



Direction technique
infrastructures de transport et matériaux

Cerema ITM
110 rue de Paris
77 171 Sourdun
FRANCE

Mail: ete-dtecitm@cerema.fr
Tel: +33 160 523 131
web: www.cerema.fr



Evaluation Technique Européenne

ETA 06/0006
Du 20/06/2019

(Version en français de l'original en Anglais – traduction du 15/10/2019)

**Organisme d'Évaluation Technique
délivrant l'ETE:**

Cerema
Direction technique infrastructures de transport
et matériaux

Nom commercial du produit de construction

VSL Post-Tensioning System Procédé de
précontrainte VSL

**Famille de produits à laquelle est rattaché le
produit de construction**

16. Aciers de ferrailage et de précontrainte
pour béton (et produits connexes). Kits de
mise sous tension.

Fabricant

VSL INTERNATIONAL Ltd.
Wankdorfallee, 5 CH-3014 Bern
SWITZERLAND
<http://www.vsl.com/>

Usine de production

VSL Systems Manufacturer S.L.
Ribera del Congost, s/n - P. I. El Congost
08520 Les Franqueses del Vallès Barcelona
SPAIN

**Cette Evaluation Technique Européenne
contient**

141 pages incluant 4 annexes (126 pages)
faisant partie intégrante de cette évaluation.

**Cette Evaluation Technique Européenne est
délivrée conformément au Règlement (UE) N°
305/2011, sur la base de**

EAD 160004-00-0301 edition September 2016
DEE 160004-00-0301, édition de septembre
2016

Cette ETE remplace

ETA 06/0006 version 3 du 12/09/2017

Evaluation technique européenne – Procédé de Précontrainte VSL

EVALUATION TECHNIQUE EUROPÉENNE - PROCÉDÉ DE PRÉCONTRAINTE VSL	2
1. Description technique des produits	5
1.1. Le Système VSL Multitoron	5
1.2. Le Système VSL Dalle	6
2. Spécifications de l'utilisation prévue conformément au Document d'Évaluation Européen applicable.	6
3. Performance des produits et méthodes d'évaluation utilisées	8
4. Application de l'évaluation et de la vérification de la constance des performances du système en référence à la base légale	10
5. Détails techniques nécessaires pour l'exécution de l'EVCP, tel que prévu dans le DEE applicable.	11
5.1. Tâches du Fabricant	11
5.2. Tâches de l'Organisme Notifié	13
ANNEXE 1 – DONNEES TECHNIQUES DU SYSTEME VSL MULTITORON.....	16
1. Chapitre 1 – Définition du système	17
1.1. Principe du système VSL Multitoron	17
1.2. Caractéristiques des unités du système	18
1.3. Ancrages	20
1.4. Catégories d'utilisation, possibilités et options	21
2. Chapitre 2 – Torons et gaines	23
2.1. Torons utilisés	23
2.2. Gainage	23
2.3. Tracé des câbles	26
2.4. Installation des gaines et des torons	29
2.5. Protection temporaire et lubrification	29
2.6. Eléments de calcul	30
3. Chapitre 3 – Ancrages	32
3.1. Description des pièces d'ancrage	32
3.2. Organisation de la qualité	34
3.3. Mise en œuvre des ancres VSL	35
3.4. Disposition des ancres	37
3.5. Conditions géométriques et mécaniques d'emploi	38
3.6. Armature de fretage locale	40
4. Chapitre 4 – Mise en tension	41
4.1. Matériel pour la mise en tension	41
4.2. Procédure de mise en tension	41
5. Chapitre 5 – Injection et cachetage	42
5.1. Généralités	42
5.2. Les produits d'injection (enduits)	43
5.3. Le matériel d'injection	43
5.4. Procédure d'injection et de contrôle	44
5.5. Cachetage	44

6.	Chapitre 6 – Schémas de principe	46
6.1.	ELEMENTS STANDARDS DES ANCRAGES	47
6.2.	ANCRAGES TYPE E	51
6.3.	ANCRAGE TYPE CS	66
6.4.	ANCRAGES TYPE GC	70
6.5.	ANCRAGES TYPE NC ET NC-U	81
6.6.	ANCRAGES TYPE H @ 28/35 MPa	85
6.7.	COUPLEURS TYPE K	87
6.8.	COUPLEURS TYPE V	89
6.9.	NICHES POUR ANCRAGES – EXIGENCES DE DEGAGEMENT	90
6.10.	GAINES	91
ANNEXE 2 - FICHE TECHNIQUE DU SYSTEME VSL DALLE		93
1.	Chapitre 1 – Définition du système	94
1.1.	Principe du système VSL Dalle	94
1.2.	Caractéristiques des unités du système	95
1.3.	Les ancrages	96
1.4.	Utilisations, options et possibilités	97
2.	Chapitre 2 – Torons et gaines	98
2.1.	Torons utilisés	98
2.2.	Sujétions du système sans injection	99
2.3.	Conduits utilisés pour le système adhérent	99
2.4.	Tracé des câbles	101
2.5.	Installation des gaines et torons	102
2.6.	Protection provisoire et lubrification	103
2.7.	Eléments de calcul	104
3.	Chapitre 3 – Ancrages	104
3.1.	Description des pièces d'ancrage	104
3.2.	Organisation de la qualité	106
3.3.	Installation des ancrages VSL	106
3.4.	Disposition des ancrages	108
3.5.	Conditions géométriques et mécaniques d'emploi	108
3.6.	Armature de frettage locale	111
4.	Chapitre 4 – Mise en tension	111
4.1.	Matériel pour la mise en tension	111
4.2.	Procédure de mise en tension	112
5.	Chapitre 5 – Injection et cachetage	114
5.1.	Injection	114
5.2.	Cachetage	115
6.	Chapitre 6 – Schémas de principe	116
6.1.	ELEMENTS STANDARDS DES ANCRAGES – CLAVETTES	117
6.2.	ANCRAGES TYPE S 6-1	118
6.3.	ANCRAGES TYPE S 6-1 PLUS	121
6.4.	ANCRAGES TYPE S 6-1 STANDARD	124
6.5.	COUPLEUR A RESSORT SK 6-1 SL	127
6.6.	ANCRAGES TYPE S 6-4 ET Si 6-4	128
6.7.	ARMATURES DE FRETAGE LOCAL D'ANCRAGE – ANCRAGE S 6-1	131
6.8.	ARMATURES DE FRETAGE LOCAL D'ANCRAGE ANCRAGE S 6-1 PLUS & S6-1 STANDARD	131
6.9.	FRETTES ET ARMATURES COMPLEMENTAIRES – ANCRAGE S 6-4	133
6.10.	VERINS DE MISE EN TENSION ET EXIGENCES DE DÉGAGEMENT.	134
6.11.	GAINES	136

ANNEXE 3 – PLAN D’ESSAIS PRESCRIT ET ESSAIS D’AUDIT	137
1. Programme d’essais prescrit...	137
2. Essais d’audit	139
ANNEXE 4 – NORMES ET DIRECTIVES DE RÉFÉRENCE	140
1. Matériaux et normes de référence...	140
2. Directives et recommandations	140
3. Standards et normes	141

Les traductions de cette Evaluation Technique Européenne en d'autres langues doivent correspondre exactement au document original émis et doivent être identifiées comme telles. Toute communication de cette Evaluation Technique Européenne, incluant la transmission par voie électronique, doit être intégrale (à l'exception de ou des annexes confidentielles mentionnées).

Cependant, une reproduction partielle peut être admise sur consentement écrit de l'Organisme ayant émis l'Évaluation Technique. Toute reproduction partielle doit être désignée comme telle.

1. Description technique des produits

Les procédés de précontrainte VSL couverts par cette ETE sont le Système VSL Multitoron et le Système VSL Dalle. Ceux-ci sont utilisés pour la précontrainte d'éléments d'ouvrages de génie civil et de bâtiments.

Les armatures de ces systèmes utilisent des torons conformes à la *Norme prEN 10138-3* : « *Aciers de précontrainte - Partie 3 : Torons* ». Aussi longtemps qu'EN 10138 reste une prénorme, les torons de 7 fils seront utilisés conformément aux dispositions nationales. Les torons d'acier peuvent être des torons nus, des monotorons graissés et gainés individuellement conformes au DEE 160004-00-0301 ou des torons graissés individuellement et protégés par un revêtement PE extrudé étroitement (toron adhérent protégé et gainé).

D'autres composants, tels que les ancrages et/ou coupleurs et les produits de protection sont décrits ci-dessous.

1.1. Le Système VSL Multitoron

Le Système VSL Multitoron (de 1 à 55 torons), défini dans l'Annexe 1, est principalement utilisé pour les pièces du génie civil. Celui-ci est composé des torons définis ci-dessus et des composants suivants :

1.1.1. Gaines

- Métalliques : gaines en feuillard d'acier, tubes en acier
- Polymère : les gaines VSL PT-PLUS®, les gaines ou tubes en polyéthylène ou polypropylène,

1.1.2. Ancrages

- Ancrages actifs ou passifs du type E (1 à 55 torons), type CS (7 à 37 torons), Type GC (3 à 55 torons), type NC (55 torons) et NC-U (55 torons)
- Ancrages passifs du type EP (3 à 55 torons)
- Passifs du type H (1 à 37 torons) avec injection
- Coupleurs fixes du type K (3 à 37 torons) et coupleurs mobiles type V (3 à 37 torons)

1.1.3. Produits d'injection

- Pour injection rigide: avec une base de ciment, conformément à l'EN 447
- Pour injection souple: avec une base de graisse ou une base de cire

Les matériaux de remplissage visés par une ETE peuvent également être employés. La graisse, la cire et les coulis cimentaires doivent être conformes au DEE-160027-00-0301.

1.2. Le Système VSL Dalle

Le Système VSL Dalle (1 à 4 torons), défini dans l'Annexe 2, est principalement utilisé pour les sols des bâtiments, dalles sur sol et ponts. Celui-ci est utilisé avec les torons spécifiés ci-dessus, qui peuvent être soit des torons nus prévus pour le système avec injection (câbles adhérents) soit des torons graissés et gainés individuellement pour le système sans injection (câbles non adhérents).

1.2.1. Gaines

Pour le système avec injection, les gaines peuvent être circulaires ou planes en feuillard d'acier, ou des gaines VSL PT-PLUS®.

1.2.2. Ancrages

- Actifs ou passifs type S 6-1 (1 toron), type S 6-1 PLUS (1 toron), type S 6-1 Standard (1 toron) et type S 6-4 (4 torons)
- Coupleur à ressorts SLC 6-1 (1 toron)
- Passif type H (1 à 4 torons) avec injection pour câbles intérieurs avec adhérence uniquement

Les unités du système VSL Dalle inclus dans cette ETE possèdent 1 ou 4 torons. Les unités de dalle de type VSLab® avec 2, 3, 4 et 5 torons sont couvertes par l'ETE 13/0978.

1.2.3. Produits d'injection

Ceux-ci sont uniquement utilisés pour les armatures avec injection et sont à base de ciment, conformément à l'EN 447. Les matériaux de remplissage bénéficiant d'une ETE peuvent également être employés. Les coulis doivent être en conformité avec le DEE 160027-00-0301.

2. Spécifications de l'utilisation prévue conformément au Document d'Évaluation Européen applicable

Le procédé de précontrainte VSL a été conçu pour être utilisé pour :

- Les nouveaux travaux de construction
- La réparation et le renforcement de structures existantes

Le procédé de précontrainte VSL est principalement utilisé pour des ouvrages en béton, mais peut également être employé pour des ouvrages dont le matériau constitutif est autre que du béton (comme des ouvrages en maçonnerie, acier, fonte, bois) ou combinant plusieurs matériaux (comme l'acier et le béton).

Les câbles du procédé de précontrainte VSL ainsi constituées peuvent prétendre aux catégories d'utilisation suivantes :

- Câble intérieur adhérent pour des structures en béton ou composites
- Câble intérieur non adhérent pour des structures en béton ou composites
- Câble extérieur pour les structures en béton dont le tracé est situé hors de la section transversale de l'ouvrage ou d'une 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 d'une partie d'ouvrage, ainsi que les haubans ne sont pas traités par cette ETE.

Les catégories d'utilisations optionnelles suivantes sont possibles:

- Câble avec possibilité de remise en tension (intérieur ou extérieur)
- Câble remplaçable (intérieur ou extérieur)
- Câble intérieur pour applications cryogéniques avec ancrage à l'intérieur et à l'extérieur de l'éventuelle zone cryogénique
- Câble intérieur avec injection avec conduit en polymère annelé
- Câble étanche
- Câble isolé électriquement
- Câble utilisable comme câble extérieur dans les constructions en acier ou mixtes
- Câble utilisable comme câble intérieur ou extérieur dans les constructions en maçonnerie
- Câble utilisable comme câble intérieur ou extérieur dans les constructions en bois

Les catégories d'utilisation ci-dessus peuvent être combinées pour des applications particulières, comme par exemple celles qui suivent :

- Câble extérieur avec conduit injecté au coulis de ciment
- Câble extérieur avec conduit avec injection souple
- Câble extérieur utilisant des torons adhérents protégés et gainés

Les tableaux des chapitres 1.4 et 3.4 des Annexes 1 et 2 fixent les utilisations pour chacun des ancrages agréés.

Les méthodes d'évaluation incluses ou mentionnées dans le DEE-160004-00-0301 ont été établies sur la base de la demande des fabricants pour tenir compte d'une durée de vie de 100 ans du kit de précontrainte pour l'utilisation souhaitée lorsque celui-ci est installé dans les ouvrages, à condition que le kit de précontrainte soit installé d'une façon appropriée (voir Chapitre 1 du DEE-160004-00-0301). Ces dispositions reposent sur l'état actuel de l'art ainsi que sur les connaissances et l'expérience disponibles.

La durée de vie réelle, dans des conditions d'utilisation normales, peut être considérablement plus longue à condition qu'aucune dégradation majeure n'affecte l'ouvrage en lui-même. La durée de vie réelle d'un produit intégré à un ouvrage spécifique dépend des conditions environnementales auxquelles l'ouvrage est soumis, ainsi que des conditions spécifiques de conception, d'exécution, d'utilisation et de maintenance de cet ouvrage. Par conséquent, il ne peut être exclu dans certains cas que la durée de vie du produit puisse également être plus courte que celle mentionnée ci-dessus.

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'Évaluation Technique). Elles ne doivent être considérées que comme l'expression de la durée de vie prévue du produit qu'il est raisonnable d'attendre d'un point de vue économique.

3. Performance des produits et méthodes d'évaluation utilisées

Cette Evaluation Technique Européenne se rapportant au procédé de précontrainte VSL par post-tension est émise sur la base des données techniques applicables qui ont été déposées auprès de Cerema ITM et qui définissent le procédé de précontrainte qui a été évalué et jugé.

L'évaluation de la performance du procédé de précontrainte par post-tension décrit dans ce document a été réalisée conformément au Document Européen d'Évaluation DEE-160004-00-0301 relatif aux kits pour mise en tension de structures précontraintes, suivant l'exigence fondamentale 1 (résistance mécanique et stabilité) qui est applicable pour les travaux de construction 1 (résistance mécanique et stabilité) selon les dispositions concernant tous les systèmes.

Type de produit : Kit de mise en tension		Utilisation prévue : Structures précontraintes (tous types d'utilisation de base)
Exigence de base pour des travaux de construction 1 : Résistance mécanique et stabilité		
N°	Caractéristiques essentielles	Type d'expression de la performance du produit
1	Résistance à la charge statique	≥95 % de Résistance Ultime Réelle - RUR (critères d'acceptation indiqués en clause 2.2.1 du DEE-160004-00-0301)
2	Résistance à la fatigue	Aucune rupture en fatigue dans l'ancrage et perte inférieur à 5 % sur la section transversale après 2 millions de cycles (critères d'acceptation indiqués en clause 2.2.2. du DEE-160004-00-0301)
3	Transfert de charge à la structure	Stabilisation de la largeur des fissures après charge cyclique et force ultime mesurée ≥110 % de la résistance caractéristique (critères d'acceptation indiqués en clause 2.2.3 du DEE-160004-00-0301)
4	Coefficient de frottement	Voir Annexe 1-Chapitre 2.6.1 et Annexe 2-Chapitre 2.7.1 (critères d'acceptation indiqués en clause 2.2.4 du DEE-160004-00-0301)
5	Déviations/Déflexions (limites) pour câble intérieur adhérent et câble intérieur non adhérent	Voir Annexe 1-Chapitre 2.3.2 et Annexe 2-Chapitre 2.4.2 (critères d'acceptation indiqués en clause 2.2.4 du DEE-160004-00-0301)
6	Déviations/Déflexions (limites) pour câble extérieur	Voir Annexe 1-Chapitre 2.3.2 et Annexe 2-Chapitre 2.4.2 (critères d'acceptation indiqués en clause 2.2.6 du DEE-160004-00-0301)
7	Évaluation du montage	Installation des torons, remplissage des gaines (critères d'acceptation indiqués en clause 2.2.7 du DEE-160004-00-0301)
8	Résistance à la charge statique dans des conditions cryogéniques pour des applications avec ancrage/couplage hors de l'éventuelle zone cryogénique	≥ 95 % de Résistance Ultime Réelle - RUR (critères d'acceptation indiqués en clause 2.2.8 du DEE-160004-00-0301)
9	Résistance à la charge statique dans des conditions cryogéniques pour des applications avec ancrage/couplage dans l'éventuelle zone cryogénique	≥ 95 % de Résistance Ultime Réelle - RUR (critères d'acceptation indiqués en clause 2.2.9 du DEE-160004-00-0301)

Pour l'utilisation particulière de « Câble extérieur utilisant des torons adhérents protégés et gainés » l'exigence fondamentale additionnelle a été évaluée:

Exigence de base pour des travaux de construction	Caractéristiques essentielles	Performance
<p style="text-align: center;">1</p> <p>Résistance mécanique et stabilité</p>	<p>Déviaton/Déflexion (limites)</p>	<p>Usure admissible de la gaine du toron pour des câbles jusqu'à 31 torons en cas de déviation involontaire ou de petite déviation intentionnelle inférieure à 2+2° degrés avec détail particulier de selle plane ou bien à 5+5° avec une selle courbe spécifique (critères d'acceptation indiqués en clause 2.2.6 du DEE-160004-00-0301)</p>

4. Application de l'évaluation et de la vérification de la constance des performances du système en référence à la base légale

Les composants du Procédé de précontrainte VSL par post-tension sont conformes aux croquis et dispositions présentés en [Annexe 1 – Données techniques du système VSL multitoron](#) et en [Annexe 2 – Données techniques du Système VSL Dalle](#) de cette Évaluation Technique Européenne.

Des informations plus détaillées relatives à des spécifications confidentielles (y compris matériaux, traitements, état de surface, dimensions, tolérances, méthodes de fabrication et procédures de contrôle) figurent dans le Dossier d'Évaluation Technique de la présente Evaluation Technique Européenne qui a été déposé auprès de l'Organisme d'Évaluation Technique. Quand cela s'avère nécessaire, ces informations sont également communiquées à l'Organisme Notifié chargé de l'EVCP (Evaluation et Vérification de la Constance des Performances).

Conformément à la décision 98/456/CE¹ de la Commission Européenne, le système 1+ d'évaluation et de vérification de la constance des performances (cf. Annexe V relative au Règlement (UE) n° 305/2011), s'applique, tel que présenté dans le tableau suivant :

Produit(s)	Utilisation(s) prévue(s)	Niveau(x) ou classe(s)	Système(s)
Kits de mise en tension	Pour les structures précontraintes	-	1+

Ce système EVCP 1+ est défini comme suit :

a) Tâches du fabricant

- 1) Contrôle de la production en usine
- 2) Essais complémentaires sur des échantillons prélevés en usine par le Fabricant selon le programme d'essai prescrit
- 3) Déclaration de performance des caractéristiques essentielles du produit de construction

b) Tâches de l'Organisme Notifié

- 4) Essais de type initial du produit
- 5) Inspection initiale de l'usine et du Contrôle de la Production en Usine
- 6) Surveillance continue, évaluation et acceptation du contrôle de la production en usine
- 7) Essai de contrôle des échantillons prélevés à l'usine, y compris les essais sur une armature de précontrainte individuelle sur échantillons fournis par le fabricant

Des essais spécifiques ont été réalisés conformément au DEE-160004-00-0301 pour les utilisations optionnelles suivantes : utilisations avec isolation électrique et utilisations cryogéniques.

Les méthodes de vérification, d'évaluation et d'appréciation de l'aptitude à l'utilisation et les procédures d'essais sont conformes à celles détaillées dans le DEE-160004-00-0301.

¹ Journal Officiel des Communautés Européennes, article L201/112 du 03/07/1998

5. Détails techniques nécessaires pour l'exécution de l'EVCP, tel que prévu dans le DEE applicable

5.1. Tâches du Fabricant

5.1.1. Responsabilités générales du Fabricant

Le Fabricant du Procédé est responsable de la fabrication et de la qualité des composants qu'il fabrique ou fait fabriquer.

Le Fabricant du Procédé doit tenir à jour une liste de tous les fabricants de composants. Cette liste doit être communiquée à l'Organisme Notifié et également à l'Organisme d'Évaluation Technique.

Au moins une fois par an, chaque fabricant de composants doit faire l'objet d'un audit de la part du Fabricant du Procédé. Chaque rapport d'audit doit être mis à disposition de l'Organisme Notifié.

Ces rapports d'audit Incluent les informations suivantes:

- Identification du fabricant des composants
- Date de l'audit du fabricant des composants
- Relevé des résultats et les enregistrements du CPU (Contrôle de Production en Usine) depuis le dernier audit
- Liste des réclamations déposées
- Évaluation du fabricant des composants concernant le CPU
- Observations particulières, s'il y a lieu
- Déclaration claire et précise indiquant que les exigences de l'ETE sont respectées
- Nom et la fonction du signataire
- Date de signature
- Signature

Le Fabricant du Procédé doit mettre à disposition pendant au moins 10 ans tous les relevés de résultats utiles concernant l'ETE ainsi que les rapports d'audit des fabricants de composants.

5.1.2. Contrôle de la Production en Usine (CPU)

L'Usine de Production ou celle désignée comme telle (anciennement appelée Producteur du Procédé) exerce un contrôle interne permanent de la production. Tous les éléments, exigences et dispositions adoptés par le Fabricant du Procédé sont transcrits de manière systématique, sous forme de documents et de procédures écrits. Ce système de contrôle garantit que le procédé de précontrainte est conforme à l'Evaluation Technique Européenne.

Le CPU est conforme au Manuel Qualité du Fabricant du Procédé qui a été présenté à l'Organisme d'Évaluation Technique et à l'Organisme Notifié.

LE CPU est en conformité avec le Tableau 3 du DEE-160004-00-0301 (Plan de contrôle du Fabricant, fondements). Les résultats du CPU sont enregistrés et appréciés conformément aux dispositions du programme d'essais prescrit présenté en [Annexe 3 – Plan d'essais prescrit et essais de contrôle](#) de cette ETE.

Des parties du CPU peuvent être déléguées à un laboratoire d'essais indépendant. Le Fabricant du Procédé reste cependant entièrement responsable de tous les résultats du CPU.

5.1.3. Autres tâches

5.1.3.1. Contrôle des composants et des matériaux du procédé de précontrainte

Les caractéristiques des matériaux de fabrication conformes à une spécification technique européenne harmonisée sont considérées comme satisfaisantes et ne nécessitent aucune vérification supplémentaire, sauf en cas de doute justifié. Tous les matériaux doivent être conformes aux exigences du Dossier Technique du Procédé ou aux spécifications particulières du Fabricant du Procédé.

Lorsqu'aucune spécification technique harmonisée n'est disponible, il convient d'employer les matériaux applicables sur le lieu d'utilisation, conformément aux spécifications, à condition que leur utilisation soit compatible avec les résultats des essais d'agrément. Dans un autre cas, les spécifications sont données dans cette ETE.

5.1.3.2. Inspection et essais

Le type et la fréquence des vérifications / essais effectués pendant la production et sur le produit fini sont définis dans le programme d'essais prescrit. Ce programme inclut les vérifications effectuées, pendant la fabrication, sur les propriétés ne pouvant pas faire l'objet d'une inspection à une étape ultérieure, ainsi que les vérifications sur le produit fini, y compris :

- La définition de la fréquence et du nombre d'échantillons prélevés par le Fabricant du Procédé
- Les propriétés des matériaux à vérifier (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 (si elle est nécessaire)
- Les rapports sur les vérifications et sur les résultats de ces essais

Tous les essais sont effectués conformément aux procédures écrites, à l'aide d'appareils de mesure étalonnés adaptés. Tous les résultats sont consignés d'une manière cohérente et systématique.

Le programme d'essais prescrit relatif au procédé de précontrainte (voir [Annexe 3 – Plan d'essais prescrit et essais d'audit](#)) est conforme aux dispositions du tableau 3 du DEE 160004-00-0301, qui précise les fréquences minimales des essais à effectuer.

5.1.3.3. Contrôle de produits non conformes

Les produits considérés comme étant non conformes à l'ETE sont immédiatement signalés et séparés des produits conformes. Le programme d'essais prescrit prévoit le contrôle des produits non conformes.

5.1.3.4. Réclamations

Le système de gestion de la qualité du Fabricant inclut des dispositions relatives à la conservation des dossiers de l'ensemble des réclamations concernant le procédé de précontrainte.

5.2. Tâches de l'Organisme Notifié

5.2.1. Responsabilités générales de l'Organisme Notifié

L'Organisme Notifié doit assurer les tâches suivantes conformément au Tableau 4 du DEE-160004-00-0301 (Programme de contrôle pour l'organisme notifié ; fondements) :

- Essais de type initial
- Inspection initiale de l'usine et du contrôle de la production en usine
- Surveillance continue, évaluation et approbation du contrôle de la production en usine
- Essai de contrôle des échantillons prélevés à l'usine, y compris les essais sur une armature de précontrainte individuelle sur des échantillons fournis par le fabricant

L'Organisme Notifié est responsable de l'Évaluation et Vérification de la Constance des Performances (EVCP) du Fabricant. L'Organisme Notifié émettra un certificat de conformité EVCP pour le produit, indiquant la conformité avec les dispositions de cette Évaluation Technique Européenne.

Au cas où les dispositions de l'Évaluation Technique Européenne et son programme d'essais prescrit ne sont plus respectés, l'Organisme Notifié doit retirer le certificat de conformité EVCP et en informer sans délai le Cerema ITM.

L'Organisme Notifié peut travailler avec ses propres ressources ou sous-traiter les tâches d'inspection et d'essai à des organismes d'inspection et à des laboratoires d'essais.

5.2.1.1 Essais de type initial

Les résultats des essais réalisés lors de la procédure d'évaluation, puis évalués par l'Organisme d'Évaluation Technique peuvent être utilisés par l'Organisme Notifié comme essais de type initial.

5.2.1.2 Inspection initiale de l'usine et du contrôle de production en usine

L'Organisme Notifié évalue la capacité de l'usine et le Contrôle de la Production en Usine de l'Établissement de Production afin de s'assurer que, conformément au plan d'essais prescrit, les moyens de fabrication et le CPU peuvent garantir une fabrication continue et régulière des composants du procédé de Précontrainte selon les spécifications de l'ETE. Ces tâches se conformeront au programme d'essais prescrit et aux conditions décrites sous la rubrique *Inspection initiale de l'usine et du contrôle de production en usine* du Tableau 4 du DEE 160004-00-0301.

5.2.1.3 Surveillance continue, évaluation et approbation du contrôle de production en usine

L'Organisme Notifié doit effectuer les contrôles de surveillance, les inspections des Fabricants de Composants et les prélèvements d'échantillons soit en usine soit sur chantier pour des essais indépendants réalisés sous sa responsabilité. Ces tâches se conformeront au programme d'essais prescrit et aux conditions décrites sous la rubrique *Surveillance continue, évaluation et approbation du contrôle de production en usine* du Tableau 4 du DEE 160004-00-0301.

L'Organisme Notifié inspectera l'Usine de Production au moins une fois par an et chaque Fabricant de Composants au moins une fois tous les cinq ans. A la fin de ces contrôles, l'Organisme Notifié mettra un rapport écrit à disposition.

L'Organisme Notifié doit fournir à Cerema, sur demande, les résultats de la certification du produit et de la surveillance continue. En cas de non-conformités graves affectant des aspects essentiels des performances du procédé de précontrainte et ne pouvant être corrigées dans les délais impartis, l'Organisme Notifié doit retirer le certificat de conformité ECVP et en informer Cerema immédiatement.

5.2.1.4 Essais par sondage sur échantillons prélevés à l'usine

Durant les contrôles de surveillance, l'Organisme Notifié doit prélever des échantillons à l'usine de production des composants du procédé de Précontrainte inclus dans cette Evaluation Technique Européenne pour réaliser des essais indépendants. Pour les composants les plus importants, l'Annexe 3 de cette ETE résume les procédures minimales. Ces tâches se conformeront aux prescriptions du chapitre *Essais par sondage sur échantillons prélevés par l'organisme notifié de certification des produits chez le fabricant du procédé ou dans les installations de stockage du fabricant* du Tableau DEE 160004-00-0301.

