à l'Eurocode 3 [12] ou aux réglementations nationales équivalentes.

Les critères d'acceptation sont les suivants :

Les tensions et déformations dans les composants en acier de construction assurant l'ancrage du procédé de précontrainte, à la force de tension maximale spécifiée, doivent être comprises dans les limites autorisées par l'Eurocode 3 Calcul des structures en acier [12]. Les composants assurant l'ancrage du procédé de précontrainte doivent avoir au moins une résistance nominale de $1,1 F_{pk}$.

(h) Câble utilisable comme câble intérieur adhérent ou non adhérent ou câble extérieur dans les constructions en maçonnerie

6.2.6-II(h) Transfert de charge à l'ouvrage

Conception de la zone d'introduction de la charge dans la maçonnerie assurant l'ancrage du procédé de précontrainte, conforme à l'Eurocode 6 [15] ou aux réglementations nationales équivalentes.

Les critères d'acceptation sont les suivants :

Les contraintes dans la zone d'introduction de la charge dans la maçonnerie, à la force de tension maximale spécifiée, doivent être comprises dans les limites autorisées par l'Eurocode 6 Calcul des ouvrages en maçonnerie [15]. La zone d'introduction de la force dans la maçonnerie doit avoir une résistance nominale de $1,1 F_{pk}$.

(i) Câble utilisable comme câble intérieur non adhérent ou câble extérieur dans les constructions en bois

6.2.6-II(i) Transfert de charge à l'ouvrage

Conception de la zone d'introduction de la charge dans le bois assurant l'ancrage du procédé de précontrainte, conforme à l'Eurocode 5 [14] ou aux réglementations nationales équivalentes.

Les critères d'acceptation sont les suivants :

Les tensions dans la zone d'introduction de la charge dans le bois, à la force de tension maximale spécifiée, doivent être comprises dans les limites autorisées par l'Eurocode 5 Calcul des structures en bois [14]. La zone d'introduction de la charge dans le bois doit avoir une force nominale de $1,1 F_{pk}$.

(k) Procédés innovants

6.2.6-II(k) Faisabilité et fiabilité de la mise en oeuvre (p.ex., injection des conduits)

Si l'appréciation et l'expérience acquise ne sont pas considérées comme suffisantes, un essai d'assemblage, de pose et de mise en tension, comme spécifié en annexe B.6.1, ainsi qu'un essai d'injection des conduits, comme spécifié en annexe B.6.2, doivent être effectués. Le nombre d'essais est spécifié au tableau 6.3.

Les critères d'acceptation sont les suivants :

Démontrer de manière cohérente la faisabilité de la méthode proposée.

6.3 Sécurité en cas d'incendie

Sans objet.

6.4 Hygiène et environnement

Émission de substances dangereuses :

Le produit ou procédé doit être conforme à toutes les dispositions européennes et nationales appropriées, applicables aux usages pour lesquels il est mis sur le marché. L'attention du candidat est attirée sur le fait que pour d'autres usages ou d'autres États membres de destination, il peut exister d'autres exigences à respecter. Pour les substances dangereuses contenues dans le produit, mais non visées par l'ATE, l'option applicable est « aucune performance déterminée ».

6.4 Sécurité d'utilisation

Sans objet

6.5 Protection contre le bruit

Sans objet

6.6 Économie d'énergie et isolation thermique

Sans objet

6.7 Aspects liés à l'aptitude au service

L'appréciation et les expériences acquises concluantes peuvent être considérées comme suffisantes pour les procédés de précontrainte utilisant des composants normalisés dont on sait avec précision qu'ils sont valables dans l'industrie pour des procédés de précontrainte comparables.

Les critères d'acceptation sont les suivants :

Les méthodes précisées et indiquées ainsi proposées doivent être conformes aux procédures normalisées appliquées avec succès dans l'industrie depuis un certain temps dans des circonstances et des conditions d'exposition comparables (voir par exemple le document [29]).

Tableau 6.3 : Nombre d'essais

Méthode d'essai	Taille du câble			Nombre total d'essais
	Petite	Moyenne	Grande	
Partie I : Essais obligatoires pour tous les procédés				
6.1.1-I Résistance à la charge statique (pour chaque type d'ancrage et de coupleur)	2	1	2	5
6.1.2-I Résistance à la fatigue (pour chaque type d'ancrage et de coupleur)	1	1	2	4
6.1.3-I Transfert de charge à l'ouvrage (pour chaque type d'ancrage et de coupleur) ; voir aussi				
- pour la plus petite résistance du béton déclarée ;	1	1	2	4
- pour la résistance la plus élevée et la résistance intermédiaire, si elle existe, du béton.	1	1	2	4
6.1.4-I Coefficient de frottement (pour chaque type de câble, d'ancrage et de coupleur)				
- pertes par frottement sur le tracé du câble ;	0	(1)	0	(1)
- pertes par frottement dans les ancrages.	0	(1)	0	(1)
6.1.5-I Déviation (limites) (pour chaque type de câble)				
- essai de charge statique du déviateur ;				
- essai sur câble dévié.				
6.1.6-I Faisabilité et fiabilité de la mise en oeuvre (p. ex., injection des conduits)	0	0	(1)	(1)
- essai d'assemblage, de pose et de mise en tension ;	0	(1)	0	(1)
- essai d'injection des conduits.				
Partie II : Essais complémentaires pour les catégories d'utilisation optionnelles et les procédés innovants				
(a) Câble avec possibilité de remise en tension				
6.1.6 (a) Essai sur câble dévié simulant la remise en tension, pour câble extérieur (pour chaque type de câble)	0	(1)	(1)	(1)
6.1.6 (a) Essai d'assemblage, de pose et de mise en tension simulant la remise en tension, pour câble intérieur (pour chaque type de câble)	0	(1)	(1)	(1)
(b) Câble remplaçable				
6.1.6 (b) Essais de remplacement de câble (pour chaque type de câble remplaçable non adhérent, extérieur ou intérieur)	0	0	(1)	(1)
(c) Applications cryogéniques				
6.1.1 (c) Essai cryogénique (pour chaque type d'ancrage et de coupleur)	0	0	1 **	1 **
(d) Câble intérieur adhérent avec conduit de plastique				
6.1.6 (d) Essai d'assemblage, de mise en tension et de frottement (pour chaque type de conduit, si nécessaire)	0	(1)	0	(1)
6.1.6 (d) Essai d'injection des conduits (pour chaque type de conduit, si nécessaire)	0	(1)	0	(1)
(e) Câble étanche				
6.1.6 (e) Essai d'étanchéité (pour chaque type de conduit, si nécessaire)	0	(1)	0	(1)
(f) Câble à isolation électrique				
6.1.6 (f) Essai de résistance électrique (pour chaque procédé à isolation électrique)	0	(1)	0	(1)
(k) Procédés innovants				
6.1.6 (k) Essai d'assemblage, de pose et de mise en tension (pour chaque procédé innovant)	0	(1)	0	(1)
6.1.6 (k) Essai d'injection des conduits (pour chaque procédé innovant)	0	(1)	0	(1)

Remarques : - Le nombre d'essais s'entend par procédé.

- Les tailles de câble d'une série de tailles composant un seul procédé de précontrainte s'entendent comme suit :
- « petite » : la taille la plus grande dans le tiers inférieur des tailles d'une série ;
- « moyenne » : tiers intermédiaire des tailles d'une série ;
- « grande » : la taille la plus grande d'une série.

N.B. : pour les procédés de précontrainte « monotorons » composés d'une seule armature de précontrainte, le nombre total d'essais est le même que pour les procédés de précontrainte à plusieurs torons, avec différentes tailles de câble (par exemple, pour les essais indiqués dans la partie A, Essai 5.1.1. : 5 essais).

N.B. : pour les séries composées de peu de tailles, c'est-à-dire moins de 5, la taille moyenne à tester peut être remplacée par la plus grande taille.

-- Si un procédé de précontrainte est spécifié pour une utilisation avec différents degrés de résistance de l'armature de précontrainte, les essais ci-dessus doivent être effectués pour le degré ou la capacité de charge spécifiés les plus élevés.

-- Les valeurs entre crochets (1) indiquent le nombre d'essais requis si l'appréciation fondée sur l'expérience, etc. n'est pas considérée comme suffisante.

-- ** C'est la plus grande taille de câble autorisée par le matériel d'essai qui doit être testée.

7 HYPOTHÈSES ET RECOMMANDATIONS RELATIVES À L'ÉVALUATION DE L'APTITUDE À L'USAGE D'UN PROCÉDÉ DE PRÉCONTRAINTÉ

7.1 Généralités

Ce chapitre fixe les hypothèses et les recommandations relatives à la conception, la fabrication, le conditionnement, le transport et le stockage, la pose, l'entretien et les réparations, selon lesquelles l'évaluation de l'aptitude à l'usage peut être effectuée conformément à l' ETAG (uniquement si nécessaire et dans la mesure où ces hypothèses et recommandations ont une incidence sur l'évaluation ou sur les produits).

7.2 Conception des ouvrages

La qualité d'une structure précontrainte réside dans sa conception résultant d'une bonne coopération entre les parties concernées. A cet égard, le rôle le plus important incombe au concepteur qui doit premièrement préparer un avant-projet, aussi général que possible et adapté à tout procédé de précontrainte, et deuxièmement, lorsque les autres parties sont connues (dans la pratique, quand le contrat est signé), l'adapter aux méthodes de construction et en particulier, aux ressources des sociétés spécialisées en précontrainte, pouvant être mises à la disposition de l'entreprise générale chargée de l'exécution des travaux. Une conception correcte permet d'effectuer ensuite le projet détaillé. Celui-ci est très lié aux technologies à mettre en œuvre par les sociétés spécialisées. Ces dernières sont composées d'un personnel qualifié qui connaît bien les possibilités et les limites du procédé de précontrainte et qui le pose à l'aide d'un équipement approprié et bien entretenu. Comme il est fondamental d'établir une étroite collaboration technique entre les principaux acteurs avant la réalisation de la conception, le candidat à l'ATE doit être capable de conseiller et de proposer une conception de détail appropriée pour la précontrainte.

La qualité d'une structure précontrainte est également liée à la qualité de réalisation des travaux. Compte tenu de la haute technologie mise en œuvre dans l'utilisation des techniques de précontrainte et des conséquences sur le plan de la sécurité, on suppose que le procédé est mis en œuvre par une société spécialisée en précontrainte.

Le titulaire de l'ATE doit disposer de procédures et être organisé et structuré de manière à assurer une qualité constante des composants du procédé et de l'équipement spécialisé. Il doit également avoir les ressources pour fournir aux usagers (consultants, maîtres d'œuvre - et autres) les conseils avisés concernant l'utilisation du procédé.

Les sociétés spécialisées en précontrainte sont supposées être capables de :

- préparer et exécuter des travaux sur chantier d'une qualité satisfaisante ;
- réagir rapidement à des problèmes imprévus en démontrant leur capacité à proposer et à élaborer des solutions appropriées et sûres, adaptées au chantier ;
- former des spécialistes qualifiés.

La conception et l'exécution des travaux, ainsi que les exigences de qualification du personnel sont un domaine réglementé par les dispositions nationales des États membres. Cependant, il est conseillé que les dispositions nationales prennent en compte les recommandations figurant en annexe D.

7.3 Conditionnement, transport, stockage et manutention

Le titulaire de l'ATE doit donner des instructions concernant :

- la protection temporaire des aciers et des composants de précontrainte, afin de prévenir la corrosion pendant le transport, du lieu de production au chantier ;
- le transport, le stockage et la manutention des armatures de précontrainte et des autres composants, afin d'éviter tout dommage mécanique, chimique ou électrochimique ;
- la protection des armatures de précontrainte et autres composants contre l'humidité ;

- la mise à l'écart des armatures de précontrainte des zones où les opérations de soudage sont effectuées.

7.4 Matériel de mise en tension

Le titulaire de l'ATE doit avoir des instructions sur l'étalonnage des vérins et du système de mesure d'effort.

Les exigences relatives à cet étalonnage sont réglementées par les dispositions nationales des États membres. Cependant, il est souhaitable que les dispositions nationales prennent en compte les recommandations suivantes :

- Les vérins et le système de mesure d'effort doivent avoir fait l'objet d'un étalonnage approprié datant de moins de 6 mois.
- Un certificat d'étalonnage doit être fourni par un laboratoire qualifié. Sur ce certificat doit figurer une courbe d'étalonnage établissant la corrélation entre les valeurs affichées par le système de mesure (manomètre, transducteur de charge ou autres) et les charges appliquées par les vérins.
- La marge d'incertitude des valeurs mesurées doit être indiquée pour toute l'étendue de la plage de mesure. Elle ne doit pas être supérieure à 2 % des charges appliquées.
- L'étalonnage peut porter sur l'ensemble du matériel ou sur le vérin et le système de mesure, séparément. Dans le second cas, les marges d'incertitude des différents étalonnages doivent être indiquées dans les rapports correspondants et doivent être combinées pour évaluer la marge d'incertitude globale des mesures.
- Si le système de mesure est un manomètre et qu'un étalonnage séparé a été effectué, au moins deux manomètres accompagnés d'un certificat d'étalonnage datant de 6 mois au plus doivent être disponibles sur le chantier. Ils doivent être vérifiés à l'aide d'un manomètre étalon toutes les 100 opérations de mise en tension.

7.5 Installation, mise en tension et injection des conduits

On suppose que les sociétés spécialisées en précontrainte installent le procédé de précontrainte, mettent les armatures de précontrainte en tension et effectuent les opérations d'injection des conduits, s'il y a lieu, conformément aux procédures définies.

Section III ATTESTATION ET ÉVALUATION DE LA CONFORMITÉ (AC)

8 ATTESTATION ET ÉVALUATION DE LA CONFORMITÉ

8.1 Décision de la CE

Le système d'attestation de la conformité, spécifié par la Commission européenne dans le mandat 98/456/CE est le système 1+, avec essais de contrôle sur échantillons, décrit dans la Directive du Conseil (89/106/CEE) Annexe III, et détaillé ci-dessous¹⁾ :

a) tâches du fabricant²⁾ (voir paragraphe 8.2.1) :

- (1) contrôle de la production en usine,
- (2) essais complémentaires sur des échantillons prélevés en usine par le fabricant, conformément à un «Programme d'essais prescrit» ;

(b) tâches de l'organisme de certification (voir paragraphe 8.2.2) :

- 1 (1) essais de type initial du produit,
- 2 (2) inspection initiale de l'usine et du contrôle de la production en usine,
- (3) surveillance continue, évaluation et acceptation du contrôle de la production en usine,
- (4) essais de contrôle sur échantillons.

Remarques : ¹⁾Corrigendum (pour la version allemande du JO uniquement) JO L 313, 21/11/1998, page 29.

²⁾Le fabricant est la personne qui met le procédé sur le marché, ci-après dénommée fabricant du procédé.

8.2 Responsabilités

8.2.1 Tâches du fabricant du procédé

8.2.1.1 Responsabilités générales du fabricant du procédé

Le fabricant du procédé doit tenir disponible une liste à jour de tous les fabricants de composants du procédé. Des copies de cette liste doivent être mises à la disposition de l'Organisme de Certification, et peuvent être mises à la disposition de l'organisme d'agrément pour information.

Au moins une fois par an, chaque fabricant de composant doit être audité par le fabricant du procédé. Chaque rapport d'audit doit être mis à la disposition de l'Organisme de Certification. D'une manière générale, il doit comprendre les éléments suivants :

- identification du fabricant de composant ;
- date de l'audit du fabricant de composant ;
- relevé des résultats et des enregistrements du Contrôle de la production en usine, depuis le dernier audit ;
- liste des réclamations déposées ;
- évaluation du fabricant de composant concernant le Contrôle de la production en usine ;
- remarques spécifiques, s'il y a lieu ;
- déclaration claire et unique selon laquelle les exigences de l'ATE sont remplies ;
- nom et fonction du signataire ;
- date de signature ;
- signature.

Au moins une fois par an, des échantillons doivent être prélevés par le fabricant du procédé, sur au moins un chantier de construction. Une série d'essais sur armatures de précontrainte individuelles doit

être effectuée avec ces échantillons par le fabricant du procédé, conformément à l'annexe E.3. Une série d'essais sur armatures de précontrainte individuelles doit être effectuée avec des composants provenant tous du même chantier. Les résultats de ces séries d'essais doivent être mis à la disposition de l'Organisme de certification. Ces rapports doivent comprendre les éléments suivants :

- identification du chantier sur lequel les composants ont été prélevés ;
- date du prélèvement ;
- identification des composants (p. ex. tête d'ancrage, clavettes, toron...) ;
- lieu et date des essais ;
- relevé des résultats dont rapport d'essai, conformément à l'annexe E.3 ;
- remarques spécifiques, s'il y a lieu ;
- nom et fonction du signataire ;
- date de signature ;
- signature.

Le fabricant du procédé doit mettre à disposition pendant au moins 10 ans, tous les relevés des résultats utiles concernant l'ATE, ainsi que les rapports d'audit sur les fabricants de composants.

8.2.1.2 Contrôle de la production en usine

8.2.1.2.1 Généralités

Le fabricant du procédé doit exercer un contrôle intérieur permanent de la production. Tous les éléments, exigences et dispositions adoptés par le fabricant du procédé doivent être transcrits de manière systématique, sous forme de documents et de procédures écrites. Ce système de contrôle doit garantir que le procédé de précontrainte est conforme à l'agrément technique européen (ATE).

Le Contrôle de la production en usine et le «Programme d'essais prescrit» (voir annexe E.1) doivent porter sur les points suivants :

- fabrication ;
- distribution et livraison sur le chantier.

Les systèmes de Contrôle de la production en usine conformes à EN ISO 9001 : 2000 et répondant aux exigences de l'ATE sont reconnus comme satisfaisant aux exigences de la directive, relatives au Contrôle de la production en usine.

Des parties du Contrôle de la production en usine peuvent être déléguées à un laboratoire d'essais indépendant. Le fabricant du procédé reste cependant entièrement responsable de tous les résultats du Contrôle de la production en usine. Sont acceptables les laboratoires d'essais satisfaisant aux exigences de la DPC et du Document guide de la CE « A » [3], ainsi qu'aux exigences figurant dans l'ATE concerné.

8.2.1.2.2 Contrôle des composants et des matériaux du procédé de précontrainte

Les caractéristiques des matériaux rentrant dans la fabrication qui sont conformes à une spécification technique européenne harmonisée, et qui ont suivi la procédure d'attestation de conformité (AC) correspondante, doivent être considérées comme satisfaisantes et ne nécessiter aucune vérification supplémentaire, sauf en cas de doute justifié. Tous les matériaux doivent être conformes aux exigences de l'ATE ou aux spécifications correspondantes du fabricant du procédé.

Lorsqu'aucune spécification technique harmonisée n'est disponible, il convient d'employer des matériaux conformes aux spécifications applicables sur le lieu d'utilisation, pourvu que leur utilisation soit compatible avec les résultats des essais d'agrément.

En cas contraire, les spécifications sont indiquées par l'ATE.

8.2.1.2.3 Inspection et essais

La validité du type et la fréquence des vérifications et des essais effectués pendant la fabrication et sur le produit fini doivent être considérés en fonction du processus de production. Cela concerne les

vérifications effectuées, pendant la fabrication, sur les propriétés ne pouvant pas faire l'objet d'un contrôle à une étape ultérieure, ainsi que les vérifications sur le produit fini. Celles-ci portent normalement sur :

- la définition du nombre d'échantillons prélevés par le fabricant du procédé ;
- les propriétés des matériaux, telles que la résistance ultime à la traction, la dureté, l'état de surface, la composition chimique, etc. ;
- la détermination des dimensions des composants ;
- la vérification de l'assemblage ;
- les rapports et résultats d'essais.

Tous les essais doivent être effectués conformément aux procédures écrites, à l'aide d'appareils de mesure étalonnés adaptés. Tous les résultats doivent être consignés chronologiquement de manière systématique.

En annexe E.1 figurent les fréquences minimales des essais à effectuer, selon le « Programme d'essais prescrit ».

8.2.1.2.4 Traitement des produits non conformes

Les produits considérés comme non conformes à l'ATE doivent être immédiatement signalés et séparés des produits conformes. Le « Programme d'essais prescrit » doit prévoir le traitement des produits non conformes.

8.2.1.2.5 Réclamations

Le « Programme d'essais prescrit » doit prévoir des mesures pour garder une trace de toutes les réclamations concernant le procédé.

8.2.2 Tâches de l'organisme de certification

8.2.2.1 Généralités

L'Organisme de certification peut agir avec ses ressources propres ou sous-traiter les tâches d'inspection et d'essai à des organismes d'inspection et à des laboratoires d'essais satisfaisant aux exigences du Document guide de la CE « A » [3].

8.2.2.2 Essais de type initial

Les essais d'agrément doivent être effectués par l'organisme d'agrément ou sous sa responsabilité, c'est-à-dire qu'une part des essais peut être réalisée par un laboratoire indiqué ou par le fabricant, sous le regard de l'organisme d'agrément, conformément au chapitre 5 de cet ETAG. L'organisme d'agrément doit évaluer les résultats conformément au chapitre 6 de cet ETAG, dans le cadre de la procédure de délivrance de l'ATE.

Pour que ces essais puissent servir d'essais de type initial pour la certification de conformité, ils doivent être validés par l'Organisme de certification.

Remarque : les essais de type initial sont de la responsabilité de l'Organisme de certification, tandis que les essais d'agrément sont de la responsabilité de l'organisme d'agrément.

8.2.2.3 Essais de contrôle

Les essais de contrôle sont détaillés en figure 8.1, point {8}, sous la rubrique « surveillance continue ».

8.2.2.4 Certification

L'évaluation du Contrôle de la production en usine est de la responsabilité de l'Organisme de certification. Cette évaluation doit être effectuée pour démontrer que le Contrôle de la production en usine est conforme à l'ETA. À l'issue du processus de certification conclu avec succès, l'Organisme de certification délivre un certificat de conformité du produit.

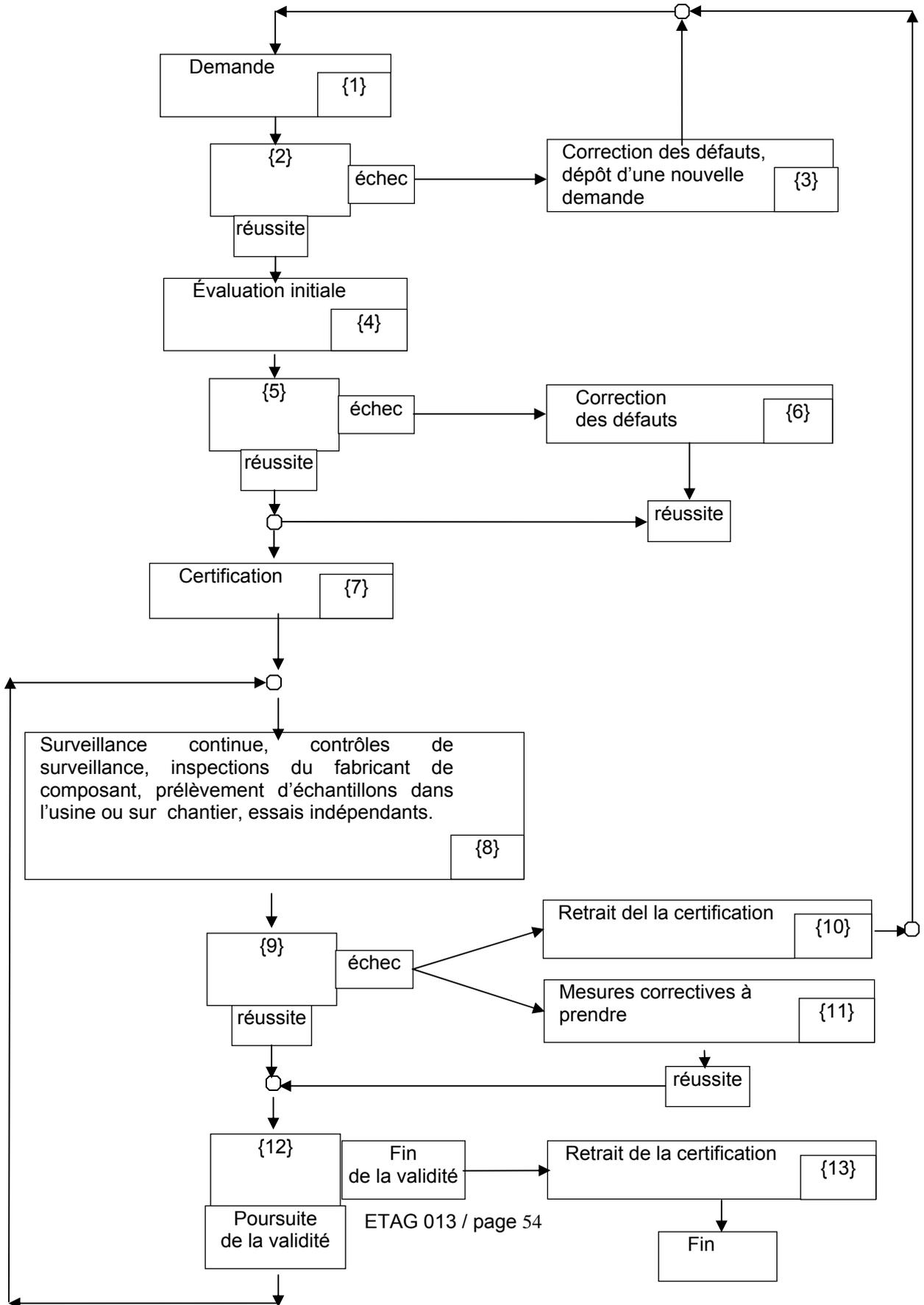


Figure 8.1 : Schéma de la procédure de certification habituelle

Légende de la figure 8.1

{1} Demande

Le fabricant du procédé soumet un exemplaire de l'ATE et la documentation technique nécessaire à l'Organisme de certification – voir paragraphes 8.3 (1) à (3).

{2} Décision de l'Organisme de certification

L'Organisme de certification examine la documentation technique et détermine si elle est complète et convaincante.

{3} Correction des défauts

Dépôt d'une nouvelle demande

Si la documentation technique ne donne pas satisfaction à l'Organisme de certification, la demande est rejetée et doit être rectifiée par le candidat.

{4} Évaluation initiale

L'Organisme de certification évalue le contrôle de la production en usine du fabricant du procédé. Les résultats des essais, effectués pendant la procédure d'agrément, doivent être pris comme résultats d'essais de type initial.