Au moins une fois par an, le Fabricant doit prélever des échantillons chez le Fabricant du Procédé. Avec ces échantillons, l'Organisme notifié effectue une série d'essais de traction sur une armature de précontrainte individuelle, conformément à [l'Annexe 3 – Plan d'essais prescrit et essais d'audit](#) de cette ETE (selon l'Annexe C.7 du DEE 160004-00-0301). Ce rapport doit inclure :

- Identification du fabricant du procédé où les composants ont été prélevés
- Date du prélèvement
- Identification des composants (ex. têtes d'ancrage, clavettes, toron...)
- Lieu et la date des essais
- Relevé des résultats, dont le rapport d'essai
- Observations particulières, s'il y a lieu
- Nom et la fonction du signataire
- Date de signature
- Signature

Publié le 20/06/2019 à Sourdun

Par

Le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement Direction
technique Infrastructures de transport et matériaux

Sarah MEDYNSKI, Coordinatrice technique ETE

ANNEXE 1 – DONNEES TECHNIQUES DU SYSTEME VSL MULTITORON

ANNEXE 1 – DONNEES TECHNIQUES DU SYSTEME VSL MULTITORON.....	16
1. Chapitre 1 – Définition du système	17
1.1. Principe du système VSL Multitoron	17
1.2. Caractéristiques des unités du système	18
1.3. Ancrages	20
1.4. Catégories d'utilisation, possibilités et options	21
2. Chapitre 2 – Torons et gaines	23
2.1. Torons utilisés	23
2.2. Gainage	23
2.3. Tracé des câbles	26
2.4. Installation des gaines et des torons	29
2.5. Protection temporaire et lubrification	29
2.6. Eléments de calcul	30
3. Chapitre 3 – Ancrages	32
3.1. Description des pièces d'ancrage	32
3.2. Organisation de la qualité	34
3.3. Mise en œuvre des ancrages VSL	35
3.4. Disposition des ancrages	37
3.5. Conditions géométriques et mécaniques d'emploi	38
3.6. Armature de frettage local	40
4. Chapitre 4 – Mise en tension	41
4.1. Matériel pour la mise en tension	41
4.2. Procédure de mise en tension	41
5. Chapitre 5 – Injection et cachetage	42
5.1. Généralités	42
5.2. Les produits d'injection (enduits)	43
5.3. Le matériel d'injection	43
5.4. Procédure d'injection et de contrôle	44
5.5. Cachetage	44
6. Chapitre 6 – Schémas de principe	46
6.1. ELEMENTS STANDARDS DES ANCRAGES	47
6.2. ANCRAGES TYPE E	51
6.3. ANCRAGE TYPE CS	66
6.4. ANCRAGES TYPE GC	70
6.5. ANCRAGES TYPE NCET NC-U	81
6.6. ANCRAGES TYPE H @ 28/35 MPa	85
6.7. COUPLEURS TYPE K	87
6.8. COUPLEURS TYPE V	89
6.9. NICHES POUR ANCRAGES – EXIGENCES DE DEGAGEMENT	90
6.10. GAINES	91

1. Chapitre 1 – Définition du système

1.1. Principe du système VSL Multitoron

Les câbles du système VSL Multitoron sont composés de torons individuels ou d'un faisceau de torons en acier à haute résistance et d'ancrages placés à ses extrémités.

D'ordinaire, les torons sont logés par un conduit, une gaine ou un tube. Le vide entre les torons et l'emboîtement peut être rempli par un produit afin d'empêcher la corrosion (dans le cas de câbles avec injection) pour que les torons adhèrent à la structure.

Les torons individuels sont conformes à la norme prEN 10138-3 : « Aciers de précontrainte – Partie 3 : Torons ». Il s'agit des torons 7 fils de diamètres nominaux \varnothing 15.2 et 15.7 mm ($f_{pk} = 1\,860$ N/mm² ou $f_{pk} = 1\,770$ N/mm²). Tant que l'EN 10138 reste une prénorme, les torons 7 fils conformes aux réglementations nationales seront employés.

Le système VSL Multitoron est compatible avec les torons nus et les monotorons gainés et protégés.

En faisant varier le type et le nombre de torons, il est possible d'obtenir des câbles ayant une résistance caractéristique à la traction variant de 260 à 15 345 kN.

D'ordinaire, tous les torons d'un câble sont mis en tension en même temps, chaque toron étant bloqué individuellement dans un trou tronconique de l'ancrage au moyen de clavettes. Les clavettes retiennent le toron et permettent de transférer la force de traction depuis le vérin vers l'ancrage.

La force établie par le calcul définit le type et le nombre de torons. Le type d'ancrage est défini par les exigences du projet et la catégorie d'utilisation.

D'ordinaire, les câbles de précontrainte sont définis par les ancrages (voir chapitre 3 de cette Annexe), le type de toron et la longueur.

Le système VSL inclut des ancrages avec 1, 2, 3, 4, 7, 12, 15, 19, 22, 27, 31, 37, 43 et 55 torons. Les unités intermédiaires peuvent être créées en laissant libres certains trous tronconiques de l'ancrage. Dans ce cas, les torons doivent être organisés afin de centrer la charge appliquée sur la tête d'ancrage.

1.2. Caractéristiques des unités du système

Le système peut être utilisé avec des torons de résistance caractéristique ou d'un diamètre inférieur (par exemple, torons avec $f_{pk} = 1\,770\text{ N/mm}^2$ ou $\varnothing 15,2$). Les dispositions des câbles avec torons dont la résistance caractéristique $f_{pk} = 1\,860\text{ N/mm}^2$ s'appliquent également aux câbles avec des torons ayant $f_{pk} < 1\,860\text{ N/mm}^2$.

La norme *prEN 10138-3 : Aciers de précontrainte – Partie 3 : Torons* donne les valeurs nominales suivantes pour les torons de précontrainte composant les unités de précontrainte VSL:

- Allongement à rupture : $\geq 3,5\%$
- Relaxation à $0,70 f_{pk}$ après 1 000 heures : $\leq 2,5\%$
- Relaxation à $0,80 f_{pk}$ après 1 000 heures : $\leq 4,5\%$
- Résistance à la fatigue ($0,70 f_{pk}$; 190 n/mm^2) : $\geq 2 \times 10^6$ cycles
- Coefficient D de traction déviée : $\leq 28\%$
- Module d'élasticité E_p : $195\,000\text{ N/mm}^2$

Le module d'élasticité réel du toron, mesuré par le fournisseur et communiqué au moment de sa livraison, sera pris en compte pour calculer les allongements de câble. Les torons gainés et protégés individuellement ont les mêmes propriétés mécaniques que les torons nus.

Avec les caractéristiques de torons définies par *prEN 10138-3* et les valeurs des sections des câbles A_p , les forces maximales recommandées par EN 1992-1-1 sont :

$$P_{\max} = \min \{k_1 \cdot A_p \cdot f_{pk}; k_2 \cdot A_p \cdot f_{p0,1k}\}, \text{ avec } k_1 = 0,8, k_2 = 0,9$$

$$P_{m0,\max} = \min \{k_7 \cdot A_p \cdot f_{pk}; k_8 \cdot A_p \cdot f_{p0,1k}\}, \text{ avec } k_7 = 0,75, k_8 = 0,85$$

où P_{\max} est la force maximale appliquée à un câble et $P_{m0,\max}$ est la valeur maximale de la force initiale après transfert de la charge vers l'ancrage.

Conformément aux dispositions de l'EN 1992-1-1, il est possible d'appliquer temporairement une force de précontrainte supérieure pouvant atteindre une valeur $k_3 A_p f_{p0,1k}$ avec $k_3 = 0,95$.

P_{\max} et $P_{m0,\max}$ peuvent être augmentées conformément à la partie 4 de l'EN 1992-1-1 si les valeurs réelles du toron sont telles que $f_{p0,1k} / f_{pk} > 0,88$.

En prenant $f_{p0,1k} = 0,88 f_{pk}$ les forces obtenues pour les unités de précontrainte VSL sont les suivantes :

TYPE DE TORON		Y1770 S7-15.7 $f_{pk} = 1\,770\text{ N/mm}^2$ $F_{pk} = 266\text{ kN}$; $F_{p0,1k} = 234\text{ kN}$			Y1860 S7-15.3 $f_{pk} = 1\,860\text{ N/mm}^2$ $F_{pk} = 260\text{ kN}$; $F_{p0,1k} = 229\text{ kN}$			Y1860 S7-15.7 $f_{pk} = 1\,860\text{ N/mm}^2$ $F_{pk} = 279\text{ kN}$; $F_{p0,1k} = 246\text{ kN}$		
Type d'ancrage	Unité câble	A_p	P_{max}	$P_{m0,max}$	A_p	P_{max}	$P_{m0,max}$	A_p	P_{max}	$P_{m0,max}$
		mm ²	kN	kN	mm ²	kN	kN	mm ²	kN	kN
6- 1	6- 1	150	210,3	198,6	140	206,2	194,8	150	221,0	208,7
6- 2	6- 2	300	420,6	397,2	280	412,5	389,6	300	441,9	417,4
6- 3	6- 3	450	630,8	595,8	420	618,7	584,3	450	662,9	626,1
6- 4	6- 4	600	841,1	794,4	560	824,9	779,1	600	883,9	834,8
6- 7	6- 5	750	1 051,4	993,0	700	1 031,2	973,9	750	1 104,8	1 043,5
	6- 6	900	1 261,7	1 191,6	840	1 237,4	1 168,7	900	1 325,8	1 252,2
	6- 7	1 050	1 471,9	1 390,2	980	1 443,7	1 363,5	1 050	1 546,8	1 460,8
6- 12	6- 8	1 200	1 682,2	1 588,8	1 120	1 649,9	1 558,2	1 200	1 767,7	1 669,5
	6- 9	1 350	1 892,5	1 787,3	1 260	1 856,1	1 753,0	1 350	1 988,7	1 878,2
	6- 10	1 500	2 102,8	1 985,9	1 400	2 062,4	1 947,8	1 500	2 209,7	2 086,9
	6- 11	1 650	2 313,0	2 184,5	1 540	2 268,6	2 142,6	1 650	2 430,6	2 295,6
	6- 12	1 800	2 523,3	2 383,1	1 680	2 474,8	2 337,4	1 800	2 651,6	2 504,3
6- 15	6- 13	1 950	2 733,6	2 581,7	1 820	2 681,1	2 532,1	1 950	2 872,6	2 713,0
	6- 14	2 100	2 943,9	2 780,3	1 960	2 887,3	2 726,9	2 100	3 093,6	2 921,7
	6- 15	2 250	3 154,1	2 978,9	2 100	3 093,6	2 921,7	2 250	3 314,5	3 130,4
6- 19	6- 16	2 400	3 364,4	3 177,5	2 240	3 299,8	3 116,5	2 400	3 535,5	3 339,1
	6- 17	2 550	3 574,7	3 376,1	2 380	3 506,0	3 311,2	2 550	3 756,5	3 547,8
	6- 18	2 700	3 785,0	3 574,7	2 520	3 712,3	3 506,0	2 700	3 977,4	3 756,5
	6- 19	2 850	3 995,2	3 773,3	2 660	3 918,5	3 700,8	2 850	4 198,4	3 965,1
6- 22	6- 20	3 000	4 205,5	3 971,9	2 800	4 124,7	3 895,6	3 000	4 419,4	4 173,8
	6- 21	3 150	4 415,8	4 170,5	2 940	4 331,0	4 090,4	3 150	4 640,3	4 382,5
	6- 22	3 300	4 626,1	4 369,1	3 080	4 537,2	4 285,1	3 300	4 861,3	4 591,2
6- 27	6- 23	3 450	4 836,3	4 567,7	3 220	4 743,4	4 479,9	3 450	5 082,3	4 799,9
	6- 24	3 600	5 046,6	4 766,3	3 360	4 949,7	4 674,7	3 600,0	5 303,2	5 008,6
	6- 25	3 750	5 256,9	4 964,9	3 500	5 155,9	4 869,5	3 750,0	5 524,2	5 217,3
	6- 26	3 900	5 467,2	5 163,4	3 640	5 362,2	5 064,3	3 900,0	5 745,2	5 426,0
	6- 27	4 050	5 677,5	5 362,0	3 780	5 568,4	5 259,0	4 050,0	5 966,1	5 634,7
6- 31	6- 28	4 200	5 887,7	5 560,6	3 920	5 774,6	5 453,8	4 200,0	6 187,1	5 843,4
	6- 29	4 350	6 098,0	5 759,2	4 060	5 980,9	5 648,6	4 350,0	6 408,1	6 052,1
	6- 30	4 500	6 308,3	5 957,8	4 200	6 187,1	5 843,4	4 500,0	6 629,0	6 260,8
	6- 31	4 650	6 518,6	6 156,4	4 340	6 393,3	6 038,2	4 650,0	6 850,0	6 469,5
6- 37	6- 32	4 800	6 728,8	6 355,0	4 480	6 599,6	6 232,9	4 800	7 071,0	6 678,1
	6- 33	4 950	6 939,1	6 553,6	4 620	6 805,8	6 427,7	4 950	7 291,9	6 886,8
	6- 34	5 100	7 149,4	6 752,2	4 760	7 012,1	6 622,5	5 100	7 512,9	7 095,5
	6- 35	5 250	7 359,7	6 950,8	4 900	7 218,3	6 817,3	5 250	7 733,9	7 304,2
	6- 36	5 400	7 569,9	7 149,4	5 040	7 424,5	7 012,1	5 400	7 954,8	7 512,9
	6- 37	5 550	7 780,2	7 348,0	5 180	7 630,8	7 206,8	5 550	8 175,8	7 721,6
6- 43	6- 38	5 700	7 990,5	7 546,6	5 320	7 837,0	7 401,6	5 700	8 396,8	7 930,3
	6- 39	5 850	8 200,8	7 745,2	5 460	8 043,2	7 596,4	5 850	8 617,8	8 139,0
	6- 40	6 000	8 411,0	7 943,8	5 600	8 249,5	7 791,2	6 000	8 838,7	8 347,7
	6- 41	6 150	8 621,3	8 142,4	5 740	8 455,7	7 985,9	6 150	9 059,7	8 556,4
	6- 42	6 300	8 831,6	8 340,9	5 880	8 661,9	8 180,7	6 300	9 280,7	8 765,1
	6- 43	6 450	9 041,9	8 539,5	6 020	8 868,2	8 375,5	6 450	9 501,6	8 973,8
6- 55	6- 44	6 600	9 252,1	8 738,1	6 160	9 074,4	8 570,3	6 600	9 722,6	9 182,4
	6- 45	6 750	9 462,4	8 936,7	6 300	9 280,7	8 765,1	6 750	9 943,6	9 391,1
	6- 46	6 900	9 672,7	9 135,3	6 440	9 486,9	8 959,8	6 900	10 164,5	9 599,8
	6- 47	7 050	9 883,0	9 333,9	6 580	9 693,1	9 154,6	7 050	10 385,5	9 808,5
	6- 48	7 200	10 093,2	9 532,5	6 720	9 899,4	9 349,4	7 200	10 606,5	10 017,2
	6- 49	7 350	10 303,5	9 731,1	6 860	10 105,6	9 544,2	7 350	10 827,4	10 225,9
	6- 50	7 500	10 513,8	9 929,7	7 000	10 311,8	9 739,0	7 500	11 048,4	10 434,6
	6- 51	7 650	10 724,1	10 128,3	7 140	10 518,1	9 933,7	7 650	11 269,4	10 643,3
	6- 52	7 800	10 934,4	10 326,9	7 280	10 724,3	10 128,5	7 800	11 490,3	10 852,0
	6- 53	7 950	11 144,6	10 525,5	7 420	10 930,6	10 323,3	7 950	11 711,3	11 060,7
	6- 54	8 100	11 354,9	10 724,1	7 560	11 136,8	10 518,1	8 100	11 932,3	11 269,4
	6- 55	8 250	11 565,2	10 922,7	7 700	11 343,0	10 712,9	8 250	12 153,2	11 478,1

Note : Les valeurs en gras correspondent aux unités complètes du système de précontrainte VSL.
La force de précontrainte appliquée à la structure doit être conforme à la réglementation nationale.

1.3. Ancrages

1.3.1. Présentation des ancrages

Les ancrages du Système VSL Multitoron sont les suivants :

Ancrages actifs types E, CS, GC, NC, et NC-U

Ces ancrages actifs sont destinés à ancrer les câbles à l'extrémité de mise en tension des torons. Ceux-ci sont composés d'une tête d'ancrage avec des trous coniques abritant les clavettes de blocage permanentes.

La charge est transférée de la tête d'ancrage vers la structure par une plaque d'ancrage de type E, CS, GC, NC ou NC-U. Certaines de ces plaques d'ancrage sont connectées à une trompette de type E, CS ou GC qui dévie le toron vers la gaine.

Ancrages passifs types E, CS, GC, NC, et NC-U.

Ces ancrages passifs bloquent les câbles à l'extrémité passive, où aucun effort de traction n'est appliqué.

Les ancrages de type E, CS, GC, NC et NC-U peuvent être utilisés avec des têtes d'ancrage et des clavettes pré-bloquées pouvant être contrôlées durant la mise en tension.

Les ancrages de type E, GC, NC ou NC-U peuvent être aussi utilisés avec une tête d'ancrage EP. Les têtes d'ancrage EP ont des forages cylindriques et une surface d'appui plane qui supporte les douilles de compression. Ils peuvent être noyés dans du béton.

Ancrages passifs par injection type H.

Ces ancrages de type H sont utilisés comme ancrages passifs. La force de précontrainte est transférée en partie vers le béton par l'adhérence au béton des torons nus et en partie par l'appui d'extrémité (bulbe).

Coupleurs fixes type K

Ces ancrages sont utilisés afin de connecter un câble ayant déjà été mis en tension.

Le câble de première phase est ancré dans les trous tronconiques du coupleur fixe de type K, transférant la charge vers la plaque d'ancrage de type E, CS ou GC. Le câble de deuxième phase, sur le côté du coupleur, est ancré au moyen de douilles de compression sur les emplacements en périphérie du couple de type K.

Les deux câbles couplés sont des unités ayant le même nombre de torons et la force dans le câble de seconde phase n'est pas supérieure à la force dans le câble de première phase.

Le couplage est ensuite isolé du béton au moyen d'un capot.

Coupleurs mobiles type V

Il s'agit d'ancrages assurant la continuité de deux longueurs de câbles mis en tension simultanément.

Les coupleurs mobiles de type V utilisent une tête « mobile » similaire au modèle précédemment décrit couplant les deux sections de câble dans un manchon. La tête du couplage de type V possède des plaques de rétention pour maintenir les douilles de compression en place. Les deux câbles couplés sont des unités ayant le même nombre de torons. Le couplage est isolé du béton par un capot.

1.3.2. Liste des ancrages agréés

Les unités du procédé de précontrainte multitoron VSL couvertes dans cette ETE sont :

ANCORAGE		Actifs					Passif						Adhéren ts	Coupleur	
CABLE		E	CS	GC	NC	NC- U	E	C S	GC	N C	NC- U	EP	H	K	V
Nombre de torons	Unit é														
1	6-1	✓					✓						✓		
2	6-2	✓					✓						✓		
3	6-3	✓		✓			✓		✓			✓	✓	✓	✓
4	6-4	✓		✓			✓		✓			✓	✓	✓	✓
7	6-7	✓	✓	✓			✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓
12	6-12	✓	✓	✓			✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓
15	6-15	✓		✓			✓		✓			✓	✓	✓	✓
19	6-19	✓	✓	✓			✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓
22	6-22	✓	✓	✓			✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓
27	6-27	✓	✓	✓			✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓
31	6-31	✓	✓	✓			✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓
37	6-37	✓	✓	✓			✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓
43	6-43	✓		✓			✓		✓			✓			
55	6-55	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			

Note : Le toron peut être de type S7-15.3 ou S7-15.7

Les câbles du système de précontrainte sont mis en tension avec les vérins VSL qui sont présentés au [Chapitre 4 – Équipement de mise en tension](#) de cette Annexe. D'autres modèles de vérins peuvent être utilisés à condition qu'ils soient approuvés par VSL.

1.4. Catégories d'utilisation, possibilités et options

1.4.1. Utilisations et options du système VSL Multitoron

Les câbles et ancrages du système VSL peuvent avoir les catégories d'utilisation de base suivantes selon le DEE 16004-00-0301 (voir les détails dans le tableau ci-dessous) :

- Câble intérieur adhérent pour les structures en béton ou composites (avec ancrages placés dans le béton)
- Câble intérieur non adhérent pour les structures en béton ou composites (avec ancrages placés dans le béton)
- Câble extérieur pour les structures en béton ou composites
- Câble (intérieur ou extérieur) avec possibilité de remise en tension

- Câble intérieur pour applications cryogéniques (avec ancrages à l'intérieur et à l'extérieur de la zone cryogénique éventuelle)
- Câble intérieur adhérent avec gaine polymérique annelée
- Câble encapsulé (étanche)
- Câble isolé électriquement

Les catégories d'utilisation ci-dessus peuvent être combinées pour des applications spécifiques, par exemple, comme suit :

- Câble extérieur avec conduit injecté au coulis
- Câble extérieur avec conduit et injection souple
- Câble extérieur utilisant un faisceau de monotorons graissés et gainés individuellement dans une gaine HDPE injectée au coulis de ciment
- Câbles extérieurs utilisant un faisceau de torons adhérents protégés et gainés individuellement

Ces unités peuvent être :

- Ajustables (en force)
- Remplaçables (si elles ne sont pas liées à la structure)

Le type d'ancrages et les éventuelles catégories d'utilisation sont les suivantes :

UTILISATION \ ANCHORAGES	E	CS	GC	NC	NC-U	H	EP	K	V
Câble intérieur* adhérent avec conduit métallique	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Câble intérieur* adhérent avec conduit en polymère	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Câble intérieur* non adhérent	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Câble extérieur* adhérent injecté au coulis de ciment	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	
Câble extérieur* non adhérent avec injection souple	✓	✓	✓	✓			✓	✓	
Câble extérieur* pour matériaux divers	✓						✓	✓	
Câble avec tension ajustable	✓	✓	✓	✓	✓				
Câble remplaçable	✓	✓	✓	✓	✓		✓		
Applications cryogéniques (à l'intérieur ou à l'extérieur de la zone cryogénique éventuelle)	✓		✓				✓		
Câble encapsulé (étanche)	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓
Câble isolé électriquement	✓	✓	✓				✓	✓	

(*) à l'intérieur/à l'extérieur du béton

Les câbles remplaçables ne sont pas adhérents à la structure. Ce résultat est obtenu par une injection souple, par un double tubage aux ancrages et une continuité des conduits au travers des déviateurs intermédiaires dans le cas d'une injection rigide ou par l'utilisation de monotorons ou de torons adhérents protégés et gainés individuellement. L'espace entre le diamètre extérieur du conduit de précontrainte et le diamètre intérieur du tube coffrant dans la structure doit être suffisant pour permettre un remplacement.

Les unités du système VSL Multitoron peuvent être utilisées sans injection des interstices dans le câble pour des travaux provisoires ou dans des environnements non agressifs.

Les détails des unités ou composants de câble sont disponibles dans les chapitres suivants de l'Annexe 1 de cette ETE :

- Pour les torons, voir le [Chapitre 2.1 - Torons utilisés](#),
- Pour les gaines, voir le [Chapitre 2.2 - Gaines](#),
- Pour les ancrages, voir le [Chapitre 3.4 - Disposition des ancrages](#),

- Pour les injections, voir le [Chapitre 5.2 - Produits d'injection](#).

1.4.2. Possibilités du système VSL Multitoron

Mise en tension partielle ou par étapes

La précontrainte peut être réalisée par étapes. Une fois la force cible atteinte, on relâche la pression dans le vérin pour que les clavettes se bloquent dans la tête d'ancrage pour ancrer les torons. A l'issue de chaque étape de précontrainte, les clavettes sont bloquées à l'intérieur de leurs cavités, transférant la charge du vérin vers l'ancrage. La procédure est identique en cas de câbles longs, où l'allongement nécessite plusieurs courses successives du vérin.

Surtension avec recalage

Au moment du transfert de charge les clavettes sont situées à l'intérieur de leurs cavités. La rentrée des clavettes réduit l'allongement et crée une perte de tension à l'ancrage actif. Pour certains ancrages, il est possible, si cela est demandé par le calcul, de compenser la rentrée des clavettes et d'ajuster la tension à la valeur désirée en utilisant une chaise de surtension puis en installant des cales entre la tête d'ancrage et la plaque d'ancrage (voir [Chapitre 2.6.3 – Rentrée des clavettes d'ancrage](#)).

Libération de tension

Il est possible de libérer la tension d'ancrage avec un outil spécial à condition que la surlongueur nécessaire du toron ait été conservée et que le câble ne soit pas adhérent à la structure. La valeur de la surlongueur est donnée au [Chapitre 6.9 - Niches pour ancrages – Exigences de dégagements](#).

2. Chapitre 2 – Torons et gaines

2.1. Torons utilisés

Les torons sont présentés au [Chapitre 1.2 – Caractéristiques des unités du système](#) de cette Annexe. Ceux-ci devront être conformes à la norme *prEN 10138-3* : « *Aciers de précontrainte – Partie 3 : Torons* ». Elles peuvent être « Y1860S7 – N° 1.1366 » ou « Y1770S7 – N° 1.1365 ».

Les monotorons graissés et gainés individuellement sont utilisés comme câbles non adhérentes intérieures ou extérieures au béton ou à tout autre matériau. Ils sont conformes au DEE-160004-00-0301 qui spécifie les exigences, les méthodes de vérification et les critères d'acceptation de la graisse et de la gaine.

Les torons adhérents protégés gainés en conformité avec la norme XP-A35-037-3 peuvent aussi être utilisés pour des câbles non adhérents, si tous les torons, y compris leur gainage, peuvent se déplacer relativement par rapport à la structure lors de la mise en tension (par exemple, en restant à l'extérieur du béton ou d'autres matériaux).

2.2. Gaines

Le Système VSL Multitoron peut utiliser plusieurs types de gaines décrites dans cette partie. Le type de gaine dépendra des exigences du projet, de l'utilisation finale de la structure et du type d'unités de précontrainte.

2.2.1. Types et dimensions des gaines utilisables

Suivant l'application spécifique et le niveau 1, 2 ou 3 de protection exigé (PL1 à PL3 selon *fib Bulletin 33 – Durabilité des câbles de précontrainte*), différents types de gaines sont utilisés. D'une façon générale, les gaines doivent être en mesure de définir le profil des câbles spécifiés (si ceux-ci sont noyés dans le béton), d'assurer une étanchéité lors de l'injection du coulis et de protéger les torons contre l'attaque de la corrosion externe (toujours exigée dans le cas de câbles extérieurs). Par conséquent, celles-ci doivent être mécaniquement résistantes, présenter une continuité de forme, assurer une continuité d'étanchéité et éventuellement une continuité d'isolation électrique sur toute leur longueur. Elles doivent également fournir une adhérence efficace à la structure (lorsque celle-ci est exigée) et ne causer aucune agression chimique à l'acier de précontrainte.

Le tableau suivant indique le type de gaines qui est généralement adopté pour les différentes applications :

GAINES			Gaines métalliques		Gaines en polymère	
			Gaine en feuillard d'acier	Gaine métallique lisse	Gaine VSL PT-PLUS®	Gaine polymère lisse (polyéthylène, polypropylène)
APPLICATIONS						
Câble intérieur dans le béton	Avec injection rigide assurant l'adhérence	standard (PL1)	✓	NR	✓	NR
		cryogénique	✓	NR	✓	NR
		encapsulé (PL2)	NA	NR	✓(°)	NR
		isolé électriquement (PL3)	NA	NA	✓(°)	NR
	Avec injection souple (2)	standard (PL1) + encapsulé (PL2)	NA	✓	NR	✓
		isolé électriquement (PL3)	NA	NA	NR	✓
ajustable et/ou remplaçable		NA	✓	NR	✓	
Câble extérieur en dehors du béton (ou autre matériau)	Avec injection rigide	standard (PL1) + encapsulé (PL3)	NA	✓(1)	NR	✓
		isolé électriquement (PL3)	NA	NA	NR	✓
	Avec injection souple (2)	standard + encapsulé	NA	✓(1)	NR	✓
		isolé électriquement (PL3)	NA	NR(3)	NR	✓
		ajustable et/ou remplaçable	NA	✓(1)	NR	✓
Pour les autres matériaux tels que la maçonnerie, le bois... référez-vous aux conditions relatives au béton et tenez compte des contraintes de mise en place.						
NOTES :						
Général Niveaux de protection (PL1, PL2 et PL3) selon <i>fib Bulletin 33 – Durabilité des câbles de précontrainte</i>						
(°) Cette disposition correspond à un câble adhérent.						
(1) Les gaines lisses en polyéthylène ou polypropylène sont les plus utilisées.						
(2) Torons définis au chapitre 2.1, c'est-à-dire, torons nus avec une injection totale de la gaine avec un produit de remplissage souple ou bien monotorons protégés et gainés individuellement avec produit de remplissage rigide du conduit.						
(3) En employant des monotorons.						
✓ : Conseillé			NR : Non Recommandé		NA : Non Admis	

Les gaines du Système VSL Multitoron, essentiellement celles de section circulaire, doivent présenter un diamètre intérieur suffisant pour permettre l'installation aisée des torons et assurer une injection appropriée du produit de remplissage de protection.

VSL recommande un diamètre intérieur de la gaine $\varnothing_{int} \geq 1,8\sqrt{A_p}$, où A_p est la section nominale des torons constituant l'unité. Cette relation convient pour le cas des câbles avec torons installés dans la gaine avant bétonnage. Dans le cas de câbles préfabriqués, il est loisible d'adopter une gaine de diamètre inférieur. Dans les calculs il convient de considérer l'écart (nommé excentricité) existant entre le centre de la gaine et le centre de gravité de la section des torons.

Les dimensions recommandées des gaines et les valeurs des excentricités correspondantes sont données au [Chapitre 6.10 – Gaines](#) de cette Annexe.

Les gaines peuvent se présenter soit en couronnes soit en tronçons droits.

2.2.2. Gaines métalliques

Les câbles sont le plus souvent isolés du béton par des gaines nervurées en feuillard d'acier. Cela correspond à un niveau de protection PL1 standard comme défini par le *fib Bulletin 33*. Selon la norme EN 523 définissant leurs caractéristiques, elles peuvent être soit « normales » (Catégorie 1) ou « rigides » (Catégorie 2, toujours cintrables à la main).

Les raccordements entre couronnes ou tronçons sont effectués au moyen d'un connecteur (coupleur) qui est enfilé aux deux extrémités à raccorder. L'étanchéité aux joints est réalisée par du ruban adhésif ou par des manchons thermo rétractables.

Dans certaines utilisations (par exemple nucléaires, offshore), les câbles sont logés dans des conduits lisses en acier (tubes). Les tubes minces (conformes aux normes EN), soudés ou sans soudure et cintrables sur machine sont le plus souvent utilisés. Généralement, une de leurs extrémités présente un tulipage permettant de connecter les segments. L'étanchéité est réalisée avec des cordons de soudures, des manchons thermo rétractables ou du ruban adhésif.

2.2.3. Gaines en polymère

En cas d'exigences élevées relatives à la protection contre la corrosion (PL2 et PL3 selon *fib Bulletin 33*) et à la résistance à la fatigue des câbles, VSL recommande d'utiliser la gaine nervurée en polymère VSL PT-PLUS®. Elle ne s'emploie que pour précontrainte intérieure au béton avec un coulis d'injection à base de ciment. Elle fournit une adhérence parfaite entre les câbles et la structure.

La gaine VSL PT-PLUS® est conforme au DEE-160004-00-0301. Les segments de la gaine sont connectés par soudage au miroir bout à bout ou au moyen de connecteurs qui assurent l'étanchéité et l'isolation électrique. Des supports à demi-coquille rigide sont installés sur les points hauts du tracé du câble afin d'éviter des dommages lors de la mise en tension du câble si son rayon est inférieur à deux fois le rayon de courbure minimal admissible.

Ce type de gaine peut être employé avec tous les ancrages E, EP, CS, GC, NC, NC-U, H, K et V. Lorsqu'elle est utilisée en association avec les ancrages de type CS, elle permet de créer des unités totalement étanches du type CS-PLUS (PL2 selon *fib Bulletin 33*) et des unités isolées électriquement du type CS-SUPER (PL3). La gaine VSL PT-PLUS® peut aussi être utilisée avec des ancrages type E, K et GC pour obtenir des câbles encapsulés (PL2) et isolés électriquement (PL3) si les ancrages sont équipés de trompettes en plastique sur toute leur longueur.

Les conduits de précontrainte intérieure traversant les joints de voussoirs préfabriqués doivent être raccordés par des coupleurs de segments pour garantir les niveaux de protection PL2 ou PL3. Ils comprennent une bague d'étanchéité qui est compressée lors de la jonction des segments entre deux pièces en plastique noyées dans les parements des deux segments.

Pour le dimensionnement, conformément à l'EN 1992, on peut admettre que les câbles installés dans

ETE 06/0006 – version 4 du 20/06/2019 – Page 25 de 141

les gaines VSL PT-PLUS en polymère ont une longueur de scellement 50 % plus grande que les câbles dans des gaines nervurées en métal.

Des conduits courants (manchons ou tubes) en polyéthylène ou polypropylène peuvent également être utilisés. Les raccordements entre les segments sont généralement réalisés par soudage bout à bout ou au moyen de manchons électro soudables. Les conduits en polymère doivent être conformes au DEE-16004-00-0301 (pour plus de détails, se référer à l'Annexe 1 – [Chapitre 6.10 – Gaines](#)). Avec des raccords appropriés, ils peuvent être employés dans le cas des câbles étanches (PL2) et isolés électriquement (PL3).

2.2.4. Accessoires pour reprises, événements et purges

Les accessoires d'évent et, si besoin est, de reprises et de purge du coulis sont fixés aux gaines le long du tracé du câble afin d'obtenir un remplissage complet des câbles. Ces accessoires incluent des coquilles ou colliers fixés aux gaines et connectés aux tubes qui sont accessibles depuis l'extérieur. Les options suivantes sont disponibles :

Gaine	Accessoire de raccordement à la gaine	Accessoire d'évent
Gaine en feuillard d'acier	Coquille en polymère étanche	Gaine en polymère
Tube en acier	Piquage soudé	Tube acier ou gaine en polymère
Gaine VSL PT-PLUS®	Coupleurs avec événement de coulis	Gaine en polymère
Gaine en polymère	Collier électro-soudable ou piquage soudé	Gaine en polymère

La position des points de reprises, événements et purges le long du profil du câble est définie par le design.

2.2.5. Raccordement avec les trompettes

Les torons sont déviés par une trompette au niveau de la transition entre la gaine et la tête d'ancrage. Cette trompette est considérée partie intégrante de l'ancrage.

L'étanchéité entre la gaine et la trompette est réalisée au moyen d'une bande adhésive, de manchons thermo rétractables, ou d'accessoires de gaine (coupleur VSL PT-PLUS® par exemple).

2.3. Tracé des câbles

Le tracé des câbles est défini par le projet.

2.3.1. Parties droites derrière les ancrages

Les valeurs suivantes seront respectées pour la longueur droite L_{min} . Elles incluent à la fois la plaque d'ancrage et la trompette :

Pour $F_{pk} < 2 \text{ MN}$	$L_{min} = 0,8 \text{ m}$
Pour $2 \text{ MN} \leq F_{pk} \leq 7 \text{ MN}$	$L_{min} = 1,0 \text{ m}$
Pour $F_{pk} > 7 \text{ MN}$	$L_{min} = 1,5 \text{ m}$

Pour la précontrainte extérieure, se référer au [Chapitre 2.3.2 - Rayons de courbure](#) de cette Annexe.

2.3.2. Rayons de courbure

Les rayons de courbure minimaux des câbles intérieurs adhérents seront conformes au DEE-160004-00-0301. En l'absence de réglementation nationale pour les rayons de courbure, les valeurs suivantes sont recommandées pour les câbles intérieurs adhérents avec torons de qualité Y1770S7 ou Y1860S7 selon la norme prEN 10138-3 avec une section transversale de 139 à 150 mm² :

$$R_{min} = \frac{2F_{pm0} d_{toron}}{p_{R,max} d_{gaine,i}} \geq 2,5 \text{ m}$$

où

R_{min}	rayon de courbure minimal admissible
F_{pm0}	force de précontrainte initiale du câble
D_{toron}	diamètre des torons
$p_{r,max} = 130,150 \text{ ou } 230 \text{ kN/m}$	pression maximale admissible sous le toron critique recommandée en l'absence de réglementation nationale
$d_{gaine,i}$	diamètre intérieur du conduit circulaire

Pour les cas habituels, la formule simplifiée suivante peut être recommandée :

Pour les gaines en feuillard d'acier de Catégorie 2 (voir [Chapitre 2.2.2 – Gains métalliques](#)) :

$$R \geq 100 \varnothing_{int} \dots \dots \dots [1]$$

où R est le rayon de courbure et \varnothing_{int} = diamètre intérieur du conduit.

Pour les gaines en feuillard d'acier de Catégorie 1 (voir [Chapitre 2.2.2 – Gains métalliques](#)), les gaines VSL PT-PLUS ([Chapitre 2.2.3 – Gains en polymère](#)) et les tubes métalliques lisses :

$$R \geq \max\{2.8 \sqrt{F_{pk}} ; 2.5 \text{ m}\} \dots \dots \dots [2]$$

où R est exprimé en mètres et F_{pk} , résistance à la traction, est exprimée en N.

Avec les dimensions de gaines proposées (Voir Annexe 1 – [Chapitre 6.10 – Gains](#)), la formule [1] correspond à une pression d'environ 140 kN/m, alors que la formule [2] correspond à environ 200 kN/m.

Dans certains cas particuliers, avec l'emploi de tubes en acier, le rayon de courbure peut être sensiblement réduit à une valeur de $R \geq 20 \varnothing_{int}$. Dans ce cas, des vérifications de résistance locale du béton et des contraintes dans les torons sont à effectuer.

Dans tous les cas, il doit être vérifié que le rayon du câble $R_{réel}$, obtenu à partir des courbures en élévation et en plan, si cela est applicable, est supérieur à R_{min} :

$$R_{réel} \sim \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_{élévation}}\right)^2 + \left(\frac{1}{R_{plan}}\right)^2}}$$

Des parties des câbles peuvent être pliées en forme de U avec un rayon serré pour constituer un ancrage non visitable. Ces parties du câble sont appelées généralement « ancrages boucles » (encore qu'ils ne soient pas considérés comme des ancrages par le DEE-160004-00-0301) et doivent respecter les critères suivants :

- Le conduit dans la boucle est soit lisse soit nervuré et, pour faciliter les connexions (par emboîtement) son diamètre doit être immédiatement supérieur à celui employé dans les portions droites.
- Le rayon de courbure de la boucle est $R \geq \max \{0,6 \sqrt{F_{pk}} ; 0,6 \text{ m}\}$, où R est exprimé en mètres et F_{pk} en MN.
- Le câble est mis en tension simultanément aux deux extrémités.
- Le câble est soumis principalement à une charge statique (et n'est soumis à aucune charge de fatigue significative)

Pour la précontrainte extérieure (au béton) un tube en polyéthylène de qualité et d'épaisseur apte à l'emploi en câbles extérieurs sera utilisé tel que défini dans l'Annexe D du DEE-160004-00-0301. Les rayons suivants doivent être respectés :

Unité de câble	Zones de déviation [m]	Zone d'ancrage [m]
6-3 à 6-7	2,0	3,0
6-12	2,5	3,5
6-15	3,0	4,0
6-19	3,0	4,0
6-22	3,5	4,0
6-27	3,5	4,5
6-37	4,0	5,0
6-43	4,5	5,5
6-55	5,0	6,0

Le rayon du câble $R_{réel}$, obtenu à partir des courbures en élévation et en plan, si cela est applicable, doit être supérieur à R_{min} :

$$R_{réel} \sim \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_{élévation}}\right)^2 + \left(\frac{1}{R_{plan}}\right)^2}}$$

La longueur de la trompette de l'ancrage suffit pour servir de longueur droite requise derrière l'ancrage à condition que la courbure du câble derrière la trompette possède le rayon minimum donné ci-dessus et que la bande métallique ait été nervurée au préalable au rayon de cette zone d'ancrage dans un atelier s'assurant des tolérances serrées.

La gaine de bande métallique nervurée peut uniquement être nervurée à un rayon constant sur un plan. Le constructeur doit en tenir compte lorsqu'il définit le tracé du câble.

Des déviations involontaires ou de petites déviations intentionnelles inférieures à 2 degrés sont autorisées pour les câbles extérieurs constitués de monotorons individuels gainés jusqu'à 6-31. Ces petites déviations sont conciliables avec une selle plane (pas de courbure et angle maximal de 2° de chaque côté de la selle). De petites déviations jusqu'à 10° sont conciliables avec une selle courbe. Les deux types de selles doivent être conformes au [Chapitre 6.2.5 – Ancrages de type E-WT \(câbles externes sans injection\)](#).

Le rayon de courbure doit se conformer aux réglementations nationales existantes.

2.3.3. Espacement des supports et tolérances

La position des supports sous le conduit est définie par le design. Il est habituel de les installer tous les mètres pour un grand rayon de courbure et tous les cinquante centimètres pour un petit rayon de courbure afin d'obtenir la géométrie requise.

Les gaines et câbles sont fixés fermement à leurs supports à une distance empêchant les déplacements ou déformations excessifs. L'espacement recommandé des supports des câbles est de 10 à 12 fois le diamètre de la gaine.

Les tolérances sur la position des câbles dans les éléments en béton doivent être conformes à l'EN 13670. Des éléments de fixation transversaux peuvent être utilisés pour éviter des mouvements non désirés des câbles extérieurs.

Lorsqu'un câble est ou peut être dévié au voisinage d'une paroi pouvant conduire à une poussée au vide, des barres de frettage additionnelles seront calculées et installées dans la structure.

2.3.4. Longueur de coupe des torons

La longueur totale du toron sera définie en ajoutant la longueur du câble de précontrainte entre les ancrages à l'épaisseur des têtes d'ancrage et à la surlongueur nécessaire pour la mise en tension (traversant les vérins). Ces surlongueurs figurent au [Chapitre 6.9 - Niches pour ancrages – Exigences de dégagement](#) de la présente Annexe.

2.4. Installation des gaines et des torons

Selon les conditions du projet, l'une des deux solutions suivantes est adoptée dans le cas habituel d'une précontrainte intérieur d'un ouvrage neuf en béton) :

- Câbles (torons et gaines) préfabriqués en dehors de l'ouvrage puis livrés sur le chantier pour leur installation dans l'ouvrage
- Installation des câbles complets préformés en dehors de l'ouvrage, puis installés avant ou après bétonnage dans les gaines placées au préalable dans l'ouvrage
- Enfilage des torons individuels avant ou après bétonnage dans les gaines installées au préalable dans l'ouvrage

2.5. Protection temporaire et lubrification

L'huilage ou graissage des câbles est réalisé au moyen de substances non dangereuses afin de :

- Fournir une protection temporaire contre la corrosion depuis leur sortie de l'usine jusqu'à leur protection permanente (injection du câble)
- Lubrifier et réduire la perte par frottement lors de la mise en tension

Dans ce même but, d'autres produits réduisant la perte par frottement peuvent être utilisés, à condition qu'ils ne soient pas considérés des substances dangereuses, soient de facile application et restent inertes en présence du produit de protection (assurant l'éventuelle adhérence à la structure). Pour la précontrainte adhérente, les seuls produits pouvant être utilisés sont ceux qui ne doivent pas être retirés avant l'injection.

De plus, ces produits doivent se conformer aux réglementations en vigueur du lieu d'utilisation.

2.6. Eléments de calcul

2.6.1. Pertes par frottement

Le frottement entre les torons et gaines, survenant lors de la mise en tension, réduit la force de précontrainte appliquée dans les torons le long du tracé des câbles. Cette force, selon la norme EN 1992-1-1, est exprimée par la formule :

$$P_{m0}(x) = P_{m0}(0) e^{-\mu(\theta+kx)}$$

où

$P_{m0}(x)$ force de précontrainte à une distance x de l'extrémité de mise en tension au moment de l'application de la force

$P_{m0}(0)$ force de précontrainte du câble à l'extrémité de mise en tension (avec $x = 0$) au moment de la mise en tension après pertes par frottement de l'ancrage actif, également appelée force de mise en tension de calcul (précisée par le bureau d'études)

μ coefficient de frottement entre les torons et la gaine

θ déviations angulaires cumulées du câble sur la distance x

k coefficient de déviation angulaire parasite (par unité de longueur) pour les câbles intérieurs

Il est recommandé d'adopter les valeurs numériques suivantes figurant dans la norme EN 1992-1-1 pour les paramètres μ et k :

Utilisation	μ (rad ⁻¹) (1)		k (rad/m) (2)	
	Fourchette	Valeur recommandée	Fourchette	Valeur recommandée
Câble intérieur adhérent avec gaine métallique annelée (toron nu)	0,16-0,22	0,18	0,004-0,008	0,005
Câble intérieur adhérent avec tube en acier lisse	0,16-0,24	0,20	0,005-0,010	0,007
Câble intérieur adhérent avec gaine VSL PT-PLUS (toron nu)	0,10-0,15	0,12	0,004-0,010	0,005
Câble extérieur avec tube en acier lisse	0,16-0,24	0,20	0	0
Câble extérieur avec conduit en polymère	0,10-0,14	0,12	0	0
Câble intérieur non adhérent avec torons individuels graissés et gainés	0,04-0,07	0,05	0,004-0,006	0,005
Câble extérieur avec torons individuels graissés et gainés	0,04-0,07	0,05	0	0
Câble extérieur avec torons individuels adhérents gainés et protégés avec coussin en polymère aux points de déviation	0,05-0,10	0,08	0	0

(1) Les valeurs aux bornes de l'intervalle s'entendent pour des torons lubrifiés et non lubrifiés.

(2) Les valeurs de k sont nulles pour les câbles extérieurs au béton.

2.6.2. Principes de calcul des allongements

L'allongement après la mise en tension est calculé à partir de la courbe de force de précontrainte dans les torons $P_{m0}(x)$ tracée le long de l'axe du câble avant transfert de la charge du vérin à l'ancrage.

L'allongement total sur l'ancrage actif qui est mesuré à l'arrière du vérin, où $x = -L_j$, peut s'écrire comme suit :

$$\Delta l = \underbrace{\int_{-L_j}^0 \frac{P_{m0}(x)}{A_p E_p} dx}_{\text{Allongement du câble dans dans le vérin de mise en tension}} + \underbrace{\int_0^{L_a} \frac{P_{m0}(x)}{A_p E_p} dx}_{\text{Allongement du câble dans la pièce précontrainte}} + \underbrace{\int_0^{L_a} \frac{\sigma_c(x)}{E_{cm}} dx}_{\text{Raccourcissement du béton dans la pièce précontrainte}} + \underbrace{g'}_{\text{Déplacement éventuel de l'extrémité dite fixe du câble}}$$

où :

- A_p section des câbles de précontrainte à l'abscisse x
- E_p module d'élasticité de l'acier de précontrainte
- $P_{m0}(x)$ force de précontrainte initiale dans les torons à une distance x au moment $t=t_0$
- L_j longueur des torons dans le vérin de mise en tension. La valeur de l'effort de traction du toron à l'intérieur du vérin peut être considérée constante [$P_{m0}(-L_j) \sim (1 + k_a) \cdot P_{m0}(0) = \text{constant}$], avec $k_a =$ perte par frottement dans l'ancrage lors de la mise en tension
- σ_c contrainte de compression du béton
- E_{cm} module d'élasticité du béton
- L_a longueur de calcul du câble. Elle correspond à la longueur du câble à partir de l'ancrage actif à la section où $P_{m0}(x)$ est au minimum (généralement, l'extrémité dite fixe)
- g' rentrée de clavette au niveau de l'ancrage passif du câble (si elle est applicable)

La valeur du raccourcissement du béton est négligeable dans la majorité des cas (sauf si les contraintes dans le béton résultant de la précontrainte sont élevées).

Si le câble possède un ancrage passif qui est accessible et dont les clavettes sont bloquées à la main (cas courant), nous pouvons considérer une valeur de rentrée g' de 3 mm.

Si $P_{m0,av}$ est la force moyenne sur la longueur du toron concerné, l'expression simplifiée suivante peut être utilisée :

$$\Delta l = \frac{(1 + k_a) P_{m0}(0)}{A_p E_p} L_j + \frac{P_{m0,av}}{A_p E_p} L_a + g'$$

La reprise du mou du câble peut être éliminée de la valeur rapportée en appliquant les procédures appropriées (en ne prenant en compte les allongements qu'après que le câble a été raidi dans son conduit à 25 % de $(1 + k_a) P_{m0}(0)$, par exemple).

Note : Les valeurs k_a des pertes par frottement dans les ancrages figurent au [Chapitre 4.2.1 – Mesure de la force.](#)

2.6.3. Rentrée des clavettes d'ancrage

La valeur de la rentrée de clavettes est de 6 millimètres et elle reste constante pour tous les ancrages et clavettes.

S'il est nécessaire, la rentrée de clavettes peut être compensée en tout ou en partie par des cales d'épaisseur appropriée insérées entre la tête et sa plaque d'ancrage. Dans tous les cas, la force de mise en tension initiale (supérieure à la force cible finale) ne doit pas dépasser P_{max} , qui est la force maximale autorisée lors de la mise en tension de l'unité.

La cale est du même matériau que la plaque E et le diamètre de son trou est celui spécifié pour les plaques E ou CS.

Note: Le recul d'ancrage des douilles de compression n'est pas significatif.

3. Chapitre 3 – Ancrages

3.1. Description des pièces d'ancrage

Les ancrages du Système VSL Multitoron font appel à des éléments standards que l'on peut classer comme suit :

3.1.1. Ancrages actifs et ancrages passifs

Les ancrages actifs et passifs du Système VSL Multitoron sont constitués de :

Plaques d'ancrage et trompettes

Les types de plaques d'ancrage ou d'appui et trompettes couverts par cette ETE sont les suivants :

- **E.** La plaque d'ancrage est faite à partir d'acier de construction selon EN 10025. La trompette E est en tôle.
- **CS.** La plaque d'ancrage CS est faite en fonte selon EN 1563 et d'un mortier à très haute résistance. La trompette CS est en matière polymère et peut être connectée par une pièce de raccordement à la gaine VSL PT-PLUS®. La trompette CS peut être également associée à la plaque d'ancrage modèle E.
- **GC.** La plaque d'ancrage est en fonte conformément à EN 1561 ou EN 1563. Pour les petites unités (3 à 15) la déviation est créée dans le casting sans trompette. Pour les unités plus grandes (19 et plus), la trompette est en matière polymère.
- **NC** et **NC-U.** La plaque d'ancrage NC est fait d'un casting en fonte selon EN 1563 et d'un insert en polymère. Le type NC-U est utilisé avec des torons gainés.

Têtes d'ancrage

Les têtes d'ancrage couvertes par cette ETE sont les suivantes :

- **E** et **EP.** Elles sont utilisées avec les plaques d'ancrage de type E, GC, NC ou NC-U. Ces têtes d'ancrage sont usinées à partir d'une barre en acier conformément à EN 10083-2, GB/T 3077 ou GB/T 17107. Deux séries de têtes d'ancrage E et EP sont disponibles. Elles sont désignées E et (QT) ou EP et EP (QT). Sauf indication contraire, dans la suite de ce document le terme E englobe à la fois les têtes d'ancrage E et E (QT). De même, le terme EP est utilisé pour désigner à la fois les têtes d'ancrage EP et EP (QT). Les têtes d'ancrage

de type E peuvent être équipées d'un filetage externe surdimensionné pour surveiller la charge.

- **GC.** Les têtes d'ancrage GC sont utilisées avec les plaques d'ancrage GC pour les câbles intérieurs, extérieurs et isolés électriquement. Elles sont usinées à partir d'une barre d'acier conforme à EN 10083-2, GB/T 3077 ou GB/T 17107
- **CS.** Les têtes d'ancrage CS sont utilisées avec des plaques CS. Elles sont usinées à partir d'une barre d'acier ou d'un matériau forgé selon la Norme EN 10083-1.

Les têtes d'ancrages sont usinées par une machine-outil à commande numérique et contrôlées de manière exhaustive.

Les ancrages utilisés avec des monotorons protégés et gainés (adhérents ou coulissants) comprennent une étanchéité entre la tête d'ancrage et les monotorons pour sceller les torons dans la zone d'ancrage. Notamment, les ancrages de type E peuvent être utilisés pour des câbles extérieurs réalisés à partir de monotorons individuels gainés et protégés. Dans ce cas, le système est appelé **E-WT**, et il est formé par des têtes d'ancrage de type E et des composants supplémentaires pour obtenir l'encapsulation complète des câbles.

Ancrages avec injection de type H

Les ancrages de type H sont des ancrages passifs possédant une géométrie définie qui transfère la force de précontrainte vers le béton en partie grâce à l'adhérence et en partie par l'appui d'extrémité (bulbe). Les unités couvertes par cette ETE varient de 6-1 à 6-37 (voir [Chapitre 6.6 – Ancrages de type H](#) de la présente Annexe).

Clavettes

Les clavettes sont décolletées à partir d'un acier allié pour cémentation selon EN 10084 ou GB/T 3077-99 et GB/T 5216-2004, puis filetées, coupées et soumises à traitement thermique. Toutes ces clavettes sont l'objet des contrôles rigoureux. Les clavettes pour la précontrainte multitoron incluses dans cette ETE sont :

- Clavettes **W6N** et **W6S**, à deux brins indépendants. Elles sont utilisées soit avec des torons 0,6" ou T15,2 (type W6N) ou des torons 0,6"S ou T15,7 (type W6S). Pour différencier les W6N (clavettes normales) des W6S (clavettes super), les clavettes S possèdent une rainure sur la face avant.
- Clavettes **W6N-C** et **W6S-C**. Elles sont fabriquées avec un clip et sont utilisées avec des torons 15,2 ou 15,7 mm respectivement.

Les clavettes W6N et W6S du Système VSL Multitoron peuvent aussi être utilisées pour le Système VSL Dalle (voir [Chapitre 3.1 – Description des pièces d'ancrage](#) de l'Annexe 2 de cette ETE).

Douilles de compression

Les douilles de compression CFE6 sont utilisées avec les ancrages de type EP, K et V. Elles sont formées par un manchon réalisé à partir d'acier non allié selon EN 10083-2 et par un insert de type CF6 ou CF6N pour utilisation avec torons 15,7 ou 15,2 respectivement.

Capots de protection

Trois types de capots de protection sont utilisés afin de protéger l'ancrage et permettre l'injection :

- Capots temporaires ou provisoires. Ils sont conçus pour sceller l'ancrage lors de l'injection du coulis de ciment pour la protection permanente du câble. Après durcissement du coulis, ces capots sont recyclés afin d'être réutilisés. Le produit d'injection doit être un coulis rigide et la niche d'ancrage doit être cachetée avec du béton.

- Capots permanents métalliques, scellant l'ancrage lors de l'injection du coulis de ciment, qui est laissé en place après injection.
- Capots permanents en polymère, scellant l'ancrage lors de l'injection du coulis de ciment, qui est également laissé en place après injection. Ce capot a notamment été conçu pour les câbles étanches et isolés électriquement.

Les capots doivent toujours avoir un évent pour permettre de les remplir complètement lors de l'injection. Les capots doivent être permanents en cas d'utilisation d'un produit de protection souple pour protéger les câbles contre la corrosion.

Les capots permanents en polymère peuvent être laissés exposés. Les capots permanents en acier peuvent être laissés exposés si des précautions appropriées sont prises contre la corrosion des parties métalliques. Les capots permanents peuvent également être utilisés comme capots temporaires.

Les capots permanents ayant une surlongueur de torons minimale figurent au [Chapitre 6.1.5 – Capots de protection pour les ancrages](#). Des capots permanents plus longs peuvent être utilisés pour permettre une surlongueur plus grande des torons en cas de câbles pouvant être ajustés ou détendus.

3.1.2. Coupleurs

Les coupleurs de type K (fixe) et V (mobile) sont réalisés à partir du même matériau que les têtes d'ancrage E. Ils possèdent des trous tronconiques pour héberger les clavettes du câble de première phase et des emplacements pour positionner les douilles de compression pour connecter les torons du câble de la seconde phase. Chaque douille de compression est composée d'une spirale et d'un manchon qui sont sertis (extrudés) à l'extrémité du toron.

3.1.3. Livraison sur site et ordre des opérations

Habituellement (précontrainte intérieure d'un nouvel ouvrage en béton avec torons installés après bétonnage), l'ordre des opérations est le suivant :

1. Livraison sur le chantier des plaques d'ancrage ainsi que des gaines pour mise en place dans le ferrailage passif et fixation des plaques au coffrage. Ces pièces d'ancrage sont livrées identifiées sur palettes ou en vrac.
2. Livraison sur le chantier des têtes d'ancrage et clavettes. Installation des torons à l'intérieur des gaines (avant ou après bétonnage), installation des têtes d'ancrage, mise en tension, installation de capots temporaires ou permanents et injection de protection permanente des câbles. Ces composants d'ancrage sont livrés identifiés, emballés et protégés (et il en est de même pour les torons).