{5} Décision de l'Organisme de certification

L'Organisme de certification vérifie les résultats de l'évaluation initiale et décide de leur conformité à l'ATE.

{6} Correction des défauts

Le fabricant du procédé corrige tous les défauts, comme demandé par l'Organisme de certification.

{7} Certification

Lorsque les résultats de l'évaluation initiale satisfont aux exigences de l'ATE, l'Organisme de certification délivre le certificat de conformité et en informe l'organisme d'agrément.

{8} Surveillance continue

Contrôles de surveillance, inspections des fabricants de composant et prélèvements d'échantillons en usine ou sur chantier, pour des essais indépendants sous la responsabilité de l'Organisme de certification.

Fréquences minimales

Contrôles de surveillance, comprenant des essais indépendants.

Le fabricant du procédé doit être inspecté au moins une fois par an. Son Contrôle de la production en usine est vérifié et, conformément à l'annexe E.2, des échantillons sont prélevés pour effectuer des essais indépendants.

Chaque fabricant de composant doit être inspecté au moins une fois pendant la période de validité de l'ATE, c'est-à-dire au moins une fois tous les cinq ans.

{9} Décision de l'Organisme de certification

L'Organisme de certification vérifie les résultats des inspections, les essais de contrôle, ainsi que les résultats du contrôle de la production en usine, et établit la conformité à l'ATE.

{10} Retrait de la certification

Dans les cas de non conformité graves, en rapport à des aspects importants des performances du procédé de précontrainte, et ne pouvant pas être corrigés dans les délais, l'Organisme de certification retire le certificat de conformité.

L'Organisme de certification doit informer l'organisme d'agrément du retrait du certificat et lui en indiquer les raisons.

{11} Mesures correctives à prendre

Des mesures correctives doivent être prises par le fabricant du procédé si des défauts sont détectés. Ces mesures comprennent :

- une intervention sur avertissement de l'Organisme de certification ;
- un contrôle plus sévère et une fréquence d'essais plus grande ;
- la mise en œuvre de modifications.

{12} Période de validité

L'Organisme de certification poursuit sa surveillance en fonction de la période de validité de l'ATE. La modification d'un quelconque aspect des spécifications du procédé de précontrainte ou d'un composant, pendant la période de validité de l'ATE, n'est autorisée qu'après accord de l'organisme de certification et de l'organisme d'agrément.

Pour le renouvellement de l'ATE, l'Organisme de certification doit préparer un rapport de synthèse et l'envoyer au fabricant du procédé et à l'organisme d'agrément. Ce rapport doit décrire les constatations de l'Organisme de certification concernant le procédé de précontrainte, ainsi que la liste des réclamations et autres informations utiles (telles que les problèmes importants et leurs solutions).

{13} Retrait du certificat

L'Organisme de certification doit informer l'organisme d'agrément du retrait.

8.3 Documentation

Afin d'aider l'Organisme de certification à effectuer l'évaluation de la conformité, l'organisme d'agrément délivrant l'ATE doit fournir toutes les informations détaillées ci-dessous, qui serviront en général de base pour l'évaluation du Contrôle de la production en usine. Ces informations doivent d'abord être préparées ou recueillies par l'organisme d'agrément et, s'il y a lieu, être reconnues par le fabricant du procédé. Certaines peuvent être de nature confidentielle.

- ATE
- «Programme d'essais prescrit»
- Autres informations utiles

Sont données ci-dessous quelques orientations sur le type d'informations requises :

(1) ATE

La nature de toute information complémentaire (éventuellement confidentielle) doit être déclarée dans l'ATE.

(2) «Programme d'essais prescrit»

Le fabricant du procédé et l'organisme d'agrément délivrant l'ATE doivent convenir d'un « programme d'essais prescrit », afin de garantir que le produit correspondra à l'ATE et que ses caractéristiques resteront inchangées.

Les dispositions concernant le «Programme d'essais prescrit» pour un procédé de précontrainte figurent aux chapitres 7 et 8, ainsi qu'aux annexes D.1, D.3, E.1 et E.2.

(3) Autres informations utiles

Toute autre information utile, requise par l'Organisme de certification.

8.4 Marquage de conformité CE et informations

8.4.1 Marquage CE

Le marquage CE doit être conforme à la DPC et au Document guide de la CE « D » [6] sur le marquage CE.

Sur le bon de livraison, joint aux composants du procédé de précontrainte, doit figurer le marquage de conformité CE, constitué du symbole CE et des mentions suivantes :

1. Nom ou marque d'identification du fabricant du procédé.
2. Deux derniers chiffres de l'année au cours de laquelle le marquage a été apposé.
3. Numéro du certificat de conformité.
4. Numéro de l'ATE.
5. Catégorie(s) d'utilisation.
6. Numéro de l'Organisme de certification.

Toutes les autres informations doivent être clairement distinctes du marquage CE et des mentions qui l'accompagnent.

Section IV CONTENU DE L'ATE

9 CONTENU DE L'ATE

Toutes les données techniques nécessaires pour la conception et l'exécution doivent être présentées par le candidat, jointes à sa demande, et seront utilisées par l'organisme d'agrément pour établir l'ATE et définir les informations complémentaires.

Les paragraphes 9.1 et 9.2 font la distinction entre :

- les informations figurant dans l'ATE ;
- les informations complémentaires, données à toute personne concernée par la conception et l'exécution, comme les ingénieurs d'études, les entreprises de construction, les maîtres d'ouvrage, les autorités, etc., lorsqu'elles sont nécessaires.

En général, ces deux types d'informations ne doivent pas contenir d'informations confidentielles, telles que les tolérances de dimensions, les procédés de fabrication, la composition des composants, etc.

9.1 Contenu de l'ATE

9.1.1 Modèle d'ATE

Le format de l'ATE doit être basé sur la décision de la Commission (97/571/CE) (format d'ATE) du 22/07/1997, Journal Officiel des CE L236 du 27/08/1997.

9.1.2 Points à vérifier par l'organisme d'agrément

La partie technique de l'ATE doit contenir les informations sur les points suivants, dans l'ordre et en se référant aux deux exigences essentielles applicables (EE 1 et 3). Pour chaque point, l'ATE doit fournir l'indication, la classification, la déclaration et la description demandée, ou bien indiquer que la vérification ou l'évaluation de ce point n'a pas été effectuée (aucune performance déterminée). Les informations demandées sont indiquées ci-dessous avec la référence aux paragraphes correspondants de cet ETAG, tandis que les catégories d'utilisation spécifique peuvent exiger des informations complémentaires.

- Définition du procédé pour lequel l'ATE est délivré. Elle doit comprendre une liste de tous les composants du procédé ou de chaque composant défini au paragraphe 2.1 pour lequel l'ATE est délivré.
- Aspects liés à la conception et à l'exécution du procédé de précontrainte.

* Ancrages et câble

- gamme d'ancrages ;
- désignation des ancrages et du câble ;
- tous types d'ancrage à utiliser (actif, passif, noyé, coupleur...) ;
- performances caractéristiques du câble (paragraphes 6.1.1-I et 6.1.2-I) :
 - nombre d'armatures de précontrainte,
 - informations sur les ancrages qui ne sont pas utilisés à leur pleine capacité en nombre d'armatures,
 - section nominale du câble,
 - masse nominale par mètre linéaire de câble,
 - valeur caractéristique de résistance ultime à la traction du câble F_{pk} ;
- conditions spécifiques pour les ancrages passifs;
- frottement (paragraphe 6.1.4-I) :
 - coefficient de frottement (paragraphe 6.1.4-I),
 - coefficient de festonnage (paragraphe 6.1.4-I),

- perte par frottement dans l'ancrage (paragraphe 6.1.4-I),
- supports :
 - espacement,
 - exigences relatives aux matériaux,
- termes correctifs pour évaluer l'allongement des armatures de précontrainte sur le chantier :
 - recul d'ancrage pour les ancrages passifs, coupleurs...
 - recul d'ancrage pour les ancrages actifs ;
- conduits :
 - type,
 - spécifications,
 - dimensions,
 - rayons de courbure minimaux du câble (paragraphe 6.1.5-I) ;
- autres éléments, s'il y a lieu.

Les informations ci-dessus doivent être présentées de préférence sous un format normalisé (voir annexe F).

* Conception et exécution du transfert de charge à l'ouvrage en béton (paragraphe 6.1.3-I)

- plans d'exécution :
 - plans des composants installés pour chaque type d'ancrage,
 - distance de l'axe de l'ancrage au bord, en fonction de la résistance du béton au moment de la mise en tension ;
 - espacement des ancrages en fonction de la résistance du béton au moment de la mise en tension ;
 - longueur droite minimale du câble à l'arrière des ancrages ;
 - armatures locales (armature de frettage), en fonction de f_{yk} et de la résistance du béton au moment de la mise en tension ;
- charge maximale recommandée au moment de la mise en tension ;
- résistances minimales du béton déclarées par le titulaire de l'ATE au moment de la mise en tension : la plus basse, la plus élevée et l'intermédiaire (si elle existe) ;
- autres éléments, s'il y a lieu.

• Catégories d'utilisation (paragraphe 2.2)

* Catégories d'utilisation selon le matériau de l'ouvrage :

- béton ;
- acier ;
- mixte ;
- maçonnerie ;
- bois.

* Catégories d'utilisation selon le type de câble :

- câble intérieur adhérent ;
- câble intérieur non adhérent ;
- câble extérieur ;
- câble avec possibilité de remise en tension ;
- câble remplaçable ;
- câble pour applications cryogéniques ;
- câble intérieur adhérent avec conduits en plastique ;
- câble étanche ;
- câble à isolation électrique.

• Description des composants

Description des composants du procédé de précontrainte.

* Armatures de précontrainte

Spécifications des armatures de précontrainte compatibles avec le procédé de précontrainte, conformément à prEN 10138 [16] et à l'annexe C.1

Ces spécifications doivent inclure, s'il y a lieu :

- le type (fil, toron à 7 fils, barre, barre fileté...);
- le diamètre ;
- la masse par mètre linéaire ;
- la surface ;
- le filetage ;
- les valeurs $f_{p0.1k}$ et f_{pk} ;
- la fatigue ;
- la relaxation ;
- la courbure minimale lors du transport et de la pose ;
- autre élément, s'il y a lieu.

N.B. : normalement, une référence à la norme applicable est suffisante.

* Composants spécifiques du procédé de précontrainte

Liste de tous les composants de tous les types d'ancrages (actif, passif, noyé...), de coupleurs (fixe, mobile), de déviateurs, etc. Ces composants sont par exemple, la tête d'ancrage, le plaque d'appui, la clavette, l'écrou...

- désignation de chaque composant ;
- matériaux par référence aux normes, aux noms commerciaux, aux exigences spécifiques, s'il y a lieu ;
- dessins d'étude de tous les composants dont les dimensions sont requises en particulier pour :
 - identifier le composant,
 - concevoir les ouvrages, en particulier les dimensions critiques concernant la pose du système, la longueur minimale de l'engagement du filetage, et tout autre élément s'il y a lieu ;
- déclarations concernant le soudage :
 - le soudage n'est généralement pas permis sur les composants du procédé de précontrainte, sauf sur des points spécifiques,
- autre élément, s'il y a lieu.

* Armatures de frettage et armatures complémentaires (accessoires)

- spécifications du matériau de l'armature par référence à prEN série 10080 [17] ou EN 10025 (paragraphe 6.1.3-I) ;
- dimensions ;
- autre élément, s'il y a lieu.

* Conduits

- types de conduit :
 - gaines en feuillard d'acier,
 - tubes en acier,
 - conduits ou tubes en plastique ;
- spécifications du conduit conformément à EN 523 [19], annexe C.2 ou annexe C.3.

* Produits d'injection

Description/liste des produits d'injection, spécifiés par le titulaire de l'ATE.

- Système de protection provisoire et définitive contre la corrosion
- Substances dangereuses (clause)

L'ATE doit inclure la remarque suivante :

« Outre les clauses spécifiques relatives aux substances dangereuses figurant dans l'agrément technique européen, il peut exister d'autres exigences, applicables aux produits visés par son domaine d'application (par exemple, la législation européenne transposée et les dispositions législatives, réglementaires et administratives nationales). Conformément aux dispositions de la directive Produits de construction de l'UE, ces exigences doivent également être remplies dans tous les cas où elles s'appliquent. »

- Attestation de conformité (chapitre 8)
 - référence selon laquelle les procédures d'attestation de conformité doivent être suivies conformément à cet ETAG ;
 - tableaux des annexes E.1 et E.2, adaptés et éventuellement complétés par des informations sur d'autres composants importants, à inclure dans l'ATE.

9.2 Informations complémentaires

Il doit être mentionné dans l'ATE que son titulaire est tenu d'informer toute personne concernée par l'utilisation du procédé de précontrainte. Les informations complémentaires énumérées ci-dessous doivent être tenues à disposition par le titulaire de l'ATE et doivent être diffusées, si nécessaire, sauf disposition contraire.

- Liste des fabricants
- Description des composants

Description des composants du procédé de précontrainte autres que ceux énumérés au paragraphe 9.1.

- * Événements

Spécifications des événements, portant sur les matériaux et les dimensions.

- * Purges

Spécifications des purges, portant sur les matériaux et les dimensions.

- * Capots de scellement provisoires et définitifs.

- Équipement

- * Équipement de mise en tension

- vérins ;
- type et désignation ;
- mode d'emploi avec instructions de sécurité ;
- course ;
- force maximale ;
- pression maximale ;
- dimensions et poids ;
- étalonnage ;
- surlongueur tendue entre la fixation sur le vérin et l'ancrage ;
- dégagement à l'arrière de l'ancrage pour permettre la mise en tension ;
- autre élément, s'y a lieu.

- * Pompes

- type et désignation ;
- mode d'emploi avec instructions de sécurité ;
- capacité ;
- dimensions et poids ;
- alimentation électrique, source d'énergie ;
- consommation d'énergie ou de carburant ;
- autre élément, s'il y a lieu.

- * Équipement d'injection des conduits

- type et désignation ;
- mode d'emploi avec instructions de sécurité ;
- capacité ;
- dimensions et poids ;
- alimentation électrique, source d'énergie ;
- consommation d'énergie/de carburant ;

- autre élément, s'il y a lieu.

* Équipement spécial

- utilité ;
- type et désignation ;
- mode d'emploi avec instructions de sécurité ;
- dimensions et poids ;
- autre élément, s'il y a lieu.

L'ATE doit mentionner que les informations complémentaires (éventuellement confidentielles) seront fournies à l'Organisme de certification pour l'évaluation de la conformité (voir paragraphe 8.3 de cet ETAG).

9.3 Informations confidentielles

Les copies des schémas de fabrication et des spécifications du procédé de précontrainte et des composants, suffisamment détaillées pour définir la fabrication (par exemple, composition chimique des matériaux non définis dans les normes) doivent être déposées au siège de l'organisme d'agrément et de l'Organisme de certification. Ces documents sont confidentiels et exclusifs, et ne doivent pas être confiés à d'autres parties.

9.4 Conditions d'installation

Des informations relatives à l'exécution, autres que celles énumérées au paragraphe 9.1 peuvent également être requises :

- schémas d'assemblage de l'ancrage et du câble au moment de la pose dans le coffrage ;
- longueurs de coupe des câbles ;
- quantité de produit d'injection requise ;
- autre élément, s'il y a lieu.

ANNEXE A

A Terminologie et abréviations communes

A.1 Ouvrages et produits

A.1.1 **Ouvrages de construction** (et parties d'ouvrages) (souvent simplement appelés « ouvrages »)

Éléments construits ou résultant d'opérations de construction, et fixés au sol (cette définition englobe aussi bien les bâtiments et ouvrages de génie civil, que les éléments structuraux et non structuraux).

A.1.2 **Produits de construction** (souvent simplement appelés « produits »)

Produits fabriqués pour être incorporés de manière permanente aux ouvrages et mis sur le marché en tant que tels (le terme désigne les matériaux, les éléments et les composants des systèmes ou des installations préfabriqués).

A.1.3 **Incorporation** (de produits dans les ouvrages)

L'incorporation d'un produit de manière permanente dans les ouvrages signifie que le retrait du produit réduit les capacités de performance des ouvrages et que le démontage ou le remplacement du produit sont des opérations impliquant des activités de construction.

A.1.4 **Usage prévu**

Rôle(s) que le produit doit jouer pour satisfaire aux exigences essentielles.

A.1.5 **Exécution** (format ETAG)

Terme utilisé dans ce document pour désigner tous les types de techniques d'incorporation, telles que la pose, l'assemblage, l'incorporation, etc.

A.1.6 **Système** (guide EOTA/CT)

Partie d'ouvrage réalisée par la combinaison particulière d'une série de produits bien définis, avec des méthodes de conception de l'ouvrage spécifiques ou des procédures d'exécution spéciales.

A.2 Performances

A.2.1 **Aptitude à l'usage prévu** (des produits)

Les produits doivent présenter des caractéristiques telles que les ouvrages dans lesquels ils sont incorporés, assemblés, appliqués ou installés, puissent, s'ils sont correctement conçus et réalisés, satisfaire aux exigences essentielles.

A.2.2 **Aptitude au service** (des ouvrages)

Capacité des ouvrages à satisfaire à l'usage prévu et en particulier, aux exigences essentielles relatives à cette utilisation.

Les produits doivent convenir aux ouvrages de construction qui, dans leur ensemble et pour chaque partie, sont adaptés à l'usage prévu, en tenant compte de l'aspect économique, et satisfaire à cet égard aux exigences essentielles suivantes si les ouvrages sont soumis à des réglementations renfermant de telles exigences. Ces exigences doivent, sous réserve d'un entretien normal, être respectées pour une durée de vie raisonnable sur le plan économique. Elles concernent généralement des actions prévisibles (DPC, Annexe I, Préambule).

A.2.3 **Exigences essentielles** (pour les ouvrages)

Exigences applicables aux ouvrages, pouvant influencer sur les caractéristiques techniques d'un produit, et établies en termes d'objectifs dans la DPC, annexe I.

A.2.4 **Performances** (des ouvrages, parties d'ouvrages ou produits)

Expression quantitative (valeur, degré, classe ou niveau) du comportement des ouvrages, parties d'ouvrages ou produits, pour une action à laquelle ils sont soumis ou qu'ils génèrent dans les conditions de service prévues (ouvrages ou parties d'ouvrages) ou dans les conditions d'utilisation prévues (produits).

A.2.5 **Actions** (sur les ouvrages ou parties d'ouvrages)

Conditions de service des ouvrages pouvant influencer sur la conformité de ces derniers aux exigences essentielles de la directive, et occasionnées par des agents (mécaniques, chimiques, biologiques, thermiques ou électromagnétiques) agissant sur les ouvrages ou les parties d'ouvrages.

A.2.6 **Classes ou niveaux** (pour les exigences essentielles et les performances des produits associés)

Classification des performances des produits, exprimée sous la forme d'une échelle de niveaux requis pour les ouvrages, déterminés dans les documents interprétatifs (DI) ou conformément à la procédure prévue à l'article 20.2a de la DPC.

A.3 **Format de l' ETAG**

A.3.1 **Exigences** (pour les ouvrages)

Expression et application dans les détails et en termes compatibles avec le domaine d'application de ce guide, des exigences applicables de la DPC (données sous forme concrète dans les DI et spécifiée plus tard dans le mandat), pour les ouvrages ou parties d'ouvrages, en tenant compte de la durabilité et de l'aptitude au service des ouvrages.

A.3.2 **Méthodes de vérification** (pour les produits)

Méthodes de vérification utilisées pour déterminer les performances des produits en fonction des exigences relatives aux ouvrages (calculs, essais, connaissances techniques, évaluation de l'expérience sur chantier, etc.)

A.3.3 **Spécifications**

Transposition des exigences en termes précis et mesurables (dans la mesure du possible et proportionnellement à l'importance du risque), ou en termes qualitatifs, liés aux produits et à leur usage prévu.

A.4 **Durée de vie**

A.4.1 **Durée de vie** (des ouvrages ou parties d'ouvrages)

Période pendant laquelle les performances seront maintenues à un niveau compatible avec le respect des exigences essentielles.

A.4.2 **Durée de vie** (des produits)

Période pendant laquelle les performances d'un produit sont maintenues, dans des conditions de service adéquates, à un niveau compatible avec les conditions d'utilisation prévues.

A.4.3 **Durée de vie raisonnable du point de vue économique**

Durée de vie tenant compte de tous les aspects utiles, tels que les coûts de conception, de construction et d'utilisation, les coûts découlant d'une inaptitude à l'emploi, des risques et des conséquences d'une rupture des ouvrages pendant leur durée de vie, ainsi que le coût de l'assurance couvrant ces risques, la rénovation partielle prévue, les coûts des inspections, de l'entretien, des interventions et des réparations, les coûts d'exploitation et de gestion, ainsi que les coûts liés à la gestion des déchets et à l'environnement.

A.4.4 **Entretien** (des ouvrages)

Série de mesures préventives et autres, appliquées aux ouvrages afin qu'ils puissent remplir toutes leurs fonctions pendant leur durée de vie. Ces mesures comprennent le nettoyage, l'entretien, la peinture, la réparation, le remplacement de parties d'ouvrages si nécessaire, etc.

A.4.5 **Entretien normal**

Entretien comprenant normalement des inspections, effectué lorsque le coût de l'intervention à réaliser n'est pas disproportionné par rapport à la valeur de la partie d'ouvrage concernée, compte tenu des coûts consécutifs (tels que les coûts d'exploitation).

A.4.6 **Durabilité** (des produits)

Aptitude des produits à contribuer à la durée de vie de l'ouvrage, en maintenant leurs performances dans des conditions de service adéquates, à un niveau compatible avec le respect des exigences essentielles relatives aux ouvrages.

A.5 **Conformité**

A.5.1 **Attestation de conformité**

Dispositions et procédures établies par la DPC et fixées conformément à la directive, dans le but de garantir avec une probabilité acceptable, que les performances spécifiées des produits sont respectées tout au long de la production.

A.5.2 **Identification** (d'un produit)

Caractéristiques d'un produit et méthodes pour les vérifier, permettant de comparer un produit donné à celui décrit dans les spécifications techniques.

A.6 **Agrément et organismes d'agrément**

A.6.1. **Organisme d'agrément**

Organisme notifié conformément à l'article 10 de la DPC, par un État membre ou par un État de l'AELE (partie contractante de l'agrément AEE), pour délivrer des agréments techniques européens dans un ou plusieurs domaines spécifiques des produits de construction. Tout organisme de ce type doit être membre de l'Organisation européenne pour l'agrément technique (EOTA), établie conformément à l'annexe II.2 de la DPC.

A.6.2. **Organisme homologué (*)**

Organisme nommé conformément à l'article 18 de la DPC, par un État membre ou par un État de l'AELE (partie contractante de l'agrément AEE), pour effectuer des tâches spécifiques dans le cadre de la décision d'attestation de conformité pour les produits de construction spécifiques (certification, inspection ou essais). Tout organisme de ce type est automatiquement membre du groupe des organismes notifiés.

(*) *Également connu sous le nom d'organisme notifié.*

A.7 Abréviations

A.7.1 *Abréviations concernant la directive Produits de construction*

AC	: Attestation de conformité
CCE	: Commission des communautés européennes
CEN	: Comité européen de normalisation
DPC	: Directive Produits de construction
CE	: Communautés européennes
AELE	: Association européenne de libre-échange
EN	: Normes européennes
CPU	: Contrôle de la production en usine
DI	: Documents interprétatifs de la DPC
	ISO : Organisation internationale de normalisation
CPC	: Comité permanent de la CE pour la construction

A.7.2 *Abréviations concernant l'agrément*

EOTA	: Organisation européenne pour l'agrément technique
ATE	: Agrément technique européen
ETAG	: Guide d'agrément technique européen
CT	: Conseil technique de l'EOTA
UEAtc	: Union européenne pour l'agrément technique dans la construction

A.7.3 *Abréviations d'ordre général*

GT	: Groupe de travail
----	---------------------

ANNEXE B

B Essais des procédés de précontrainte

Table des matières

B.1 Résistance à la traction

Essai statique de traction
Essai statique cryogénique de traction

B.2 Résistance à la fatigue

Essai de fatigue : I – Ancrage mécanique
Essai de fatigue : II – Ancrage par adhérence

B.3 Transfert de charge à l'ouvrage

Essai de transfert de charge : I – Ancrage mécanique
Essai de transfert de charge : II – Ancrage par adhérence

B.4 Mesure des pertes par frottement dans les ancrages

B.5 Déviation (limites)

Essai de charge statique du déviateur
Essai sur câble dévié

B.6 Faisabilité et Fiabilité de la mise en oeuvre

Essai d'assemblage, de pose et de mise en tension
Essai d'injection des conduits
Essai de remplacement d'un câble
Essai d'étanchéité
Mesure de résistance électrique

B.1 Résistance à la traction

B.1.1 ESSAI STATIQUE DE TRACTION

B.1.1.1 Corps d'épreuve

Le câble à tester doit être assemblé conformément à l'application envisagée, en utilisant tous les composants nécessaires à l'ancrage du câble. Ces composants sont prélevés de manière aléatoire. La configuration géométrique des armatures de précontrainte individuelles dans le corps d'épreuve doit être identique à celle spécifiée dans le guide du candidat à l'ATE. Les données sur les armatures de précontrainte à fournir sont les suivantes :

- principales propriétés mécaniques et géométriques des armatures élémentaires de précontrainte, y compris la résistance à rupture réelle ;
- résistance à rupture réelle totale F_{pm} ;
- section totale des armatures de précontrainte A_{pm} ;
- caractéristiques de surface des armatures de précontrainte.

Les propriétés géométriques et mécaniques utiles des composants d'ancrage doivent être déterminées. La longueur libre des armatures de précontrainte dans le câble à tester ne doit pas être inférieure à 3,0 m, excepté pour les barres pour lesquelles la longueur minimale est 1,0 m. Si, pour le même type d'ancrage, il faut utiliser des armatures de précontrainte du même type mais de classes différentes, les essais doivent être effectués en utilisant la classe présentant la résistance caractéristique à la traction ou la force à rupture la plus élevée.

B.1.1.2 Procédure d'essai

Le câble est monté sur un banc ou un dispositif d'essai, en respectant pour les armatures de précontrainte individuelles la configuration géométrique spécifiée dans le guide du candidat à l'ATE.