3.2. Organisation de la qualité

La fabrication des composants d'ancrage du Système VSL Multitoron est conduite conformément aux spécifications, aux procédures de production et de contrôle définies dans la présente ETE et documents associés.

Le Contrôle de Production d'Usine mis en œuvre par les Fabricants des Composants et l'organisation de la qualité des Entreprises Spécialisées de Précontrainte permettent d'assurer la traçabilité des composants jusqu'à leur distribution et installation sur le chantier.

3.3. Mise en œuvre des ancrages VSL

La mise en œuvre des ancrages VSL est effectuée comme décrite ci-dessous. Elle doit être confiée à un personnel compétent de l'Entreprise Spécialisée de Précontrainte ou à un Chargé de Mise en Précontrainte agréé par celle-ci.

Le cas le plus fréquent (précontrainte intérieure d'un nouvel ouvrage) est présenté :

3.3.1. Ancrages actifs types E, CS, GC, NC et NC-U

Les plaques d'ancrage et les trompettes sont fixées au coffrage et raccordées aux gaines qui ont été placées pendant l'installation du ferrailage passif. Elles sont alors noyées dans l'ouvrage ou l'élément de l'ouvrage lors du bétonnage.

Les plaques E peuvent également être installées sur un parement de béton préalablement terminé. Dans ce cas, il peut être nécessaire d'appliquer un coulis entre la plaque et le parement de béton pour assurer un contact complet sur toute la zone de raccordement. Elles peuvent également être installées sur une surface métallique.

Des cales en deux parties peuvent être utilisées entre la plaque E et les têtes d'ancrage E ou EP afin de permettre l'installation de câbles préfabriqués avec tête d'ancrage préinstallé.

Les plaques CS, GC, NC et NC-U doivent être noyées dans le béton et, par conséquent, doivent toujours être installées avant le bétonnage.

La position des trous d'injection dépend du type d'ancrage, de la structure et de l'accessibilité lors de l'injection. Les événements peuvent s'ouvrir sur la face avant de l'ancrage ou se servir des tubes afin de quitter la structure.

Les têtes d'ancrage et clavettes sont positionnées immédiatement avant la mise en tension afin d'éviter tous dommages à ces composants.

Dans le cas de câbles non adhérents noyés dans le béton, les monotorons sont initialement mis en tension à une force faible pour en éliminer le mou. La longueur courante est injectée avec un coulis pour remplir les vides entre les différents monotorons et la gaine. A cette fin, la gaine est scellée à ses deux extrémités au niveau des plaques d'ancrage. Une fois que le coulis a atteint une résistance suffisante ($f_{c,min(t)} \geq 20/25 \text{ N/mm}^2$) les monotorons sont mis en tension jusqu'à leur force finale.

Les câbles isolés électriquement (PL3), telles que les unités CS-SUPER ou GC-EIT possèdent des plaques isolantes (à insérer entre la tête et la plaque d'ancrage) et des capots isolants en polymère. Les ancrages E peuvent également être utilisés pour les câbles isolés électriquement en utilisant une trompette en polymère et une plaque isolante.

Les pertes de force des ancrages sont décrites au [Chapitre 4.2.1 – Mesure des forces](#).

3.3.2. Ancrages passifs types E, CS, GC, NC et NC-U

La mise en place de ces ancrages s'effectue comme indiqué au [Chapitre 3.3.1 – Ancrages actifs types E, CS, GC, NC et NC-U](#).

Après la pose de la tête d'ancrage, avant la mise en tension à l'autre extrémité, les clavettes sont pré-bloquées au moyen d'un chasse-clavettes et restent alors accessibles pendant la phase de mise en tension pour observation.

Lorsqu'il n'existe aucun accès à la tête d'ancrage passive lors de la mise en tension (ce qui signifie également que les torons doivent être installés avant le bétonnage), une tête d'ancrage EP doit être utilisée. Dans une tête d'ancrage EP, les torons ne sont pas bloqués dans la tête d'ancrage au moyen de clavettes, mais sont mis en place avec des douilles de compression avant le bétonnage. Après l'extrusion des douilles de compression sur les extrémités des torons, ceux-ci sont tirés contre la tête d'ancrage EP jusqu'à ce que les douilles de compression entrent en contact avec la tête d'ancrage EP. Par la suite, une plaque de retenue est installée pour maintenir les douilles de compression en position lors du bétonnage. Bien entendu, ces ancrages peuvent également être utilisés si la tête d'ancrage n'est pas noyée au béton.

Des cales en deux parties peuvent être utilisées entre la plaque E et les têtes d'ancrage E ou EP afin de permettre l'installation de faisceaux de torons préfabriqués avec tête d'ancrage préinstallée.

Les ancrages passifs (avec les clavettes ou les douilles de compression) peuvent également être utilisés pour les câbles isolés électriquement.

3.3.3. Ancrages par adhérence type H

Le transfert de charge à la structure est fait en partie par adhérence des torons et en partie par l'appui d'extrémité (bulbe).

A l'extrémité des torons, les torons ayant des bulbes sont espacés correctement au moyen d'une grille de positionnement. S'il est nécessaire, l'extrémité de la gaine est renforcée par une bague, qui peut prendre les forces de déviation des torons en travaillant à traction.

L'ensemble de l'ancrage est solidement fixé au ferrailage passif. Après montage du tube d'injection, l'extrémité de la gaine est scellée.

Les extrémités du toron doivent être dégraissées de manière appropriée sur la longueur de scellement. Le béton autour des ancrages est placé soigneusement et vibré avec un agrégat dont le diamètre ne dépasse pas 30 mm.

3.3.4. Coupleur fixe Type K

La mise en œuvre d'un coupleur K est réalisée comme présentée au [Chapitre 3.3.1 – Ancrages actifs de type E, CS, GC, NC et NC-U](#) pour les ancrages actifs.

Pour la partie passive du couplage, la mise en place intervient avant le bétonnage de la seconde phase de la structure. Les torons sortant de la gaine sont déviés à travers une bague vers la tête d'ancrage K et ceux-ci sont garnis de douilles de compression qui sont placées dans les emplacements périphériques du coupleur K. Un cerclage maintient en position les douilles et une trompette/capot (en tôle ou en polymère) isole le coupleur du béton.

Un évent au sommet de la trompette/capot permet un remplissage au coulis de la zone d'ancrage.

Pour les câbles isolés électriquement, outre les spécifications énoncées au [Chapitre 3.1.2 – Coupleur](#), le coupleur K requiert l'installation d'une plaque d'isolation entre le coupleur et la plaque d'ancrage.

3.3.5. Coupleur mobile type V

Lorsqu'un câble est composé de plus d'une longueur de torons sans mise en tension intermédiaire, la tête K définie au [Chapitre 3.1.2 – Coupleur](#) est utilisée comme coupleur mobile pour épisser entre les longueurs de torons. La taille du capot est définie pour le mouvement libre de la tête du coupleur durant la mise en tension.

3.4. Disposition des ancrages

Pour les catégories d'utilisation décrites au [Chapitre 1.4.1 – Utilisations et options du système VSL multitoron](#) de cette Annexe, la disposition suivante des composants d'ancrage peut être utilisée :

Ancrages	Composants	Utilisations										
		Câble intérieur adhérent avec gaine métallique	Câble intérieur adhérent avec gaine en polymère	Câble extérieur non adhérent	Câble extérieur avec injection au coulis de ciment	Câble extérieur avec injection souple	Câble pour différents matériaux (câble extérieur)	Câble ajustable	Applications cryogéniques	Câble remplaçable	Câble encapsulé (étanche, PL2)	Câble isolé électriquement (PL3)
E	Plaque	E	E	E	E	E	E	E		E	E	E
	Tête (8)	E	E	E	E	E	E	E		E	E	CS
	Trompette (9)	E	E	E	E	E(9)	E (9)	E		E	E	CS(1)
	Capot	T(2)	T(2)	PM(3)	PM(3)	PM(3)	PM(3)	PM(4)		PM(4)	PM(3)	PP
CS	Plaque	CS	CS	CS	CS	CS		CS		CS	CS	CS
	Tête	CS	CS	CS	CS	CS		CS		CS	CS	CS
	Trompette	CS	CS	CS	CS	CS		CS		CS	CS	CS(1)
	Capot	T(2)	T(2)	PP(3)	PP(3)	PP(3)		PP(4)		PP(4)	PP	PP
GC	Plaque	GC	GC	GC	GC	GC		GC	GC	GC	GC	GC
	Tête (8)	E	E	E	E	E		E	E	E	E	E
	Trompette	GC	GC	GC	GC	GC		GC	GC	GC	GC	GC(1)
	Capot	T(2)	T(2)	PM(3)	PM(3)	PM(3)		PM(4)	T(2)	PM(4)	PM(3)	PP
NC	Plaque	NC	NC	NC	NC	NC		NC		NC	NC	
	Tête (8)	E	E	E	E	E		E		E	E	
	Capot	T(2)	T(2)	PM(3)	PM(3)	PM(3)		PM(4)		PM(4)	PM(3)	
H		H	H		H							
K	Plaque	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)				(5)	(5)
	Tête du coupleur	K	K	K	K	K	K				K	K
	Trompette	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)				(5)	(5)
	Capot/trompette	M(6)	M(6)	M(6)	M(6)	M(6)	M(6)				M(6)	P(7)
V	Tête du Coupleur	V	V	V	V	V	V				V	
	Capot/trompette	M(6)	M(6)	M(6)	M(6)	M(6)	M(6)				M(6)	

- Notes :
- 1: Une plaque isolante est installée entre la plaque d'ancrage et la tête d'ancrage ou coupleur
 - 2: Un capot temporaire ou provisoire (T pour Temporaire), ou un capot Permanent (P) peut être utilisé
 - 3: Capot Permanent Métallique (PM) ou capot Permanent en Polymère (PP),
 - 4: Capot Permanent Métallique (PM) ou capot Permanent Polymère (PP) avec longueur supplémentaire pour permettre une nouvelle mise en tension
 - 5: Une plaque E, CS ou GC et une trompette peuvent être utilisées
 - 6: Un manchon métallique (M) ou en polymère (P) peut être utilisé
 - 7: Manchon en polymère (P)
 - 8: Les têtes d'ancrage EP peuvent remplacer les têtes d'ancrage E sur l'extrémité passive
 - 9: La trompette est remplacée par une plaque avec des éléments d'étanchéité pour la configuration E-WT

3.5. Conditions géométriques et mécaniques d'emploi

3.5.1. Dégagement derrière les ancrages de mise en tension

Il est nécessaire de respecter un dégagement derrière les ancrages afin de pouvoir installer les vérins de mise en tension. Les dimensions figurent au [Chapitre 6.9 – Niches pour ancrages – Exigences de dégagement](#) de la présente Annexe.

Ces dimensions doivent être augmentées en cas d'utilisation d'équipement pour détendre ou surtendre les câbles. Consultez VSL pour plus de détails.

3.5.2. Résistance du béton, enrobage latéral et entraxe des ancrages

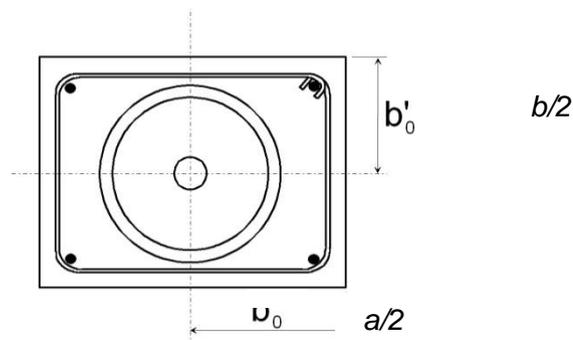
Les forces de précontrainte sont transférées aux structures dans les zones d'ancrages. L'introduction de ces forces à la structure en béton impose les dispositions suivantes :

- Il faut respecter une distance minimum entre les ancrages adjacents (distance centre à centre) et à partir d'un ancrage vers la paroi de la structure. Ces distances sont données en Annexe 1 pour les différents types d'ancrage et d'unités.
- Une armature de frettage local (AFL) doit être installée sous les ancrages. Cette AFL, qui fait partie intégrante de l'ancrage, doit être définie en fonction de la résistance du béton, la charge de rupture du câble, la résistance de l'acier passif et le type d'ancrage utilisé. Voir partie 3.6 pour plus de détails.
- Le béton, au voisinage des plaques, doit être bien compacté et vibré et atteindre la résistance minimale requise au moment de la mise en tension.
- Une zone générale de diffusion derrière les ancrages, appelée prisme secondaire, doit être calculée et définie en détail par le bureau d'études selon les règles de calcul applicables pour s'assurer que les forces de précontrainte introduites dans la structure au niveau des ancrages peuvent être distribuées sur la totalité de la section transversale de la structure sans surcharger le béton et l'acier passif.

Les valeurs maximales pour la force appliquée au câble (P_{max}) et la valeur maximale après transfert de la charge à l'ancrage ($P_{m0,max}$) figurent au [Chapitre 1.2 – Caractéristiques des unités du système](#) de la présente Annexe.

Les dimensions et l'armature de frettage local d'ancrage ont été définies selon le DEE-160004-00-0301.

Les blocs d'essai sont des prismes de béton testés en compression axiale avec une section transversale de béton $A_c = a \times b$:



$a/2$ et $b/2$ sont les distances entre l'axe d'ancrage et la paroi du bloc d'essai.

Ces dimensions de référence a et b permettent d'obtenir l'espacement minimal entre ancrages contigus dans la structure dans les directions x et y (x et y), de sorte que :

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

L'**entraxe/espacement entre ancrages** réel doit être conforme à :

$$\begin{aligned} x &\geq 0,85 a \\ y &\geq 0,85 b \end{aligned}$$

où a, b : dimensions latérales du bloc d'essai
x, y : espacement minimal des ancrages pour le câble considéré dans la structure dans les directions x et y, la plus petite $x \leq y$ étant retenu

Dans le cas habituel de plaques d'ancrage carrées ou circulaires, l'espacement dans les deux directions est égal ($a = b = X$) et la section transversale du bloc d'essai est X^2 .

Les valeurs de X et les dimensions minimum des parties en béton sont données dans les tableaux applicables du Chapitre 6 de la présente Annexe pour les différents types d'ancrage et résistances au béton ([Type E](#), [Type CS](#), [Type GC](#), [Type NC/NC-U](#), [Type H](#)).

Comme expliqué ci-dessus, il est possible de réduire la valeur de x dans une des directions (jusqu'à $0,85 X$) si le produit $xy \geq X^2$. Cette adaptation se conformera aux règles de calcul applicables (voyez le [Chapitre 3.6 – Armature de frettage local d'ancrage](#) pour plus de détails).

Les **distances minimales aux parois** de la structure sont calculées à partir des espacements dans les directions x et y avec les formules suivantes :

$$\begin{aligned} e_x &= \frac{x}{2} - 10 \text{ mm} + c \\ e_y &= \frac{y}{2} - 10 \text{ mm} + c \end{aligned}$$

où e_x, e_y : Distance de l'axe de l'ancrage à la paroi dans la direction x et y respectivement
c : Enrobage minimal des armatures exigé dans le lieu d'utilisation

Note : 10 mm est l'enrobage de béton retenu dans les blocs d'essai (à l'exception des ancrages H réalisés avec un enrobage de 25 mm).

Les zones de frettage local des ancrages adjacents ne doivent pas se chevaucher. De plus, elles doivent rester à l'intérieur du béton.

Le tableau ci-dessous donne un aperçu des différents ancrages et des résistances minimales du béton au moment de la mise en tension (résistance cylindre/cube) pour lesquelles les espacements des ancrages et des armatures de frettage local des ancrages sont détaillés au Chapitre 6 de cette Annexe ([Type E](#), [Type CS](#), [Type GC](#), [Type NC/NC-U](#), [Type H](#)).

Type	$f_{c,min}(t)$ [N/mm ²] à la mise en tension (cylindre/cube)				
E	23/28	28/35	32/40	36/45	43/53
CS		28/35			
GC	25/30	28/35	32/40	36/45	40/50
NC / NC-U					53/64
H		28/35			

Les valeurs de $f_{c,min}(t)$ sont les valeurs minimales de la résistance du béton requise au moment de la mise en tension à la valeur maximale P_{max} (voir [Chapitre 1.2 – Caractéristiques des unités du système](#) pour plus de détails). Sur le chantier, la résistance moyenne du béton mesurée sur cylindre / cube doit être égale ou supérieure à $f_{c,min}(t)$ lors de la mise en tension.

Il est toutefois possible de ne tendre le câble que partiellement conformément à la norme EN 1992 1-1 (Chapitre 5.10.2.2 point 4) :

« Si la mise en tension d'un câble est effectuée par étapes, la résistance requise pour le béton peut être réduite. Il convient d'adopter une résistance minimale $f_{cm}(t)$ au temps t égale à k_4 [%] de la résistance du béton requise pour la précontrainte totale, telle qu'indiquée sur l'Agrément Technique Européen. Entre la résistance minimale et la résistance du béton requise pour la totalité de la précontrainte, la précontrainte peut être interpolée entre k_5 [%] et 100 % de la force de précontrainte totale.

NOTE : Les valeurs de k_4 et k_5 à utiliser dans un pays donné peuvent être fournies par son Annexe Nationale. Les valeurs recommandées sont $k_4 = 50\%$ et $k_5 = 30\%$. »

Par exemple, dans le cas d'une mise en tension à 50 % de la valeur maximale à l'ancrage par exemple, la résistance caractéristique f_{cm0} peut être réduite approximativement aux 2/3 des valeurs indiquées ci-dessus.

Pour les cas particuliers (par exemple, lors de l'emploi de matériaux autres que le béton) le bureau d'études suivra les règles de calcul applicables (par exemple, les Eurocodes avec $P_{design} \geq 1.1 F_{pk}$ pour définir les zones d'ancrage et de déviation). Veuillez contacter VSL pour plus d'informations.

3.6. Armature de frettage local d'ancrage

Comme mentionné précédemment, une armature de frettage local d'ancrage doit être utilisée comme spécifié au [Chapitre 6 – Schémas de principe](#). Conformément au DEE160004-00-0301, cela suppose la présence d'un renforcement additionnel de 50 kg/m³ dans la structure.

Pour les ancrages type E, CS, GC, NC, NC-U et H, cette armature de frettage local est composée d'une frette hélicoïdale et d'un jeu de cadres associé ou d'une combinaison des deux solutions. La frette de forme hélicoïdale définie dans les croquis du Chapitre 6 pour ces ancrages ([Type E](#), [Type CS](#), [Type GC](#), [Type NC/NC-U](#), [Type H](#)) présente un pas suffisamment grand pour permettre un bétonnage correct de la zone.

L'armature de frettage local d'ancrage est la même pour les têtes d'ancrage E et EP.

Les armatures de frettage local d'ancrage spécifiées dans cette ETE et confirmées par les essais de transfert de charge peuvent être modifiées s'il est nécessaire. Dans ce cas, elles seront conformes aux règles de calcul nationales et seront approuvées par l'autorité locale et le détenteur de l'ETE pour garantir une performance équivalente.

4. Chapitre 4 – Mise en tension

4.1. Matériel pour la mise en tension

Le matériel VSL utilisé pour la mise en tension des câbles est composé de vérins de mise en tension, de pompes hydrauliques et d'instruments de mesure.

4.1.1. Vérins de mise en tension

Le croquis présenté au Chapitre 6 ([Chapitre 6.9 – Niches pour ancrages – Exigences de dégagement](#) de la présente Annexe) énumère les vérins multitoron VSL et indique les dégagements nécessaires pour l'installation. Les vérins multitoron doivent être utilisés pour la mise en tension de tous les câbles. La mise en tension toron par toron est toutefois possible sur les câbles sans aucune déviation. D'autres modèles de vérins peuvent être utilisés s'ils sont approuvés par VSL.

4.1.2. Pompes hydrauliques

Les vérins sont connectés aux pompes hydrauliques VSL qui ont été conçues pour des vitesses normales de mise en tension et contiennent les éléments de sécurité nécessaires.

4.1.3. Instruments de mesure

La force et l'allongement sont contrôlés avec précision lors de l'opération de mise en tension par les instruments de mesure.

4.2. Procédure de mise en tension et contrôle

Avant la mise en tension, il faut vérifier ce qui suit :

- Les consignes de sécurité sont connues et correctement appliquées.
- Les valeurs cibles de force et d'allongement sont correctement définies. Le Chargé de la Mise en Précontrainte connaîtra les tolérances et prendra en compte les ajustements nécessaires à ces valeurs.
- Le Chargé de la Mise en Précontrainte connaît la procédure à adopter si les valeurs ne sont pas situées dans les seuils de tolérance (ou pour tout autre incident non anticipé).
- L'ordre de mise en tension est correctement défini.
- Le matériel de mise en tension (y compris les instruments de mesure) est conforme aux spécifications de la présente ETE.
- La structure est en mesure de supporter les charges de précontrainte et le béton a atteint la résistance minimale requise dans la zone locale.
- Les surlongueurs des torons pour la mise en tension sont en bon état.

Il est interdit de rester derrière le vérin ou dans son voisinage immédiat lors de la mise en tension. Les mêmes précautions doivent être prises pour la zone derrière une tête d'ancrage passive accessible.

L'une des caractéristiques fondamentales des ancrages VSL est son système de blocage des clavettes. Les clavettes restent constamment en contact avec les torons au cours de la mise en tension et la charge est automatiquement transférée vers la tête d'ancrage lorsque la pression est relâchée dans le vérin.

4.2.1. Mesure de la force

La force dans le câble (ou la pression dans le vérin) est généralement la valeur cible, puisqu'elle peut être mesurée directement et est directement proportionnelle à la force le long du câble dans la structure. La pression dans la chambre du vérin est indiquée par des manomètres qui sont régulièrement recalibrés et qui sont, généralement, de Catégorie 1 (précision de 1 % sur toute la plage de mesure). Pour la pression maximum habituelle de 600 bars, la déviation maximum admissible est 6 bars.

Pour calculer la force de précontrainte appliquée à la structure (et définie par le bureau d'études), la force manométrique (obtenue en multipliant la lecture des pressions par la surface du piston) doit être corrigée avec les pertes à l'intérieur du vérin et les pertes dues au frottement des torons dans l'ancrage.

Les valeurs des pertes dans les vérins sont mesurées lors de leurs étalonnages et varient de 1 à 3%.

Les pertes K_a dans les ancrages actifs ont les valeurs suivantes :

- E, CS, NC, NC-U ou K 1-3 %.
- GC 2-3 %.

4.2.2. Mesures des allongements

L'allongement du câble fournit des informations sur le comportement de celui-ci lors de sa mise en tension et donne des indications pour évaluer si la force cible a été atteinte le long du câble installé dans la structure.

Les valeurs des allongements sont mesurées directement sur les torons ou sur le vérin de mise en tension. Elles sont enregistrées pour les différentes étapes de mise en tension sur les fiches de mise en tension.

Les valeurs sont comparées aux valeurs d'allongement théoriques, qui sont calculées suivant le [Chapitre 2.6.2 – Principes de calcul des allongements](#) de la présente Annexe.

5. Chapitre 5 – Injection et cachetage

5.1. Généralités

Les câbles de précontrainte sont protégés contre la corrosion provoquée par les agents extérieurs (tels que les entrées d'eau et d'oxygène ou l'attaque des chlorures venant de la surface de la structure et accédant aux torons par des fissures importante de la structure) par une isolation étanche et un coulis d'injection, qui est utilisé pour remplir les interstices entre les torons dans la gaine et les ancrages. Selon les conditions d'exposition et l'agressivité de l'environnement le design doit préciser le niveau de protection requise (niveaux PL1, PL2 ou PL3 conformément au *fib Bulletin 33*) pour assurer une protection étanche adaptée au projet spécifique.

Le type de produit d'injection (produit de remplissage des interstices) est défini par le projet. Ces produits seront conformes aux normes EN 445 à 447, au DEE-160027-00-0301 et à la réglementation locale si elle est plus rigoureuse. Les produits d'injection ne peuvent être dangereux pour l'hygiène, la santé ou l'environnement.

5.2. Les produits d'injection (coulis)

Les produits utilisés pour la protection permanente des câbles de précontrainte et ancrages peuvent être classés comme suit :

5.2.1. Produits pour câbles adhérents et câbles extérieurs (coulis de ciment)

Lorsque les torons doivent être adhérents à la structure ou pour la protection mécanique et contre la corrosion des câbles extérieurs, il est habituel d'utiliser des coulis à base de ciment hydraulique. Ces produits font appel à des adjuvants qui améliorent les performances pour atteindre à la fois la sédimentation et la ségrégation minimales, tout en gardant une fluidité suffisante pour remplir les câbles. Ils doivent être des coulis de ciment conformes à la norme EN 447 ou à des exigences plus strictes si elles sont demandées par le projet. Dans certaines régions de l'UE, des circonstances climatiques défavorables ou d'autres conditions particulières imposent l'application de coulis spéciaux selon le DEE-160027-00-030.

Afin de pouvoir remplir complètement un câble avec un coulis de ciment, il est obligatoire de cacheter toutes les têtes d'ancrage exposées avec un capot soit temporaire soit permanent.

Le cachetage n'est strictement nécessaire que lors de l'emploi de capots temporaires (recyclés ou non). Si les capots permanents sont laissés apparents, les parties métalliques devront être protégées contre la corrosion (voir [Chapitre 3.1.1 – Ancrages actifs et ancrages passifs](#) de la présente Annexe).

5.2.2. Produits pour câbles non adhérents (injection souple)

Lorsque les torons ne doivent pas être adhérents à la gaine et à la structure (par exemple, lorsque le câble doit rester remplaçable ou ajustable), les produits d'injection souples seront conformes au DEE-16027-00-0301. Ceux-ci peuvent être :

- A base de graisse
- A base de cire, comme défini dans l'Annexe C.4.2 de l'ETAG 013
- A base de polymère

Les câbles avec une injection souple doivent être encapsulés et ses ancrages doivent être couverts avec un capot de protection permanent étanche. Le cachetage n'est pas strictement nécessaire (voir ci-dessus et [Chapitre 3.1.1 – Ancrages actifs et ancrages passifs](#)).

Les produits pour injection adhérente ou non adhérente bénéficiant d'une Evaluation Technique Européenne peuvent être également utilisés conformément à leurs catégories d'utilisation à condition qu'ils soient conformes au DEE-160027-00-0301.

5.3. Le matériel d'injection

Le matériel d'injection est adapté aux produits à injecter.

Pour les coulis d'injection à base de ciment, le matériel d'injection VSL se compose essentiellement de malaxeurs et de pompes intégrés dans un seul équipement permettant la préparation du coulis et l'exécution de l'injection. Ces équipements permettent de doser avec précision les composants du coulis et d'obtenir un mélange parfaitement homogène. La pompe est conçue pour une injection continue à un débit approprié.

Dans tous les cas, il est obligatoire d'utiliser des capots soit temporaires soit permanents équipés de d'évents pour cacheter les ancrages jusqu'au durcissement du coulis. Pour certaines applications, (aucun évent disponible aux points hauts du profil du câble, aucun point élevé distinctif, etc.), on adopte des pompes à vide pour dépressuriser les gaines et obtenir un remplissage complet des câbles.

Pour les câbles d'injection ayant des torons nus avec graisse ou cire de pétrole après mise en tension, l'équipement d'injection VSL est composé de dispositifs de fondoirs ou réchauffeurs, d'agitateurs et de pompes. Selon l'application, ces composants sont soit intégrés soit séparés en plusieurs parties. Des précautions spéciales de sécurité sont nécessaires pour protéger les opérateurs contre l'éventuel déversement de la graisse ou cire chaude.

5.4. Procédure d'injection et de contrôle

Avant l'injection du coulis, il faut vérifier ce qui suit :

- Le produit d'injection doit être conforme aux exigences de la présente ETE et du DEE-160027-00-0301.
- La convenance du produit proposé pour le projet spécifique a été vérifiée par un « essai de convenance » en employant le même équipement utilisé par le projet et les mêmes composants du produit venant des mêmes fournisseurs que pour le projet.
- L'intégralité du câble (longueur libre et ancrages) est étanche au coulis.
- La température de l'air et de la structure sont conformes aux conditions d'utilisation du produit d'injection.
- Il y a suffisamment de tubes transparents à disposition pour conduire l'essai quotidien de ressuage à la mèche.

L'étanchéité du câble doit être vérifiée avant de commencer l'injection. Celle-ci est vérifiée soit par un test de mise en pression à l'air soit par un essai sous vide. Il est interdit d'utiliser de l'eau pour nettoyer les débris sur les câbles ou pour vérifier l'étanchéité.

Lors de l'injection, l'équipe de précontrainte doit vérifier à toutes les sorties, événements intermédiaires et événements de capots que le câble a été intégralement injecté avec le coulis ayant les propriétés spécifiées. Ceci est généralement fait en confirmant, par une mesure, que le coulis qui s'écoule à ces points a atteint la densité cible du coulis. Les purges et événements seront uniquement fermés une fois qu'il a été confirmé, avec des mesures, que le coulis s'écoulant possède la densité minimale requise. Les procédures d'injection et de surveillance du coulis seront réalisées selon la norme EN 446.