Le câble est tendu à une extrémité, à l'aide d'un vérin représentatif et comparable à celui utilisé sur chantier et spécifié dans le guide du candidat à l'ATE, par étapes correspondant à 20 %, 40 %, 60 % et 80 % de la résistance caractéristique à la traction des armatures de précontrainte. La charge est augmentée à un rythme constant, correspondant à environ 100 MPa par minute. À 80 %, la charge est transférée du vérin à l'ancrage et au banc d'essai. Elle est ensuite maintenue constante à 80 % pendant une ou deux heures selon que les câbles sont intérieurs ou extérieurs. Pour les câbles extérieurs, la charge est ensuite réduite à 20 %. Ensuite, à l'aide du banc d'essai, la charge est progressivement augmentée pour les deux types de câble jusqu'à la rupture, avec un accroissement maximum de l'allongement relatif de 0,002 par minute.

L'incertitude des valeurs mesurées à l'aide de l'équipement de mesure doit être de $\pm 1\%$. Les charges doivent être maintenues avec une tolérance maximale de $\pm 2\%$. La charge mesurée dans le vérin doit être ajustée pour tenir compte des pertes par frottement estimées dans les ancrages, afin de garantir que la charge spécifiée a bien été appliquée à la tête d'ancrage utilisée pour les mesures.

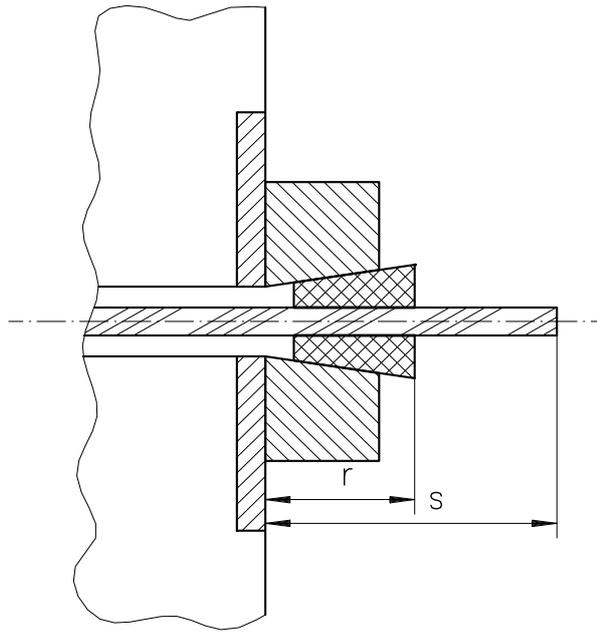
B.1.1.3 Mesures et observations

Les mesures et observations à effectuer et à relever sont les suivantes :

- vérification de la conformité des composants aux spécifications de l'ATE (matériaux, usinages, géométrie, dureté, etc.) ;
- déplacement relatif Δs en fonction de la charge et du temps, des armatures de précontrainte par rapport à l'ancrage, sur deux éléments au moins ;
- déplacement relatif Δr en fonction de la charge et du temps, entre les composants individuels de l'ancrage, sur deux composants au moins, tels que les clavettes ;
- pour les câbles extérieurs uniquement, déformation Δt d'une tête d'ancrage dans le sens de la circonférence et déflexions Δz de la tête par rapport à la plaque d'appui (voir figure B.1.1.2) sur sept séries de mesure, comme suit :
 - à 20%,
 - à 40%,
 - à 80% entre les temps t_0 et $t_0 + 10$ minutes, où t_0 est le temps nécessaire pour atteindre le niveau de 80 %,
 - à 80% entre les temps $t_0 + 30$ minutes et $t_0 + 40$ minutes,
 - à 80% entre les temps $t_0 + 60$ minutes et $t_0 + 70$ minutes,
 - à 80% entre les temps $t_0 + 120$ minutes et $t_0 + 130$ minutes,
 - à 20%.
- diagramme complet charge-déformation, enregistré en continu pendant toute la durée de l'essai ;
- allongement ε_{Tu} des armatures de précontrainte sur la longueur libre, à la force maximale mesurée F_{Tu} ;
- force maximale mesurée F_{Tu} ;

- emplacement et mode de rupture ;
- examen des composants après démontage, documentation photographique, commentaires, y compris concernant les déformations résiduelles de la tête d'ancrage.

(1)



(2)

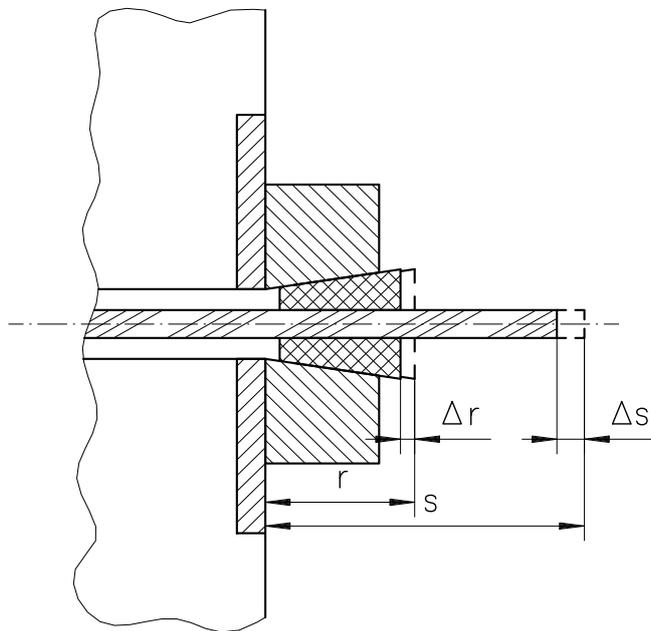
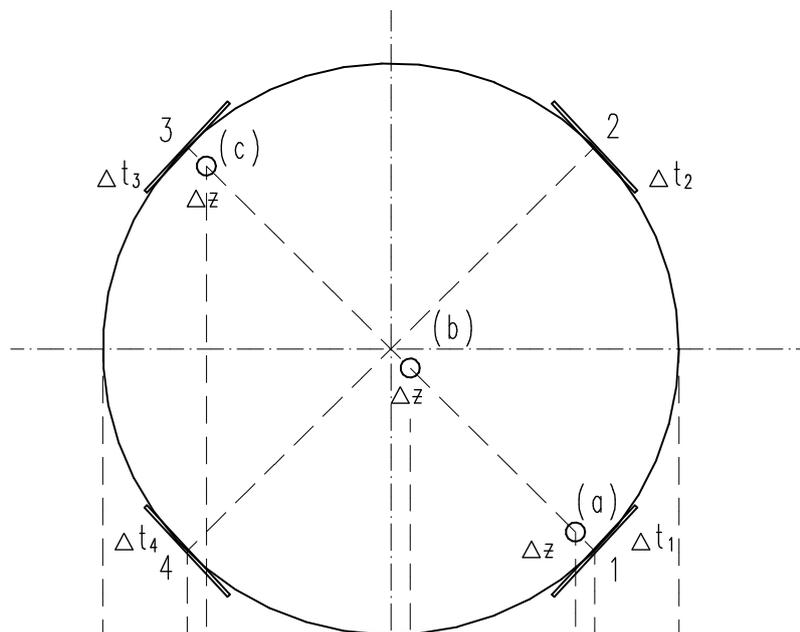


Figure B.1.1.1 : Déplacements en cours d'essai : (1) avant blocage ; (2) après blocage (illustrés ici pour l'ancrage à clavette)

(1) Vue en plan de la tête d'ancrage



(2) Elévation

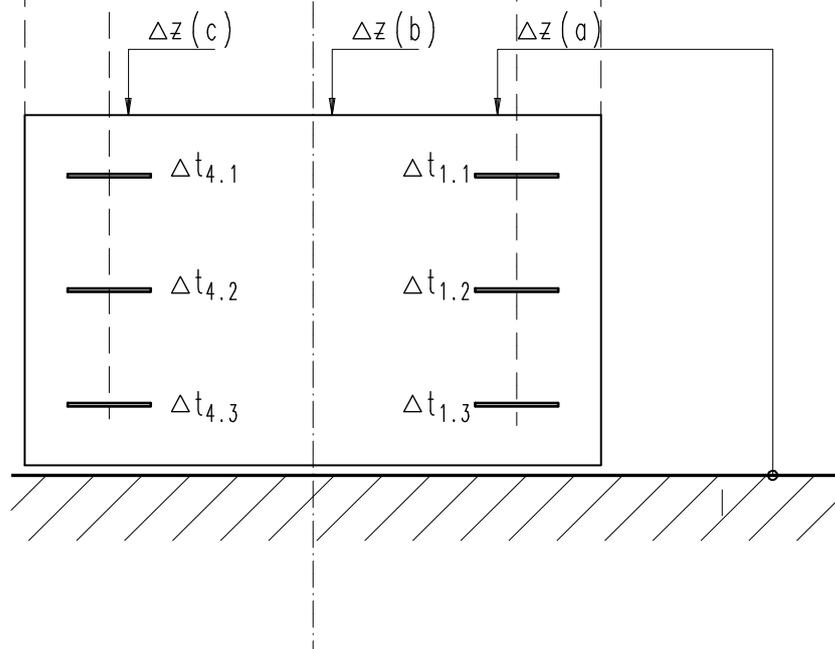


Figure B.1.1.2 : Enregistrements des déformations sur la tête d'ancrage d'un câble extérieur.

B.1.2 ESSAI STATIQUE CRYOGÉNIQUE

B.1.2.1 Corps d'épreuve

Identique à celui décrit en B.1.1 « Essai statique de traction ».

B.1.2.2 Procédure d'essai

Le câble est monté sur un banc ou un dispositif d'essai étalonné. Il est tendu par étapes correspondant à 20%, 40%, 60% et 80% de la résistance caractéristique à la traction des armatures de précontrainte. La charge est augmentée à un rythme constant, correspondant à environ 100 MPa par minute. À 80 %, la charge est maintenue constante pendant une heure.

Ensuite, la température est abaissée jusqu'à la température cryogénique spécifiée de $-196 \pm 5^\circ\text{C}$, tandis que la charge dans le câble est maintenue constante.

Puis, pour simuler l'augmentation éventuelle de la tension due aux effets d'auto-contrainte dans les armatures de précontrainte, et pour modéliser la variation de tension due à plusieurs variations de la température de l'environnement cryogénique, dix cycles de charge entre la valeur caractéristique de la force de l'armature de précontrainte et la limite conventionnelle d'élasticité $F_{p0.1k}$, à température ambiante et le niveau de 80 %, sont exécutés (voir figure B.1.2.1).

Nota la figure B1.2.1 est en désaccord avec le texte sur au moins deux points :

- *les cycles se font entre $0,8 F_{pk}$ et $1,0 F_{p0.1k}$ d'après le texte et entre $0,8 F_{p0.1k}$ et $1,0 F_{p0.1k}$ d'après la figure,*
- *les températures pendant les cycles de variation sont à température ambiante (room temperature) dans le texte et à -196° selon la figure.*

Finalement, la charge exercée sur le câble est augmentée progressivement jusqu'à la rupture, avec un accroissement maximal de l'allongement relatif de 0,002 par minute.

B.1.2.3 Mesures et observations

Les mesures et observations à effectuer et à relever sont les suivantes :

- vérification de la conformité des composants aux spécifications de l'ATE (matériaux, usinages, géométrie, dureté, etc.) ;
- diagramme complet charge- déformation du câble, sur la base des mesures de la charge et de la course du vérin ;
- déplacement relatif Δs en fonction de la charge et du temps, des armatures de précontrainte par rapport à l'ancrage, sur au moins deux éléments, avant abaissement de la température jusqu'au niveau cryogénique ;
- déplacement relatif Δr en fonction de la charge et du temps, entre les composants individuels de l'ancrage, tels que les clavettes, avant abaissement de la température jusqu'au niveau cryogénique ;
- déformation des armatures de précontrainte ε_{Tu} sur la longueur libre, à la force maximale mesurée F_{Tu} ;
- force maximale mesurée F_{Tu} ;
- déformations des composants d'ancrage après l'essai à la rupture ;
- emplacement et mode de rupture ;
- examen des composants après démontage, documentation photographique, commentaires.

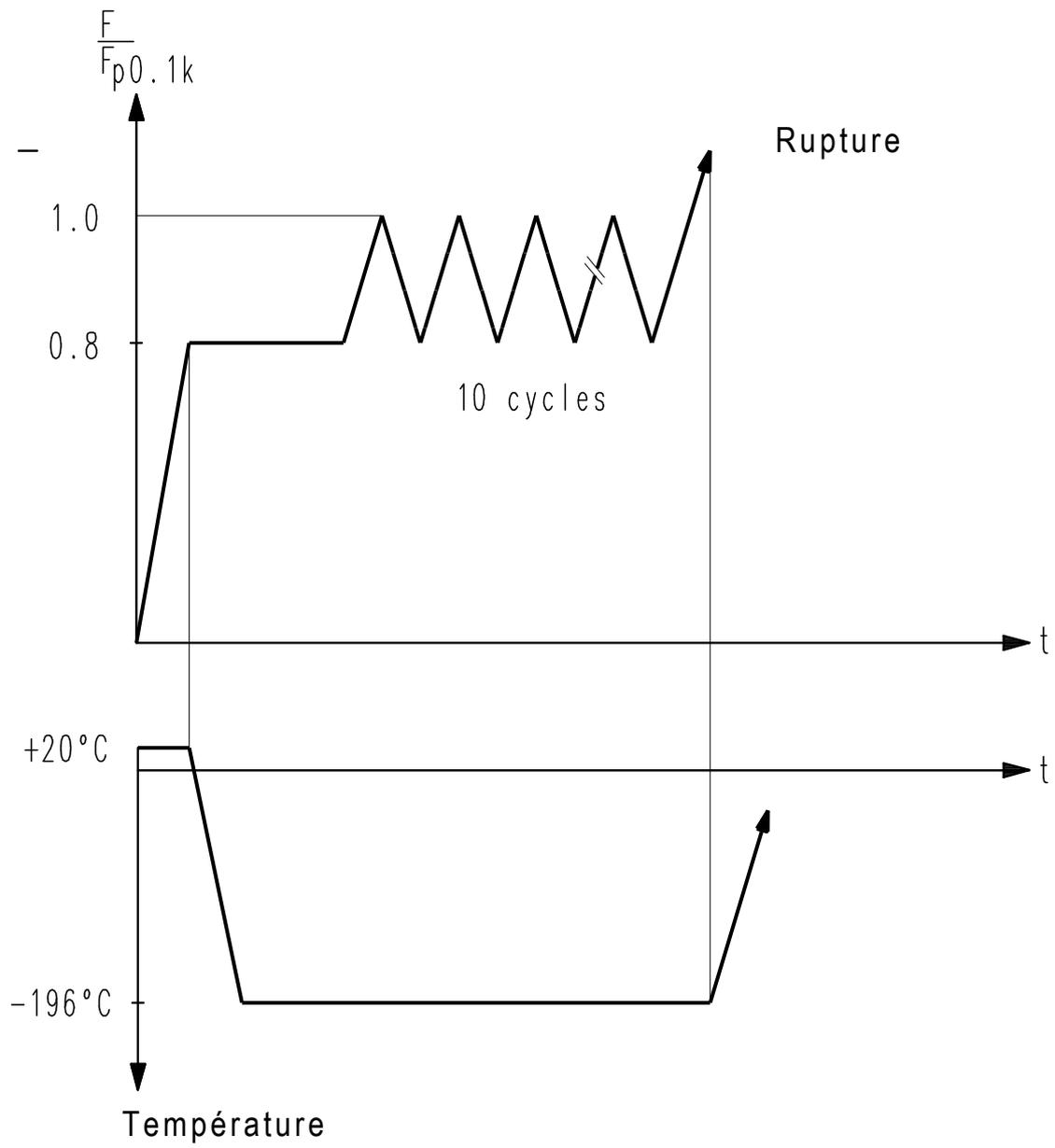


Figure B.1.2.1 : Procédure pour l'essai cryogénique de traction

B.2 Résistance à la fatigue

B.2.1 ESSAI DE FATIGUE

I – Ancrage mécanique

B.2.1.1 Corps d'épreuve

Le corps d'épreuve correspond à celui décrit en annexe B.1.1, paragraphe 1. Sur au moins une extrémité du câble, l'ancrage et tous les composants qui dévient les armatures de précontrainte dans l'ancrage et à l'entrée du conduit, doivent être identiques à ceux spécifiés dans le guide du candidat à l'ATE, sans modification de leur géométrie, de leur matériau ou de leur usinage. Ces composants qui dévient les armatures de précontrainte doivent être maintenus à une distance fixe de l'ancrage, afin de reproduire la déviation réelle et les mouvements relatifs par rapport aux armatures de précontrainte. Si les deux extrémités du câble possèdent les caractéristiques d'ancrage spécifiées ci-dessus, l'essai comptera pour deux essais.

Si, pour le même type d'ancrage, on peut utiliser plusieurs classes d'armatures de précontrainte du même type, les essais doivent être effectués en utilisant la classe la plus élevée.

Quand cela est possible, le câble doit être testé avec le nombre total d'armatures de précontrainte que l'ancrage peut recevoir. Toutefois, le nombre d'armatures de précontrainte à tester dans l'assemblage câble-ancrage peut être réduit comme suit : pour un câble de n armatures de précontrainte, le nombre réduit n' d'armatures de précontrainte montées pour l'essai doit être conforme à :

$$\begin{aligned} \text{si } n \leq 12 : n' &\geq n/2 \\ \text{si } n \geq 12 : n' &\geq 6 + (n - 12)/3 \end{aligned}$$

Les armatures de précontrainte présentant la déviation angulaire la plus importante par rapport à l'axe du câble doivent être incluses dans l'essai.

B.2.1.2 Procédure d'essai

L'essai doit être effectué dans une machine d'essai de traction, à une fréquence de chargement constante n'excédant pas 10 Hz, et avec une charge maximale constante correspondant à 65 % de la résistance caractéristique des armatures de précontrainte. L'étendue de la variation de charge $\Delta F = \max F - \min F$, correspondant à une étendue de variation de contrainte de 80 MPa, doit être maintenue constante pendant toute la durée de l'essai comprenant 2 millions de cycles. Sur sa longueur libre, le câble demeure sans conduit ni produit d'injection.

Le corps d'épreuve doit être testé de telle sorte que les oscillations secondaires soient exclues. Pendant le montage du corps d'épreuve et son installation dans la machine d'essai, des précautions particulières doivent être prises pour s'assurer que la charge est répartie de manière homogène sur toutes les armatures de précontrainte du câble.

B.2.1.3 Mesures et observations

Les mesures et observations à effectuer et à relever sont les suivantes :

- vérification de la conformité des composants aux spécifications de l'ATE (matériaux, usinage, géométrie, dureté, etc.) ;
- déplacement relatif entre les armatures de précontrainte et les composants d'ancrage individuels, ainsi qu'entre les composants d'ancrage, en fonction de la charge et du nombre de cycles de charge, sur au moins deux armatures de précontrainte ;
- examen des composants d'ancrage et des armatures de précontrainte après les essais pour constater les dommages éventuels et les déformations dus à la fatigue ;

- relevé de l'emplacement des ruptures et du nombre d'armatures de précontrainte rompues par fatigue, en fonction du nombre de cycles de charge ;
- examen des composants après démontage, documentation photographique, commentaires.

II – Ancrage adhérent

B.2.1.1 Corps d'épreuve

Comme décrit au paragraphe B.2.1.1-I de l'annexe B.2.1. et sur la figure B.3.1.4. La résistance du béton au début de l'essai de fatigue ne doit pas dépasser $f_{cm,0}$.

B.2.1.2 Procédure d'essai

Comme décrite en annexe B.2.1, paragraphe B.2.1.2-I.

B.2.1.3 Mesures et observations

Comme décrites au paragraphe B.2.1.3-I de l'annexe B.2.1-I. De plus, le glissement aux extrémités des armatures de précontrainte par rapport au béton doit être mesuré.

B.3 Transfert de charge à l'ouvrage

B.3.1 ESSAI DE TRANSFERT DE CHARGE

I - Ancrage mécanique

B.3.1.1 Corps d'épreuve.

Le corps d'épreuve est schématisé sur la figure B.3.1.1. Il doit contenir les composants d'ancrage et l'armature de frettage qui seront noyés dans le béton de construction. Cet assemblage doit être conforme à l'application prévue et aux spécifications du guide du candidat à l'ATE. Les composants sont prélevés de manière aléatoire.

Le corps d'épreuve doit être un bloc prismatique en béton, testé en compression axiale. Sa section de béton $A_c = a \cdot b$ doit correspondre à la section minimale en compression axiale pour le câble en question et pour la classe de résistance du béton dans l'ouvrage autorisée par le guide du candidat à l'ATE. Les dimensions a et b du bloc doivent être spécifiées dans l'ATE, en tant que dimensions de référence.

De ces dimensions de référence a et b , les entr'axes minimaux x et y des ancrages dans l'ouvrage, dans les directions des x et des y , ainsi que les distances minimales de l'axe d'un ancrage au bord doivent être déduits selon des règles justifiées sur le plan scientifique, définies par le candidat à l'ATE. S'il n'existe pas d'essai spécifique, il est possible d'appliquer la règle suivante :

$$A_c = x \cdot y = a \cdot b$$

Les valeurs réelles de la distance d'axe en axe et de la distance de l'axe au bord, dans l'ouvrage, doivent satisfaire à :

$$\begin{aligned} x &\geq 0.85 a \\ y &\leq 1.15 b \end{aligned}$$

- où :
- a, b sont les dimensions transversales du corps d'épreuve (dimensions de référence données dans l'ATE) ;
 - x, y représentent l'entr'axe minimal spécifié du câble en question dans l'ouvrage ou le double de la distance spécifiée entre l'axe de l'ancrage et le bord, si elle est plus petite.

La hauteur h du bloc doit représenter au moins le double de la plus grande des deux dimensions transversales a ou b (voir figure B.3.1.1.). La hauteur de la partie inférieure du bloc, armée au taux normal, doit être au moins de $0,5 h$.

La partie du bloc comprenant les composants d'ancrage doit être munie d'une armature de frettage de même grandeur et de même configuration que celles spécifiées pour le système et le câble en question dans le guide du candidat à l'ATE. Pour le maintien de l'armature de frettage, il est possible d'utiliser une armature secondaire. Celle-ci ne sera pas reprise dans l'agrément technique si elle remplit les conditions suivantes :

- barres longitudinales présentant une section totale inférieure ou égale à $0,003A_c$;
- étriers uniformément répartis sur toute la hauteur du bloc, représentant au plus $50 \text{ kg d'acier/m}^3$ de béton.

Le béton du bloc doit correspondre au béton normal utilisé pour les ouvrages en béton précontraint en ce qui concerne les matériaux, la composition, le compactage et la résistance caractéristique f_{ck} . Le bloc est démoulé au bout d'une journée, puis curé jusqu'au moment de l'essai. Les cylindres ou cubes d'essai moulés pour la détermination de la résistance en compression du béton doivent être curés de la même manière.

L'enrobage de l'armature doit en principe être de 10 mm . Pour les essais effectués avec un enrobage plus important, les critères d'acceptation pour la largeur maximale de fissure, figurant au paragraphe 6.1.3-I, peuvent être modifiés conformément aux règles de l'Eurocode 2 [11] pour tenir compte de l'enrobage retenu.

B.3.1.2 Procédure d'essai

Le corps d'épreuve est monté sur une installation ou une machine d'essai étalonnée. La charge doit être appliquée au bloc sur une zone simulant les conditions de charge sur un ancrage complet.

La charge est augmentée par étapes : $0,2 F_{pk}$, $0,4 F_{pk}$, $0,6 F_{pk}$ et $0,8 F_{pk}$ (voir figure B.3.1.2). Une fois la charge de $0,8 F_{pk}$ atteinte, au moins dix cycles lents de charge doivent être effectués entre $0,8 F_{pk}$ et $0,12 F_{pk}$ (limites de charge maximale et minimale, respectivement). Le nombre nécessaire de cycles de charge dépend de la stabilisation des enregistrements de déformations et de largeurs de fissures, décrites ci-dessous. Après les chargements cycliques, la charge est montée de façon continue jusqu'à rupture.

Lors des chargements cycliques, les mesures doivent être prises avec la charge minimale et la charge maximale, pendant plusieurs cycles, afin de déterminer si une stabilisation satisfaisante des déformations et des largeurs de fissures a été atteinte. Le chargement cyclique doit être poursuivi pendant n cycles jusqu'à ce que la stabilisation soit satisfaisante (voir B.3.1.3). La figure B.3.1.2 montre la séquence de chargements et de mesures.

Lors de l'essai final de rupture, la résistance moyenne en compression du béton du bloc doit être la suivante :

$$f_{cm,e} \leq f_{cm,0}$$

B.3.1.3 Critères de stabilisation

- On peut considérer que les largeurs de fissures sont stabilisées lorsque, sous la charge maximale, elles satisfont à :

$$w_n - w_{n-4} \leq 1/3 (w_{n-4} - w_0), n \geq 10$$

- On peut considérer que les déformations longitudinales et transversales sont stabilisées lorsqu'elles satisfont à :

$$\varepsilon_n - \varepsilon_{n-4} \leq 1/3 (\varepsilon_{n-4} - \varepsilon_0), n \geq 10$$

Voir la figure B.3.1.5 pour plus de précisions sur l'évaluation des critères de stabilisation.

B.3.1.4 Mesures et observations

Les mesures et observations à effectuer et à relever sont les suivantes :

- vérification de la conformité des composants aux spécifications de l'ATE (matériaux, usinage, géométrie, dureté, etc.) ;
- déformation longitudinale et transversale du béton sur au moins deux faces latérales du bloc, dans la zone où l'effet d'éclatement est maximal, avec les charges maximale et minimale, en fonction du nombre de cycles de charge ;
- formation, largeur et développement des fissures sur les faces latérales du bloc, comme mentionné plus haut ;
- inspection visuelle ou mesure de la déformation des composants d'ancrage en contact avec le béton ;
- emplacement et mode de rupture ;
- force ultime mesurée F_u ;
- examen des composants et du bloc après les essais, documentation photographique, commentaires.

La figure B.3.1.3. montre schématiquement la disposition des jauges pour la mesure des déformations sur chaque côté du bloc, etc.

II – Ancrage par adhérence

B.3.1.1 Corps d'épreuve

L'ancrage et le câble adhérents doivent être coulés dans un bloc de béton. La disposition des armatures de précontrainte, leur géométrie, les composants d'ancrage, etc. doivent être conformes au guide du candidat à l'ATE. Les composants utilisés pour les essais sont prélevés de manière aléatoire. La section du bloc et ses dimensions transversales a et b doivent correspondre aux valeurs définies au paragraphe B.3.1.1 – I de l'annexe B.3.1.