La quantité du produit d'injection par longueur unitaire de câble sera calculée comme suit :

$$\text{Volume} = [(\text{section interne gaine} - \text{section câble}) \times (\text{unité de longueur})] \times (1 + \xi)$$

où ξ ($0,10 \leq \xi \leq 0,20$) tient compte des pertes sur chantier et de la forme de la gaine.

Les paramètres pertinents associés à l'injection des câbles doivent être consignés dans les fiches d'injection.

5.5. Cachetage

La continuité de la protection doit être assurée sur la longueur libre du câble et au niveau des ancrages (consultez le [Chapitre 3.1.1 – Ancrages actifs et ancrages passifs](#) et les schémas du Chapitre 6 de la présente Annexe).

Le cachetage des niches de mise en tension des ancrages est une disposition pour protéger les têtes d'ancrage. Il peut être nécessaire de compléter cette action avec un film étanche pour empêcher l'eau de pénétrer dans les niches. Comme alternative préférable, il est possible aussi d'équiper l'ancrage du câble avec un capot permanent.

Les capots métalliques permanents (s'ils protégés par galvanisation, peinture, etc.) ou les capots en polymère peuvent être laissés exposés.

Il faut porter une attention particulière à la continuité de la protection des câbles intérieurs traversant des joints de construction. Sauf dans les cas où l'on met en place des coupleurs de segments (qui permettent d'obtenir une continuité de l'étanchéité de la gaine sur les joints), il sera nécessaire, de manière générale, de protéger les torons dans les joints en installant une membrane imperméabilisante sur toutes les surfaces critiques de béton ayant une exposition particulière.

6. Chapitre 6 – Schémas de principe

Figure 1	Clavette W6N Clavette W6S	47
Figure 2	Douille de compression CFE6	47
Figure 3	Frette CF6 Frette CF6N.....	47
Figure 4	Assemblage	47
Figure 5	Détail des trous d'une tête d'ancrage type E	48
Figure 6	Entraxe des trous de tête d'ancrage type E	48
Figure 7	Section transversale d'une tête d'ancrage type E et EP.....	48
Figure 8	Détail des trous d'une tête d'ancrage type CS.....	49
Figure 9	Entraxe des trous de tête d'ancrage type CS	49
Figure 10	Section transversale d'une tête d'ancrage type CS	49
Figure 11	Capots permanents en acier pour ancrages type GC, E, NC, NC-U.....	50
Figure 12	Capots permanents en polymère pour ancrage type CS.....	50
Figure 13	Dispositions des catégories d'utilisation des ancrages de type E	51
Figure 14	Ancrage de type E-WT- Câbles extérieurs non adhérents- Disposition sans plaque de calage).....	52
Figure 15	Ancrage de type E-WT Câbles extérieurs non adhérents- Disposition avec plaque de calage	52
Figure 16	Déviateur E-WT – Déviateur plat.....	53
Figure 17	Déviateur E-WT – Déviateur incurvé.....	53
Figure 18	Dimensions des ancrages type E @ 23/28 et 28/35 MPa	54
Figure 19	Dimensions des ancrages type E @ 32/40 et 36/45 MPa	55
Figure 20	Dimensions des ancrages type E @ 43/53 MPa.....	56
Figure 21	Ancrage type E-WT - Disposition sans plaque de calage – Dimensions.....	57
Figure 22	Ancrage type E-WT - Disposition avec plaque de calage – Dimensions.....	58
Figure 23	Déviateur E-WT – Déviateur plat - Géométrie et dimensions.....	59
Figure 24	Déviateur E-WT – Déviateur incurvé- Géométrie et dimensions	60
Figure 25	Armatures de frettage local type E @ 23/28 MPa.....	61
Figure 26	Armatures de frettage local type E @ 28/35 MPa.....	62
Figure 27	Armatures de frettage local type E @ 32/40 MPa.....	63
Figure 28	Armatures de frettage local type E @ 35/45 MPa.....	64
Figure 29	Armatures de frettage local type E @ 43/53 MPa.....	65
Figure 30	Disposition des ancrages type CS incorporés dans une structure béton	66
Figure 31	Disposition des ancrages type CS avec câble extérieur	67
Figure 32	Dimensions des ancrages type CS @ 28/35 MPa.....	68
Figure 33	Armatures de frettage local des ancrages type CS @ 28/35 MPa	69
Figure 34	Disposition des catégories d'utilisation des ancrages type GC	70
Figure 35	Dimensions des ancrages type GC en précontrainte standard adhérente.....	71
Figure 36	Dimensions des ancrages type GC des câbles extérieurs	72
Figure 37	Dimensions des ancrages type GC des câbles isolés électriquement	73
Figure 38	Armatures de frettage pour ancrage type GC – précontrainte intérieure adhérente	74
Figure 39	Armatures de frettage local type GC des câbles extérieurs et isolés électriquement ..	77
Figure 40	Disposition des catégories d'utilisation des ancrages type NC et NC-U	81
Figure 41	Montage avec tête d'ancrage fileté pour la surveillance de charge.....	81
Figure 42	Dimensions des ancrages type NC et NC-U @53/64 MPa.....	83
Figure 43	Armatures de frettage local des ancrages type NC et NC-U @53/64 MPa.....	84
Figure 44	Ancrage et armature de frettage local des ancrages type H @ 28/35 MPa	85
Figure 45	Disposition des catégories d'utilisation des coupleurs type K.....	87
Figure 46	Dimensions des coupleurs type K.....	88
Figure 47	Disposition des catégories d'utilisation des coupleurs type V.....	89
Figure 48	Dimensions des coupleurs type V	89
Figure 49	Dimensions des niches pour ancrages – Exigences de dégagement	90
Figure 50	Dimensions des gaines	91
Figure 51	Coupleurs de segments – Gaine ronde PT-PLUS	91

6.1. ELEMENTS STANDARDS DES ANCRAGES

6.1.1. CLAVETTES

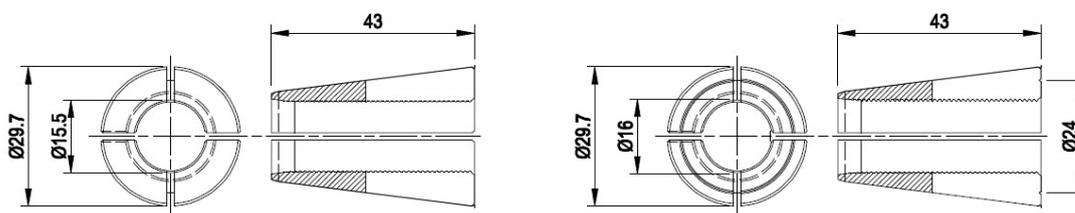
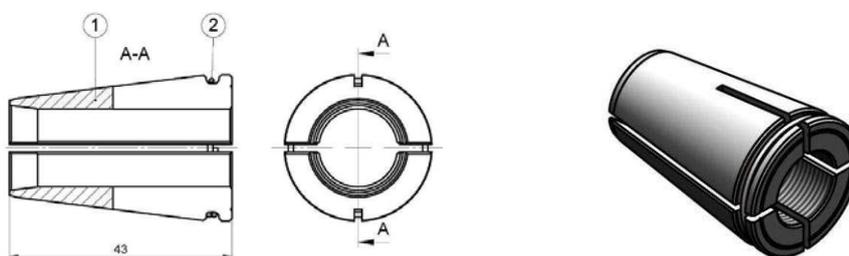


Figure 1 Clavette W6N Clavette W6S

NB : Les clavettes W6N et W6S peuvent être fabriquées avec ou sans clip



6.1.2. DOUILLES DE COMPRESSION

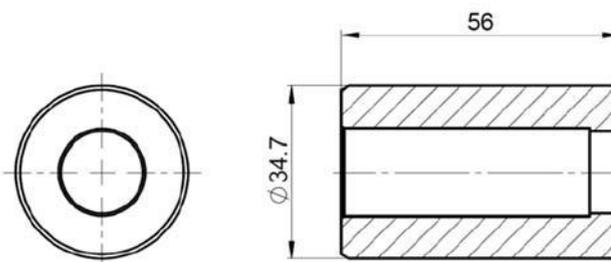


Figure 2 Douilles de compression CFE6

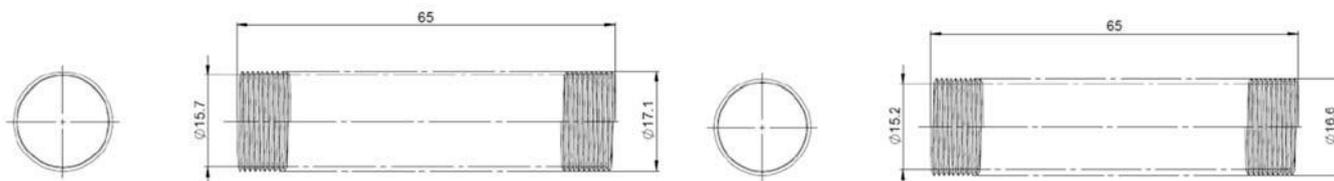


Figure 3 Frette CF6 Frette CF6N

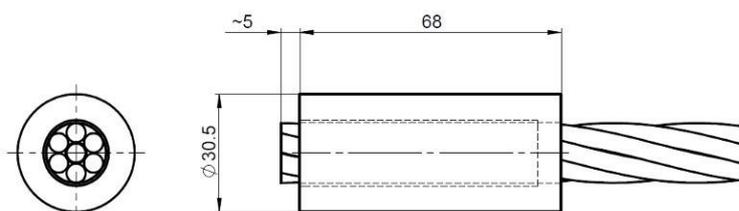


Figure 4 Assemblage

6.1.3. TÊTES D'ANCRAGE TYPE E et EP

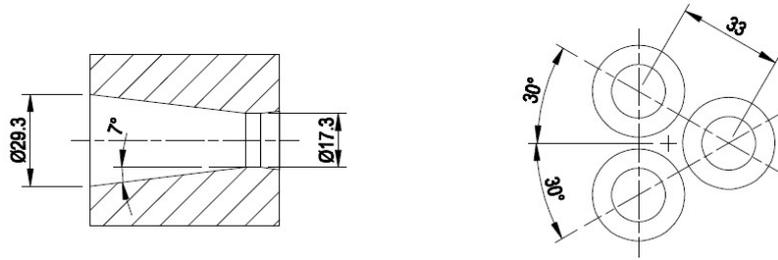


Figure 5 Détail des trous d'une tête d'ancrage type E

Note : les têtes d'ancrage type EP présentent un perçage cylindrique

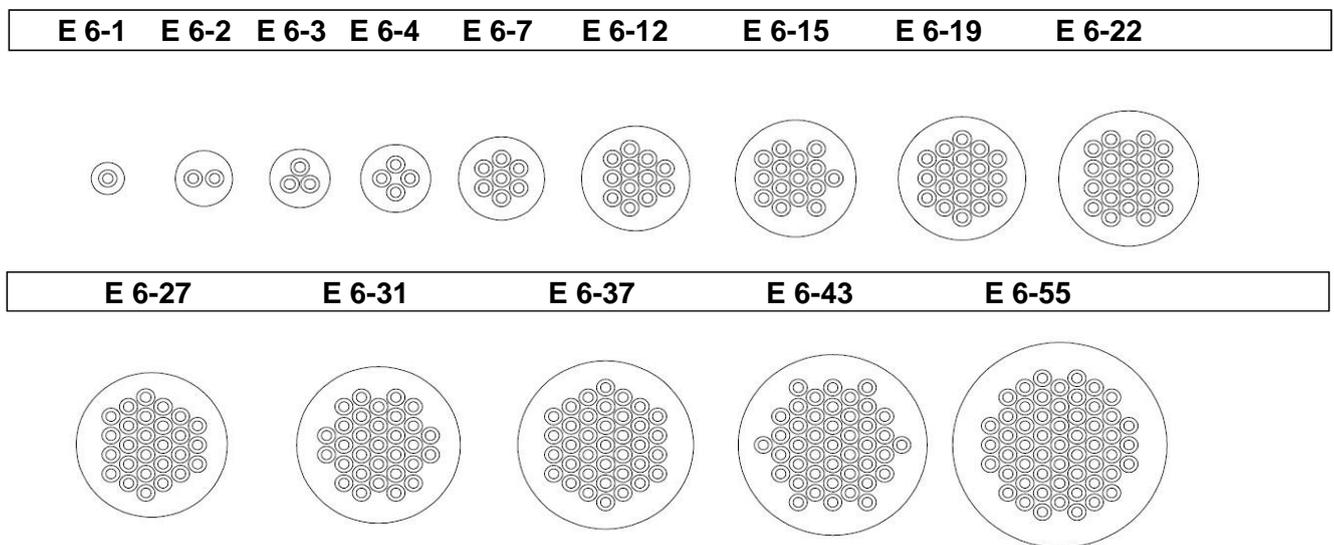


Figure 6 Entraxe des trous de tête d'ancrage type E

Note : la distribution des trous est identique pour les têtes d'ancrage type EP

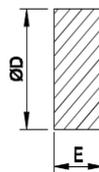
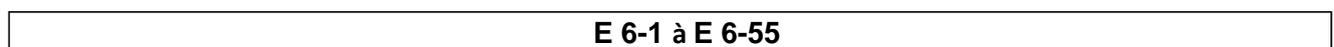


Figure 7 Section transversale d'une tête d'ancrage type E et EP

Pour les dimensions ØD et E, regardez les tableaux correspondants de dimensions pour les ancrages de type E, GC, NC et NC-U

6.1.4. TÊTES D'ANCRAGE TYPE CS

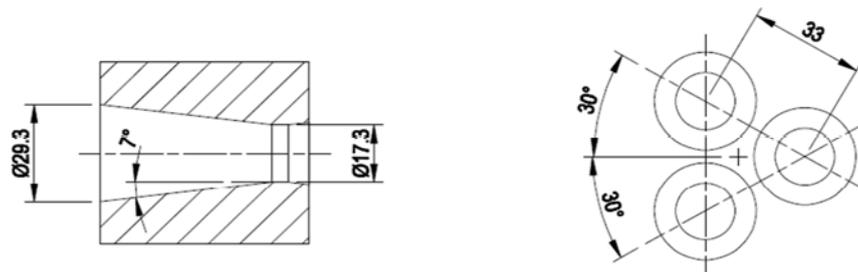
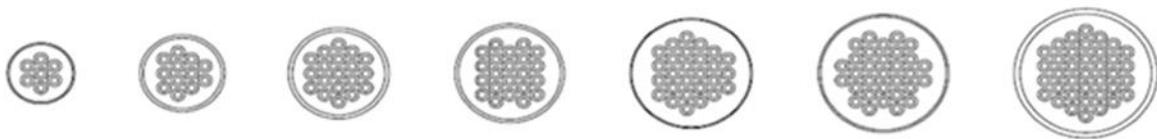


Figure 8 Détail des trous d'une tête d'ancrage type CS

6-7	6-12	6-19	6-22	6-27	6-31	6-37
-----	------	------	------	------	------	------



STANDARD, PLUS, SUPER & EXTERNE

Optionnel pour STANDARD, PLUS, SUPER & EXTERNE

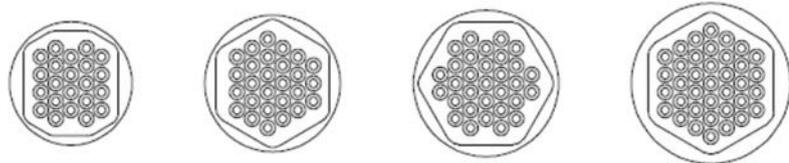


Figure 9 Entraxe des trous de tête d'ancrage type CS

6-7 à 6-37

STANDARD, PLUS & EXTERIEUR

SUPER



Figure 10 Section transversale d'une tête d'ancrage type CS

Pour les dimensions ØD et E, regardez ANCRAGES TYPE CS - DIMENSIONS

6.1.5. CAPOTS DE PROTECTION POUR ANCRAGES

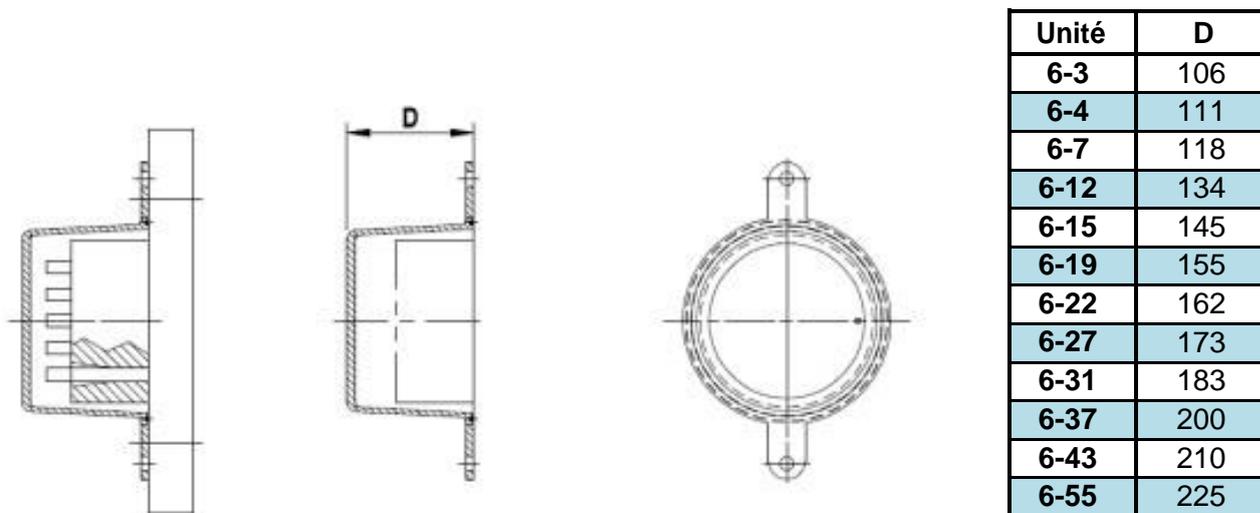


Figure 11 Capots permanents en acier pour ancrages type GC, E, NC, NC-U

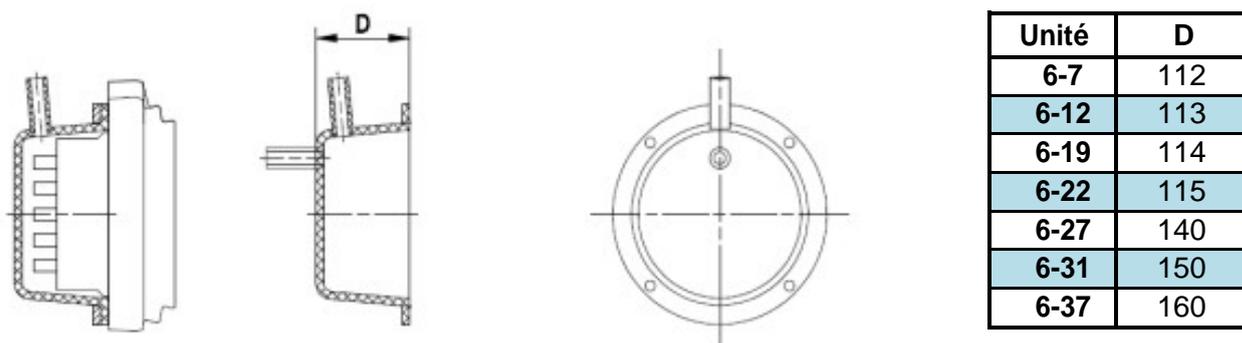
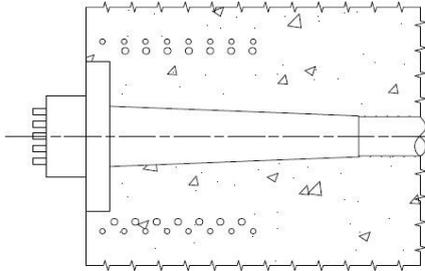


Figure 12 Capots permanents en polymère pour ancrages type CS

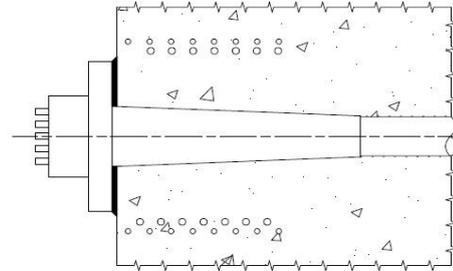
6.2. ANCRAGES TYPE E

6.2.1. DISPOSITIONS DES CATEGORIES D'UTILISATION

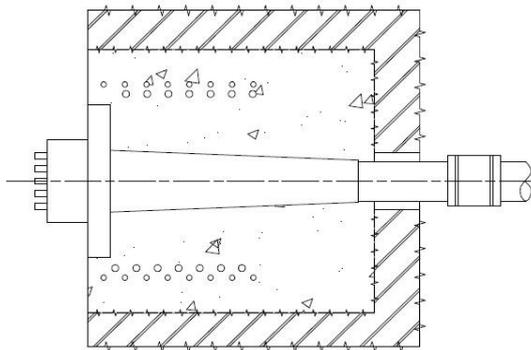
Ancrage incorporé dans une construction en béton



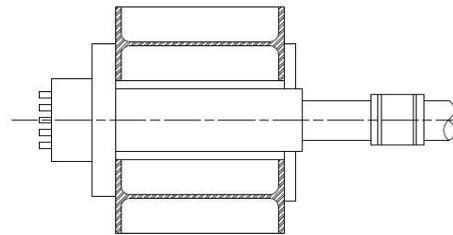
Ancrage rattaché sur une construction en béton



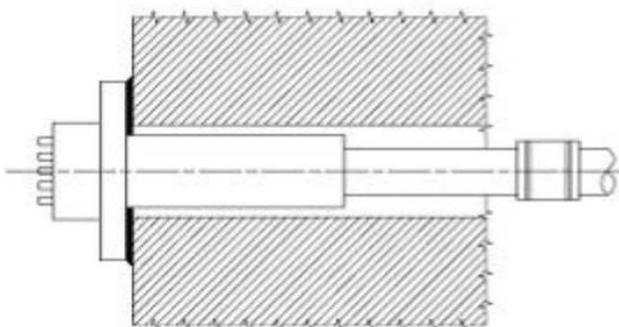
Ancrage incorporé dans une structure en maçonnerie



Ancrage rattaché sur une structure métallique



Ancrage rattaché sur une construction en bois



Ancrage doté d'une tête EP

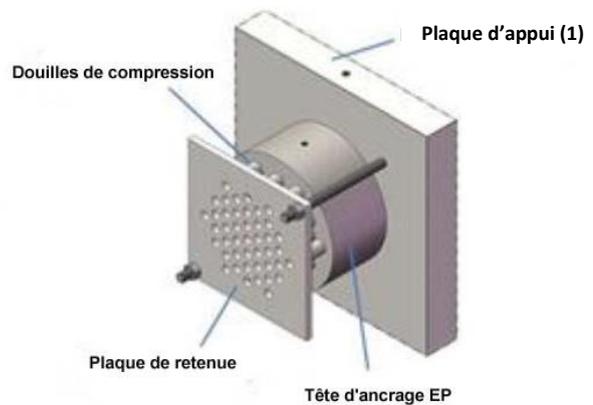
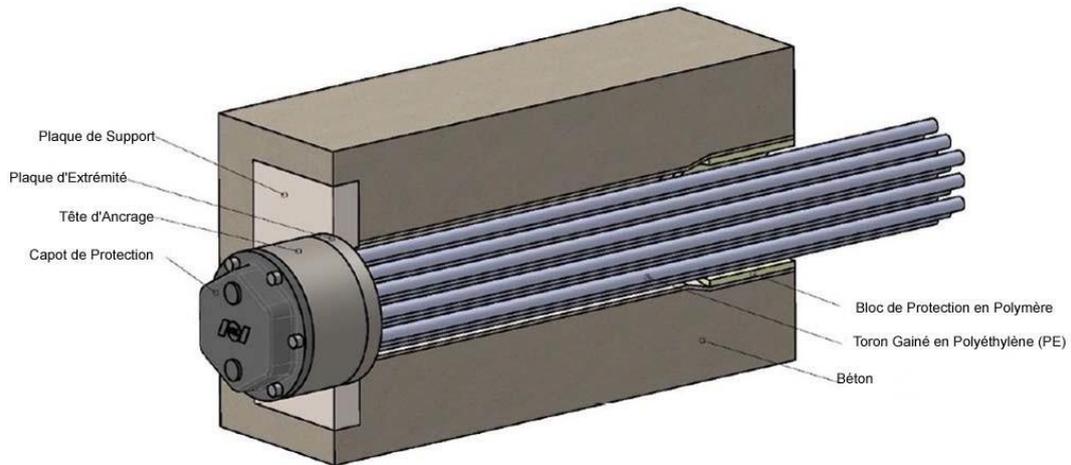
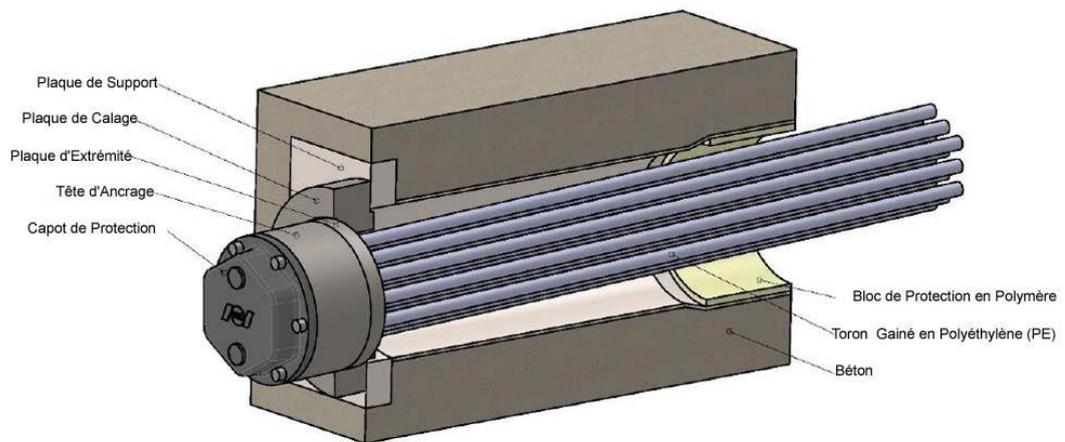


Figure 13 Dispositions des catégories d'utilisation des ancrages de type E

(1) La plaque d'appui reproduite est celle du type E. L'assemblage des têtes EP avec des plaques d'ancrage GC, NC ou NC-U est également possible



**Figure 14 Ancrage de type E-WT (Câbles extérieurs non adhérents) -
Disposition sans plaque de calage**



**Figure 15 Ancrage de type E-WT (Câbles extérieurs non adhérents) -
Disposition avec plaque de calage**

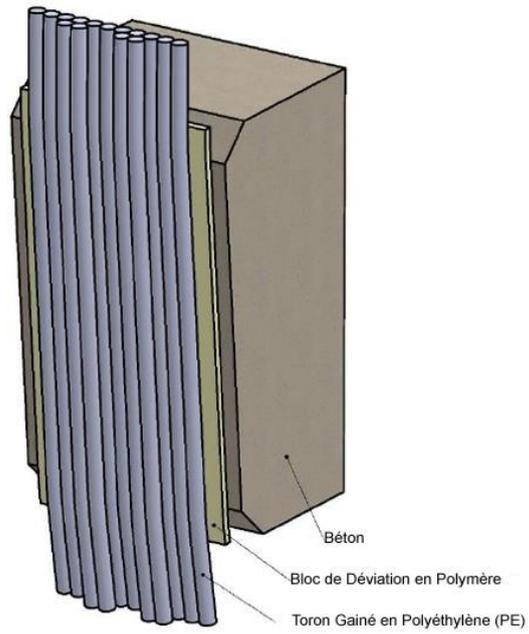


Figure 16 Déviateur E-WT – Déviateur plat

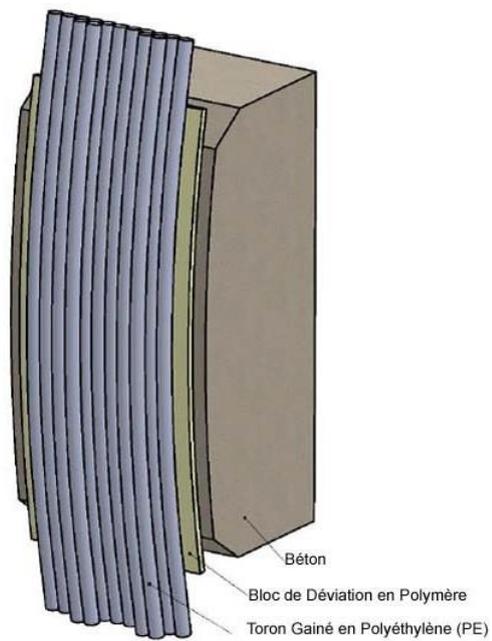


Figure 17 Déviateur E-WT – Déviateur incurvé

6.2.2 ANCRAGES TYPE E @ 23/28 ET 28/35 MPa (Câbles intérieurs adhérents)

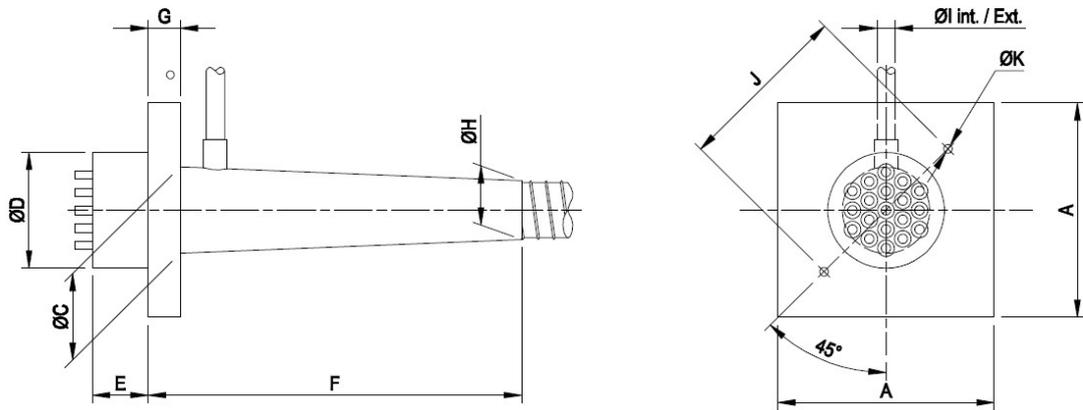


Figure 18 Dimensions des ancrages type E @ 23/28 et 28/35 MPa

Dimensions pour une utilisation avec du béton avec une résistance $f_{c,min(t)} \geq 23/28$ (et 28/35) N/mm² (cylindre/cube) lors de la mise en tension