Le corps d'épreuve est schématisé sur la figure B.3.1.4. Il comporte deux zones. Une zone contient l'ancrage adhérent noyé, l'ensemble des composants d'ancrage et l'armature de frettage. L'autre zone contient le câble droit avec le conduit non injecté. La longueur droite du câble doit être supérieure à la longueur du plus long côté du bloc.

Le bloc doit être coulé en position horizontale. Pour éliminer l'effet néfaste sur l'adhérence de la mise en place du béton frais, un bloc supplémentaire de béton d'une hauteur d'environ 500 mm doit être coulé sous le corps d'épreuve et en même temps que lui. Ce bloc supplémentaire doit être retiré avant les essais.

Des exigences identiques à celles figurant au paragraphe B.3.1.1 - I de l'annexe B.3.1. s'appliquent à l'armature de frettage et au béton, en matière de résistance, de démoulage, de cure, etc. Tous les détails concernant le câble doivent être conformes au guide du candidat à l'ATE.

B.3.1.2 Procédure d'essai

La procédure d'essai correspond à celle figurant au paragraphe B.3.1.2 - I de l'annexe B.3.1.. Lors de l'essai final de rupture, la résistance moyenne en compression du béton doit être la suivante :

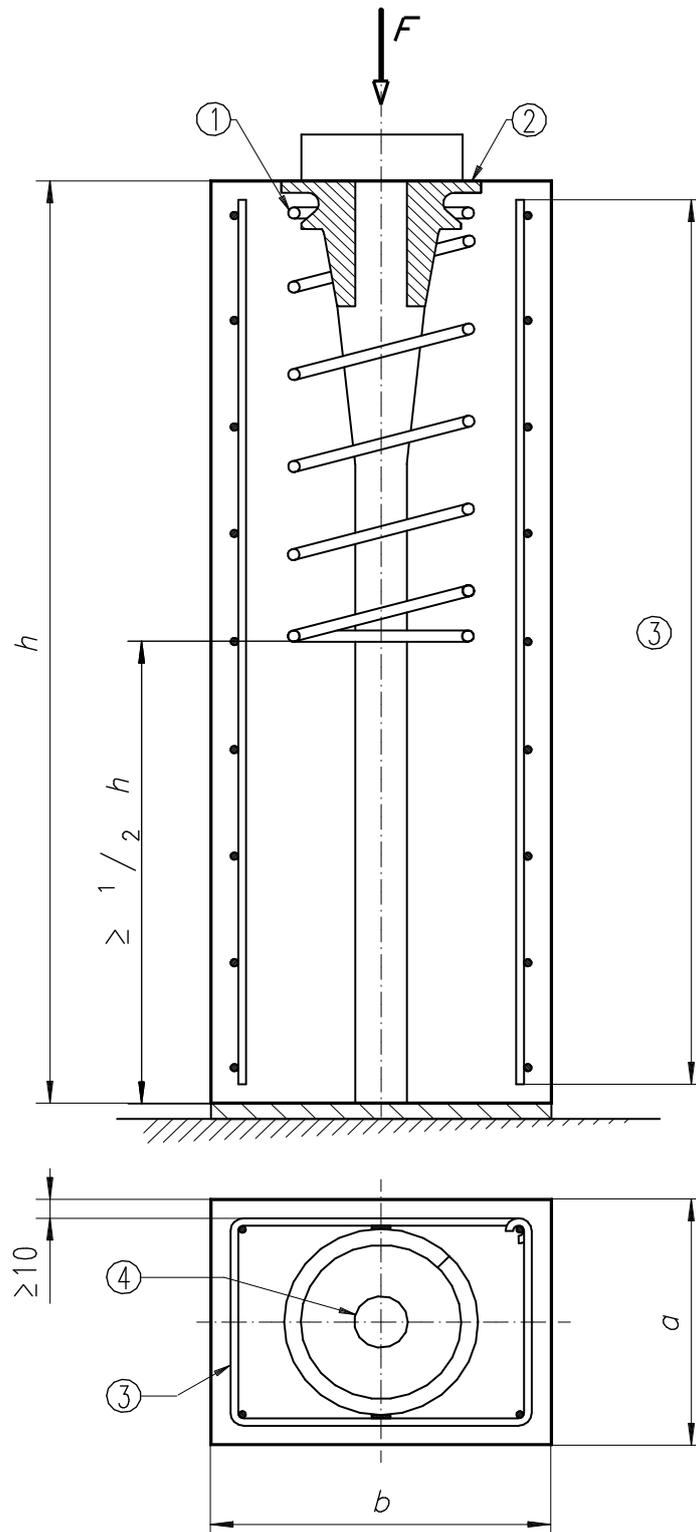
$$f_{cm,e} < 0,80f_{cm,o}$$

B.3.1.3 Critères de stabilisation

Identiques à ceux figurant au paragraphe B.3.1.3 - I de l'annexe B.3.1.

B.3.1.4 Mesures et observations

Elles doivent correspondre à celles figurant au paragraphe B.3.1.4 - I de l'annexe B.3.1. De plus, le glissement aux extrémités des armatures de précontrainte par rapport au béton doit être mesuré.



- (1) Frettage
- (2) Composants de l'ancrage
- (3) Ferrailage complémentaire
- (4) Conduit Gaine vide

Figure B.3.1.1 : Corps d'épreuve pour l'essai de transfert de charge

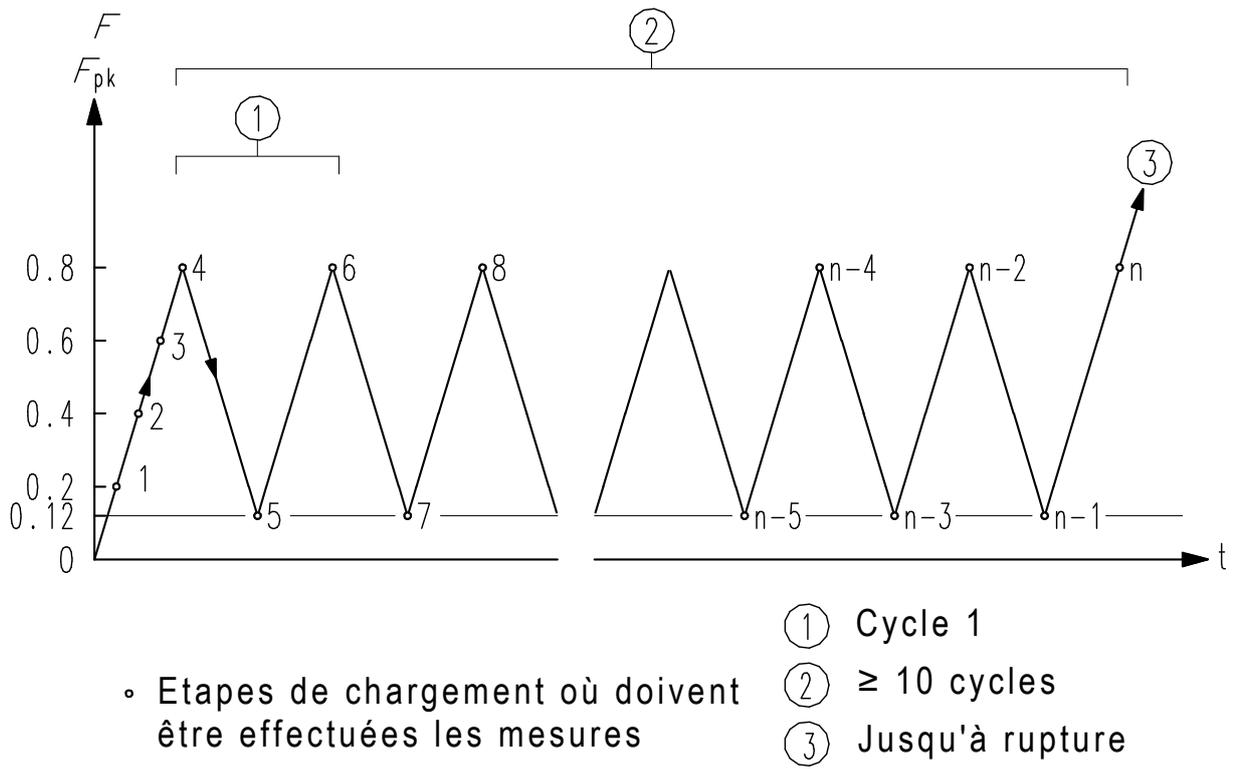
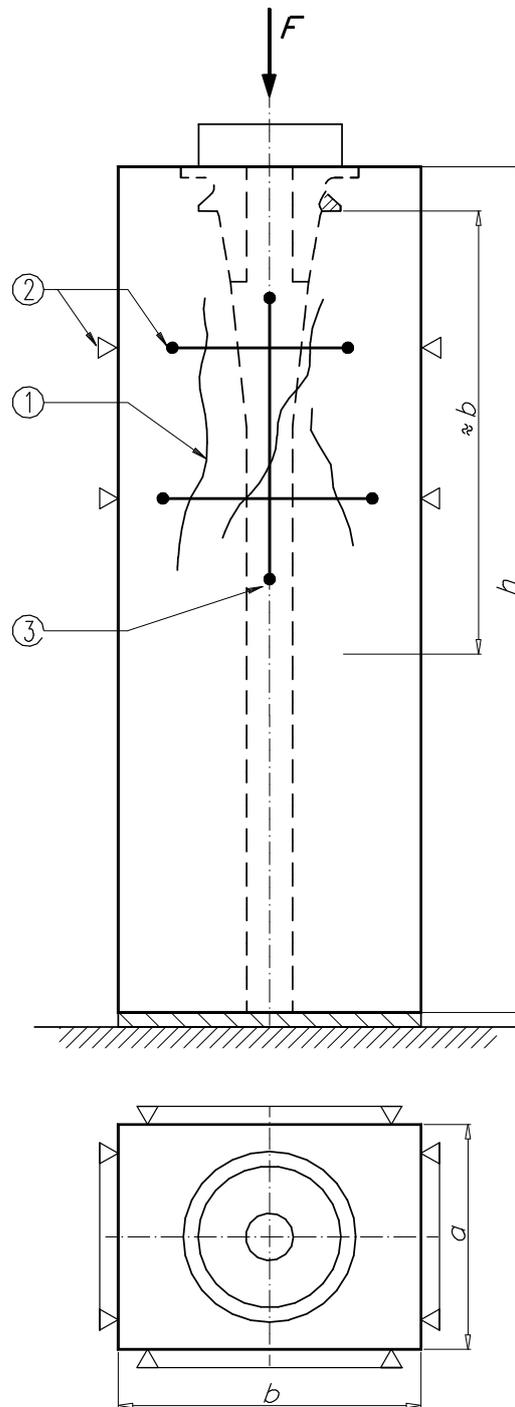
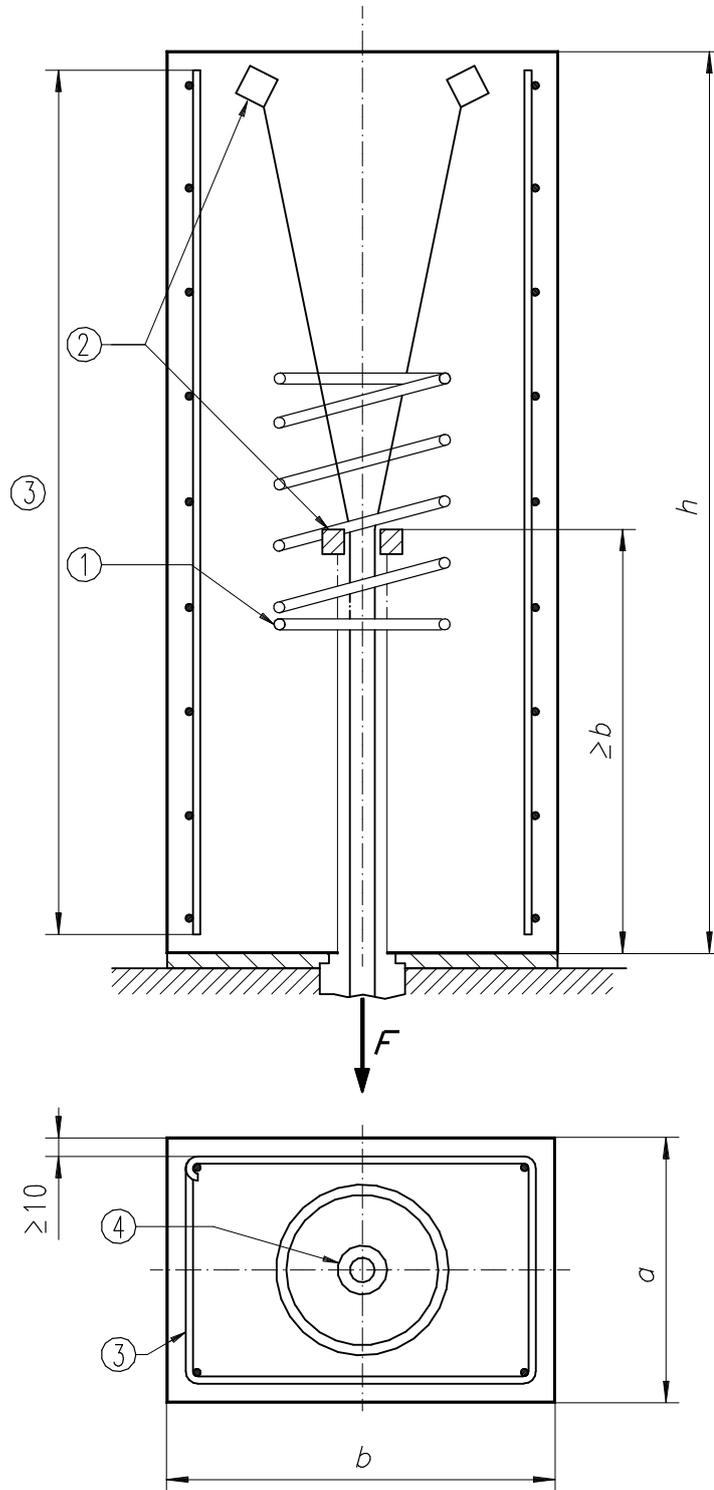


Figure B.3.1.2 Procédure pour l'essai de transfert de charge



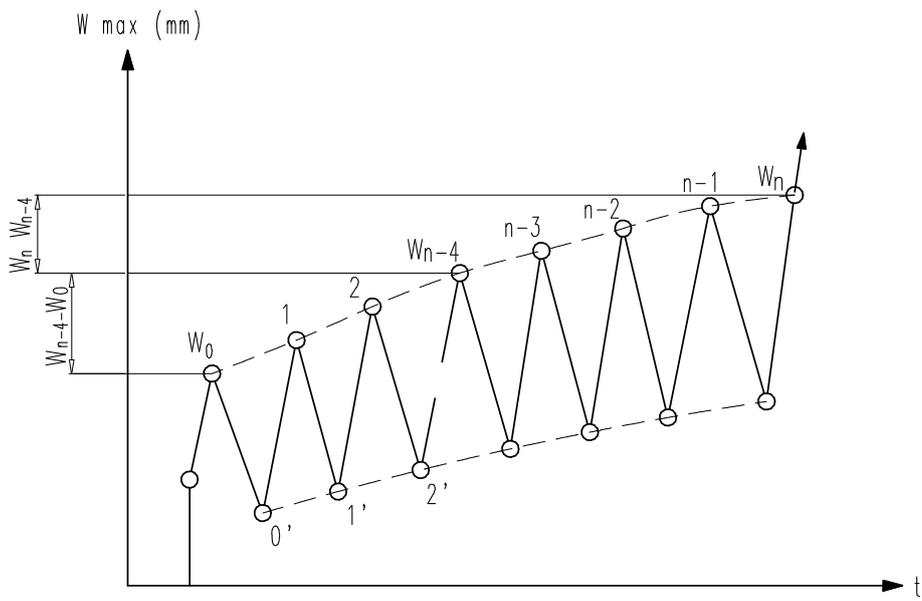
- ① Fissures
 - ② Pour ε_t
 - ③ Pour ε_v
- E_{ε_t} déformation transversale
 E_{ε_v} déformation verticale
 $\approx 0,6 \text{ à } 0,8 b$

Figure B.3.1.3 Instrumentation pour l'essai de transfert de charge

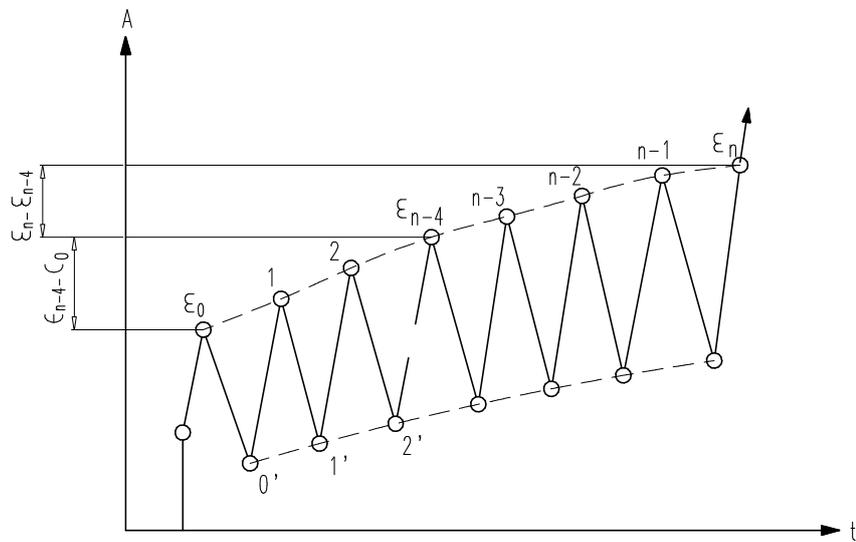


- ① Frettage
- ② Composants de l'ancrage
- ③ Ferrailage complémentaire
- ④ Gaine

Figure B.3.1.4 : Corps d'épreuve pour l'essai de transfert avec ancrage adhérent



(a) Ouverture de fissures



(b) Déformations

Note :

A = respectivement max ε_v et max ε_t

Figure B.3.1.5 : Évaluation de la stabilisation des déformations et des largeurs de fissures

B.4 Mesure des pertes par frottement dans les ancrages

Comme les pertes par frottement sont différentes selon que la contrainte augmente ou diminue, ou que les vérins travaillent activement ou passivement, il faut déterminer quatre régressions linéaires différentes.

B.4.1 Corps d'épreuve

Le corps d'épreuve consiste en une poutre tubulaire en béton (ou autre sur laquelle sont mis en place les armatures de précontrainte, les composants d'ancrage, y compris la plaque d'appui, la tête d'ancrage, les clavettes, ou ce qu'exigent les autres méthodes d'ancrage des armatures de précontrainte, etc. ainsi que les vérins et les manomètres.

B.4.2 Procédure d'essai

Le corps d'épreuve est monté sur le banc, comme spécifié dans l'ATE en fonction de l'application envisagée, en utilisant les composants nécessaires pour ancrer le câble.

On effectuera au moins trois cycles successifs de chargement et de déchargement, avec le vérin en position respectivement ouverte, médiane et fermée.

B.4.3 Mesures et observations

La régression linéaire doit être déterminée à partir du niveau de charge à 20% jusqu'à la charge maximale.

B.5 Déviateur

B.5.1 ESSAI DE CHARGE STATIQUE DU DÉVIATEUR

B.5.1.1 Corps d'épreuve

Un corps d'épreuve type est schématisé sur la figure B.5.1.1. Il doit comprendre les composants de déviateur qui seront noyés dans l'ouvrage, ainsi que les composants de câble spécifiés au niveau d'un déviateur dans le guide du candidat à l'ATE. Les composants de déviateur et de câble utilisés pour l'essai sont prélevés de manière aléatoire. Leur disposition doit être conforme à l'application prévue et aux spécifications. Le déviateur doit être placé de manière à former une cassure angulaire intentionnelle, correspondant à la tolérance maximale, précisée dans les spécifications techniques européennes ou le guide du candidat à l'ATE.

Le corps d'épreuve doit être un prisme de béton suffisamment grand pour contenir le déviateur avec une déviation de câble $\alpha = 10^\circ$ selon le rayon de courbure minimal spécifié dans le déviateur. Le prisme de béton doit être armé de manière à limiter les fissures et à éviter la rupture prématurée du prisme lors de l'essai. La résistance du béton doit être choisie de façon à éviter un écrasement prématuré du béton lors de l'essai du déviateur.

Les autres parties accessoires de l'installation d'essai susceptibles d'être utilisées sont indiquées sur la figure B.5.1.1 et peuvent être adaptées à l'équipement du laboratoire. La longueur libre du câble à partir de l'avant du déviateur jusqu'au point d'ancrage ne doit pas être inférieure à 3 m.

Si, pour le même type de déviateur, plusieurs classes d'armatures de précontrainte du même type sont utilisables, les essais doivent être effectués avec la classe correspondant à la résistance caractéristique à la traction la plus élevée.

B.5.1.2 Procédure d'essai

Le câble est monté sur un banc d'essai étalonné. Chacune des armatures constitutives du câble est légèrement tendue pour supprimer le jeu et limiter les éventuels écarts de tension entre les armatures individuelles dus aux différences de longueur d'un côté à l'autre du déviateur. Le câble est ensuite tendu par étapes correspondant à 20%, 40%, 60% et 80% de la valeur caractéristique de la résistance à la traction des armatures de précontrainte f_{pk} . La charge est augmentée à un rythme constant, correspondant à environ 100 MPa par minute. À chaque étape de chargement, les armatures de précontrainte doivent être déplacées par rapport au déviateur pour simuler les mouvements causés par l'allongement des armatures de précontrainte. Le déplacement total ne doit pas être inférieur à 800 mm. À 80 %, la charge est maintenue constante pendant une heure. Elle est ensuite réduite à 70 % et le câble est rempli d'un produit d'injection dans la zone du déviateur conformément au guide du candidat à l'ATE.

Lorsque le produit d'injection a atteint sa résistance minimale spécifiée, la charge du câble est augmentée progressivement jusqu'à rupture, avec un accroissement maximal de l'allongement relatif de 0,002 par minute.

B.5.1.3 Mesures et observations

Les mesures et observations à effectuer et à relever sont les suivantes :

- vérification de la conformité des composants aux spécifications de l'ATE (matériaux, usinage, géométrie, dureté, etc.) ;
- charge du câble et déformation aux deux extrémités ;
- force maximale mesurée F_{Tu} ;
- emplacement et mode de rupture ;
- dommages sur le conduit du déviateur ou du câble, à l'intérieur du déviateur, au moment du découpage du déviateur ;
- examen du déviateur, documentation photographique, commentaires.

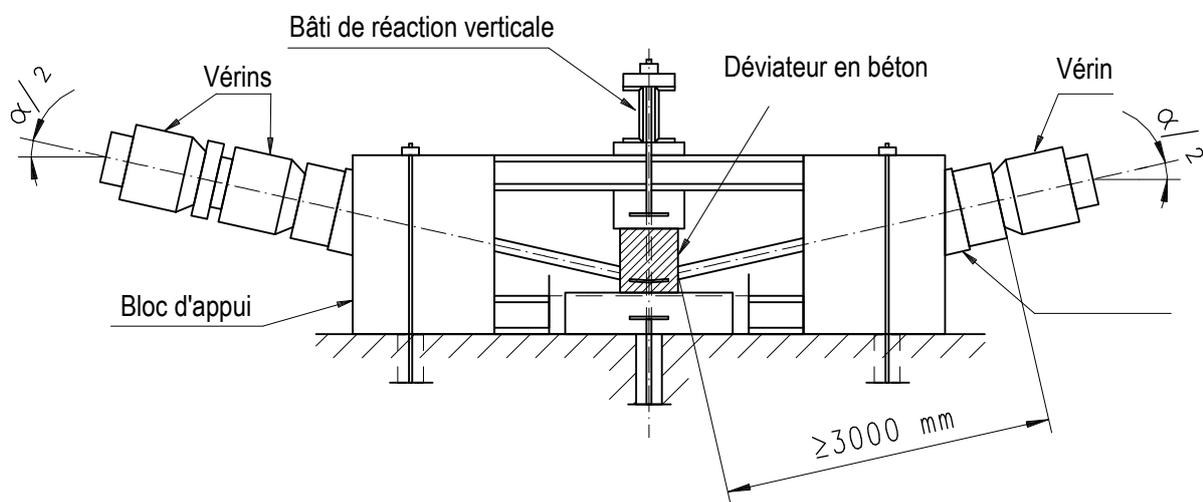


Figure B.5.1.1 : Installation type pour l'essai de charge statique du déviateur

B.5.2 ESSAIS DE COMPORTEMENT D'UN CÂBLE DÉVIÉ

B.5.2.1 Corps d'épreuve

Le corps d'épreuve doit être conforme à celle figurant au paragraphe B.5.1.1. Toutefois, la déviation du câble doit être de $\alpha=14$ degrés.

B.5.2.2 Procédure d'essai

Essai A : Grande déviation

La procédure d'essai décrite au paragraphe B.5.1.2 doit être appliquée en tenant compte des modifications suivantes :

- Si l'ATE prescrit de faire l'injection des conduits avant la mise en tension complète, il faut se conformer à cette prescription lors de l'essai.
- La force de tension maximale pour l'essai doit être de 70%.
- Une fois la charge maximale atteinte, le câble doit être déplacé sous cette charge, sur la selle, sur une longueur d'au moins 800 mm.
- Une fois le mouvement total réalisé, la charge doit être maintenue pendant 21 jours.
- Ensuite, le câble est détendu et découpé à proximité du déviateur sur une longueur au moins égale au mouvement appliqué au câble. Il n'est pas prévu de faire un essai de rupture.

Essai B : Petite déviation

Le câble doit être dévié de 2° à chaque extrémité sur les bords tranchants d'une selle horizontale de 700 mm de longueur. Le bord tranchant doit être formé par une section en acier présentant un rayon de 5 mm au niveau de la déviation. La procédure d'essai doit, par ailleurs, suivre celle de l'essai A.

B.5.2.3 Mesures et observations

Les mesures et observations figurant au paragraphe B.5.1.3 s'appliquent en tenant compte des modifications suivantes :

- Vérification de la conformité des composants aux spécifications de l'ATE (matériaux, usinage, géométrie, dureté, etc.).
- La force maximale mesurée F_{Tu} et le mode de rupture ne sont pas enregistrés.
- Les endommagements comme l'usure ou les coupures occasionnées sur le conduit et la gaine des armatures de précontrainte doivent être mesurés et enregistrés.
- Mesure et relevé de l'épaisseur résiduelle minimale du conduit et de la gaine des armatures de précontrainte.
- Observation et relevé des mouvements relatifs entre les composants du câble, c'est-à-dire entre l'armature de précontrainte et le conduit, et, le cas échéant, entre l'armature de précontrainte et sa gaine individuelle.

B.6 Faisabilité et Fiabilité de la mise en oeuvre

B 6.1 ESSAI D'ASSEMBLAGE, DE POSE ET DE MISE EN TENSION

B.6.1.1 Corps d'épreuve.

Câbles intérieurs

Le corps d'épreuve se compose d'une poutre prismatique d'au moins 30m de long et 1,5 m de haut. Cette poutre et le profil du câble associé doivent représenter la travée de rive d' une poutre continue prolongée par un tronçon de la travée adjacente . L'axe du câble est défini par deux paraboles passant par l'ancrage (1) dans la travée de rive, le point bas dans ladite travée (2), le point de raccordement des paraboles (3) et le point haut au droit de l'appui (4). Sur l'amorce de travée adjacente, le raccordement entre la parabole (5) et le coupleur ou l'ancrage d'extrémité (6) peut être rectiligne. Au point haut (4), le câble doit être courbé selon le rayon de courbure minimal spécifié par le guide du candidat à l'ATE. Le profil du câble doit comporter un défaut de positionnement des supports de gaine, dans les limites précisées par les spécifications techniques européennes, telles que l'Eurocode 2 et le guide du candidat à l'ATE (inclure au point bas et au point haut sur des supports de gaines consécutifs, les défauts intentionnels suivants : 0, - tolérance maximale, + tolérance maximale, 0). La poutre et le profil du câble sont schématisés sur la figure B.6.1.1.

Le corps d'épreuve doit comprendre des composants de câble conformes au guide du candidat à l'ATE pour la pose, la mise en tension et l'injection des conduits. Les composants sont sélectionnés de manière aléatoire.

Le corps d'épreuve doit être armé conformément aux Eurocodes ou aux codes nationaux, et doit contenir l'armature de frettage des ancrages, conformément au guide du candidat à l'ATE.

Câbles extérieurs

Le corps d'épreuve défini précédemment doit être modifiée de manière à permettre la pose de câbles extérieurs. Cela peut être effectué, par exemple, en dédoublant longitudinalement le corps d'épreuve précédent et en plaçant un câble extérieur dans l'espace intermédiaire (voir B.6.1.2.). Autre solution : deux câbles extérieurs identiques peuvent être placés de part et d'autre du corps d'épreuve défini pour les câbles intérieurs. Dans les deux cas, des déviateurs de câbles doivent être disposés (soit entre les deux moitiés, soit à l'extérieur du corps d'épreuve).

L'axe du câble est défini par un tracé polygonal passant par l'ancrage dans la travée de rive (1), par deux points bas dans ladite travée , au tiers et aux deux tiers de la portée (2), par le point haut au droit de l'appui (4) et par l'ancrage final (6). Chaque point de déviation du câble est formé par un déviateur de câble, comme spécifié dans l'ATE, au rayon de courbure minimal spécifié. Les déviateurs sont de préférence formés par des demi-coquilles pour permettre une inspection aisée lors de l'essai d'injection des conduits (voir B.6.2). Les déviateurs de câbles doivent comporter un défaut d'alignement, dans les limites précisées par les spécifications techniques européennes, telles que l'Eurocode 2 et le guide du candidat à l'ATE.

B.6.1.2 Procédure d'essai

Le candidat à l'ATE doit mettre en place tous les composants de câble conformément au guide d'ATE, dans la cage d'armatures. Les armatures de précontrainte doivent être enfilées dans le conduit, comme spécifié dans le guide du candidat à l'ATE. Pour les câbles intérieurs, cela peut être effectué avant ou après le bétonnage de la poutre, ou les deux.

Le bétonnage du corps d'épreuve doit ensuite être réalisé en conformité avec les règles de l'art.

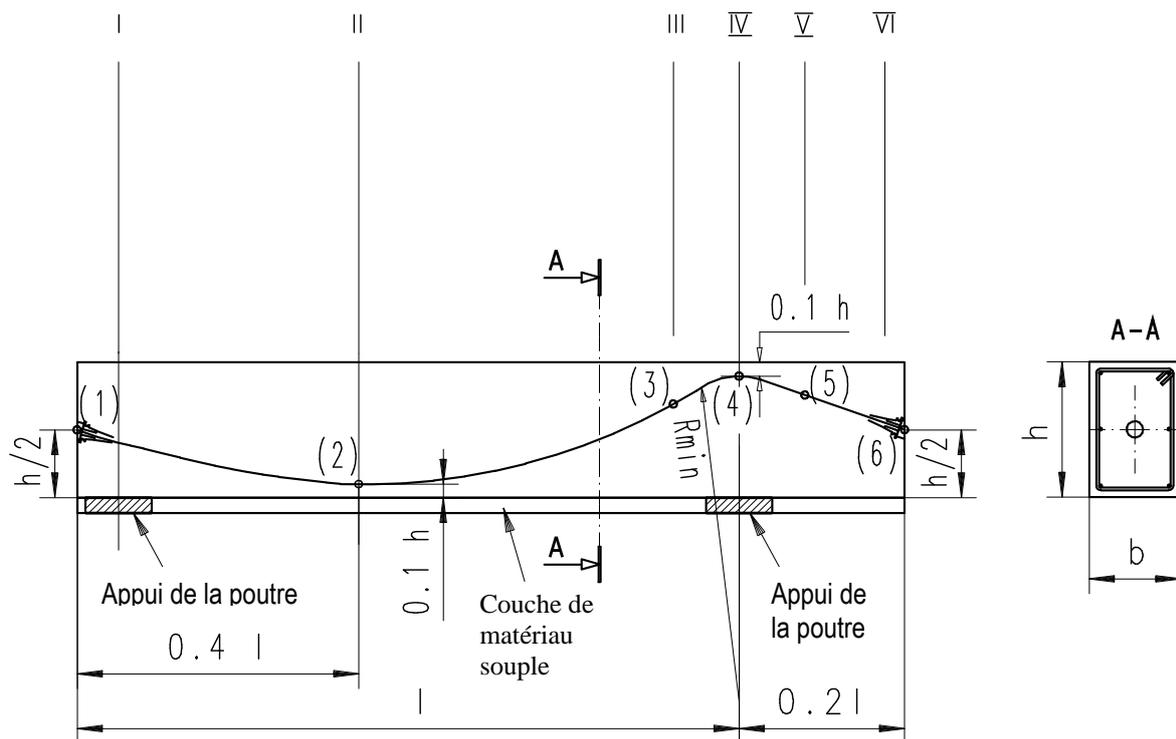
Quand le béton a une résistance suffisante et que les armatures des précontrainte sont enfilées, le câble est tendu par étapes jusqu'à la charge maximale, conformément au guide du candidat à l'ATE. Les vérins doivent être utilisés aux deux extrémités du câble, mais un seul est utilisé de manière active pour tendre le câble tandis que l'autre sert à mesurer la charge.

Ensuite, le câble est complètement détendu, puis une nouvelle fois tendu par étapes, conformément au guide du candidat à l'ATE, à partir de l'extrémité opposée à celle de la première mise en tension. Un seul vérin est utilisé et le câble est finalement ancré, conformément au guide du candidat à l'ATE.

B.6.1.3 Mesures et observations

Les mesures et observations à effectuer et à relever sont les suivantes :

- vérification de la conformité des composants aux spécifications de l'ATE (matériaux, usinage, géométrie, dureté, etc.) ;
- dessins du corps d'épreuve, du tracé du câble et des détails du câble, en fonction de la construction ;
- relevés de la pose, de la mise en tension, de la détente et de la nouvelle mise en tension du câble ;
- charges, allongements du câble et courses des vérins à chaque étape de chargement ;
- conditions météorologiques et température de l'air ;
- relevé de la durée de chaque étape ;
- aspect des composants d'ancrage et des extrémités de câble à l'issue de l'essai ;
- documentation photographique, commentaires.

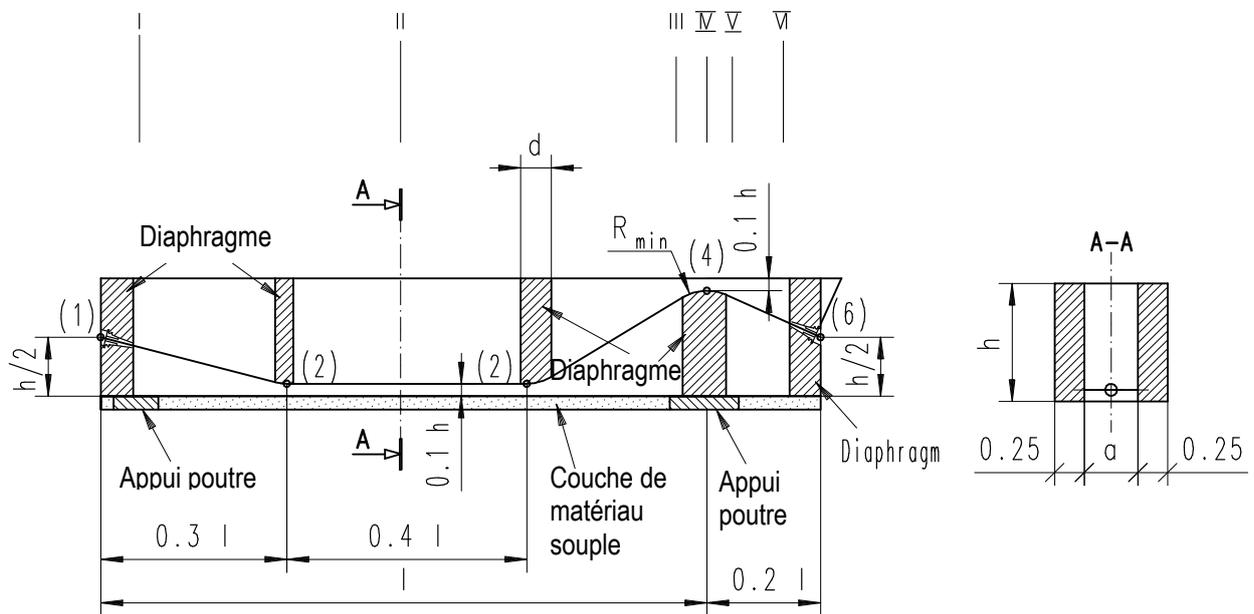


- (1) Ancrage d'extrémité
- (2) Point bas
- (3) Point de transition entre paraboles
- (4) Point haut
- (5) Point de transition entre paraboles
- (6) Coupleur ou ancrage d'extrémité

Dimensions :

- $L \geq 25 \text{ m}$
- $h \geq 1,5 \text{ m}$
- $b = \text{deux fois la distance au bord minimum spécifique de l'ancrage}$

Figure B.6.1.1 : Corps d'épreuve pour l'essai d'assemblage, de pose et de mise en tension des câbles intérieurs



- (1) Ancre d'extrémité
- (2) Point bas
- (4) Point haut
- (6) Ancre ou coupleur d'extrémité

Dimensions :

- a = largeur suffisante pour accès
- d = épaisseur de diaphragme suffisante pour assurer la déviation avec un rayon de R_{min}
- $l \geq 25 \text{ m}$
- $h \geq 1,5 \text{ m}$

Figure B.6.1.2 : Corps d'épreuve type pour l'essai d'assemblage, de pose et de mise en tension des câbles extérieurs

B.6.2 ESSAI D'INJECTION DES CONDUITS

B.6.2.1 Corps d'épreuve

Une fois mis en tension finale le corps d'épreuve selon la procédure figurant en annexe B 6.1 pour « l'essai d'assemblage, de pose et de mise en tension » doit être utilisée pour « l'essai d'injection des conduits ».

B.6.2.2 Procédure d'essai

Le câble doit être injecté à l'aide d'un produit d'injection conforme au guide du candidat à l'ATE.

Quand le produit d'injection a atteint la résistance minimale spécifiée, le corps d'épreuve doit être ouverte aux six endroits I à VI indiqués sur les figures B.6.1.1 et B.6.1.2. Pour les câbles intérieurs, des carottes suffisamment grandes pour contenir le conduit dans sa totalité peuvent être prélevées dans ces sections. Pour les câbles extérieurs, le conduit doit être ouvert pour l'inspection du produit d'injection.

B.6.2.3 Mesures et observations

Les mesures et observations à effectuer et à relever sont les suivantes :

- vérification de la conformité des composants aux spécifications de l'ATE (matériaux, usinage, géométrie, dureté, etc.) ;
- conditions météorologiques et température de l'air pendant l'injection des conduits et pendant la cure ;
- emplacement et orientation des armatures individuelles en chaque section ;
- emplacement et dimensions des vides dans le produit d'injection ;
- observation de la consistance et de la couleur du produit d'injection en à chaque section ;
- examen des carottes ou des échantillons de produit d'injection, documentation photographique, commentaires.

B.6.3 ESSAI DE REMPLACEMENT D'UN CÂBLE

B.6.3.1 Corps d'épreuve

Câbles extérieurs

Le câble est disposé dans une pièce prismatique en béton contenant deux blocs de transfert de charge, un à chaque extrémité. Ces blocs doivent avoir les dimensions spécifiées en annexe B.3.1 sans toutefois être d'une longueur inférieure à un mètre. L'assemblage câble-ancrage doit comporter tous les détails précisés dans le guide du candidat à l'ATE pour l'application prévue. Les composants servant aux essais sont prélevés de manière aléatoire.

La distance entre les ancrages doit être supérieure à 4,0 m. Une disposition possible pour effectuer l'essai sur le câble extérieur est illustrée sur la figure B.6.3.1.

Le conduit contenant les armatures de précontrainte en longueur libre située entre les deux blocs d'essai de transfert de charge, doit rester accessible pour permettre de découper les armatures de précontrainte (voir « fenêtre » sur la figure B.6.3.1.).

Le système peut être conçu pour s'adapter à un dispositif d'essai particulier, sous réserve de respecter les conditions décrites ci-dessus.

Câbles intérieurs

Le corps d'épreuve doit être similaire à celui décrit au paragraphe précédent. Toutefois, le câble doit, dans la partie centrale, comporter une zone présentant au moins une double courbure, correspondant à un angle de déviation cumulée de 45° , selon le rayon de courbure minimal R_{\min} spécifié dans l'ATE pour cette application. La pose du câble et la séquence de bétonnage doivent être adaptées à l'usage prévu. Une disposition possible pour effectuer l'essai sur le câble intérieur est illustrée sur la figure B.6.3.2.

B.6.3.2 Procédure d'essai

Une fois le câble complet mis en place, la force dans les armatures de précontrainte est augmentée par étapes jusqu'à 80 % de F_{pk} , conformément au guide du candidat à l'ATE. Le câble est alors injecté, s'il y a lieu, à la pression prescrite dans le guide du candidat à l'ATE. Après un délai de 7 jours minimum, les armatures de précontrainte des câbles extérieurs sont découpées au niveau de la « fenêtre » et le câble est retiré du corps d'épreuve. Les câbles intérieurs remplaçables sont changés, comme décrits dans l'ATE.

B.6.3.3 Mesures et observations

Les mesures et observations à effectuer et à relever sont les suivantes :

- vérification de la conformité des composants aux spécifications de l'ATE (matériaux, usinage, géométrie, dureté, etc.) ;
- séquence des opérations de pose, mise en tension/injection des conduits s'il y a lieu, découpe et extraction du câble ;
- pression d'injection des conduits, s'il y a lieu ;
- moyens utilisés pour extraire le câble du corps d'épreuve ;
- difficultés rencontrées pendant le démontage, le cas échéant ;
- résultats de l'examen visuel des composants du câble après démontage, documentation photographique, commentaires.

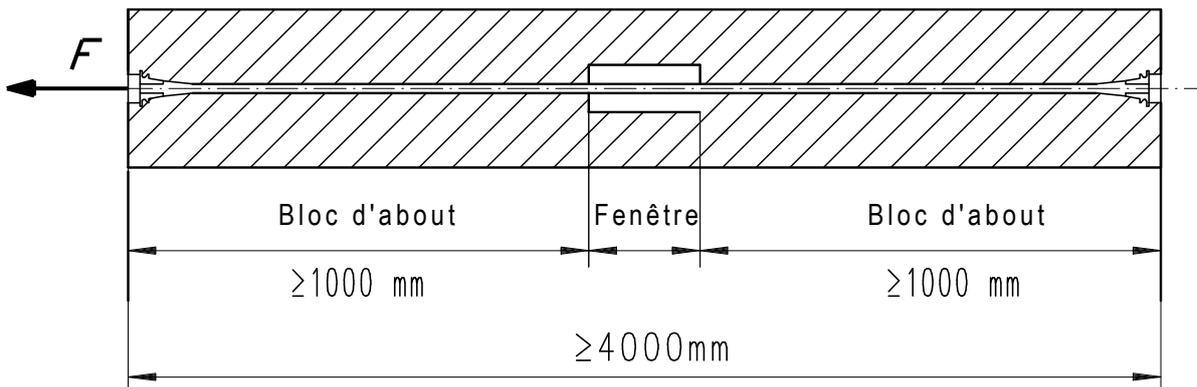


Figure B.6.3.1 : Installation pour l'essai de remplacement d'un câble extérieur

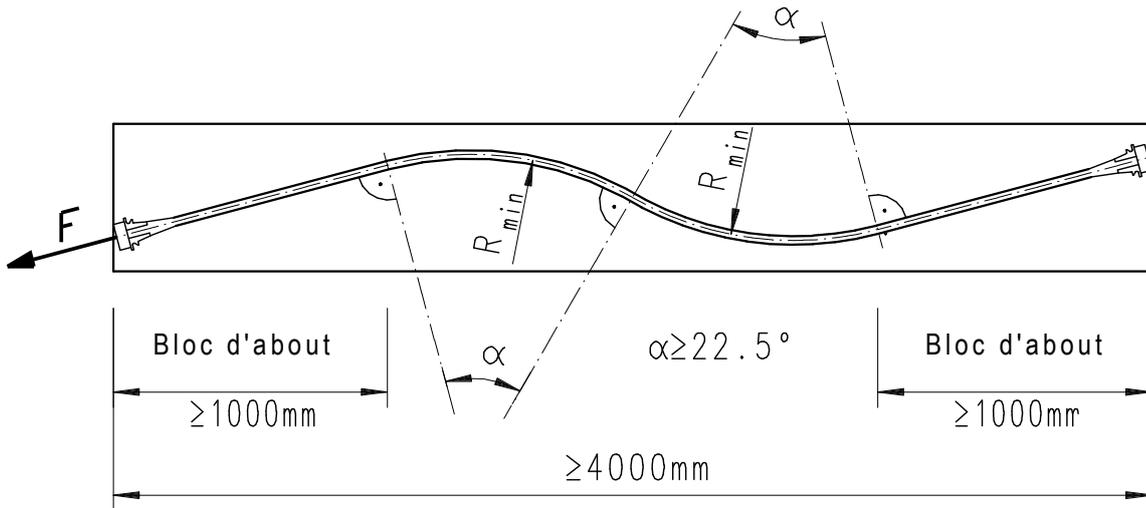


Figure B.6.3.2 Installation pour l'essai de remplacement d'un câble intérieur

B.6.4 ESSAI D'ÉTANCHÉITÉ

B.6.4.1 Corps d'épreuve

Le corps d'épreuve décrit dans la procédure figurant en annexe B.6.1. pour « l'essai d'assemblage, de pose et de mise en tension pour câbles intérieurs » doit être utilisé pour « l'essai d'étanchéité », mais sans enfilage des armatures de précontrainte et avant bétonnage. Les éléments de scellement de l'ancrage, tels que les capots, doivent être posés.

B.6.4.2 Procédure d'essai

Le système ainsi monté doit être soumis à une pression d'air interne initiale de 0,1 bar. Cette pression est maintenue pendant 5 minutes pour établir l'équilibre dans le système. La vanne d'alimentation d'air est alors fermée et la pression d'air dans le conduit après la fermeture de la vanne est mesurée pendant 5 minutes.

B.6.4.3 Mesures et observations

Les mesures et observations à effectuer et à relever sont les suivantes :

- vérification de la conformité des composants aux spécifications de l'ATE (matériaux, usinage, géométrie, dureté, etc.) ;
- conditions météorologiques et température de l'air pendant l'essai d'étanchéité ;
- pression d'air pendant une période de 5 minutes après la fermeture de la vanne ;
- examen du système et des éventuels points de fuite, documentation photographique, commentaires.

B.6.5 ESSAI DE RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE

B.6.5.1 Corps d'épreuve

Le corps d'épreuve totalement injectée dans la procédure figurant en annexe B 6.2 pour « l'essai d'injection pour câbles intérieurs » doit être utilisée pour « l'essai de résistance électrique », mais avant l'ouverture du corps d'épreuve. Un câblage électrique de mesure est raccordé à l'ancrage du câble (de préférence à la tête d'ancrage) de manière à assurer un contact sans défaut et permettre des mesures valides (p. ex., fixation par boulons). Un branchement électrique similaire est prévu sur la cage d'armatures passives, de préférence à proximité de l'ancrage. Tous les câbles électriques sont isolés et pourvus d'un gainage étanche. Le câble électrique de mesure possède une âme en cuivre dont la section ne doit pas être inférieure à 1 mm².

B.6.5.2 Procédure d'essai

Le câblage électrique de mesure raccordés à l'ancrage du câble et aux armatures passives sont reliés à un ohmmètre, comme ceux utilisés pour mesurer la masse électrique. Ce dispositif présente les caractéristiques suivantes :

- une fréquence de mesure d'environ 100 Hz, en courant alternatif ;
- l'alimentation par un courant alternatif de 20/40 V ;
- un affichage numérique de la résistance électrique allant de 0,1Ω à 300 kΩ, avec une résolution de 0,1 Ω.

La résistance électrique entre les armatures de précontrainte et la structure (cage d'armatures passives) doit être mesurée à l'aide du dispositif de mesure spécifié ci-dessus. La mesure est effectuée une deuxième fois, indépendamment, afin de confirmer les résultats. Lorsque des anomalies apparaissent dans les lectures, le branchement du câblage électrique de mesure doit être vérifié et nettoyé, et les mesures doivent être répétées.

B.6.5.3 Mesures et observations

Les mesures et observations à effectuer et à relever sont les suivantes :

- vérification de la conformité des composants aux spécifications de l'ATE (matériaux, usinage, géométrie, dureté, etc.) ;
- détails des raccordement de conduits et emplacement des événements ;
- fiche technique sur le dispositif de mesure de la résistance électrique ;
- conditions météorologiques et température de l'air pendant l'essai ;
- longueur et résistance électrique du câblage de mesure ;
- disposition et détails de branchement du câblage électrique de mesure ;
- résistance électrique mesurée entre les armatures de précontrainte et les armatures passives de la structure (toutes les valeurs mesurées doivent être enregistrées) ;
- examen des branchements électriques sur les armatures de précontrainte et les armatures passives, documentation photographique, commentaires.

ANNEXE C

C Spécifications de référence

Table des matières

C.1 Torons graissés et gainés individuellement

C.2 Tubes en plastique pour câbles extérieurs

C.3 Conduits en plastique pour câbles intérieurs adhérents

C.4 Produits d'injection spéciaux

C.4.1 Graisse

C.4.2 Cire

C.4.3 Coulis spécial

C.1 Torons graissés et gainés individuellement

C.1.1 Domaine d'application

Ce paragraphe concerne les torons graissés et gainés individuellement (appelés par la suite monotorons), utilisés dans les procédés de précontrainte par post-tension.

C.1.2 Matériaux : exigences, méthodes de vérification et critères d'acceptation

C.1.2.1 Armatures de précontrainte

Ce sont des torons à 7 fils, conformes à prEN 10138 – Partie 3 « Toron ».

C.1.2.2 Graisse

Les graisses doivent être conformes à l'annexe C.4.1.

De plus, les propriétés de la graisse ne doivent pas varier au-delà des valeurs indiquées au tableau C.1.1, pendant la fabrication des monotorons.

Tableau C.1.1 Propriétés de la graisse après fabrication du monotoron

Caractéristiques	Méthode d'essai/norme	Critères d'acceptation
Point de goutte - variation pendant la fabrication des monotorons	ISO 2176	$\leq 10\%$
Ressuage de l'huile - variation pendant la fabrication des monotorons	DIN 51808	à 72 heures $\leq 3\%$ à 7 Jours $\leq 5\%$

C.1.2.3 Matériau de base de la gaine

Le matériau de base de la gaine est un polyéthylène à haute densité conforme aux spécifications suivantes (voir tableau C.1.2). Seul un matériau de base neuf doit être utilisé. Il est cependant possible de recycler un matériau s'il a été fabriqué dans la même usine, selon le même procédé de production et pour le même produit.

Tableau C.1.2 Spécifications du matériau de base de la gaine

Caractéristiques	Méthode d'essai/norme	Critères d'acceptation
Indice de fusion	ISO 1133 (10 minutes à 2,16 kg)	$\leq 0,25$ g
Densité	DIN 53479	$\geq 0,95$ g/cm ³
Noir de carbone : - Teneur - Dispersion - Distribution	ISO 6964 ISO 4437 ISO 4437	2.3 +/- 0.3 % indice max : C2 indice max : 3
Résistance à la traction (23°C)	EN ISO 527-2	≥ 22 MPa (1)
Allongement à rupture - à 23 °C - à -20 °C	EN ISO 527-2 EN ISO 527-2	> 600 % (1) > 350 % (1)
Stabilité thermique	ISO/TR 10837	≥ 20 min à 210°C dans O ₂ sans dégradation (temps d'induction à l'oxydation)

Remarque (1) : Éprouvette normalisée conforme à ISO 1 BA, vitesse de chargement de 100 mm/min

L'origine et la composition du matériau de la gaine doivent faire l'objet d'une déclaration de la part du fournisseur. Les autres matériaux, tels que le polypropylène, peuvent être pris en compte s'ils satisfont à des critères de performance similaires et s'ils ne présentent pas d'autres caractéristiques douteuses.

C.1.2.4 Gaine

La gaine doit avoir les caractéristiques figurant au tableau C.1.3.