Unité	DA	ØC	Têtes d'ancrage E/EP		Têtes d'ancrage E(QT)/EP(QT)		F	G	ØH	ØI	J ⁽¹⁾	K
			ØD	E	ØD	E						
6-1	75	18	53	50	53	50	150	10	25	21/25	86	Ø5
6-2	110	50	90	50	86	50	200	10	50	21/25	136	Ø5
6-3	135	56	95	50	95	50	205	15	55	21/25	135	M12
6-4	160	65	110	55	106	50	210	20	60	21/25	150	M12
6-7	205	84	135	60	135	55	320	30	72	28/32	210	M12
6-12	270	118	170	75	166	62	500	40	92	28/32	265	M16
6-15	305	143	190	85	186	68	585	45	97	28/32	275	M16
6-19	340	150	200	95	196	73	640	50	107	28/32	280	M16
6-22	370	172	220	100	216	78	745	55	122	28/32	310	M16
6-27	410	185	240	110	236	85	690	60	132	28/32	330	M16
6-31	435	192	260	120	256	90	755	65	142	28/32	360	M16
6-37	480	215	280	135	276	98	905	75	155	28/32	370	M16
6-43	520	248	320	145	316	105	1030	80	165	28/32	420	M20
6-55	580	255	340	160	340	118	1045	95	185	28/32	452	M20

Toutes les dimensions en [mm]. Les dimensions correspondent à des ancrages à torons nus. Pour les dimensions avec de torons protégés et gainés, voir avec VSL

⁽¹⁾ J entraxe des trous de fixation de la plaque au coffrage

6.2.3. ANCRAGE TYPE E @ 36/45 ET 32/40 MPa (Câbles intérieurs adhérents)

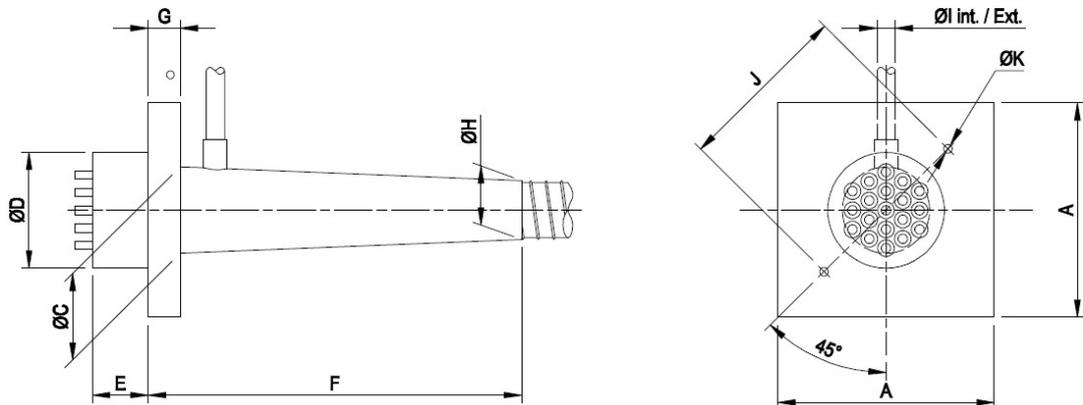


Figure 19 Dimensions des ancrages type E @ 32/40 et 36/45 MPa

Dimensions pour une utilisation béton avec une résistance $f_{c, \min(t)} \geq 32/40$ (et 36/45) N/mm² (cylindre/cube) lors de la mise en tension

Unité	DA	ØC	Têtes d'ancrage E/EP		Têtes d'ancrage E(QT)/EP(QT)		F	G	ØH	ØI	J ⁽¹⁾	K
			ØD	E	ØD	E						
6-1	70	18	53	50	53	50	150	10	25	21/25	79	Ø5
6-2	100	50	90	50	86	50	200	10	50	21/25	122	Ø5
6-3	125	56	95	50	95	50	205	15	55	21/25	135	M12
6-4	145	65	110	55	106	50	210	20	60	21/25	150	M12
6-7	175	84	135	60	135	55	315	25	72	28/32	210	M12
6-12	230	118	170	75	166	62	495	35	92	28/32	265	M16
6-15	265	143	190	85	186	68	580	40	97	28/32	275	M16
6-19	290	150	200	95	196	73	635	45	107	28/32	280	M16
6-22	320	172	220	100	216	78	740	50	122	28/32	310	M16
6-27	350	185	240	110	236	85	685	55	132	28/32	330	M16
6-31	370	192	260	120	256	90	750	60	142	28/32	360	M16
6-37	410	215	280	135	276	98	900	70	155	28/32	370	M16
6-43	450	248	320	145	316	105	1025	75	165	28/32	420	M20
6-55	500	255	340	160	340	118	1040	90	185	28/32	452	M20

Toutes les dimensions en [mm]. Les dimensions correspondent à des ancrages à torons nus. Pour les dimensions de torons protégés et gainés, voir avec VSL

⁽¹⁾ J entraxe des trous de fixation de la plaque au coffrage

6.24. ANCRAGE TYPE E @ 43/53 MPa (Câbles intérieurs adhérents)

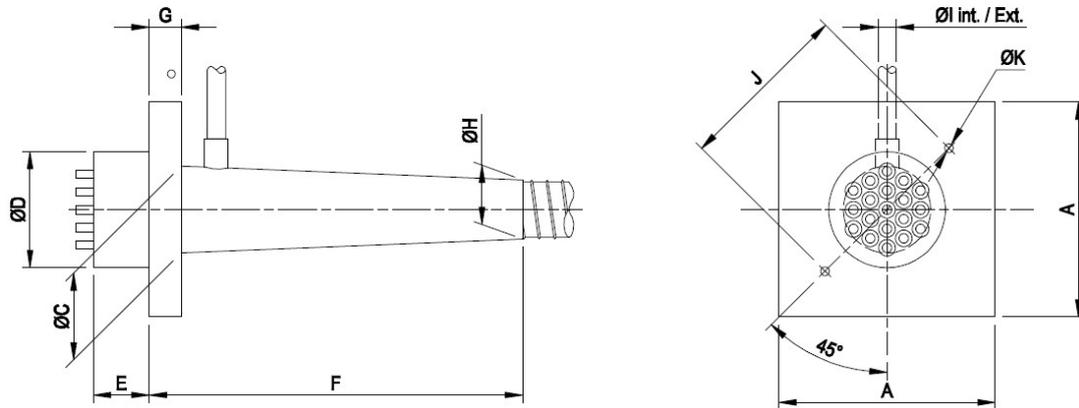


Figure 20 Dimensions des ancrages type E @ 43/53 MPa

Dimensions pour utilisation béton avec une résistance f_c , $\min_{(t)} \geq 43/53 \text{ N/mm}^2$ (cylindre/cube) lors de la mise en tension

Unité	DA	ØC	Têtes d'ancrage E/EP		Têtes d'ancrage E(QT)/EP(QT)		F	G	ØH	ØI	J ⁽¹⁾	K
			ØD	E	ØD	E						
6-1	65	18	53	50	53	50	150	10	25	21/25	78	Ø5
6-2	95	50	90	50	86	50	200	10	50	21/25	115	Ø5
6-3	120	56	95	50	95	50	205	15	55	21/25	135	M12
6-4	130	65	110	55	106	50	210	20	60	21/25	150	M12
6-7	160	84	135	60	135	55	315	25	72	28/32	190	M12
6-12	210	118	170	75	166	62	495	35	92	28/32	240	M16
6-15	240	143	190	85	186	68	580	40	97	28/32	275	M16
6-19	270	150	200	95	196	73	635	45	107	28/32	280	M16
6-22	290	172	220	100	216	78	740	50	122	28/32	310	M16
6-27	320	185	240	110	236	85	685	55	132	28/32	330	M16
6-31	340	192	260	120	256	90	750	60	142	28/32	360	M16
6-37	375	215	280	135	276	98	895	65	155	28/32	370	M16
6-43	410	248	320	145	316	105	1020	70	165	28/32	420	M20
6-55	450	255	340	160	340	118	1030	80	185	28/32	452	M20

Toutes les dimensions en [mm]. Les dimensions correspondent à des ancrages à torons nus. Pour les dimensions de torons protégés et gainés, voir avec VSL

⁽¹⁾ J entraxe des trous de fixation de la plaque au coffrage

6.2.5. ANCRAGES TYPE E-WT (Câbles extérieurs non adhérents)

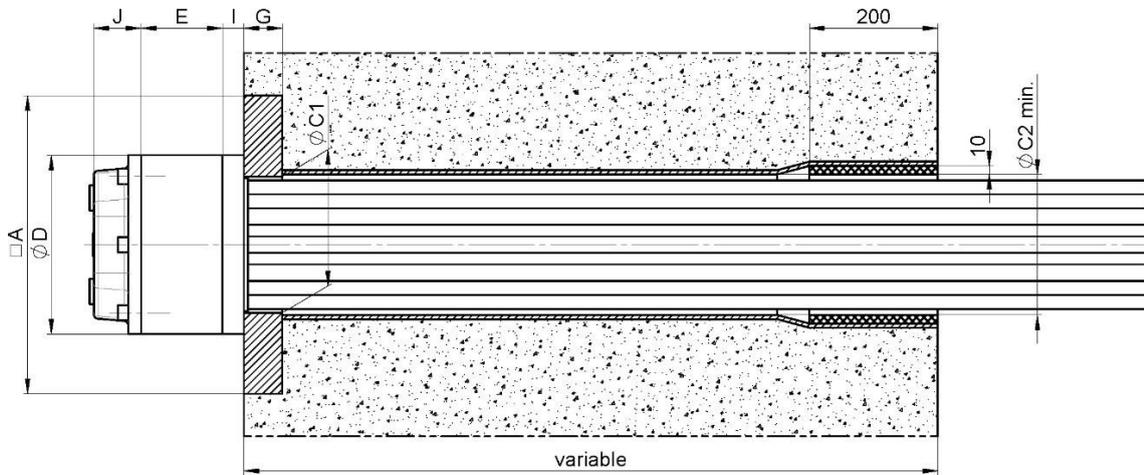


Figure 21 Ancrage type E-WT - Disposition sans plaque de calage - Dimensions

Unité	DA ⁽¹⁾	ØC1	ØC2 _{min}	ØD	E ⁽²⁾	G ⁽¹⁾	I	J
6-4	140	74	77	116	60	20	25	50
6-7	170	93	96	148	65	25	25	50
6-12	220	127	130	185	80	35	25	50
6-15	250	152	155	195	90	40	25	50
6-19	280	162	165	210	100	45	25	50
6-22	300	181	184	240	105	50	25	60
6-27	330	194	197	255	115	55	25	70
6-31	350	205	208	276	125	60	25	70
6-37	385	224	227	316	140	65	25	75
6-43	420	257	260	336	150	70	25	80
6-55	460	264	267	356	165	80	25	80

Toutes les dimensions en [mm]

⁽¹⁾ A, G Dimensions de la plaque de support pour une utilisation avec du béton avec f_c , $\min_{(t)} \geq 43/53 \text{ N/mm}^2$ (cylindre/cube) au moment de la mise en tension. Pour les autres types de béton, se reporter aux tableaux correspondants des chapitres précédents.

⁽²⁾ E Les hauteurs indiquées ci-dessus correspondent aux têtes d'ancrage avec matériau non QT. Pour des dimensions de matériau QT matériau, contacter VSL.

Généralités Tuyau optionnel sur la longueur libre non affiché.

L'entretoise supplémentaire optionnelle entre la tête d'ancrage et la plaque finale de scellement n'est pas reproduite ici (elle est nécessaire pour compenser des tolérances de construction importantes dans la longueur du tendon et assurer un chevauchement suffisant du revêtement des torons derrière le système d'étanchéité).

Les tubes de coffrage sont pourvus à leur sortie d'éléments de déviation souples qui empêchent tout contact entre l'acier et le béton lors du montage et en cas de déviations involontaires jusqu'à $0,5^\circ$.

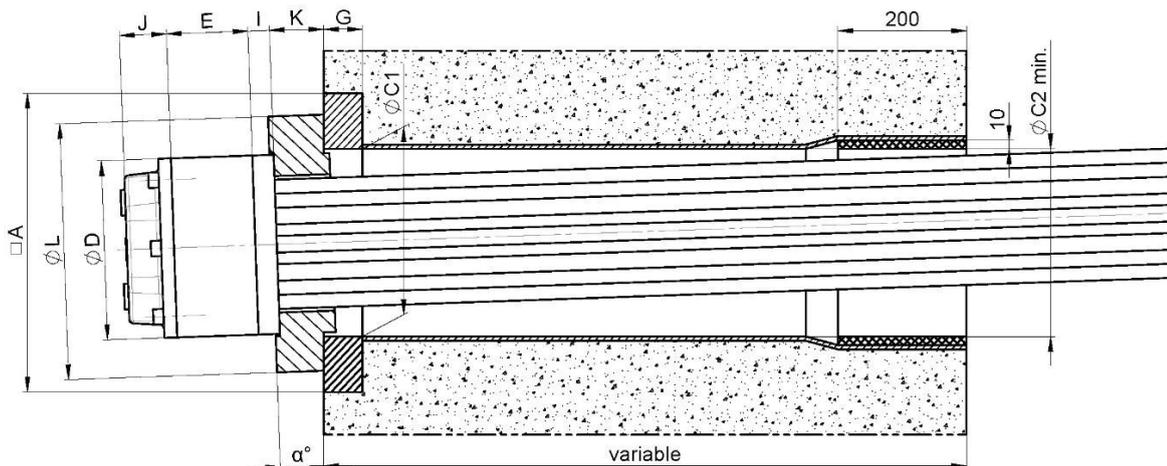


Figure 22 Ancrage type E-WT - Disposition avec plaque de calage – Dimensions

Unité	DA ⁽¹⁾	ØC1	ØC2 _{min} ⁽²⁾	ØD	E ⁽⁴⁾	G ⁽¹⁾	I	J	K ⁽³⁾	L	D
6-4	180	115	115	110	60	20	25	50	25	170	0-2°
6-7	210	140	140	135	65	25	25	50	30	200	0-2°
6-12	260	175	175	170	80	35	25	50	35	250	0.2°
6-15	290	195	195	190	90	40	25	50	40	280	0-2°
6-19	310	203	203	198	100	45	25	50	45	300	0.2°
6-22	340	228	228	220	105	50	25	60	45	330	0-2°
6-27	365	248	248	240	115	55	25	70	50	355	0.2°
6-31	395	268	268	260	125	60	25	70	55	385	0-2°
6-37	430	288	288	280	140	65	25	75	60	420	0.2°
6-43	480	328	328	320	150	70	25	80	60	470	0-2°
6-55	520	348	348	340	165	80	25	80	75	505	0-2°

Toutes les dimensions en [mm]

- ⁽¹⁾ A, G Dimensions de la plaque de support pour une utilisation avec du béton avec $f_c, \min_{(t)} \geq 43/53 \text{ N/mm}^2$ (cylindre/cube) au moment de la mise en tension. Pour les autres types de béton, se reporter aux tableaux correspondants des chapitres précédents.
- ⁽²⁾ C2_{min} Selon la méthode d'installation du câble, le diamètre intérieur du tube doit être augmenté.
- ⁽³⁾ K Épaisseur minimale de la plaque de calage. Une cale conique (avec un angle jusqu' à 2°) est présentée sur le dessin. Une cale conique peut être adoptée (au lieu d'une cale droite sans angle) si la plaque d'appui n'est pas perpendiculaire à l'axe du câble. Selon les exigences du projet, la plaque de calage peut être en deux parties (cale à joint plat) ou en une seule pièce (cale circulaire).
- ⁽⁴⁾ E Les hauteurs indiquées ci-dessus correspondent aux têtes d'ancrage avec matériau non QT. Pour des dimensions de matériau QT matériau, contacter VSL.

Généralités Tuyau optionnel sur la longueur libre non affiché.
L'entretoise supplémentaire optionnelle entre la tête d'ancrage et la plaque finale de scellement n'est pas reproduite ici (elle est nécessaire pour compenser des tolérances de construction importantes dans la longueur du tendon et assurer un chevauchement suffisant du revêtement des torons derrière le système d'étanchéité).
Les tubes de coffrage sont pourvus à leur sortie d'éléments de déviation souples qui empêchent tout contact entre l'acier et le béton lors du montage et en cas de déviations involontaires jusqu' à 0,5°.

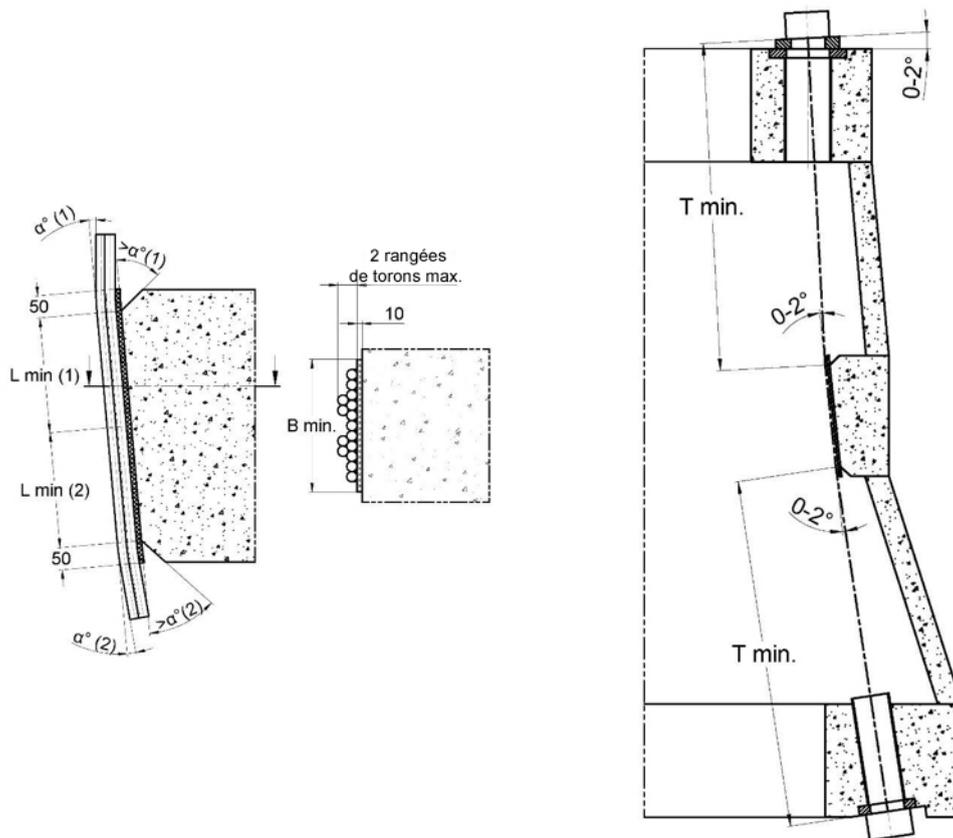


Figure 23 Déviateur E-WT – Déviateur plat - Géométrie et dimensions

α^0 (1)	L_{\min} (1)
0°	0
0.5°	90
1°	175
1.5°	265
2°	350

Unité	B_{\min}	T_{\min}
6-4	140	2400
6-7	200	3500
6-12	340	6400
6-15	400	8700
6-19	480	10500
6-22	540	13500
6-27	640	16000
6-31	720	20000

Toutes les dimensions en [mm]

Le support du déviateur doit être monté perpendiculairement au plan de déviation.

(1) α , L_{\min} Les angles de déviation $\alpha(1)$ et $\alpha(2)$ peuvent être différents, mais chaque déviation ne doit pas excéder 2°. La déviation totale du câble peut monter jusqu'à 2α avec une longueur de $2 L_{\min}$.

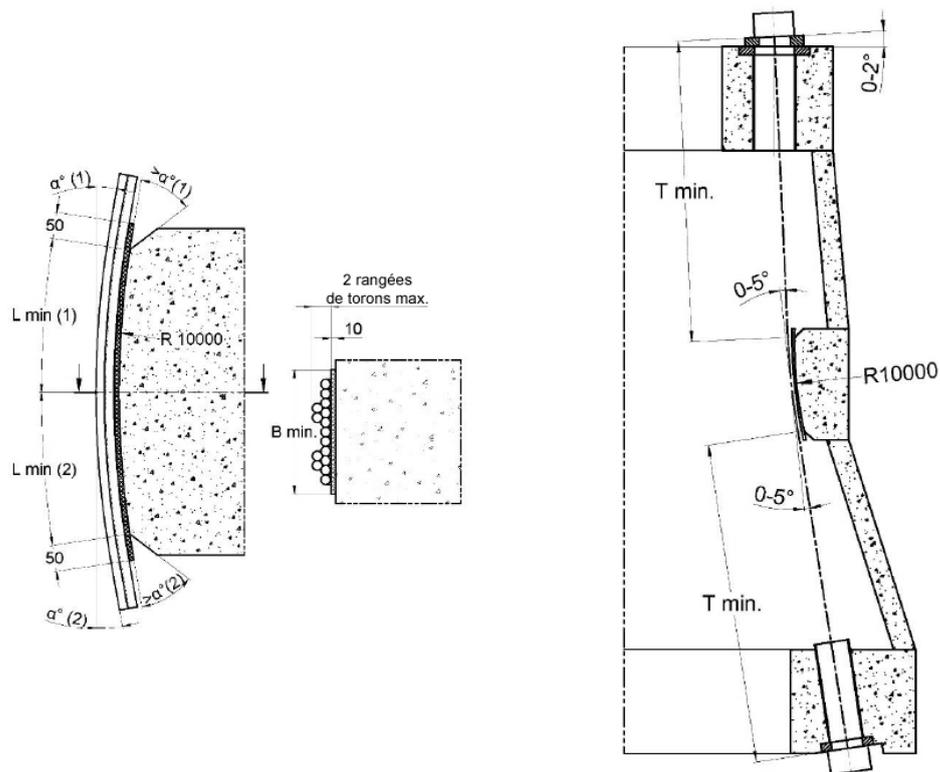


Figure 24 Déviateur E-WT – Déviateur incurvé- Géométrie et dimensions

$\alpha^{\circ}(1)$	$L_{\min}(1)$
1°	175
2°	260
3°	525
4°	700
5°	875

Unit	B_{\min}	T_{\min}
6-4	140	2400
6-7	200	3500
6-12	340	6400
6-15	400	8700
6-19	480	10500
6-22	540	13500
6-27	640	16000
6-31	720	20000

Toutes les dimensions en [mm]

Le support du déviateur doit être monté perpendiculairement au plan de déviation.

⁽¹⁾ α , L_{\min} Les angles de déviation $\alpha(1)$ et $\alpha(2)$ peuvent être différents, mais chaque déviation ne doit pas excéder 5° . La déviation totale du câble peut monter jusqu'à 2α avec une longueur de $2 L_{\min}$.

6.2.6. ARMATURES DE FRETTE LOCAL DES ANCRAGES TYPE E @ 23/28 MPa

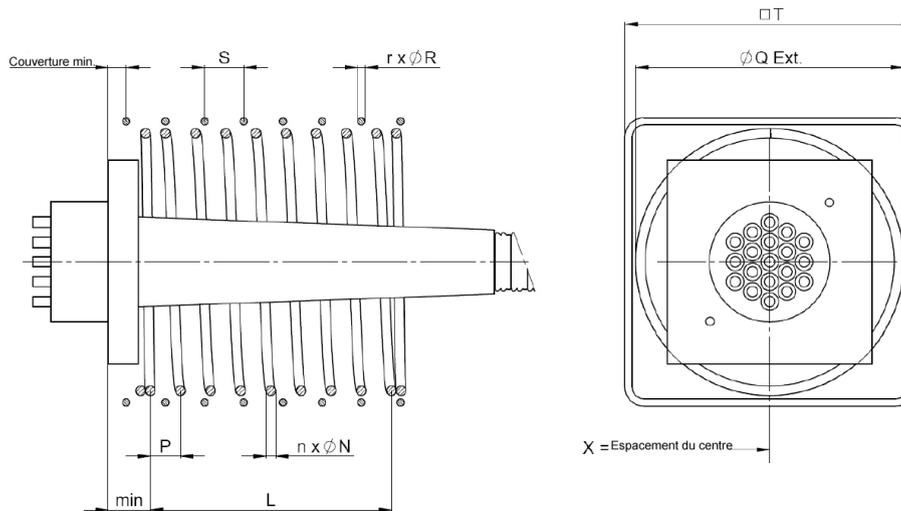


Figure 25 Armatures de frette local des ancrages type E @ 23/28 MPa

Fretage pour béton avec $f_{c,min}(t) \geq 23/28 \text{ N/mm}^2$ (cylindre/cube) lors de la mise en tension

Unité	COMBINAISON SPIRALE + ETRIERS									VARIANTE AVEC SPIRALE UNIQUEMENT					$V_{max}^{(3)}$	$X^{(4)}$
	FRETTE HELICOÏDALE					+ ETRIERS				$\emptyset S$	$n^{(1)}$	P	$\emptyset G$	I		
	$\emptyset S$	$n^{(1)}$	P	$\emptyset G$	I	$\emptyset R$	$r^{(2)}$	N	M							
6-1	10	5	60	100	180	-	-	-	-	10	5	60	100	180	40	120
6-2	12	5	60	150	180	-	-	-	-	12	5	60	150	180	40	170
6-3	12	5	55	185	165	-	-	-	-	12	5	55	185	165	45	205
6-4	12	6	50	220	200	-	-	-	-	12	6	50	220	200	50	240
6-7	12	6	60	260	240	12	4	75	295	16	6	60	260	240	60	315
6-12	16	7	65	345	325	12	7	70	390	16	8	55	390	330	70	410
6-15	16	7	75	390	375	16	6	75	435	20	7	70	435	350	75	455
6-19	16	9	60	450	420	16	6	90	495	20	8	65	495	390	80	515
6-22	16	10	60	490	480	16	7	75	535	20	10	60	535	480	85	555
6-27	16	11	55	545	495	16	8	70	595	20	11	55	595	495	90	615
6-31	16	12	55	585	550	16	10	60	635	20	13	50	635	550	95	655
6-37	20	11	65	645	585	16	9	75	695	20	15	45	695	585	105	715
6-43	20	13	60	705	660	16	10	70	750	25	12	65	750	650	110	770
6-55	20	14	60	805	720	16	15	55	855	25	14	60	855	720	125	875

Toutes les dimensions en [mm]. Deux possibilités sont données pour le renforcement: soit une combinaison de spirale et d'étriers (renfort orthogonal), soit une variante avec renforcement en spirale uniquement. D'autres combinaisons avec des performances équivalentes (devant être approuvées par VSL) sont également possibles.