Tableau C.1.3 Spécifications de la gaine

Caractéristiques	Méthode d'essai/norme	Critères d'acceptation
Résistance ultime à la traction à 23°C	EN ISO 527-2	≥ 18 MPa (1)
Allongement à rupture - à 23 °C - à -20 °C	EN ISO 527-2 EN ISO 527-2	≥ 450 % (1) ≥ 250 % (1)
Surface de la gaine		Sans dommage visible Sans soufflure Sans trace visible de produit d'injection
Fissuration sous contrainte dans un environnement donné	NF C 32-060	Pas de fissuration après 72 heures dans un liquide tensio-actif à 50°C
Résistance à la température - variation de la résistance à la traction à 23°C, après vieillissement accéléré à 100°C pendant 3 jours - variation de l'allongement à rupture à 23°C, après vieillissement accéléré à 100°C pendant 3 jours -	EN ISO 527-2 EN ISO 527-2	
Résistance à des agents extérieurs : - huile minérale - acides - bases - solvants - brouillard salin	EN ISO 175	Variation de la résistance à la traction ≤ 25 % Variation de l'allongement à rupture ≤ 25 % Variation du volume ≤ 5 %
Épaisseur minimale de la gaine	EN 496	≥ 1.0 mm (2)

Remarques (1) : Éprouvette normalisée conformément à ISO 1 BA, vitesse de chargement de 100 mm/min

(2) : La valeur réelle doit être déclarée par le candidat à l'ATE de manière à répondre aux paramètres de l'application, voir paragraphe 6.1.6-II(a).

C.1.3 Monotorons : exigences, méthodes de vérification et critères d'acceptation

C.1.3.1 Spécifications

Le monotoron doit être conforme au tableau C.1.4

Tableau C.1.4 Spécifications du monotoron

Caractéristiques	Méthode d'essai/norme	Critères d'acceptation
Résistance aux chocs	§ C.1.3.2.1	Sans déchirure ni ouverture de la gaine
Frottement entre la gaine et le toron	§ C.1.3.2.2	≤ 60 N/m
Compression : - déformation transversale avec chargement - déformation transversale résiduelle après retrait de la charge	§ C.1.3.2.3	≤ 3 % ≤ 2.5 %
Étanchéité	§ C.1.3.2.4	Aucune fuite d'eau à travers l'éprouvette

Le fabricant ou fournisseur de monotorons définit le produit avec les caractéristiques suivantes, en valeurs absolues avec tolérances, à l'aide d'un certificat du matériau, et déclare les valeurs suivantes :

- diamètre extérieur de la gaine ;
- masse de gaine par mètre;
- masse du produit d'injection par mètre.

C.1.3.2 Procédures d'essais

C.1.3.2.1 Essai de résistance aux chocs

C.1.3.2.1.1 Éprouvette

L'éprouvette est un monotoron d'une longueur minimale de 2,5 fois le pas du toron.

C.1.3.2.1.2 Procédure

L'éprouvette est fixée sur une plaque d'acier pour éviter qu'elle ne tourne pendant l'essai. Un bloc d'acier de 1 kg est lâché d'une hauteur de 500 mm à 10 reprises, en différents endroits de l'éprouvette ainsi fixée. Le bloc d'acier présente un bord avec un rayon de courbure de 0,5 mm et un angle de 40° à l'endroit de l'impact sur le monotoron. L'essai est effectué à une température de 23+/-2°C.

C.1.3.2.1.3 Mesures

Les mesures et observations à effectuer et à relever sont les suivantes :

- Toute déchirure ou ouverture détectable à l'œil nu sur la gaine doit être enregistrée.

C.1.3.2.2 Essai de frottement

C.1.3.2.2.1 Essai

L'éprouvette est un monotoron suffisamment long pour permettre la mesure du frottement sur une longueur de 1 m.

C.1.3.2.2.2 Procédure

La gaine est retirée de l'une des extrémités du monotoron pour permettre un bon ancrage de l'armature de précontrainte. Un dynamomètre ou un autre appareil équivalent est fixé sur la gaine, à l'autre extrémité du monotoron. La distance entre la fixation et l'extrémité de la gaine est de 1 m. Une force est alors appliquée à l'aide du dynamomètre, puis augmentée progressivement jusqu'à ce que la gaine se déplace sur l'armature de précontrainte, à une température de de 23+/-2°C.

C.1.3.2.2.3 Mesures

Les mesures et observations à effectuer et à relever sont les suivantes :

- La force appliquée et le mouvement de la gaine par rapport à l'armature de précontrainte doivent être enregistrés en permanence.

C.1.3.2.3 Essai de résistance à l'écrasement

C.1.3.2.3.1 Éprouvette

L'éprouvette est un monotoron d'une longueur minimale de 500 mm.

C.1.3.2.3.2 Procédure

L'éprouvette est en appui sur une plaque d'acier de 200 mm de long. Un poids en acier de 50 kg, est placé sur l'éprouvette, réparti sur 100 mm de longueur, au milieu de la surface en appui, pendant 10 minutes, à une température de 23 ± 2 °C. Le poids est ensuite retiré.

C.1.3.2.3.3 Mesures

Les mesures et observations à effectuer et à relever sont les suivantes :

- diamètre du monotoron à l'emplacement de l'appui, avant application du poids ;
- déformation transversale de l'éprouvette, sous l'effet du poids ;
- déformation transversale résiduelle de l'éprouvette, après retrait du poids ;
- examen de la déchirure ou des dommages survenus sur la gaine.

C.1.3.2.4 Essai d'étanchéité

C.1.3.2.4.1 Éprouvette

Pour l'essai, on utilise un monotoron de 1 m de long.

L'éprouvette est droite et placée horizontalement sur une table plane. Un réservoir d'eau est relié à l'une des extrémités de l'éprouvette, avec un niveau d'eau constant de 1 m, pendant une période de 24 heures, à une température de 23 ± 2 °C.

C.1.3.2 Mesures et observations

Les mesures et observations à effectuer et à relever sont les suivantes :

- quantité d'eau recueillie à l'extrémité opposée au réservoir d'eau.

C.1.4 Évaluation de la conformité

Un contrôle des caractéristiques suivantes doit être effectué sur chaque bobine de monotorons produite :

- diamètre extérieur de la gaine recouvrant le monotoron ;
- épaisseur de la paroi ;
- masse de la gaine par mètre ;
- masse du produit d'injection par mètre.

De plus, les caractéristiques suivantes doivent être déterminées pour chaque lot de 50 tonnes de production selon une même spécification, ou à chaque changement de spécification :

- résistance aux chocs ;
- frottement entre la gaine et le toron ;
- étanchéité.

La résistance à l'écrasement est déterminée au début de chaque production avec changement de spécification et modification des constituants

L'acceptation des monotorons doit être fondée sur la documentation indiquée en annexe E.1.

C.2 Tubes en plastique pour câbles extérieurs

C.2.1 Domaine d'application

Ce paragraphe concerne les tubes en plastique à base de PEHD, utilisés dans les procédés de précontrainte pour câbles extérieurs.

C.2.2 Matériaux de base : exigences, méthodes de vérification et critères d'acceptation

Les matériaux de base constituants les tubes en plastique pour câbles extérieurs doivent être conformes à prEN 12201 - « Systèmes de canalisations en plastique pour l'alimentation en eau – Polyéthylène (PE), Partie 1 « Généralités » et Partie 2 « Canalisations », avec les exceptions et modifications énumérées ci-dessous :

- Si un autre matériau que le matériau noir est employé, la durabilité de ce matériau doit être appropriée à l'usage prévu.
- Les caractéristiques concernant l'effet sur la qualité de l'eau peuvent être négligées.
- La classification et la désignation sont applicables à un coefficient de service (conception) global de $C=1,25$.
- Le PE 80 et le PE 100 sont considérés comme appropriés pour ce domaine d'application uniquement.

C.2.3 Tubes en plastique : exigences, méthodes de vérification et critères d'acceptation

C.2.3.1 Tubes en plastique

Les tubes en plastique pour câbles extérieurs doivent être conformes à prEN 12201 – « Systèmes de canalisations en plastique pour l'alimentation en eau – Polyéthylène (PE), Partie 1 « Généralités » et Partie 2 « Canalisations », avec les exceptions et modifications énumérées ci-dessous :

- La pression de fonctionnement minimale doit être de 1 MPa, sauf spécification contraire du candidat à l'ATE.
- Les tolérances pour le diamètre extérieur sont définies par degré A = $0.009d_n$ (d_n = diamètre extérieur nominal), avec une valeur maximale de 1,0 mm.
- Les conduits pour câbles extérieurs doivent être livrés uniquement en longueurs droites et non en bobines.
- Les caractéristiques concernant l'effet sur la qualité de l'eau peuvent être négligées.

C.2.3.2 Raccordements

Le candidat à l'ATE doit disposer de procédures détaillées pour raccorder les tubes et former un conduit continu, de manière à garantir une pose, une mise en tension et une injection des conduits sans défaut.

C.2.4 Évaluation de la conformité

L'acceptation des tubes en plastique doit être fondée sur la documentation indiquée en annexe E.1.

C.3 Conduits en plastique pour câbles intérieurs adhérents

C.3.1 Domaine d'application

Ce paragraphe concerne les gaines en plastique annelées, en PEHD et en PP, utilisées dans les procédés de précontrainte comme conduits pour câbles intérieurs adhérents.

C.3.2 Matériaux de base : exigences, méthodes de vérification et critères d'acceptation

Les exigences, méthodes de vérification et critères d'acceptation pour les matériaux de base utilisés dans la fabrication des conduits en plastique pour câbles intérieurs adhérents doivent être conformes au rapport de la *fib* intitulé « Gainex en plastique annelées pour post-tension intérieure adhérente », [28], Chapitre 3 « Matériaux ».

C.3.3 Conduits en plastique : exigences, méthodes de vérification et critères d'acceptation

C.3.3.1 Exigences

Les conduits en plastique pour câbles intérieurs adhérents doivent être conformes au rapport de la *fib* intitulé « Gainex en plastique annelées pour post-tension intérieure adhérente », [28], Paragraphe 4.1 « Essais sur les composants ».

Les chapitre 1 « Introduction », chapitre 2 « Emploi », chapitre 5 « Considérations sur la conception » et chapitre 6.2 « Normes considérées comme équivalentes » ne s'appliquent pas à cet ETAG. Néanmoins, ils constituent une information complémentaire.

C.3.3.2 Méthodes de vérification

Les procédures d'essai et les critères d'acceptation pour les composants des conduits en plastique doivent être conformes au rapport de la *fib* intitulé « Gainex en plastique annelées pour post-tension intérieure adhérente » [28], Annexes A 1 à A 8.

C.3.4 Évaluation de la conformité

L'acceptation des conduits en plastique doit être fondée sur la documentation indiquée en annexe E.1.

C.4 Produits d'injection spéciaux

C.4.1 Graisse

C.4.1.1 Domaine d'application

Ce paragraphe concerne la graisse à base d'huile minérale utilisée dans les procédés de précontrainte comme produit d'injection pour conduits de câbles ou comme produit de remplissage pour monotorons. Pour ces derniers, ce produit permet normalement d'atteindre les niveaux de performance spécifiés pour les monotorons visés en annexe C.1.

C.4.1.2 Matériau : exigences, méthodes de vérification et critères d'acceptation

La graisse d'injection a généralement une base métallique telle que le lithium. Les savons alcalins de potasse et de soude ne conviennent pas pour l'injection.

La graisse d'injection doit être conforme au tableau C.4.1.1

Tableau C.4.1.1 Spécification de graisse

Caractéristiques	Méthode d'essai/norme	Critères d'acceptation
Pénétration travaillée, 60	ISO 2137	250 – 300

coups (1/10mm)		
Point de goutte	ISO 2176	≥ 150 °C
Ressuage de l'huile à 40°C	DIN 51 817	à 72 heures : ≤ 2.5 % à 7 jours : ≤ 4.5 %
Résistance à l'oxydation	DIN 51 808	100 heures à 100 °C : ≤ 0.06 MPa 1 000 heures à 100 °C : ≤ 0.2 MPa
Protection contre la corrosion 168 heures à 35 °C	NFX 41-002 (brouillard salin) (1)	Réussite
168 heures à 35 °C	NFX 41-002 (brouillard d'eau distillée) (1)	Pas de corrosion
Essai de corrosion	DIN 51 802	Degré : 0
Teneur en éléments corrosifs : Cl ⁻ , S ²⁻ , NO ₃ ⁻ : SO ₄ ²⁻	NFM 07-023 (2) NFM 07-023 (2)	≤ 50 ppm (0.005 %) ≤ 100 ppm (0.010 %)

Remarque (1) : L'éprouvette se compose d'une plaque en acier de construction S355 avec une rugosité superficielle comparable à celle d'un fil ou d'un toron de précontrainte. La plaque est recouverte d'une couche de graisse, d'une épaisseur maximale correspondant à la masse déclarée du produit d'injection par mètre de monotoron, divisée par la surface nominale du toron par mètre (elle-même basée sur le diamètre nominal du toron).

(2) : Applicable en fonction de la graisse.

Le fournisseur doit déclarer l'origine et la composition de la graisse. Les autres propriétés à déclarer par le fournisseur sont le point d'éclair, la teneur en eau et le résultat de l'essai par immersion. Les références correspondantes figurent sur le document [29].

À défaut de méthodes d'essai adaptées pour déterminer la teneur en éléments éventuellement corrosifs, les références aux expériences concluantes du passé et aux applications connues peuvent être considérées comme acceptables.

C.4.1.3 Composants : exigences, méthodes de vérification et critères d'acceptation

Il n'y a pas d'exigences complémentaires pour les composants.

C.4.1.4 Évaluation de la conformité

L'acceptation de la graisse sur chantier et en usine est obtenue si les caractéristiques déclarées par le fournisseur sur ses certificats sont conformes aux caractéristiques spécifiées au paragraphe C.4.1.2 et sur la documentation indiquée en annexe E.1.

L'injection de graisse sur chantier doit respecter les procédures spécifiées dans l'ATE, y compris les recommandations du fournisseur.

L'utilisation de graisse en usine pour les monotorons doit respecter les procédures spécifiées par le fabricant et les recommandations du fournisseur.

C.4.2 Cire

C.4.2.1 Domaine d'application

Ce paragraphe concerne la cire pétrolière en mastic bitumineux qui convient pour les procédés de précontrainte par post-tension pour conduits de câbles.

C.4.2.2 Matériaux : exigences, méthodes de vérification et critères d'acceptation

La cire d'injection doit être conforme au tableau C.4.2.1.

Tableau C.4.2.1 Spécifications de la cire

Caractéristiques	Méthode d'essai/norme	Critères d'acceptation
Point de figeage	NFT 60-128	≥ 65 °C
Pénétration (1/10mm) 0 -20 °C	NFT 60-119	Pas de faïenceage
Ressuage à 40 °C	BS 2000 : PT121 (1982) modifié	≤ 0.5 %
Résistance à l'oxydation 100 heures à 100 °C	ASTM D942.70	≤ 0.03 MPa
Corrosion à la lame de cuivre 100 heures à 100 °C	ISO 2160	Cotation 1a
Protection contre la corrosion 168 heures à 35 °C 168 heures à 35 °C	NFX 41-002 (brouillard salin) (1) NFX 41-002 (brouillard d'eau distillée) (1)	Réussite Pas de corrosion
Teneur en éléments corrosifs Cl ⁻ , S ²⁻ , NO ₃ ⁻ : SO ₄ ²⁻	NFM 07-023 NFM 07-023	≤ 50 ppm (0.005 %) ≤ 100 ppm (0.010 %)

Remarque (1) : L'éprouvette se compose d'une plaque en acier de construction S355 avec une rugosité de surface comparable à celle d'un fil ou d'un toron de précontrainte. La plaque est recouverte d'une couche de cire d'une épaisseur maximale correspondant à la masse déclarée du produit d'injection par mètre de monotoron, divisée par la surface nominale du toron par mètre (elle-même basée sur le diamètre nominal du toron).

Le fournisseur doit déclarer l'origine et la composition de la cire.

C.4.2.3 Composants : exigences, méthodes de vérification et critères d'acceptation

Il n'y a pas d'exigences complémentaires pour les composants.

C.4.2.4 Évaluation de la conformité

L'acceptation de la cire sur chantier et en usine est obtenue si les caractéristiques déclarées par le fournisseur sur ses certificats sont conformes aux caractéristiques spécifiées au paragraphe C.4.2.2 et sur la documentation indiquée en annexe E.1.

L'injection de cire sur chantier doit respecter les procédures spécifiées dans l'ATE et suivre les recommandations du fournisseur.

C.4.3 Coulis spécial

C.4.3.1 Domaine d'application

Ce paragraphe concerne les coulis spéciaux à base de ciment présentant des caractéristiques autres que celles prévues par EN 447.

Les composants secs des coulis spéciaux peuvent être mélangés sur chantier ou bien être livrés sur le chantier sous forme de mélanges prêts à l'emploi. L'eau et les éventuels adjuvants liquides sont ajoutés sur place.

C.4.3.2 Matériaux de base : exigences, méthodes de vérification et critères d'acceptation

C.4.3.2.1 Ciment

Les coulis spéciaux doivent être composés uniquement de ciments dont l'origine et les caractéristiques chimiques et physiques sont parfaitement connues. On doit notamment posséder les informations suivantes :

- origine, fournisseur du ciment ;
- date de production du ciment ;
- analyse chimique, teneur en minéraux, densité, finesse Blaine, résistance, temps de prise (valeurs absolues et tolérances, si elles existent).

Si ces informations ne sont pas disponibles, par exemple pour les coulis en mélanges prêts à l'emploi, la performance de chaque livraison de coulis spécial doit être confirmée par des essais tels qu'indiqués au paragraphe C.4.3.3., et certifiée par le fournisseur (voir paragraphe C.4.3.4).

C.4.3.2.2 Eau

L'eau doit être conforme à EN 1008.

C.4.3.2.3 Adjuvants

Les adjuvants doivent être conformes à EN 934-4.

C.4.3.3 Coulis spéciaux : exigences, méthodes de vérification et critères d'acceptation

C.4.3.3.1 Spécifications

Les propriétés des coulis spéciaux doivent être conformes à EN 447, excepté pour les exigences complémentaires ou modifiées, qui sont énumérées au tableau C.4.3.1

Tableau C.4.3.1 Spécifications des coulis spéciaux

Caractéristiques	Méthode d'essai/norme	Critères d'acceptation
Exudation lors de l'essai avec tube incliné	§ C.4.3.3.2.1	≤ 0.3 %
Volume des vides lors de l'essai avec tube incliné	§ C.4.3.3.2.1	≤ 0.3 %
Fissuration du coulis lors de l'essai avec tube incliné	§ C.4.3.3.2.1	Pas de fissuration visible importante à l'œil nu
Sédimentation exprimée en variation de densité R	§ C.4.3.3.2.2	≤ 10 %
Ressuage par effet de drain	§ C.4.3.3.2.3	≤ 0.3 %
Teneur en chlorure du coulis spécial	Analyse chimique	≤ 0.1 %

Les caractéristiques complémentaires suivantes des coulis spéciaux doivent faire l'objet d'une déclaration par le candidat à l'ATE :

- proportion eau/ciment ;
- temps d'écoulement, conformément à EN 445 (ou mesure de la viscosité à l'aide d'un scissomètre pour les coulis thixotropes) ;
- changement de volume, conformément à EN 445;
- résistance, conformément à EN 445 ;
- temps de début et de fin de prise, conformément à EN 445.

Le temps d'écoulement et le début de la prise doivent faire l'objet d'une vérification, afin d'être compatibles avec l'application considérée et avec les températures auxquelles les coulis doivent être utilisés sur le chantier considéré.

L'essai est réalisé avec le matériel d'injection de coulis spécifié par le candidat à l'ATE, pour utilisation sur chantier, et selon les procédures de mélange conformes aux spécifications du candidat à l'ATE.

L'essai des coulis spéciaux est réalisé pour chaque mélange de coulis spécial, c'est-à-dire pour chaque combinaison de composants provenant d'une source différente ou de caractéristiques différentes.

Les rapports d'essais doivent mentionner toutes les données concernant les matériaux de base utilisés, les procédures d'essai, l'équipement, les proportions des mélanges avec séquence et temps de mélange, et les résultats des essais.

Le candidat à l'ATE a deux options pour effectuer la vérification des coulis spéciaux :

(1) Les matériaux d'essai sont spécifiés en ce qui concerne les caractéristiques énumérées au paragraphe C.4.3.2., y compris en matière de tolérances acceptables. Les caractéristiques sont documentées comme indiqué en annexe E.1. Dans ce cas, l'essai est considéré comme un essai d'agrément et est également valable pour toutes les applications ultérieures sur chantier ; en d'autres termes, il n'est pas nécessaire de refaire les essais pour chaque chantier.

(2) Toutes les caractéristiques énumérées au paragraphe C.4.3.2., y compris les tolérances acceptables, ne sont pas connues et documentées comme indiqué en annexe E.1. Dans ce cas, l'essai n'est pas considéré comme un essai d'agrément et n'est pas valable pour une application ultérieure sur chantier ; il est donc nécessaire de le refaire pour chaque chantier.

C.4.3.3.2 Procédures d'essai

Les essais des coulis spéciaux doivent être conformes à EN 445, excepté pour les essais spécifiés aux paragraphes C.4.3.3.2.1, C.4.3.3.2.2 et C.4.3.3.2.3.

C.4.3.3.2.1 Essai avec tube incliné

C.4.3.3.2.1.1 Objet

Cet essai sert à déterminer les propriétés d'exsudation et de stabilité d'un coulis spécial, en grandeur réelle et en incluant l'effet de filtre des torons. Il permet également de vérifier les procédures proposées pour l'injection de coulis, en particulier l'effet du temps écoulé entre la fin de la première injection et le début de la reprise d'injection, si elle est prévue, ainsi que l'équipement utilisé. L'objectif de l'essai est de s'assurer du remplissage complet du conduit avec le coulis spécial, l'équipement et la procédure proposés, sans exsudation ni ségrégation inacceptables du coulis.

C.4.3.3.2.1.2 Méthode d'essai

L'essai consiste, dans une première phase, à mesurer la quantité d'eau ressuée et la quantité d'air accumulée à la surface d'un coulis de liant hydraulique injecté sous pression dans un conduit transparent et laissé au repos et à l'abri de toute évaporation ; puis dans une seconde phase, obligatoire sauf si elle est contre-indiquée par la procédure d'injection, à procéder à une reprise d'injection du coulis et à mesurer une nouvelle fois les quantités d'eau et d'air.

C.4.3.3.2.1.3 Équipement et installation d'essai

2 tubes en PVC transparent de diamètre intérieure d'environ 80 mm et de longueur 5 m, munis de bouchons à chaque extrémité avec vanne d'arrêt à la partie inférieure et vis de purge à la partie supérieure. Ces tubes, qui doivent résister à une pression intérieure d'au moins 1 MPa sont posés sur des supports de façon à avoir une inclinaison de $30^\circ \pm 2^\circ$ (l'inclinaison correspond à une dénivellation de hauteur 2.50 m).

12 torons de précontrainte par tube.

Le matériel de malaxage et le dispositif d'injection (avec manomètre de contrôle de pression) prévus dans la méthode de fabrication.

1 thermomètre enregistreur.

C.4.3.3.2.1.4 Procédure d'essai

Les deux tubes transparents sont fixés sur leurs supports de façon à ce qu'ils ne présentent pas de flèche notable et qu'ils soient inclinés de $30^\circ \pm 2^\circ$ par rapport à l'horizontale. Douze torons sont enfilés dans chacun des tubes. Les bouchons sont ensuite fixés par collage sur les tubes pour obturer les extrémités (voir fig. C.4.3.1).

Le coulis spécial à tester est préparé en respectant la formulation et la méthode de fabrication proposée. À la fin du malaxage, un échantillon de coulis est prélevé afin de vérifier que la fluidité prescrite est bien atteinte conformément à EN 445. Dans le cas d'un coulis thixotrope, d'autres méthodes doivent être utilisées (voir C.4.3.3.1).

Injection du premier tube (dit d'injection)

Le coulis est injecté à la partie basse du premier tube (tube 1) après ouverture de la vis de purge. Quand le coulis sort à la partie supérieure du tube, avec la même consistance qu'à l'entrée, la vis de purge est fermée et la pression d'injection est maintenue pendant la durée prévue par la méthode d'injection. Le robinet situé en partie inférieure est alors fermé et l'opération d'injection est considérée comme terminée.

Les volumes d'air, d'eau et éventuellement de substance liquide surnageant au dessus du coulis de ciment à la partie supérieure du tube sont mesurés (voir fig. C.4.3.1). Cette substance liquide éventuellement formée se distingue du coulis de ciment proprement dit par une couleur blanchâtre et jaunâtre, généralement plus claire que celle du coulis. Les mesures de volumes sont effectuées à des échéances comprises entre 0 heure et 24 heures après la fin de l'injection, l'une des échéances devant coïncider avec le moment de la reprise d'injection du deuxième tube. A titre indicatif, les mesures peuvent être faites à 30 minutes, 1 heure, 2 heures et 24 heures après la fin de l'injection.

Injection du second tube (dit de reprise d'injection)

Un processus d'injection identique à celui utilisé pour injecter le tube 1 est employé pour injecter le second tube (tube 2), les deux tubes étant injectés de façon quasi-simultanée. Au bout d'une période de temps définie et comptée à partir de la fin de la première injection, le malaxage du coulis restant dans la cuve du malaxeur est repris. Une nouvelle mesure de la fluidité du coulis est effectuée.

La vis de purge et le robinet du tube 2 sont rouverts et une reprise d'injection a lieu. Cette dernière permet d'évacuer les substances liquides qui ont pu s'accumuler en partie haute du tube et de remplir le tube 2 par du coulis de la manière la plus complète possible. Quand le coulis sort à la partie supérieure du tube, la vis de purge est fermée et la pression de réinjection est maintenue pendant la durée prescrite. Le robinet situé en partie inférieure est alors fermé et l'opération de reprise d'injection est considérée comme achevée.

La durée entre la première injection et la reprise d'injection (usuellement comprise entre 30 minutes et 2 heures) et le temps de remalaxage sont définis par la méthode d'injection à valider.

Comme pour le tube 1, les mesures de volumes sont effectuées à des échéances comprises entre 0 heures et 24 heures après la fin de la première injection ; en particulier, elles ont lieu juste avant la reprise d'injection, puis 30 minutes, 1 heure et 2 heures après la fin de la reprise d'injection.

C.4.3.3.2.1.5 Mesures et observations

Les mesures et observations à effectuer et à relever sont les suivantes :

- description de l'installation d'essai ;
- formulation du mélange de coulis spécial, origine et certificats de tous les composants du coulis ;
- procédure de mélange du coulis ;
- temps d'écoulement du mélange avant la première et la reprise d'injection (ou viscosité dans le cas d'un coulis thixotrope) ;
- méthode d'injection spécifiée par le candidat à l'ATE ;
- mesures de volume d'air, d'eau et d'éventuelles substances liquides surnageantes,
- toute observation et constatation en relation avec la formation de produits d'exsudation ou avec des difficultés apparues pendant l'essai,
- toute observation et remarque sur la fissuration du coulis avec indication des emplacements, de l'orientation et de la largeur approximative des fissures ;
- évolution de la température de l'air pendant toute la durée de l'essai ;
- photos illustrant l'installation d'essai, avec détails de l'extrémité supérieure du tube et des niveaux de l'air, de l'eau et du liquide éventuel.