Frettes en acier $f_{yk} \geq 500 \text{ N/mm}^2$

- (1) n Nombre de spires, y compris le premier et le dernier tour requis pour l'ancrage de spirale. Premier tour (coté plaque d'ancrage) soudé au tour précédent.
- (2) r Nombre de couches de renforcement
- (3) $V_{max} \geq V \geq V_{min}$; V_{min} est spécifique au projet. Si V_{min} est plus grand que V_{max} , contactez VSL
- (4) X Espaceur minimal entre centres des ancrages

6.2.7. ARMATURES DE FRETTE LOCAL DES ANCRAGES TYPE E @ 28/35 MPa

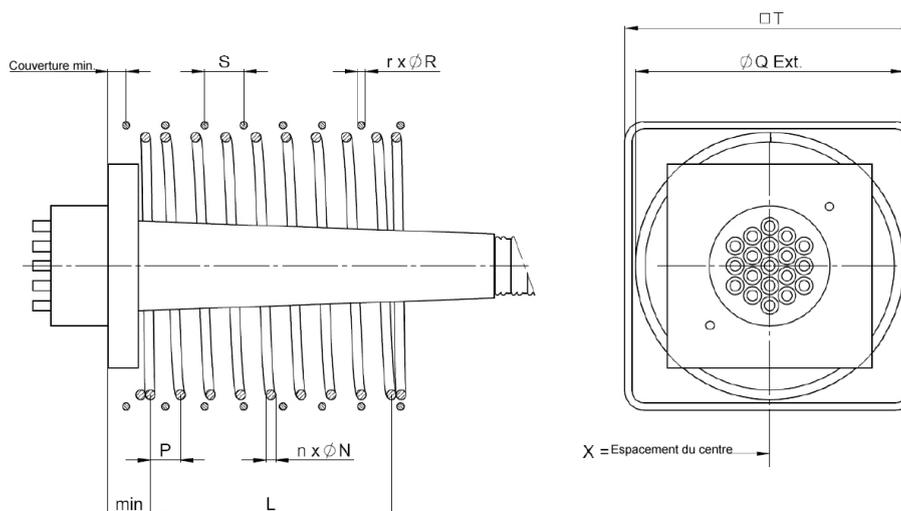


Figure 26 Armatures de frette local des ancrages type E @ 28/35 MPa

Fretage pour béton avec $f_{c,min}(t) \geq 28/35 \text{ N/mm}^2$ (cylindre/cube) lors de la mise en tension

Unité	COMBINAISON SPIRALE + ETRIERS									VARIANTE AVEC SPIRALE UNIQUEMENT					$V_{max}^{(3)}$	$\chi^{(4)}$
	FRETTE HELICOÏDALE					+ ETRIERS				$\emptyset S$	$n^{(1)}$	P	$\emptyset G$	I		
$\emptyset S$	$n^{(1)}$	P	$\emptyset G$	I	$\emptyset R$	r ⁽²⁾	N	M	$\emptyset S$						$n^{(1)}$	P
6-1	10	5	65	90	195	-	-	-	-	10	5	65	90	195	40	110
6-2	12	5	60	135	180	-	-	-	-	12	5	60	135	180	40	155
6-3	12	5	55	165	165	-	-	-	-	12	5	55	165	165	45	185
6-4	12	6	50	195	200	-	-	-	-	12	6	50	195	200	50	215
6-7	12	6	50	225	200	12	5	75	260	16	5	65	260	195	60	280
6-12	16	7	65	315	325	12	6	75	350	16	8	50	350	300	70	370
6-15	16	7	65	345	325	16	6	75	390	20	7	70	390	350	75	410
6-19	16	8	60	395	360	16	7	75	440	20	8	65	440	390	80	460
6-22	16	10	50	430	400	16	7	75	475	20	9	55	475	385	85	495
6-27	16	11	50	485	450	16	9	65	530	20	10	55	530	440	90	550
6-31	16	11	50	525	450	16	10	60	570	20	12	50	570	500	95	590
6-37	20	11	60	580	540	16	9	75	625	25	9	70	625	490	105	645
6-43	20	12	55	630	550	16	11	65	675	25	11	65	675	585	110	695
6-55	20	14	55	720	660	16	14	55	765	25	13	60	765	660	125	785

Toutes les dimensions en [mm]. Deux possibilités sont données pour le renforcement: soit une combinaison de spirale et d'étriers (renfort orthogonal), soit une variante avec renforcement en spirale uniquement. D'autres combinaisons avec des performances équivalentes (devant être approuvées par VSL) sont également possibles.

Frettes en acier $f_{yk} \geq 500 \text{ N/mm}^2$

- (1) n Nombre de spires, y compris le premier et le dernier tour requis pour l'ancrage de spirale. Premier tour (coté plaque d'ancrage) soudé au tour précédent.
- (2) r Nombre de couches de renforcement
- (3) $V_{max} \geq V \geq V_{min}$; V_{min} est spécifique au projet. Si V_{min} est plus grand que V_{max} , contactez VSL
- (4) χ Espacement minimal entre centres des ancrages

6.2.8. ARMATURES DE FRETTE LOCAL DES ANCRAGES TYPE E @ 32/40 MPa

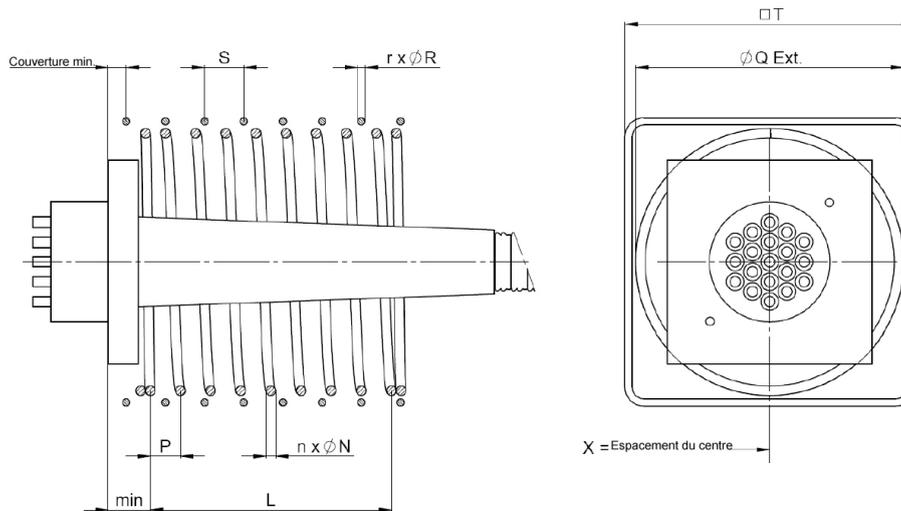


Figure 27 Armatures de frette local des ancrages type E @ 32/40 MPa

Fretage pour béton avec $f_{c,min}(t) \geq 32/40 \text{ N/mm}^2$ (cylindre/cube) lors de la mise en tension

Unité	COMBINAISON SPIRALE + ETRIERS									VARIANTE AVEC SPIRALE UNIQUEMENT					$V_{max}^{(3)}$	$\chi^{(4)}$
	FRETTE HELICOÏDALE					+ ETRIERS				$\emptyset S$	$n^{(1)}$	P	$\emptyset G$	I		
	$\emptyset S$	$n^{(1)}$	P	$\emptyset G$	I	$\emptyset R$	$r^{(2)}$	N	M							
6-1	10	5	65	85	195	-	-	-	-	10	5	65	85	195	40	105
6-2	12	5	60	125	180	-	-	-	-	12	5	60	125	180	40	145
6-3	12	6	50	155	200	-	-	-	-	12	6	50	155	200	45	175
6-4	12	6	45	180	180	-	-	-	-	12	6	45	180	180	50	200
6-7	12	7	45	210	225	12	5	65	245	16	5	60	245	180	55	265
6-12	16	7	55	290	275	12	6	60	325	20	6	70	325	280	65	345
6-15	16	8	55	320	330	16	7	60	365	20	7	60	365	300	70	385
6-19	16	8	55	370	330	16	8	60	415	20	8	55	415	330	75	435
6-22	16	10	45	400	360	16	8	60	445	20	9	50	445	350	80	465
6-27	16	11	45	450	405	16	10	50	495	20	11	45	495	405	85	515
6-31	16	12	45	490	450	16	12	45	535	25	8	70	535	420	90	555
6-37	20	11	55	540	495	16	11	55	585	25	9	65	585	455	100	605
6-43	20	13	50	585	550	16	14	45	630	25	11	55	630	495	105	650
6-55	20	14	50	670	600	16	18	40	715	25	14	50	715	600	120	735

Toutes les dimensions en [mm]. Deux possibilités sont données pour le renforcement: soit une combinaison de spirale et d'étriers (renfort orthogonal), soit une variante avec renforcement en spirale uniquement. D'autres combinaisons avec des performances équivalentes (devant être approuvées par VSL) sont également possibles.

Frettes en acier $f_{yk} \geq 500 \text{ N/mm}^2$

- (1) n Nombre de spires, y compris le premier et le dernier tour requis pour l'ancrage de spirale. Premier tour (coté plaque d'ancrage) soudé au tour précédent.
- (2) r Nombre de couches de renforcement
- (3) $V_{max} \geq V \geq V_{min}$; V_{min} est spécifique au projet. Si V_{min} est plus grand que V_{max} , contactez VSL
- (4) χ Espacement minimal entre centres des ancrages

6.2.9. ARMATURES DE FRETTE LOCAL DES ANCRAGES TYPE E @ 35/45 MPa

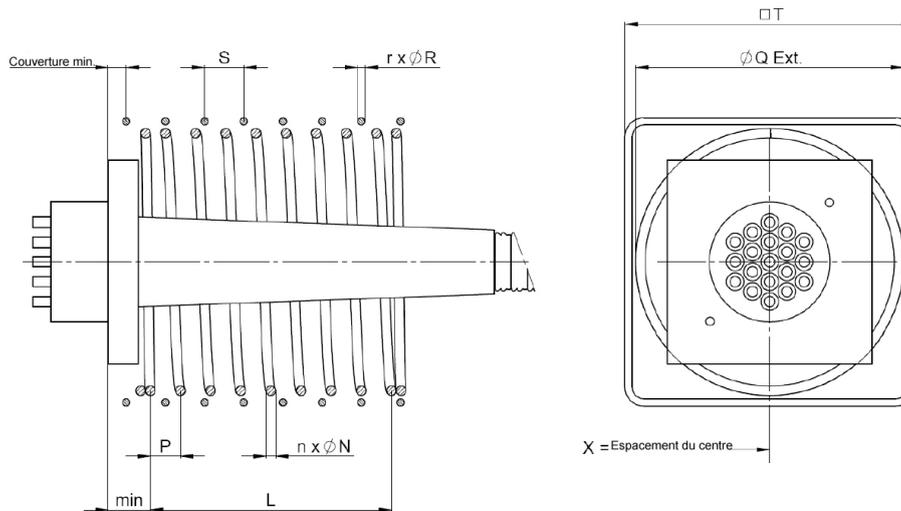


Figure 28 Armatures de frette local des ancrages type E @ 35/45 MPa

Frettage pour béton avec $f_{c,min}(t) \geq 35/45 \text{ N/mm}^2$ (cylindre/cube) lors de la mise en tension

Unité	COMBINAISON SPIRALE + ETRIERS									VARIANTE AVEC SPIRALE UNIQUEMENT					$V_{max}^{(3)}$	$X^{(4)}$
	FRETTE HELICOÏDALE					+ ETRIERS				$\emptyset S$	$n^{(1)}$	P	$\emptyset G$	I		
	$\emptyset S$	$n^{(1)}$	P	$\emptyset G$	I	$\emptyset R$	$r^{(2)}$	N	M							
6-1	10	5	65	75	195	-	-	-	-	10	5	65	75	195	40	95
6-2	12	5	55	115	165	-	-	-	-	12	5	55	115	165	40	135
6-3	12	5	50	145	150	-	-	-	-	12	5	50	145	150	45	165
6-4	12	6	45	170	180	-	-	-	-	12	6	45	170	180	50	190
6-7	16	6	65	195	260	12	4	80	230	16	5	60	230	180	55	250
6-12	16	7	50	270	250	12	5	70	305	20	6	65	305	260	65	325
6-15	16	8	50	300	300	16	6	70	345	20	7	60	345	300	70	365
6-19	16	8	50	345	300	16	7	60	390	20	8	55	390	330	75	410
6-22	16	10	45	375	360	16	8	55	420	20	9	50	420	350	80	440
6-27	16	11	45	425	405	16	10	50	470	20	11	45	470	405	85	490
6-31	16	11	45	460	405	16	12	45	505	25	8	70	505	420	90	525
6-37	20	11	50	505	450	16	10	60	550	25	9	60	550	420	100	570
6-43	20	12	50	545	500	20	10	65	595	25	11	55	595	495	105	615
6-55	20	13	50	625	550	20	12	60	675	25	13	50	675	550	120	695

Toutes les dimensions en [mm]. Deux possibilités sont données pour le renforcement: soit une combinaison de spirale et d'étriers (renfort orthogonal), soit une variante avec renforcement en spirale uniquement. D'autres combinaisons avec des performances équivalentes (devant être approuvées par VSL) sont également possibles.

Frettes en acier $f_{yk} \geq 500 \text{ N/mm}^2$

- (1) n Nombre de spires, y compris le premier et le dernier tour requis pour l'ancrage de spirale. Premier tour (coté plaque d'ancrage) soudé au tour précédent.
- (2) r Nombre de couches de renforcement
- (3) $V_{max} \geq V \geq V_{min}$; V_{min} est spécifique au projet. Si V_{min} est plus grand que V_{max} , contactez VSL
- (4) X Espacement minimal entre centres des ancrages

6.2.10. ARMATURES DE FRETTE LOCAL DES ANCRAGES TYPE E @ 43/53 MPa

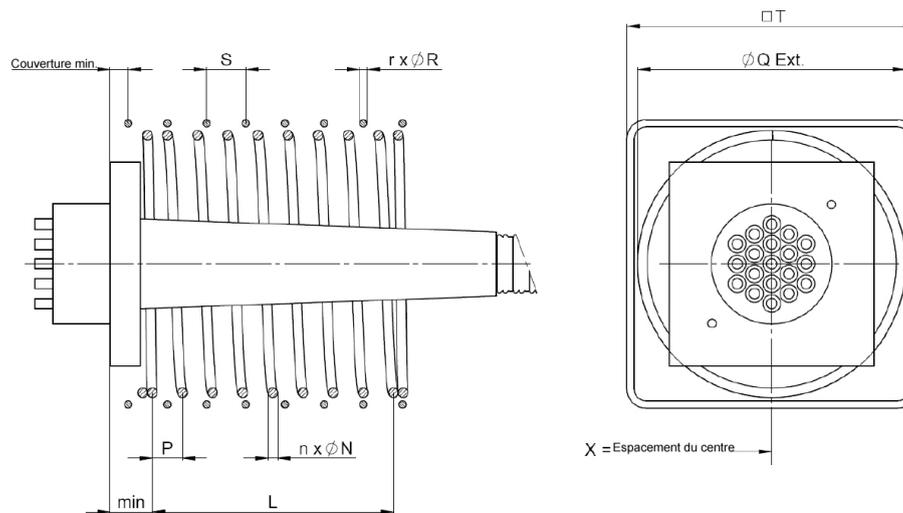


Figure 29 Armatures de frette local des ancrages type E @ 43/53 MPa

Frettes pour béton avec $f_{c,min}(t) \geq 43/53 \text{ N/mm}^2$ (cylindre/cube) lors de la mise en tension

Unité	COMBINAISON SPIRALE + ETRIERS									VARIANTE AVEC SPIRALE UNIQUEMENT					$V_{max}^{(3)}$	$X^{(4)}$
	FRETTE HELICOÏDALE					+ ETRIERS				$\emptyset S$	$n^{(1)}$	P	$\emptyset G$	I		
	$\emptyset S$	$n^{(1)}$	P	$\emptyset G$	I	$\emptyset R$	$r^{(2)}$	N	M							
6-1	10	5	50	70	150	-	-	-	-	10	5	50	70	150	40	95
6-2	12	5	50	110	150	-	-	-	-	12	5	50	110	150	40	130
6-3	14	5	65	135	195	-	-	-	-	14	5	65	135	195	45	155
6-4	16	5	70	160	210	-	-	-	-	16	5	70	160	210	50	180
6-7	16	6	55	220	220	-	-	-	-	16	6	55	220	220	55	240
6-12	16	7	50	260	250	12	7	50	295	16	7	45	295	225	65	315
6-15	16	7	50	280	250	16	7	50	330	16	9	40	330	280	70	350
6-19	20	7	60	320	300	16	6	75	370	20	7	55	370	275	75	390
6-22	20	8	60	350	360	16	9	50	400	20	8	50	400	300	80	420
6-27	20	8	60	390	360	20	8	65	445	20	10	45	445	360	85	465
6-31	20	9	60	430	420	20	8	65	480	20	11	45	480	405	90	500
6-37	20	10	55	480	440	20	9	60	530	25	9	65	530	455	95	550
6-43	25	9	65	510	455	20	10	60	560	25	10	55	565	440	100	585
6-55	25	10	65	590	520	20	11	60	640	25	12	55	640	550	110	660

Toutes les dimensions en [mm]. Deux possibilités sont données pour le renforcement: soit une combinaison de spirale et d'étriers (renfort orthogonal), soit une variante avec renforcement en spirale uniquement. D'autres combinaisons avec des performances équivalentes (devant être approuvées par VSL) sont également possibles.

Frettes en acier $f_{yk} \geq 500 \text{ N/mm}^2$

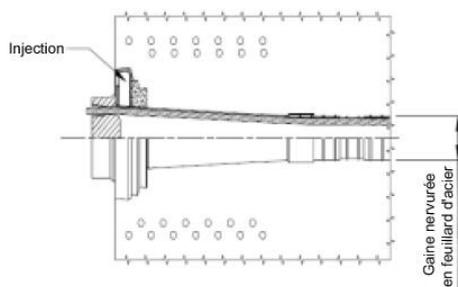
- (1) n Nombre de spires, y compris le premier et le dernier tour requis pour l'ancrage de spirale. Premier tour (coté plaque d'ancrage) soudé au tour précédent.
- (2) r Nombre de couches de renforcement
- (3) $V_{max} \geq V \geq V_{min}$; V_{min} est spécifique au projet. Si V_{min} est plus grand que V_{max} , contactez VSL
- (4) X Espacement minimal entre centres des ancrages

6.3. ANCRAGE TYPE CS

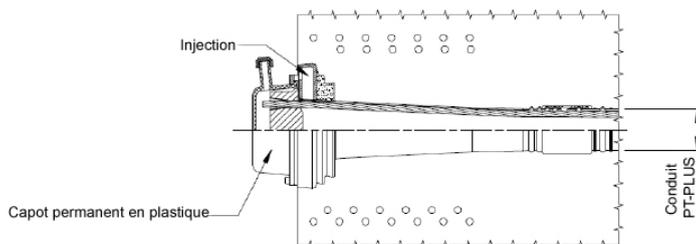
6.3.1. DISPOSITIONS DES CATÉGORIES D'UTILISATION

Ancrage incorporé dans une structure béton

- Unité STANDARD



- Unité PLUS (encapsulée)



- Unité SUPER (Câble isolé électriquement)

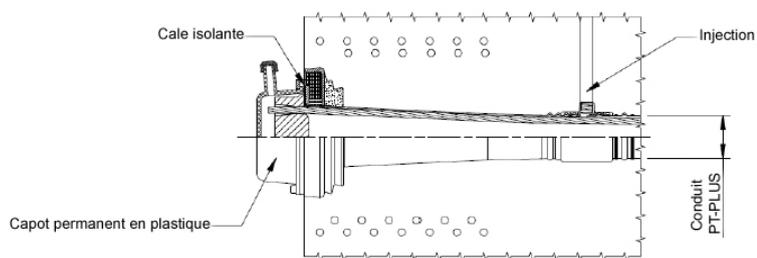


Figure 30 Disposition des ancrages type CS incorporés dans une structure béton

- Câble extérieur

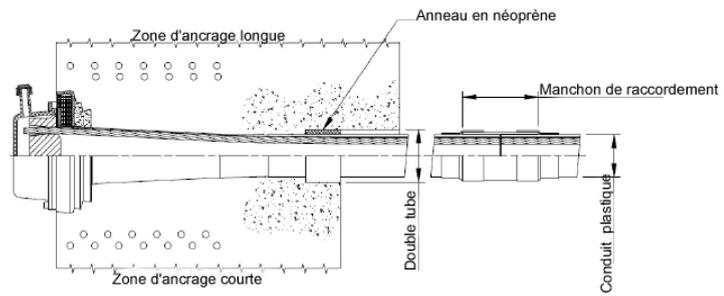


Figure 31 Disposition des ancrages type CS avec câble extérieur

6.3.2. ANCRAGES TYPE CS @ 28/35 MPa

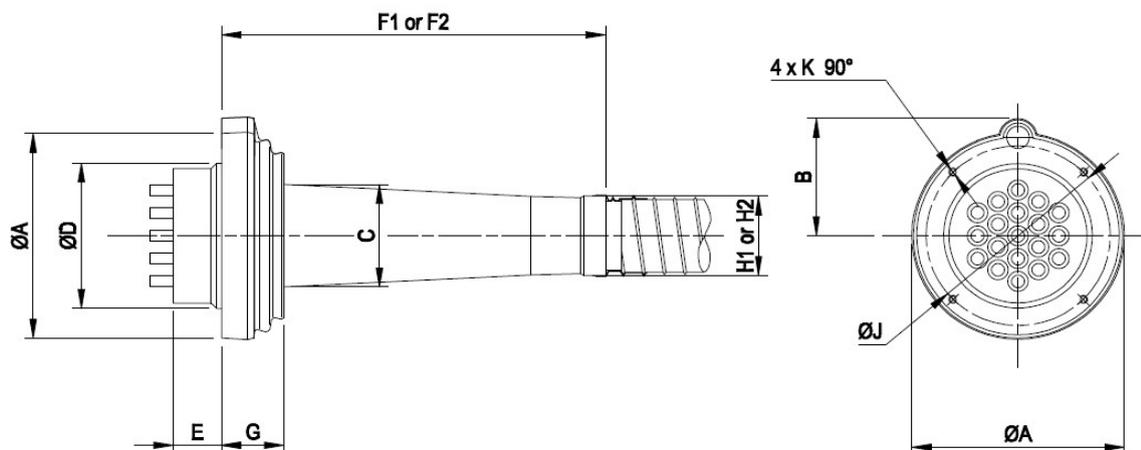


Figure 32 Dimensions des ancrages type CS @ 28/35 MPa

Unité	ØA	B	C	ØD	E	F1 ⁽¹⁾	F2 ⁽²⁾	G	H1 ⁽¹⁾	H2 ⁽²⁾	ØJ ⁽³⁾	K
6-7	222	136	85	143	50	225	360	60	80	63	188	M12
6-12	258	149	117	178	60	392	530	80	95	81	220	M12
6-19	300	170	148	210	70	540	660	90	110	106	260	M12
6-22	320	180	165	228	70	570	740	100	125	106	274	M12
6-27	360	203	181	256	69	660	810	110	139	121	310	M16
6-31	390	217	188	274	69	620	740	122	149	136	330	M16
6-37	420	236	211	300	82	805	925	130	149	136	357	M16

Toutes les dimensions en [mm]

- (1) Pour les unités STANDARD
- (2) Pour les unités PLUS ou SUPER
- (3) J : entraxe des trous de fixation de la plaque au coffrage

6.3.3. ARMATURES DE FRETTAGE LOCAL DES ANCRAGES TYPE CS @ 28/35 MPa

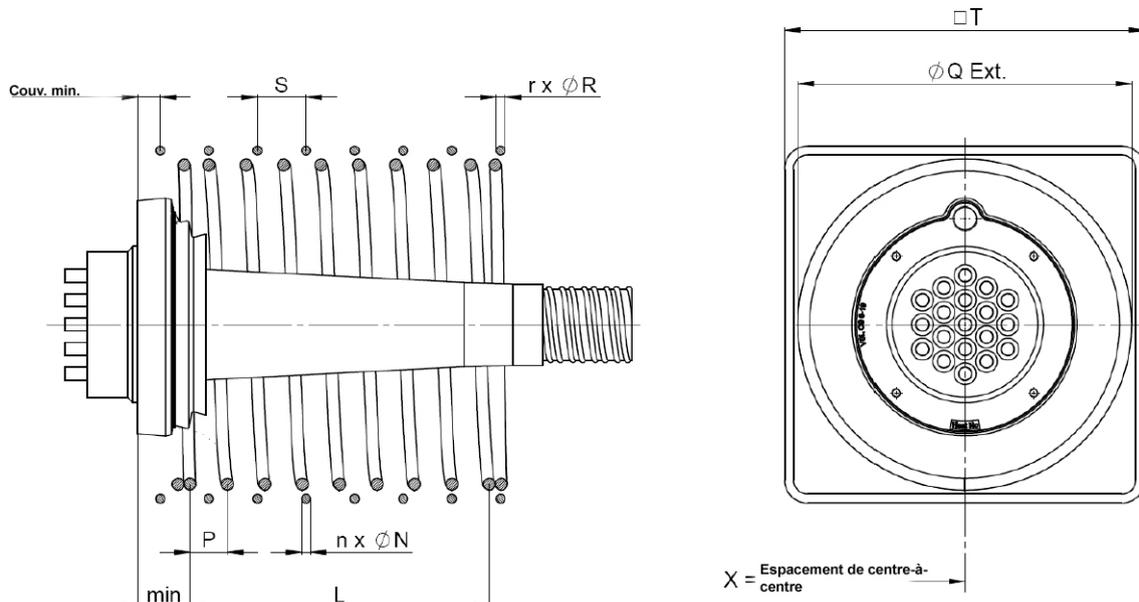


Figure 33 Armatures de frettage local des ancrages type CS @ 28/35 MPa

Frettage pour béton $f_{c,min}(t) \geq 28/35 \text{ N/mm}^2$ (cylindre/cube) lors de la mise en tension

Unité	FRETTÉ HELICOÏDALE					RENFORT ORTHOGONAL				X
	ØN	n ⁽¹⁾	P	ØQ	L	ØR	r ⁽²⁾	S	T	
6-7	12	6	60	260	240	10	7	50	295	315
6-12	16	7	65	345	325	12	9	60	390	410
6-19	16	9	60	450	420	16	11	65	495	515
6-22	16	10	60	490	480	16	11	75	535	555
6-27	16	11	55	545	495	16	11	50	595	615
6-31	16	12	55	585	550	16	12	45	635	655
6-37	20	11	65	645	585	16	13	50	695	715

Toutes les dimensions en [mm]. Le renforcement consiste en une combinaison de spirale et d'étriers. D'autres combinaisons avec des performances équivalentes (devant être approuvées par VSL) sont également possibles.

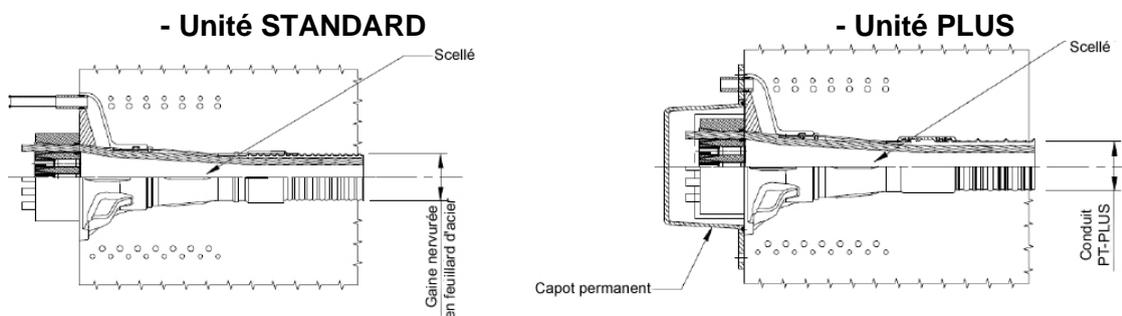
Frettes en acier $f_{yk} \geq 500 \text{ N/mm}^2$.