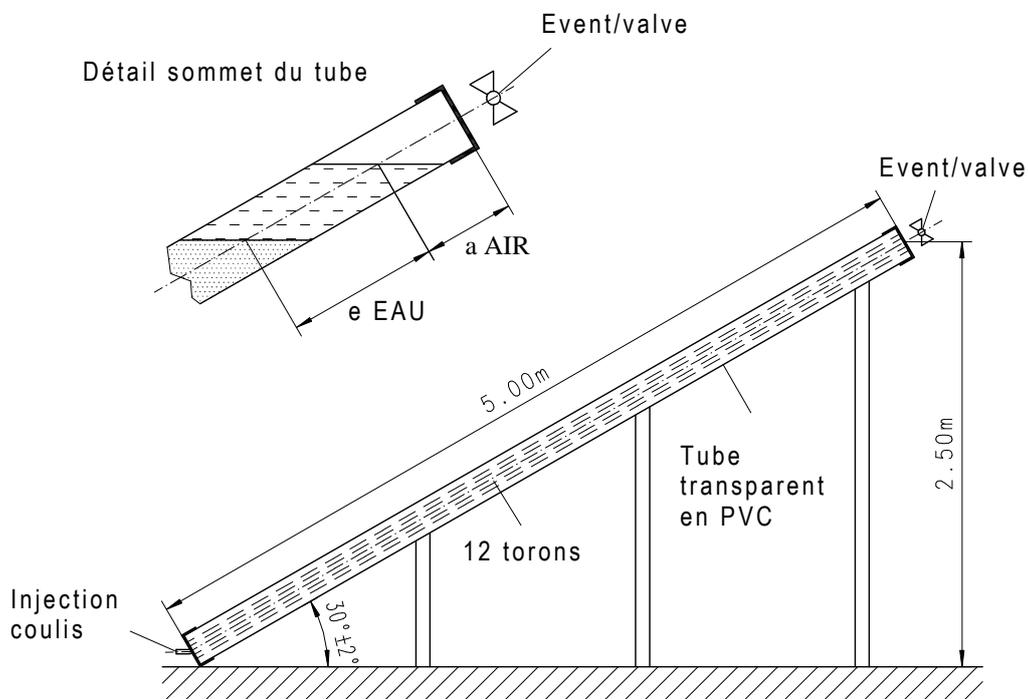


Figure C.4.3.1 Installation d'essai au tube incliné

C.4.3.3.2 Essai de sédimentation

C.4.3.3.2.1 Objet

Cet essai sert à déterminer les propriétés de sédimentation d'un coulis spécial. Il est considéré comme une mesure de l'homogénéité du coulis mélangé dans l'équipement prévu pour être utilisé sur chantier.

C.4.3.3.2.2 Méthode d'essai

La sédimentation est la différence de densité du coulis, exprimée en pourcentage, entre les échantillons prélevés dans les parties supérieure et inférieure de l'éprouvette.

C.4.3.3.2.3 Matériel d'essai

- Deux tubes en PVC transparent, présentant un diamètre intérieur d'environ 60 à 80 mm et une longueur d'un mètre, dotés de capots à chaque extrémité.
- Équipement d'injection conforme à la méthode d'injection indiquée.
- Thermomètre enregistreur.

C.4.3.3.2.4 Procédure d'essai

Le mélange de coulis spécial, spécifié par le candidat à l'ATE, est préparé dans le malaxeur prévu à cet effet sur le chantier. Les tubes transparents sont placés sur une surface ne subissant aucun choc ni vibration et y sont maintenus en position verticale. Les tubes sont remplis de coulis spécial jusqu'en haut, avant d'être scellés pour éviter toute évaporation. Au minimum 24 heures après l'injection et, en tout cas après la prise du coulis, les colonnes sont extraites des tubes avec précaution. Des repères sont apposés sur ces colonnes, qui sont ensuite découpées sur toute leur hauteur, en tranches égales de 50 mm chacune. La position relative de chaque tranche dans la colonne est relevée. La densité de chaque tranche est mesurée à l'aide d'une méthode reconnue.

C.4.3.3.2.5 Mesures et observations

Les mesures et observations à effectuer et à relever sont les suivantes :

- Enregistrer la température des composants du coulis avant l'essai et la température de l'air pendant la durée de l'essai.
- Enregistrer la densité de chaque tranche sur les deux colonnes de coulis.
- Déterminer, pour chacune des colonnes, le rapport de ségrégation R , variation de la densité de coulis entre le bas D_{Bas} et le haut D_{Haut} , exprimé par la formule suivante :
- $$R = 1 - (D_{\text{Haut}}/D_{\text{Bas}})$$
- Noter toute observation particulière, tel qu'un ressuage éventuel d'eau au sommet de la colonne de coulis au moment où elle est extraite du tube (présence d'eau et quantité) ou variation de couleur du coulis durci.
- Documentation photographique et commentaires.

C.4.3.3.2.3 Mesure du ressuage par effet de drain

C.4.3.3.2.3.1 Objet

Cet essai sert à déterminer les propriétés de ressuage d'un coulis spécial. Il est considéré comme plus représentatif que l'essai de ressuage défini par EN 445. Il doit être fait pour l'ATE et sur chantier.

C.4.3.3.2.3.2 Méthode d'essai

Le ressuage est exprimé en pourcentage de la hauteur d'eau de ressuage accumulée au sommet de la colonne de coulis, divisé par la hauteur initiale de la colonne de coulis. Cette mesure est effectuée au bout de 3 heures et de 24 heures.

C.4.3.3.2.3.3 Matériel d'essai

- Un tube en PVC transparent, présentant un diamètre intérieur d'environ 60 à 80 mm et une longueur de 1 m, doté de capots à chaque extrémité, comme celui utilisé pour l'essai de sédimentation.
- Un toron à 7 fils d'un mètre de long pouvant s'adapter à l'intérieur du tube (si le type d'armature de précontrainte pour lequel le coulis fait l'objet d'un agrément est spécifié, le toron à 7 fils peut être remplacé par le type d'armature de précontrainte effectivement spécifié pour cet usage. Il peut s'agir soit d'une barre de précontrainte d'un diamètre minimal de 16 mm, soit d'un nombre de fils de précontrainte suffisant pour assurer une capacité de tension ultime aux armatures de précontrainte d'au moins 265 kN).
- Équipement d'injection conforme à la méthode d'injection indiquée.
- Thermomètre enregistreur.

C.4.3.3.2.3.4 Procédure d'essai

Le mélange de coulis spécial, spécifié par le candidat à l'ATE, est préparé dans le malaxeur de chantier. Le tube transparent est placé sur une surface ne subissant aucun choc ni vibration et y est maintenu en position verticale. Les armatures de précontrainte sont placées debout, à l'intérieur du tube, et sont maintenues au centre du tube. Celui-ci est rempli d'un coulis spécial jusqu'en haut, avant d'être scellé pour éviter toute évaporation. La hauteur d'eau de ressuage accumulée au sommet de la colonne de coulis est mesurée au bout de 3 heures et de 24 heures.

C.4.3.3.2.3.5 Mesures et observations

Les mesures et observations à effectuer et à relever sont les suivantes :

- Enregistrer la température des composants du coulis avant l'essai et la température de l'air pendant la durée de l'essai.
- Enregistrer le type, la taille et la quantité d'armatures de précontrainte mis en place.
- Enregistrer la hauteur initiale de la colonne de coulis.
- Enregistrer la hauteur d'eau de ressuage accumulée au sommet de la colonne de coulis, au bout de 3 heures et de 24 heures.
- Déterminer le taux de ressuage de la colonne de coulis en divisant la hauteur d'eau de ressuage par la hauteur initiale de la colonne de coulis.
- Documentation photographique et commentaires (non demandés pour l'essai sur chantier).

C.4.3.4 Évaluation de la conformité

Les deux options énumérées au paragraphe C.4.3.3 s'appliquent.

(1) Le coulis spécial est fabriqué selon un plan d'assurance de la qualité garantissant l'emploi de matériaux conformes en tous points aux spécifications et aux propriétés énumérées en C.4.3.2, et utilisés pour les essais, comme spécifié au paragraphe C.4.3.3. Dans ce cas, l'essai prévu au paragraphe C.4.3.3 est considéré comme un essai d'agrément pour le mélange de coulis spécial en question et il n'est pas nécessaire de le refaire pour chaque chantier.

Sur chantier, seuls doivent être utilisés les matériaux conformes aux spécifications et aux tolérances appliquées pour les essais définis au paragraphe C.4.3.3. L'acceptation des matériaux peut être fondée sur les certificats remis par les fournisseurs (voir annexe E.1 pour la documentation). Toutefois, les fournisseurs doivent déclarer les contrôles effectués sur leur production. En cas contraire, des essais de réception peuvent être effectués sur les matériaux pour en confirmer les propriétés.

(2) Si les données prévues au paragraphe C.4.3.2 ne sont pas disponibles, pour un mélange de coulis prêt à l'emploi par exemple, les performances définies au paragraphe C.4.3.3 pour chaque livraison de coulis spécial à un chantier particulier, doivent être confirmées par les essais spécifiés au paragraphe C.4.3.3 et certifiées par le fournisseur (voir annexe E.1).

En complément aux points (1) et (2) détaillés ci-dessus, les essais de conformité et de confirmation sur chantier, pour chaque coulis spécial, doivent être effectués comme spécifié par EN 446 pour le coulis normal. Toutefois, au lieu de l'essai de ressuage selon EN 445, il convient d'effectuer sur chantier l'essai de ressuage par effet de drain, conformément au paragraphe C.4.3.3.2.3. De tels essais doivent être réalisés avant de commencer l'injection, afin de confirmer les propriétés du coulis spécial déterminées lors des essais définis au paragraphe C.4.3.3. Ils doivent être à nouveau effectués pendant l'injection pour confirmer les résultats obtenus. Tous les résultats d'essai doivent être consignés.

ANNEXE D

D Annexes applicables au chapitre 7 de l' ETAG

Table des matières

D.1 Recommandations sur l'organisation du titulaire de l'ATE et des entreprises spécialisées en précontrainte

D.2 Points dont la compatibilité avec la conception générale et détaillée des ouvrages précontraints doit être vérifiée

D.3 Contenu minimal recommandé pour le plan qualité d'un chantier

D.1 Recommandations sur l'organisation du titulaire de l'ATE et des entreprises spécialisées en précontrainte

D.1.1 Généralités

D.1.1.1 Titulaire de l'ATE

Le titulaire de l'ATE et les entreprises spécialisées en précontrainte doivent disposer des ressources suffisantes pour exécuter les tâches décrites sur la figure D.1.1 ou pour en assumer la responsabilité.

D.1.1.2 Entreprise spécialisée en précontrainte

Les entreprises spécialisées en précontrainte doivent disposer au minimum des ressources suffisantes pour exécuter les tâches décrites sur la figure D.1.1 sous les rubriques « logistique » et « opérations sur chantier » ou pour en assumer la responsabilité.

D.1.2 Aspects techniques

D.1.2.1 Responsabilités

Le titulaire de l'ATE doit disposer des ressources suffisantes pour prendre en charge les tâches décrites sur la figure D.1.1., sous la rubrique « aspects techniques ».

Dans la mesure où le titulaire de l'ATE est impliqué dans la conception de détail d'un ouvrage, c'est à son encadrement technique qu'il revient de vérifier que le procédé de précontrainte et les méthodes de mise en oeuvre sont compatibles avec la conception générale préparée par le bureau d'études et avec les méthodes de construction proposées par l'entreprise générale. Si des divergences apparaissent, l'encadrement technique doit être en mesure de suggérer des améliorations aux autres parties, de manière à assurer cette compatibilité.

L'annexe D.2. dresse une liste des points dont il est recommandé de vérifier la compatibilité avec la conception générale et détaillée des ouvrages précontraints.

D.1.2.2 Qualification du personnel

L'aspect technique doit être suivi par un ingénieur qualifié ou d'un niveau équivalent, ayant au moins 5 années d'expérience dans les procédés de précontrainte.

L'encadrement technique doit avoir 3 années d'expérience dans son domaine d'expertise.

L'ensemble du personnel technique doit suivre régulièrement une formation pour tenir ses connaissances à jour en matière de conception, de procédures, de réglementation et de normes. Le programme des formations doit être consultable.

D.1.2.3 Procédures

Le titulaire de l'ATE doit disposer de procédures écrites concernant les éléments clés énumérés ci-dessous :

- structure du département technique ;
- responsabilités de chacun de ses membres ;
- système de communication établi avec le concepteur et le client ;
- organisation du contrôle interne ;
- documentation et archivage du procédé ;
- méthodes d'exécution pour chaque étape de construction.

D.1.3 Logistique

D.1.3.1 Responsabilités

Le titulaire de l'ATE et les entreprises spécialisées en précontrainte doivent disposer des ressources suffisantes pour prendre en charge les tâches décrites sur la figure D.1.1.

Les responsabilités recouvrent l'achat ou la fabrication de tous les matériaux, composants et matériels nécessaires pour exécuter les travaux de précontrainte, conformément aux spécifications techniques du titulaire de l'ATE et selon les termes de l'ATE.

D.1.3.2 Qualification du personnel

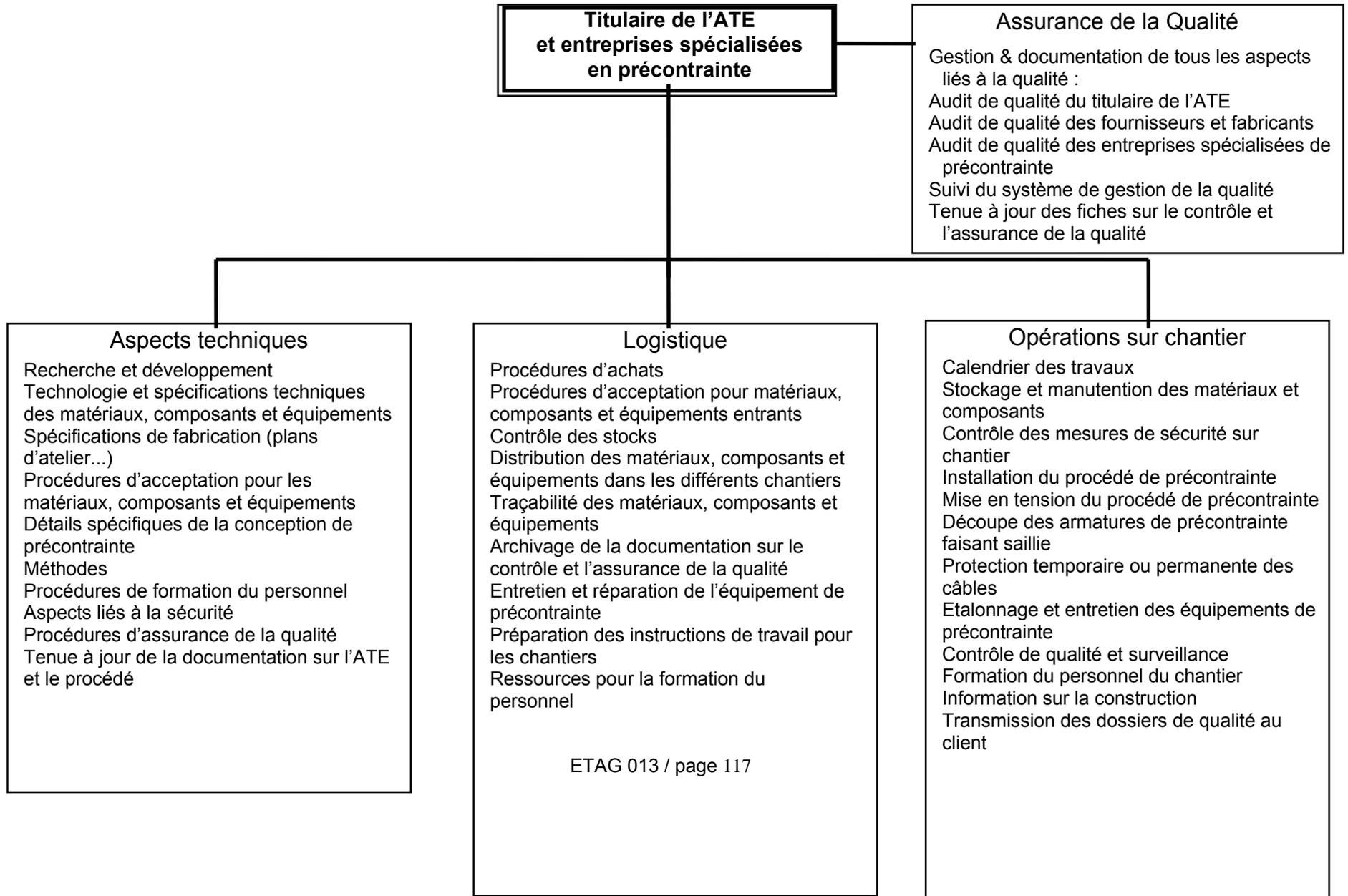
Un personnel compétent doit réaliser l'achat, le conditionnement, l'expédition, le stockage et la traçabilité des matériaux, composants et matériels. Le personnel chargé de la logistique doit avoir une bonne connaissance des aspects du procédé liés à la sécurité. Les C.V. du personnel et les résultats des formations doivent être consultables.

D.1.3.3 Procédures

Le titulaire de l'ATE et les entreprises spécialisées en précontrainte doivent préparer les procédures d'achats et de contrôle conformément aux spécifications techniques, aux réglementations relatives à la sécurité et à l'ATE.

Le titulaire de l'ATE et les entreprises spécialisées en précontrainte doivent archiver la documentation concernant la qualité, afin d'assurer une parfaite traçabilité, comme prévu dans les procédures d'assurance de la qualité définies par le titulaire de l'ATE. Il doit fournir les certificats de conformité des matériaux, des composants et des matériels livrés sur le chantier.

Figure D.1.1 : Ressources recommandées pour le titulaire de l'ATE et les entreprises spécialisées en précontrainte



Aspects techniques

Recherche et développement
Technologie et spécifications techniques des matériaux, composants et matériels
Spécifications de fabrication (plans de fabrication...)
Procédures d'acceptation pour les matériaux, composants et matériels
Conception de détail de la précontrainte
Méthodes
Procédures de formation du personnel
Aspects liés à la sécurité
Procédures d'assurance de la qualité
Tenue à jour de la documentation sur l'ATE et le procédé

Logistique

Procédures d'achats
Procédures de réception pour matériaux, composants et équipements entrants
Contrôle des stocks
Distribution des matériaux, composants et matériels sur les différents chantiers
Traçabilité des matériaux, composants et matériels
Archivage de la documentation sur le contrôle et l'assurance de la qualité
Entretien et réparation du matériel de précontrainte
Préparation des instructions de travail pour les chantiers
Ressources pour la formation du personnel

Opérations sur chantier

Calendrier des travaux
Stockage et manutention des matériaux et composants
Contrôle des mesures de sécurité sur chantier
Installation du procédé de précontrainte
Mise en tension du procédé de précontrainte
Recépage des armatures de précontrainte
Protection provisoire ou permanente des câbles
Étalonnage et entretien des matériels de précontrainte
Contrôle de qualité et surveillance
Formation du personnel de chantier
Information sur la construction
Transmission des dossiers de qualité au client

D.1.4 Opérations sur chantier

D.1.4.1 Responsabilités

Le titulaire de l'ATE et les entreprises spécialisées en précontrainte doivent disposer des ressources suffisantes pour prendre en charge les tâches décrites sur la figure D.1.1, sous la rubrique « opérations sur chantier ». Ces responsabilités concernent également les tâches suivantes :

- garantir que le procédé de précontrainte est bien mis en oeuvre conformément à l'ATE, et avec une qualité convenable ;
- résoudre les problèmes imprévus survenant sur le chantier ;
- assurer la formation et tenir à jour les dossiers de formation du personnel spécialisé en précontrainte ;
- collecter et enregistrer les informations sur la construction ;
- suivre et appliquer les méthodes relatives à chaque étape de la construction.

D.1.4.2 Personnel

En fonction de la complexité et de l'importance de l'ouvrage, le chantier doit être dirigé par un directeur de travaux spécialisé en précontrainte (DTP) ou un chargé de la mise en précontrainte (CMP). À cet effet, les entreprises spécialisées en précontrainte doivent compter dans leur personnel

un ou plusieurs directeurs de travaux spécialisés en précontrainte et un ou plusieurs chargés de la mise en précontrainte .

Le directeur de travaux spécialisé en précontrainte doit avoir au moins 5 années d'expérience sur des chantiers de précontrainte, dont au moins 12 mois avec le procédé de précontrainte spécifique du titulaire de l'ATE.

Le chargé de la mise en précontrainte (CMP) doit avoir au moins 2 années d'expérience sur des chantiers de précontrainte, dont au moins 6 mois avec le procédé de précontrainte spécifique du titulaire de l'ATE.

Les deux doivent être familiarisés avec les domaines concernant :

- les matériaux, les composants et les matériels pour procédés de précontrainte ;
- le stockage, la manutention et la pose des composants et des procédés de précontrainte ;
- les conditions de sécurité pour le personnel ;
- la mise en tension ;
- les procédures de protection provisoire ou définitive, telles que l'injection des conduits.

L'ensemble du personnel de chantier doit suivre régulièrement une formation pour tenir ses connaissances à jour en matière de conception, de procédures, de réglementation et de normes. Le programme des formations doit être consultable.

D.1.4.3 Procédures

L'entreprise spécialisée en précontrainte doit préparer :

(a) Les procédures générales concernant chaque étape de la construction. Ces procédures doivent être fondées sur celles émises par le service technique du titulaire de l'ATE et être présentées sous une forme facilement compréhensible pour le personnel et les opérateurs sur chantier.

(b) Un plan type d'assurance de la qualité comportant au moins les éléments suivants :

- traçabilité et réception des matériaux et composants ;
- stockage et manutention des matériaux et composants ;
- contrôle des mesures de sécurité sur le chantier, équipements de protection des personnels ;
- installation du procédé de précontrainte ;
- mise en tension du procédé de précontrainte ;
- recépage des armatures de précontrainte ;
- injection des conduits ou autre protection permanente ;
- étalonnage et entretien du matériel ;
- contrôle de qualité et surveillance ;
- formation du personnel de chantier ;
- dossier de récolement.

(c) Un plan d'assurance de la qualité spécifique au chantier de précontrainte, basé sur le plan type comprenant les procédures applicables adaptées au chantier concerné, et préparé en concertation avec l'entreprise principale, conformément aux spécifications du projet.

L'annexe D.3 fournit de plus amples détails sur le contenu type minimum d'un plan d'assurance de la qualité spécifique à un chantier.

D.2 Points dont la compatibilité avec la conception générale et détaillée des Ouvrages mis en tension doit être vérifiée

Sélection des unités de précontrainte appropriées, dans les limites imposées par la conception préparée par le bureau d'études. Les unités doivent être compatibles avec les dimensions des éléments et avec la disposition générale de l'ouvrage.

Choix des types et modèles d'ancrage appropriés (un type d'ancrage est défini par la fonction qu'il doit remplir : ancrage actif, ancrage passif, coupleur mobile, coupleur fixe, etc. Il peut y avoir plusieurs modèles d'ancrage au sein de chaque type, dans un procédé de précontrainte).

Choix du type de conduit approprié, en fonction du type de câble (intérieur ou extérieur) et du mode de pose des câbles (câbles préfabriqués ou câbles enfilés in situ dans les conduits, avant ou après bétonnage).

Choix des systèmes de protection appropriés, compatibles avec les conditions environnementales et avec les aptitudes souhaitées pour le câble (à être remplacé, par exemple).

Amélioration de la disposition des câbles, vérification :

- de la position des ancrages : ils doivent être conformes aux exigences relatives à la distance au bord et à l'écartement, stipulées dans l'ATE, offrir assez de dégagement pour poser et actionner les vérins, et éviter les zones où l'accumulation d'eau pourrait être néfaste à l'ouvrage ;
- des rayons de courbure des conduits ;
- du groupement des conduits en paquets ;
- du bon écartement des conduits ;
- de la compatibilité de leur disposition avec les armatures passives prévues par le bureau d'études ;
- de l'adéquation des armatures dans la zone d'ancrage (frettage et armatures d'équilibre général).

Vérification des hypothèses sur les coefficients de frottement et de festonnage et sur la résistance du béton requise au moment de la mise en tension.

Les contraintes de traction transversales complémentaires, dues à la répartition de la charge de précontrainte sur la section d'une partie ou de la totalité de l'ouvrage, doivent être déterminées par l'ingénieur chargé de concevoir l'ouvrage et doivent être reprises par les armatures figurant sur les dessins d'exécution. Ces armatures ne font pas partie de l'agrément du procédé de précontrainte. Cette vérification est applicable à tous les procédés mais elle revêt une importance particulière pour les câbles extérieurs ancrés dans des bossages. Dans certains cas, le frettage défini dans l'ATE doit être adapté à la conception de l'ouvrage. Une adaptation de ce type doit faire l'objet d'un accord avec le titulaire de l'ATE et être approuvée par le bureau d'études.

D.3 Contenu minimal recommandé pour le plan qualité d'un chantier

Le plan de qualité doit concerner les opérations générales et les exigences spécifiques du chantier. Il doit inclure au minimum les éléments suivants :

- (1) définition des responsabilités et autorités en matière d'organisation, notamment celles se rapportant au contrôle de qualité ;
- (2) procédures de communication entre les activités sur chantier et hors chantier de l'équipe de direction et de conception ;
- (3) méthodes pour toutes les activités sur chantier, y compris les procédures relatives aux instructions de travail, les procédures de contrôle de qualité, les aménagements pour les inspections et les essais éventuels, le contrôle des mesures de sécurité sur chantier ;
- (4) procédures visant à garantir que les matières premières et les services sous-traités sont conformes aux spécifications (la traçabilité des matières premières et composants sera conforme aux spécifications du projet) ;
- (5) procédures de conditionnement, de stockage, de transport et de manutention des matériaux et composants ;
 - (1) procédures de pose ;
 - (2) procédures de mise en tension ;
 - (3) procédures d'injection des conduits ou d'application d'une autre protection permanente ;
 - (4) procédures de recépage des armatures de précontrainte et de cahetage ;
- (6) procédures pour vérifier que le personnel du chantier est convenablement formé et qualifié ;
- (7) procédures de contrôle des travaux, audits de qualité et archivage des dossiers de qualité, y compris les documents de récolement.

Chaque phase de construction doit faire l'objet d'un suivi et doit, d'une manière générale, inclure les contrôles suivants :

- (a) Informations générales :
 - liste des matériels utilisés sur le chantier ;
 - définition des documents de référence liés aux paramètres de conception, tels que la résistance requise pour le béton au moment de la mise en tension des câbles, éventuellement ordre de mise en tension des câbles, essais de conformité de routine.
- (b) Identification des matériaux :
 - origine des matériaux incorporés, incluant traçabilité totale si elle est requise dans les spécifications du projet ;
 - documents de certification concernant les matériaux et composants ;
 - procédures de conditionnement, de manutention, de transport et de stockage.
- (c) Pose et essais des conduits et événements :
 - procédure de pose des conduits, y compris leurs éléments de raccordement, les manchons pour l'injection des conduits, les événements et leurs raccordements, les purges et pièces de transition aux ancrages et aux capots de coupleurs ;

- procédure d'essai d'étanchéité des conduits (p. ex., essai d'étanchéité comme spécifié en annexe B.6.4), si elle est requise dans les spécifications du projet.
- (d) Pose et mise en tension des câbles et ancrages :
- procédure de protection provisoire pendant la mise en oeuvre ;
 - procédure conforme à EC2 [11] et spécifications contractuelles, y compris mesure de la force et de l'allongement du câble, pour contrôle ;
 - procédure spéciale pour les câbles de petite longueur ;
 - procédure spéciale pour évaluer le coefficient de frottement et vérifier que la force de précontrainte initiale souhaitée est atteinte ;
 - procédure de recépage des armatures de précontrainte et de protection contre la corrosion et les dommages mécaniques.
 - procédure de traitement des cas de non-conformité ou des incidents.
- (e) Injection des conduits ou protection permanente contre la corrosion :
- documents de référence définissant la composition et les variations acceptables dans la composition du produit d'injection ;
 - procédure d'attribution de numéros de lot aux gâchées, tout en garantissant leur conformité et en assurant le suivi des dossiers ;
 - préparation des conduits ;
 - procédure de fabrication du mélange et d'injection des conduits, indiquant la vitesse maximum d'injection et le volume minimum d'écoulement à la sortie ;
 - procédure opératoire par temps froid et par temps chaud ;
 - procédure d'essais avant et pendant l'injection des conduits ;
 - procédure à appliquer en cas de panne du matériel d'injection;
 - procédure pour sceller les conduits et événements après l'injection.

ANNEXE E

E Annexes applicables au chapitre 8 de l' ETAG

Table des matières

- E.1 Éléments de base du «Programme d'essais prescrit»**
- E.2 Éléments de base du contrôle d'audit**
- E.3 Essais sur une armature de précontrainte individuelle**

E.1 Éléments de base du «Programme d'essais prescrit»

Le fabricant du procédé doit garantir que tous les composants du procédé de précontrainte ou les composants individuels pour lesquels l'ATE a été émis, sont conformes aux spécifications précisées dans l'ATE. Pour les composants les plus importants, le tableau E.1 ci-dessous récapitule les procédures minimales qui doivent être exécutées. Pour tous les autres composants du procédé de précontrainte, qui ne sont pas mentionnés dans le tableau, le Contrôle de la production en usine doit prévoir les mesures appropriées. L'organisme d'agrément doit adapter ce tableau en fonction de l'importance des composants dans les performances du procédé de précontrainte. Les informations données dans le tableau font référence pour cette adaptation.

Dans tous les cas, le tableau éventuellement adapté doit faire partie intégrante de l'ATE et être inséré, de préférence en annexe.

Tableau E.1 : Contenu minimal du «Programme d'essais prescrit»

«Programme d'essais prescrit» – Procédures minimales à exécuter					
1	2	3	4	5	6
Composant	Objet	Essai/ Contrôle	Traçabilité ⁴	Fréquence minimale	Documen- tation
L'organisme d'agrément doit adapter les éléments suivants en fonction des besoins du procédé de précontrainte concerné par l'ATE. Cette adaptation peut entraîner des modifications dans les informations données dans le tableau, ainsi que l'ajout de composants et de procédures complémentaires. Dans tous les cas, tout écart par rapport aux informations données ci-dessous doit être justifié.					
Plaque d'appui	Matériau ⁷	Vérif	Partielle ⁴	100 %	"2.2" ^{1.6}
	Dimensions détaillées ⁵	Contrôle		3 % ≥ 2 éléments	Oui
	Inspection visuelle ³	Vérif		100 %	Non
Bloc ou tête d'ancrage	Matériau ⁷	Vérif	Totale	100 %	"3.1.B" ¹
	Dimensions détaillées ⁵	Contrôle		5 % ≥2 éléments	Oui
	Inspection visuelle ³	Vérif		100 %	Non
Clavette, écrou...	Matériau ⁷	Vérif	Tous composants	100 %	"3.1.B" ¹
	Traitement, dureté	Contrôle		0,5 % ≥ 2 éléments	Oui
	Dimensions détaillées ⁵	Contrôle		5 % ≥ 2 éléments	Oui
	Inspection visuelle ³	Vérif		100 %	Non

«Programme d'essais prescrit» – Procédures minimales à exécuter					
1	2	3	4	5	6
Composant	Objet	Contrôle / Vérif	Traçabilité ⁴	Fréquence minimale	Documentation
Conduit	Matériau ⁷	Vérif	"CE" ²	100 %	"CE" ²
	Inspection visuelle ³	Vérif		100 %	Non
Armature de précontrainte (toron, barre, fil)	Matériau ⁷	Vérif	"CE" ²	100 %	"CE" ²
	Diamètre	Contrôle		Chaque bobine/ fardeau	Non
	Inspection visuelle ³	Vérif		Chaque bobine/ fardeau	Non
Composants du produit d'injection définis par EN 447	Ciment ⁷	Vérif	Tous composants	100 %	"CE" ²
	Adjuvants, additifs... ⁷	Vérif	Vrac	100 %	"CE" ²
Monotorons,	Matériau ⁷	Vérif	Tous composants	100 %	"CE" ⁸
Tubes en plastique,	Matériau ⁷	Vérif	Tous composants	100 %	"CE" ²
Conduits en plastique,	Matériau ⁷	Vérif	Tous composants	100 %	"CE" ⁸
Graisse,	Matériau ⁷	Vérif	Tous composants	100 %	"CE" ⁸
Cire,	Matériau ⁷	Vérif	Tous composants	100 %	"CE" ⁸
Coulis spécial,	Matériau ⁷	Vérif	Tous composants	100 %	"CE" ⁸
Autres composants importants, s'il y en a	À ajouter par l'organisme d'agrément, s'il y a lieu				

Tous les échantillons doivent être prélevés de manière aléatoire et clairement identifiés.

Les détails concernant les procédures d'échantillonnage, y compris les méthodes d'enregistrement et d'essai, doivent faire l'objet d'un accord entre l'organisme d'agrément et le fabricant du procédé, dans le cadre du «Programme d'essais prescrit». Il faut de préférence utiliser les méthodes d'échantillonnage et d'essai normalisées. D'une manière générale, tous les résultats doivent être consignés dans les rapports d'essais de manière à permettre la comparaison directe avec les données des spécifications figurant dans l'ATE ou dans la documentation complémentaire.

1 « 2.2 » : rapport d'essai type « 2.2 » conforme à EN 10204 (s'applique uniquement aux simples plaques d'appui en acier).

2 « 3.1.B » : certificat d'inspection type « 3.1.B » conforme à EN 10204 .

- Si les critères de délivrance du marquage « CE » n'existent pas, le «Programme d'essais prescrit» doit prévoir les mesures appropriées, uniquement jusqu'au moment où la spécification technique harmonisée sera disponible.
- 3 Les inspections visuelles portent par exemple sur les dimensions principales, les essais de calibrage, la convenance des marquages ou étiquettes, l'adéquation des performances,, l'état de surface, la présence de bavures ou de défauts, l'absence d'aspérités, la corrosion,, le revêtement, etc., comme indiqué dans le « Programme d'essais prescrit ».
- 4 Totale : traçabilité totale de chaque composant jusqu'à l'origine de la matière première.
Partielle : traçabilité de chaque livraison de composants jusqu'à une étape donnée de leur élaboration.
- 5 Les dimensions détaillées sont celles de tous les angles et grandeurs conformément aux spécifications du «Programme d'essais prescrit».
- 6 Uniquement si l'unité de transfert est une plaque d'acier de construction oxycoupée. En cas contraire, il faut appliquer les procédures appropriées.
- 7 Les contrôles sur les matériaux sont indiqués pour information uniquement, puisqu'ils ne sont pas prévus dans le «Programme d'essais prescrit».
- 8 Lorsque les critères de délivrance du marquage « CE » n'existent pas, le «Programme d'essais prescrit» doit prévoir les mesures appropriées. Le certificat doit se baser sur les essais spécifiques, effectués sur le lot de fabrication à partir duquel la production a été réalisée, afin de confirmer les propriétés spécifiées ; il doit être préparé par un service du fournisseur, indépendant du service de production.

E.2 Éléments de base du contrôle d'audit

Pendant ses inspections, l'Organisme de certification doit prélever des échantillons de composants du procédé de précontrainte ou de composants individuels pour lesquels l'ATE a été accordé, afin d'effectuer des essais indépendants. Pour les composants les plus importants, le tableau E.2 ci-dessous récapitule les procédures minimales qui doivent être exécutées par l'Organisme de certification. L'organisme d'agrément doit adapter ce tableau en fonction de l'importance des composants dans les performances du procédé de précontrainte. Les informations données dans le tableau font référence pour cette adaptation.

Dans tous les cas, le tableau éventuellement adapté doit faire partie intégrante de l'ATE et être inséré, de préférence en annexe.

Tableau E.2 : Essais d'audit

Essais d'audit - Procédures minimales à exécuter			
1	2	3	4
L'organisme d'agrément doit adapter les éléments suivants en fonction des besoins du procédé de précontrainte concerné par l'ATE. Cette adaptation peut entraîner des modifications dans les informations données dans le tableau, ainsi que l'ajout de composants et de procédures complémentaires. Dans tous les cas, tout écart par rapport aux informations données ci-dessous doit être justifié.			
Composant	Objet	Contrôle /Vérif	Échantillon - quantité de composants par visite
Tête ou bloc d'ancrage	Matériau conforme aux spécifications	contrôle / vérif	1
	Dimensions détaillées	contrôle	
	Inspection visuelle ¹	vérif	
Clavette, écrou...	Matériau conforme aux spécifications	contrôle vérif	2
	Traitement	contrôle	2
	Dimensions détaillées	contrôle	1
	Dimensions principales, dureté de la surface	contrôle	5
	Inspection visuelle ¹	vérif	5

¹ Les inspections visuelles portent par exemple sur les dimensions principales, les essais de calibrage, la conformité des marquages ou étiquettes, l'adéquation des performances, l'état de surface, la présence de bavures ou de défauts, l'absence d'aspérités, la corrosion, le revêtement, etc.

Essais d'audit - Procédures minimales à exécuter			
1	2	3	4
Essai sur une armature de précontrainte individuelle	Essai sur une armature de précontrainte individuelle, conformément à l'annexe E.3	essai	1 série
Essai au tube incliné	Essai au tube incliné, défini au paragraphe C.4.3.3.2.1	essai	1 essai
Autres composants importants, s'il y a lieu	À ajouter par l'organisme d'agrément, s'il y a lieu		

Tous les échantillons doivent être prélevés de manière aléatoire et clairement identifiés.

Les détails concernant les procédures d'échantillonnage, y compris les méthodes d'enregistrement et d'essai, doivent faire l'objet d'un accord entre l'organisme d'agrément et le fabricant du procédé, dans le cadre du «Programme d'essais prescrit». Il faut de préférence utiliser les méthodes d'échantillonnage et d'essai normalisées. D'une manière générale, tous les résultats doivent être consignés dans les rapports d'essais de manière à permettre la comparaison directe avec les données des spécifications figurant dans l'ATE ou dans la documentation complémentaire.

Lorsque les plaques d'appui ne sont pas des plaques en acier de construction oxycoupées, elles doivent être intégrées dans les essais d'audit.

E.3 Essai sur armature individuelle

E.3.1 Domaine d'application

Cette annexe spécifie une méthode d'essai pour déterminer la résistance de l'ancrage d'une armature de précontrainte individuelle, toron, fil ou barre dans une tête d'ancrage (par exemple toron avec clavettes et bloc d'ancrage ou barre avec écrou et tête d'ancrage, etc.). Par ailleurs, une méthode et des critères sont donnés pour évaluer les résultats des essais.

E.3.2 Appareillage

E.3.2.1 Machine d'essai de traction

La machine d'essai de traction doit être vérifiée conformément à ISO 7500-1 et appartenir à la classe 1 ou plus sévère.

E.3.2.2 Extensomètre

L'extensomètre doit être de classe 2 ou plus sévère, conformément à ISO 9513.

E.3.2.3 Ecartement des traverses

On utilisera un instrument d'une précision de 1 mm ou supérieure.

E.3.2.4 Cales

Il peut s'avérer nécessaire d'utiliser des cales biaisées pour ajuster l'angle entre l'armature de précontrainte et la tête d'ancrage.

E.3.2.5 Inclinaison

On déterminera l'inclinaison avec une précision égale ou supérieure à 0,5°.

E.3.3 Corps d'épreuve

Les essais doivent être effectués uniquement par séries. Une série comprend des essais sur armatures de précontrainte individuelles, au nombre de 9 à 12 (fils ou torons) ou de 3 à 4 (barres). Les essais individuels doivent être réalisés sur autant d'alvéoles d'ancrage différents (de 9 à 12 pour les fils et torons ou de 3 à 4 pour les barres) ; ils peuvent être effectués sur une seule tête d'ancrage si elle présente suffisamment d'alvéoles .

Les différents composants d'un procédé agréé constitutifs d'un ancrage complet, sont prélevés de manière aléatoire. Ceci s'applique tant aux armatures de précontrainte (toron, fil ou barre) qu'aux composants d'ancrage (clavettes, écrou et tête d'ancrage), ou aux autres composants, éventuels.

Le corps d'épreuve, constitué d'une armature de précontrainte individuelle ancrée dans une tête , doit être assemblé exactement comme indiqué dans l'ATE. Les préparations de l'ancrage (graissage...) sont uniquement autorisées lorsqu'elles sont conformes aux prescriptions de l'ATE. Les clavettes sont mises en place à l'aide d'un tube afin d'assurer un engagement uniforme. Les emplacements des armatures de précontrainte dans la tête d'ancrage pour les essais individuels doivent être répartis sur les différentes couronnes d'alvéoles de la tête d'ancrage.

En cas de déviations α induites par la trompette, des essais individuels avec les déviations maximales doivent être intégrés dans la série d'essais. Les déviations peuvent être réalisées par utilisation de cales biaisées selon cet angle α .

Les essais sont réalisés en remplissant ou non (à l'aide de bouchons) les alvéoles voisins, selon que les prescriptions de l'ATE interdisent ou non l'usage d'un ancrage non saturé.

La longueur libre de l'armature de précontrainte ne doit pas être inférieure à 1,0 m, ni à ce que requiert l'ATE.

Avant de procéder aux essais, il convient de déterminer les données suivantes et de les documenter d'une manière systématique et traçable :

- Les propriétés géométriques et mécaniques de l'armature de précontrainte doivent être déterminées conformément à prEN 10138-2, -3 ou -4.
Remarque : il est recommandé de prélever un échantillon suffisamment important pour pouvoir effectuer des essais complémentaires, si nécessaire.
- Les propriétés géométriques et mécaniques des composants d'ancrage.

E.3.4 Procédure d'essai

Le corps d'épreuve est placé et centré dans la machine d'essai. Une des extrémités de l'armature de précontrainte est ancrée dans la tête d'ancrage, éventuellement inclinée selon un angle α par le moyen d'une cale biaise. À l'autre extrémité, l'armature de précontrainte est maintenue de façon à appliquer un chargement aussi centré que possible. La figure E.3.1 présente l'installation d'essai.

Ensuite, l'angle d'inclinaison α , s'il existe, est mesuré.

L'allongement sous charge maximale doit être déterminé conformément à ISO/CD 15630-3, en utilisant une longueur de référence conforme à prEN 10138-3.

L'éprouvette est mise en tension par la machine de traction jusqu'à un niveau situé entre 20 % et 30 % de F_{pm} ; elle est ensuite ramenée à environ 5 % de F_{pm} .

L'éprouvette est ensuite remise en tension, par étapes, jusqu'à la rupture, en augmentant la charge à une vitesse n'excédant pas 15 N/mm²/s, ou conformément au paragraphe 10.1.2 de l'ISO 6892.

Les mesures et observations à effectuer et à relever sont les suivantes :

- Position dans l'ancrage, avec repérage des bouchons, s'il y en a, dans les alvéoles non utilisés lors de l'essai, et identification des éléments déjà testés.
- Inclinaison α mesurée en cas de déviations.
- Allongement de l'armature de précontrainte sur la longueur libre, sous la force maximale mesurée.
- Force maximale mesurée.
- Emplacement et mode de rupture.
- Déformation éventuelle des composants d'ancrage, par exemple ovalisation des alvéoles adjacents, etc.

E.3.5 Évaluation et exigences

Exigences R pour les essais individuels :

R(1) L'éprouvette doit périr par rupture de l'armature de précontrainte. En conséquence, la défaillance de l'éprouvette ne doit pas être provoquée par la rupture des composants d'ancrage.

R(2) La force maximale mesurée pour tous les essais individuels doit être supérieure ou égale à 95 % de la résistance effective de l'armature de précontrainte.

R(3) La déformation totale sur la longueur libre de l'armature de précontrainte sous la force maximale mesurée doit être supérieure ou égale à 2%.

Si la rupture de l'armature de précontrainte se produit dans l'ancrage ou dans les mors de la machine d'essai, et que les exigences R(1) à R(3) sont satisfaites, l'essai individuel est considéré comme valable.

Si la rupture se produit dans les mors de la machine d'essai et qu'au moins une des exigences R(1) à R(3) n'est pas satisfaite, l'essai individuel est considéré comme non valable et doit être effectué à nouveau.

Si les 9 premiers essais individuels sont concluants, conformément aux exigences R(1) à R(3), la série d'essais est jugée satisfaisante.

Si les résultats d'un des neuf essais individuels ne sont pas conformes, trois essais individuels complémentaires doivent être effectués. L'ensemble de ces trois essais complémentaires doit être conforme.

Si la série d'essais échoue, il convient de faire une analyse approfondie et le fabricant du procédé doit présenter un rapport détaillé à l'Organisme de certification, expliquant les raisons de l'échec et proposant d'éventuelles mesures correctives. Après examen du rapport, l'Organisme de certification doit décider des suites à donner.

E.3.6 Rapport d'essais

Un rapport doit être élaboré pour chaque série d'essais.

Le rapport d'essais doit comporter les informations suivantes :

- références à la présente annexe et à cet ETAG ;
- identification des composants utilisés ;
- propriétés de l'armature de précontrainte et des composants d'ancrage conformément à E.3.3. ;
- identification de la machine d'essai de traction utilisée ;
- méthode utilisée pour déterminer l'allongement sous la force maximale mesurée ;
- configuration de chaque éprouvette utilisée pour les essais individuels, y compris les éventuels essais non valables ;
- mesures et observations de chaque essai individuel conformément au point E.3.4, y compris des éventuels essais non valables ;
- comparaison des résultats des essais individuels avec les exigences indiquées au point E.3.5. ;
- déclaration indiquant si la série d'essais a été réussie ou non ;
- nom et fonction de la personne habilitée à signer le rapport d'essais ;
- date ;
- signature.

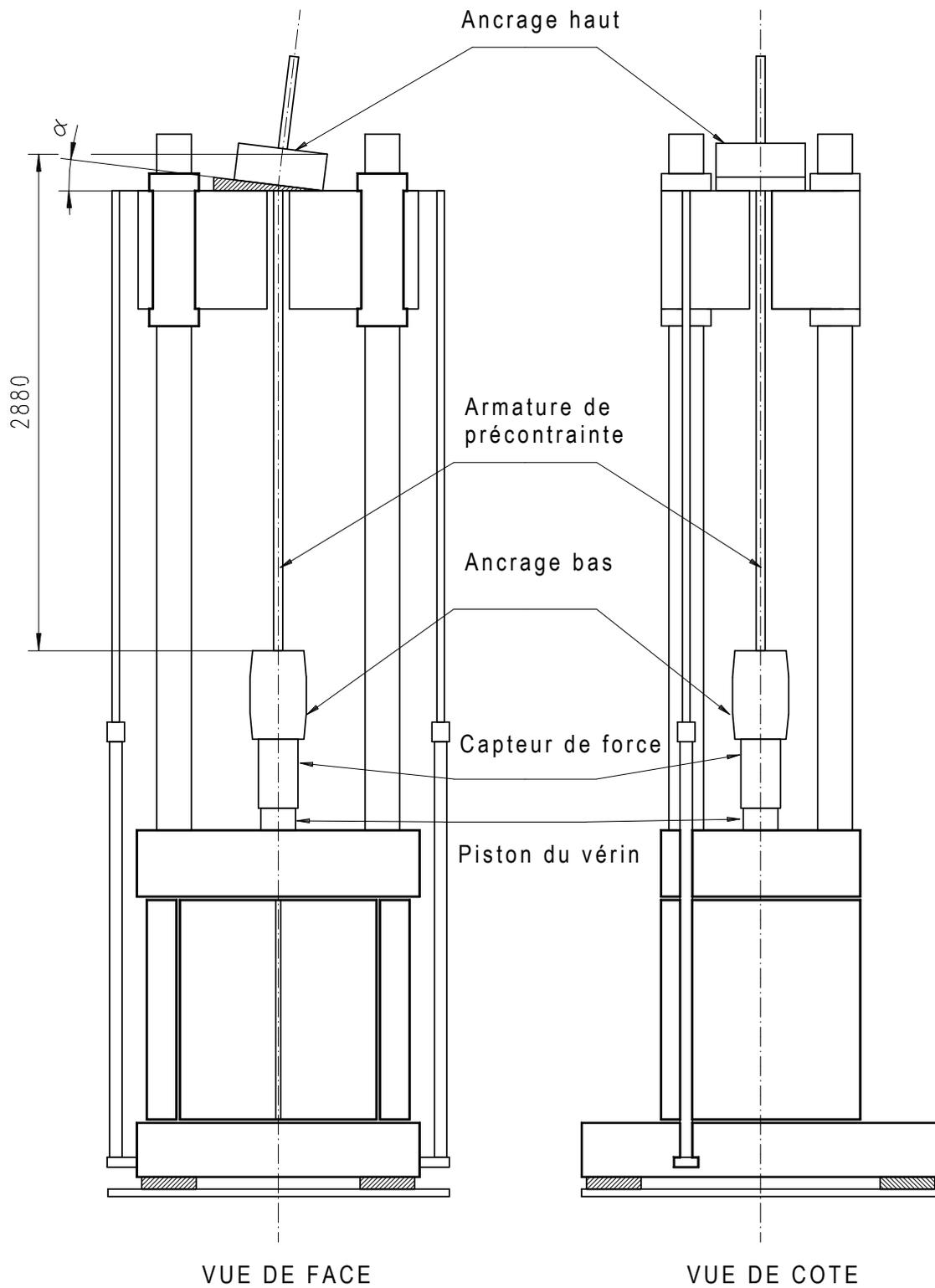


Figure E.3.1 : Essai sur armature individuelle - Installation d'essai

ANNEXE F

F Format standard proposé pour les fiches techniques des systèmes de précontrainte

Désignation du câble :

Acier de précontrainte :

- Type	<table border="0" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="padding: 0 10px;">Fil</td> <td style="padding: 0 10px;">Toron</td> <td style="padding: 0 10px;">Barre</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center; font-size: small;">(indiquer le type concerné)</td> </tr> </table>	Fil	Toron	Barre	(indiquer le type concerné)				
Fil	Toron	Barre							
(indiquer le type concerné)									
- Résistance		f_{pk}	(MPa)					
- Section nominale		A_p	(mm ²)					
- Relaxation à 0,70 f_{pk} après 1 000 heures			(%)					
- Module d'élasticité		E_p	(MPa)					

Câble :

- Type	<table border="0" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="padding: 0 10px;">Adhérent</td> <td style="padding: 0 10px;">Non adhérent</td> <td style="padding: 0 10px;">Intérieur</td> <td style="padding: 0 10px;">Extérieur</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center; font-size: small;">(indiquer ou spécifier le type concerné)</td> </tr> </table>	Adhérent	Non adhérent	Intérieur	Extérieur	(indiquer ou spécifier le type concerné)				Catégorie d'utilisation (de a à i)	
Adhérent	Non adhérent	Intérieur	Extérieur								
(indiquer ou spécifier le type concerné)											
-Protection contre la corrosion	<table border="0" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="padding: 0 10px;">Coulis</td> <td style="padding: 0 10px;">Gainé graissé</td> <td style="padding: 0 10px;">Autres</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center; font-size: small;">(indiquer ou spécifier)</td> </tr> </table>	Coulis	Gainé graissé	Autres	(indiquer ou spécifier)					
Coulis	Gainé graissé	Autres									
(indiquer ou spécifier)											
-Poids du câble		g_p	(kg/m)							
-Force à 1,00 f_{pk}		f_{pk}	(kN)							
-Coefficient de frottement		μ	-							
-Coefficient de déviation parasite ou de festonnage (rad/m)				k							
-Rayon de courbure minimal		R_{min}	(m)							
-Diamètres intérieur et extérieur, et épaisseur du conduit		d_{out} d_{int} t	(mm)							
-Écartement maximal des supports de conduit		s_{max}	(m)							

Ancrages :

-Type	<table border="0" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td style="padding: 0 10px;">Actif</td> <td style="padding: 0 10px;">Passif</td> <td style="padding: 0 10px;">Coupleur</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center; font-size: small;">(indiquer ou spécifier)</td> </tr> </table>	Actif	Passif	Coupleur	(indiquer ou spécifier)				
Actif	Passif	Coupleur							
(indiquer ou spécifier)									
-Distance minimale d'axe en axe pour une résistance moyenne du béton		a_c, b_c	(mm)					
Distance minimale de l'axe au bord pour une résistance moyenne du béton		$f_{cm,0}$	(MPa)					
		a_c, b_c	(mm)					
		$f_{cm,0}$	(MPa)					
-Recul d'ancrage			(mm)					