- (1) n Nombre de spires, y compris premier et dernier tour requis pour l'ancrage de spirale
- (2) r Nombre de couches de renforcement

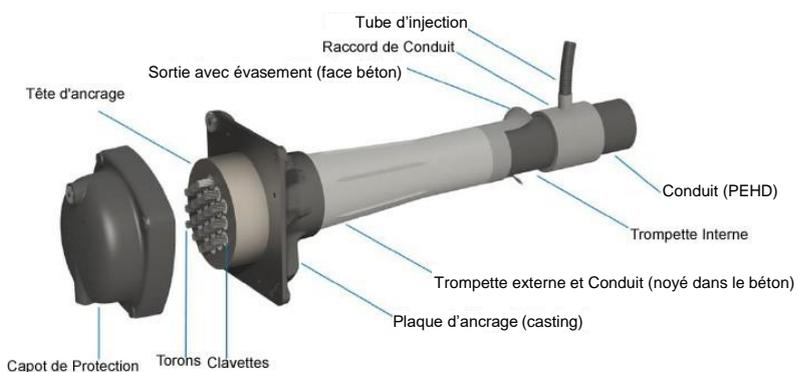
6.4. ANCRAGES TYPE GC

6.4.1. DISPOSITION DES CATEGORIES D'UTILISATION

- Précontrainte intérieure adhérente



- Câble extérieur



- Câble isolé électriquement (CIE)

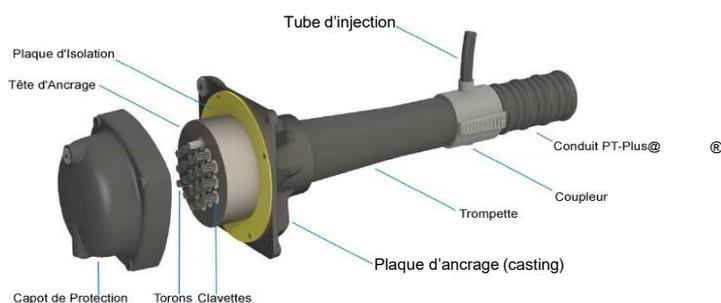


Figure 34 Disposition des catégories d'utilisation des ancrages type GC

6.4.2. ANCRAGES TYPE GC

6.4.2.1 Précontrainte standard adhérente :

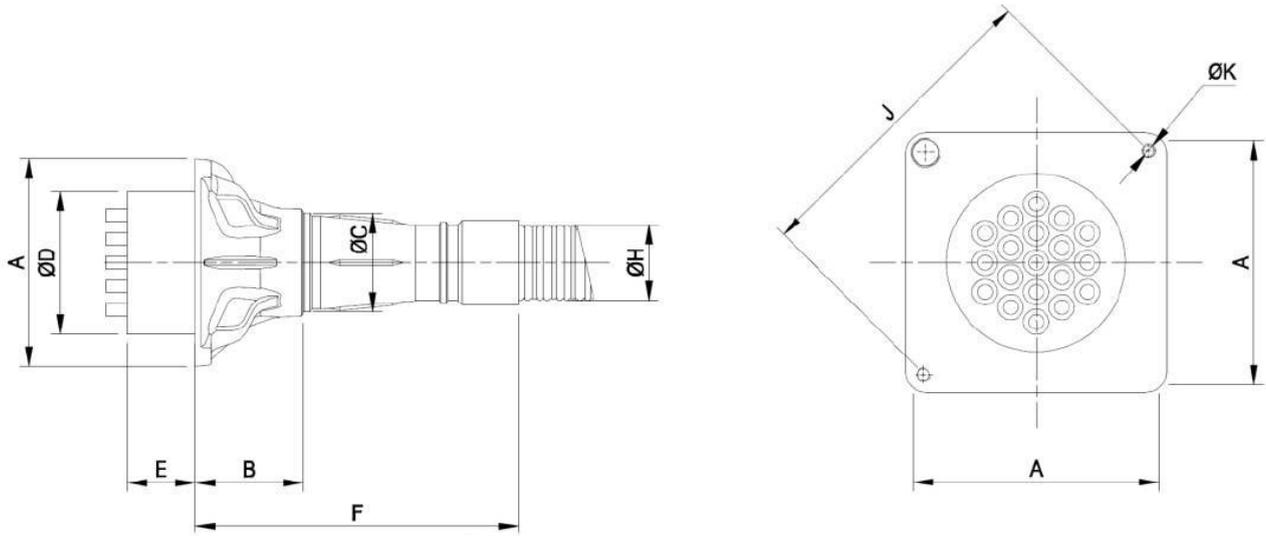


Figure 35 Dimensions des ancrages type GC en précontrainte standard adhérente

Unité	□A	B	ØC	Têtes d'ancrage E/EP ⁽³⁾		Têtes d'ancrage E(QT)/EP(QT) ⁽³⁾		F	ØH	J ⁽¹⁾	K
				ØD	E	ØD	E				
6-3	130	120	50	95	50	95	50	120 ⁽²⁾	50	140	M12
6-4	140	120	60	110	55	106	50	120 ⁽²⁾	60	154	M12
6-7	180	135	76	135	60	135	55	135 ⁽²⁾	76	210	M12
6-12	230	220	92	170	75	166	62	220 ⁽²⁾	92	264	M16
6-15	260	240	113	190	85	186	68	240 ⁽²⁾	113	316	M16
6-19	290	150	131	200	95	196	73	450	112	354	M16
6-22	320	150	153	220	100	216	78	640	112	400	M16
6-27	350	170	164	240	110	236	85	620	127	430	M16
6-31	375	170	173	260	120	256	90	580	143	470	M16
6-37	410	170	196	280	135	276	98	770	142	524	M16
6-43	470	180	230	320	145	316	105	935	166	420	M20
6-55	520	180	240	340	160	340	118	1035	166	452	M20

Toutes les dimensions en [mm]. Les dimensions correspondent à des ancrages à torons nus. Pour les dimensions avec torons gainés et protégés, voir avec VSL.

- (1) J entraxe des trous de fixation de la plaque au coffrage
(2) Ces unités n'ont pas de trompette
(3) ØD, E les dimensions externes de E et EP – ou E (QT) et EP (QT) – sont identiques

6.4.2.2 Câbles extérieurs:

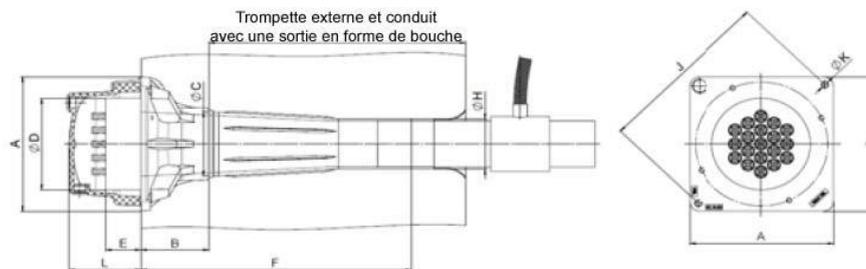


Figure 36 Dimensions des ancrages type GC des câbles extérieurs

Unité	□A	B	ØC	ØD	E	F	ØH	J ⁽¹⁾	K	L
6-3	180	135	76	116	55	200	50	210	M12	120
6-4	180	135	76	116	55	200	50	210	M12	120
6-7	230	220	92	148	62	300	75	264	M16	135
6-12	260	240	113	186	68	330	90	316	M16	145
6-15	290	150	131	196	73	405	110	354	M16	155
6-19	320	150	153	218	78	525	110	400	M16	160
6-22	350	170	164	236	85	525	125	430	M16	170
6-27	375	170	173	248	90	505	125	470	M16	180
6-31	410	170	196	276	98	730	140	524	M16	200
6-37	470	180	230	316	105	965	140	420	M20	215
6-43	520	180	240	326	118	965	160	452	M20	230

Toutes les dimensions en [mm]. Les dimensions correspondent à des ancrages à torons nus. Pour les dimensions avec torons gainés et protégés, voir avec VSL.

(1) J entraxe des trous de fixation de la plaque au coffrage

6.4.2.3 Câbles isolés électriquement :

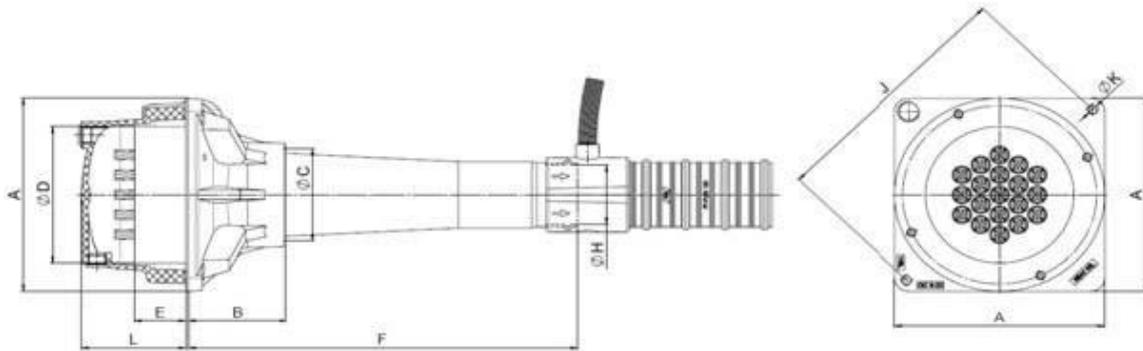


Figure 37 Dimensions des ancrages type GC des câbles isolés électriquement

Unité	□A	B	ØC	ØD	E	F	ØH	J ⁽¹⁾	K	L
6-3	180	135	76	116	55	245	56	210	M12	120
6-4	180	135	76	116	55	245	56	210	M12	120
6-7	230	220	92	156	62	375	63	264	M16	135
6-12	260	240	113	186	68	400	81	316	M16	145
6-15	290	150	131	198	73	475	91	354	M16	155
6-19	320	150	153	226	78	595	106	400	M16	160
6-22	350	170	164	246	85	595	106	430	M16	170
6-27	375	170	173	258	90	575	121	470	M16	180
6-31	410	170	196	286	98	800	136	524	M16	200
6-37	470	180	230	326	105	1035	136	420	M20	215
6-43	520	180	240	336	118	1035	157	452	M20	230

Toutes les dimensions en [mm]. Les dimensions correspondent à des ancrages à torons nus. Pour les dimensions avec torons gainés et protégés, voir avec VSL.

(1) J entraxe des trous de fixation de la plaque au coffrage

6.4.3 ARMATURES DE FRETTAGE LOCAL

6.4.3.1 ANCRAGES TYPE GC – PRÉCONTRAÎNTE INTÉRIEURE ADHÉRENTE

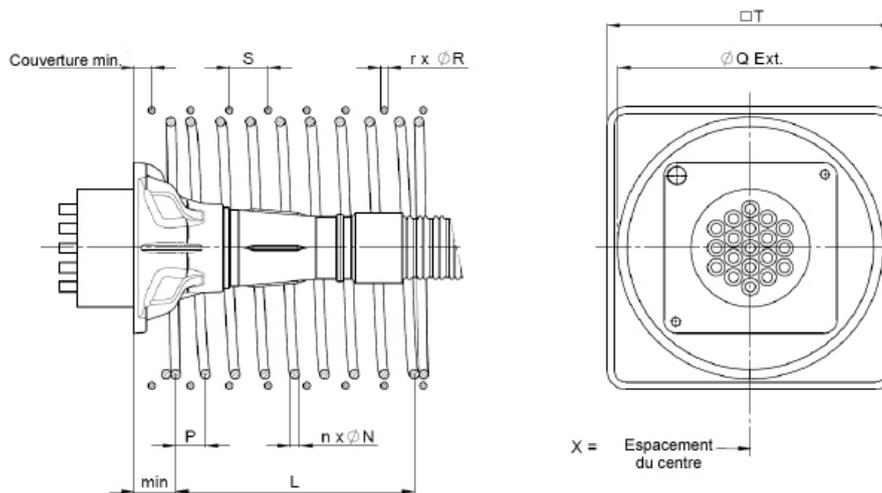


Figure 38 Armatures de frettage pour ancrage type GC – précontrainte intérieure adhérente

Frettage pour béton avec $f_{c,min}(t) \geq 25/30 \text{ N/mm}^2$ (cylindre/cube) lors de la mise en tension

Unité	FRETTE HELICOIDALE					RENFORT ORTHOGONAL				$V_{max}^{(3)}$	$X^{(4)}$
	$\varnothing S$	$n^{(1)}$	P	$\varnothing G$	l	$\varnothing R$	$r^{(2)}$	N	M		
6-3	10	5	50	150	150	8	4	60	180	45	200
6-4	12	5	60	180	180	8	5	50	210	45	230
6-7	12	7	50	250	250	10	6	55	280	45	305
6-12	16	7	60	345	300	10	5	85	380	50	400
6-15	16	9	50	395	350	8	7	70	425	50	440
6-19	16	10	50	445	400	12	7	70	480	50	495
6-22	20	9	60	480	420	10	6	100	515	50	535
6-27	16	12	50	530	500	16	9	65	570	50	590
6-31	16	13	50	570	550	16	11	60	615	50	635
6-37	20	11	60	630	540	16	10	70	670	50	690

Toutes les dimensions en [mm]. Le renforcement consiste en une combinaison de spirale et d'étriers. D'autres combinaisons avec des performances équivalentes (devant être approuvées par VSL) sont également possibles.

Frettes en acier $f_{yk} \geq 500 \text{ N/mm}^2$.

- (1) n Nombre de spires, y compris le premier et le dernier tour requis pour l'ancrage de spirale. Premier tour (coté plaque d'ancrage) soudé au tour précédent.
- (2) r Nombre de couches de renforcement
- (3) $V_{max} \geq V \geq V_{min}$; V_{min} est spécifique au projet. Si V_{min} est plus grand que V_{max} , contactez VSL
- (4) X Espacement minimum entre centres d'ancrages

Frettage pour béton avec $f_{c,min}(t) \geq 28/35 \text{ N/mm}^2$ (cylindre/cube) lors de la mise en tension

Unité	FRETTE HELICOÏDALE					RENFORT ORTHOGONAL				$V_{max}^{(3)}$	$\chi^{(4)}$
	$\varnothing S$	$n^{(1)}$	P	$\varnothing G$	l	$\varnothing R$	$r^{(2)}$	N	M		
6-3	10	5	50	140	150	8	4	55	165	45	185
6-4	12	5	60	170	180	8	5	50	195	45	215
6-7	12	6	50	230	200	10	6	50	260	45	280
6-12	16	7	60	320	300	10	6	75	350	50	370
6-15	16	9	50	365	350	8	9	50	390	50	410
6-19	16	9	50	410	350	12	9	55	440	50	460
6-22	20	9	60	445	420	10	7	80	475	50	495
6-27	16	11	50	490	450	16	9	60	530	50	550
6-31	16	13	45	530	495	16	10	60	570	50	590
6-37	20	12	55	585	550	16	9	80	625	50	645
6-43	26	12	65	730	650	-	-	-	-	50	750
6-55	26	14	60	825	720	-	-	-	-	50	845

Frettage pour béton avec $f_{c,min}(t) \geq 32/40 \text{ N/mm}^2$ (cylindre/cube) lors de la mise en tension

Unité	FRETTE HELICOÏDALE					RENFORT ORTHOGONAL				$V_{max}^{(3)}$	$\chi^{(4)}$
	$\varnothing S$	$n^{(1)}$	P	$\varnothing G$	l	$\varnothing R$	$r^{(2)}$	N	M		
6-3	12	5	55	155	165	-	-	-	-	45	175
6-4	12	6	45	180	180	-	-	-	-	45	200
6-7	12	6	50	215	200	10	6	50	245	45	265
6-12	16	7	55	295	275	10	5	90	325	50	345
6-15	16	8	50	335	300	10	7	65	365	50	385
6-19	16	10	45	375	360	12	7	65	410	50	430
6-22	20	8	60	410	360	12	6	85	445	50	465
6-27	16	11	45	455	405	16	8	65	495	50	515
6-31	16	12	45	490	450	16	10	55	530	50	550
6-37	20	12	50	540	500	16	8	85	580	50	600

Toutes les dimensions en [mm]. Le renforcement consiste en une combinaison de spirale et d'étriers. D'autres combinaisons avec des performances équivalentes (devant être approuvées par VSL) sont également possibles.

Frettes en acier $f_{yk} \geq 500 \text{ N/mm}^2$.

- (1) n Nombre de spires, y compris le premier et le dernier tour requis pour l'ancrage de spirale. Premier tour (coté plaque d'ancrage) soudé au tour précédent.
- (2) r Nombre de couches de renforcement
- (3) $V_{max} \geq V \geq V_{min}$; V_{min} est spécifique au projet. Si V_{min} est plus grand que V_{max} , contactez VSL
- (4) χ Espacement minimum entre centres d'ancrages

Frettage pour béton avec $f_{c,min}(t) \geq 36/45 \text{ N/mm}^2$ (cylindre/cube) lors de la mise en tension

Unité	FRETTE HELICOÏDALE					RENFORT ORTHOGONAL				$V_{max}^{(3)}$	$\chi^{(4)}$
	$\varnothing S$	$n^{(1)}$	P	$\varnothing G$	l	$\varnothing R$	$r^{(2)}$	N	M		
6-3	12	5	55	145	165	-	-	-	-	45	165
6-4	12	6	45	170	180	-	-	-	-	45	190
6-7	16	6	65	230	260	-	-	-	-	45	250
6-12	16	8	50	305	300	-	-	-	-	50	325
6-15	16	8	50	315	300	10	6	65	345	50	365
6-19	16	9	45	355	315	12	7	65	390	50	410
6-22	20	8	60	385	360	12	6	70	420	50	440
6-27	16	11	45	425	405	16	8	60	465	50	485
6-31	16	11	45	460	405	16	10	50	500	50	520
6-37	20	10	55	510	440	16	10	60	550	50	570

Frettage pour béton avec une résistance $f_{c,min}(t) \geq 40/50 \text{ N/mm}^2$ (cylindre/cube) lors de la mise en tension

Unité	FRETTE HELICOÏDALE					RENFORT ORTHOGONAL				$V_{max}^{(3)}$	$\chi^{(4)}$
	$\varnothing S$	$n^{(1)}$	P	$\varnothing G$	l	$\varnothing R$	$r^{(2)}$	N	M		
6-3	12	5	50	135	150	-	-	-	-	45	155
6-4	12	6	40	160	160	-	-	-	-	45	180
6-7	16	6	60	220	240	-	-	-	-	45	240
6-12	16	7	50	295	250	-	-	-	-	50	315
6-15	20	7	60	330	300	-	-	-	-	50	350
6-19	16	8	50	335	300	12	8	50	370	50	390
6-22	20	7	60	370	300	12	7	65	400	50	420
6-27	20	8	60	400	360	16	6	85	445	50	465
6-31	20	9	60	435	420	16	7	75	480	50	500
6-37	20	9	60	480	420	20	7	80	530	50	550

Toutes les dimensions en [mm]. Le renforcement consiste en une combinaison de spirale et d'étriers. D'autres combinaisons avec des performances équivalentes (devant être approuvées par VSL) sont également possibles.

Frettes en acier $f_{yk} \geq 500 \text{ N/mm}^2$.

- (1) n Nombre de spires, y compris le premier et le dernier tour requis pour l'ancrage de spirale. Premier tour (coté plaque d'ancrage) soudé au tour précédent.
- (2) r Nombre de couches de renforcement
- (3) $V_{max} \geq V \geq V_{min}$; V_{min} est spécifique au projet. Si V_{min} est plus grand que V_{max} , contactez VSL
- (4) χ Espacement minimum entre centres d'ancrages

6.4.3.2 ANCRAGES TYPE GC - CABLES EXTERIEURS ET ISOLES ELECTRIQUEMENT

OPTION A – FRETTE HELICOÏDALE

OPTION B – FRETTE - ETRIER

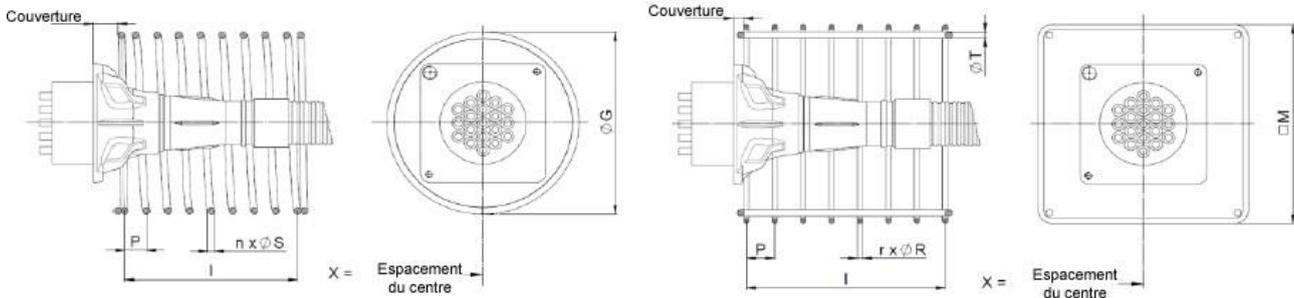


Figure 39 Armatures de frettage local type GC des câbles extérieurs et isolés électriquement

Frettage pour béton avec $f_{c,min}(t) \geq 25/30 \text{ N/mm}^2$ (cylindre/cube) lors de la mise en tension

Unité	A- FRETTE HELICOÏDALE							B – FRETTE - ETRIER						
	I	P	ØS	ØG	n ⁽¹⁾	V _{max} ⁽³⁾	X ⁽⁴⁾	I	P	ØR	M	r ⁽²⁾	V _{max} ⁽³⁾	X ⁽⁴⁾
6-3	260	65	10	200	6	45	220	280	70	12	210	5	45	230
6-4	275	55	12	215	7	45	235	200	40	12	215	6	45	235
6-7	320	40	12	285	10	50	305	300	50	16	285	7	50	305
6-12	385	55	16	380	9	50	400	360	60	20	380	7	50	400
6-15	440	40	16	425	13	50	445	405	45	20	425	10	50	445
6-19	480	40	16	480	14	50	500	450	45	20	480	11	50	500
6-22	540	60	20	520	11	50	540	520	65	25	520	9	50	540
6-27	550	50	20	575	13	50	595	550	55	25	575	11	50	595
6-31	600	50	20	620	14	50	640	605	55	25	620	12	50	640
6-37	630	45	20	675	16	50	695	650	50	25	675	14	50	695

- (1) n Nombre de spires, y compris le premier et le dernier tour requis pour l'ancrage de spirale. Premier tour (coté plaque d'ancrage) soudé au tour précédent.
- (2) r Nombre de couches de renforcement
- (3) $V_{max} \geq V \geq V_{min}$; V_{min} est spécifique au projet. Si V_{min} est plus grand que V_{max} , contactez VSL
- (4) X Espacecent minimum entre centres d'ancrages

Toutes les dimensions sont exprimées en [mm]. Deux options (SOIT spirale SOIT étrier) sont présentées pour le renforcement. Des combinaisons de spirales et d'étriers avec des performances équivalentes (devant être approuvées par VSL) sont également possibles.

Frettes en acier $f_{yk} \geq 500 \text{ N/mm}^2$.

Toron $A_p = 150\text{mm}^2$, $f_{pk} = 1\,860 \text{ N/mm}^2$ (Résistance caractéristique), $F_{pk} = 279\text{kN}$

Frettage pour béton avec $f_{c,min}(t) \geq 28/35 \text{ N/mm}^2$ (cylindre/cube) lors de la mise en tension

Unité	A- FRETTE HELICOÏDALE						
	I	P	ØS	ØG	n ⁽¹⁾	V _{max} ⁽³⁾	X ⁽⁴⁾
6-3	210	70	10	200	5	45	220
6-4	260	65	12	210	6	45	230
6-7	280	40	12	265	9	50	285
6-12	400	50	16	350	10	50	370
6-15	400	40	16	395	12	50	415
6-19	440	40	16	445	13	50	465
6-22	495	55	20	480	11	50	500
6-27	540	45	20	530	14	50	550
6-31	550	50	20	575	13	50	595
6-37	630	45	20	625	16	50	645
6-43	660	60	25	675	13	50	695

B – FRETTE - ETRIER						
I	P	ØR	M	r ⁽²⁾	V _{max} ⁽³⁾	X ⁽⁴⁾
280	70	12	210	5	45	230
350	70	16	220	6	45	240
250	50	16	265	6	50	285
330	55	20	350	7	50	370
360	45	20	395	9	50	415
420	70	25	445	7	50	465
480	60	25	480	9	50	500
500	50	25	530	11	50	550
550	55	25	575	11	50	595
640	80	32	625	9	50	645
630	70	32	675	10	50	695

Frettage pour béton avec $f_{c,min}(t) \geq 32/40 \text{ N/mm}^2$ (cylindre/cube) lors de la mise en tension

Unité	A- FRETTE HELICOÏDALE						
	I	P	ØS	ØG	n ⁽¹⁾	V _{max} ⁽³⁾	X ⁽⁴⁾
6-3	210	70	8	200	5	45	220
6-4	210	70	12	210	5	45	230
6-7	270	45	12	260	8	50	280
6-12	350	50	16	325	9	50	345
6-15	400	40	16	370	12	50	390
6-19	420	60	20	415	9	50	435
6-22	495	55	20	450	11	50	470
6-27	495	45	20	495	13	50	515
6-31	540	45	20	535	14	50	555
6-37	630	70	25	585	11	50	605

B – FRETTE - ETRIER						
I	P	ØR	M	r ⁽²⁾	V _{max} ⁽³⁾	X ⁽⁴⁾
280	70	10	200	5	45	220
350	70	16	220	6	45	240
390	65	16	270	7	50	290
330	55	20	325	7	50	345
390	65	25	370	7	50	390
390	65	25	415	7	50	435
420	60	25	450	8	50	470
450	50	25	495	10	50	515
500	50	25	535	11	50	555
600	75	32	585	9	50	605

- (1) n Nombre de spires, y compris le premier et le dernier tour requis pour l'ancrage de spirale. Premier tour (coté plaque d'ancrage) soudé au tour précédent.
- (2) r Nombre de couches de renforcement
- (3) $V_{max} \geq V \geq V_{min}$; V_{min} est spécifique au projet. Si V_{min} est plus grand que V_{max} , contactez VSL
- (4) X Espacement minimum entre centres d'ancrages

Toutes les dimensions en [mm]. Deux options (SOIT spirale SOIT étrier) sont présentées pour le renforcement. Des combinaisons de spirales et d'étriers avec des performances équivalentes (devant être approuvées par VSL) sont également possibles.

Frettes en acier $f_{yk} \geq 500 \text{ N/mm}^2$.

Toron $A_p = 150\text{mm}^2$, $f_{pk} = 1\,860 \text{ N/mm}^2$ (Résistance caractéristique), $F_{pk} = 279\text{kN}$

Frettage pour béton avec une résistance f_c , $\min(t) \geq 36/45 \text{ N/mm}^2$ (cylindre/cube) lors de la mise en tension

Unité	A- FRETTE HELICOÏDALE						
	I	P	ØS	ØG	n ⁽¹⁾	V _{max} ⁽³⁾	X ⁽⁴⁾
6-3	210	70	8	200	5	45	220
6-4	220	55	10	200	6	45	220
6-7	275	55	12	260	7	50	280
6-12	350	50	16	310	9	50	330
6-15	360	40	16	350	11	50	370
6-19	400	40	16	395	12	50	415
6-22	440	55	20	425	10	50	445
6-27	495	45	20	470	13	50	490
6-31	495	45	20	505	13	50	525
6-37	585	65	25	550	11	50	570

B – FRETTE - ETRIER						
I	P	ØR	M	r ⁽²⁾	V _{max} ⁽³⁾	X ⁽⁴⁾
280	70	8	200	5	45	220
325	65	12	210	6	45	230
350	70	16	270	6	50	290
330	55	20	310	7	50	330
325	65	25	350	6	50	370
390	65	25	395	7	50	415
420	60	25	425	8	50	445
450	50	25	470	10	50	490
500	50	25	505	11	50	525
525	75	32	550	8	50	570

Frettage pour béton avec une résistance f_c , $\min(t) \geq 40/50 \text{ N/mm}^2$ (cylindre/cube) lors de la mise en tension

Unité	A- FRETTE HELICOÏDALE						
	I	P	ØS	ØG	n ⁽¹⁾	V _{max} ⁽³⁾	X ⁽⁴⁾
6-3	210	70	8	200	5	45	220
6-4	260	65	10	200	6	45	220
6-7	300	60	12	260	7	50	280
6-12	350	50	16	295	9	50	315
6-15	360	40	16	330	11	50	350
6-19	400	40	16	375	12	50	395
6-22	440	55	20	405	10	50	425
6-27	450	45	20	445	12	50	465
6-31	495	45	20	480	13	50	500
6-37	560	70	25	525	10	50	545

B – FRETTE - ETRIER						
I	P	ØR	M	r ⁽²⁾	V _{max} ⁽³⁾	X ⁽⁴⁾
280	70	8	200	5	45	220
275	55	10	210	6	45	230
350	50	12	270	8	50	290
375	55	20	300	8	50	320
420	60	25	340	8	50	360
390	65	25	375	7	50	395
420	60	25	405	8	50	425
480	80	32	445	7	50	465
450	50	25	480	10	50	500
560	70	32	540	10	50	560

- (1) n Nombre de spires, y compris le premier et le dernier tour requis pour l'ancrage de spirale. Premier tour (coté plaque d'ancrage) soudé au tour précédent.
- (2) r Nombre de couches de renforcement
- (3) $V_{\max} \geq V \geq V_{\min}$; V_{\min} est spécifique au projet. Si V_{\min} est plus grand que V_{\max} , contactez VSL
- (4) X Espacement minimum entre centres d'ancrages

Toutes les dimensions en [mm]. Deux options (SOIT spirale SOIT étrier) sont présentées pour le renforcement. Des combinaisons de spirales et d'étriers avec des performances équivalentes (devant être approuvées par VSL) sont également possibles.

Frettes en acier $f_{yk} \geq 500 \text{ N/mm}^2$.

Toron $A_p = 150\text{mm}^2$, $f_{pk} = 1\,860 \text{ N/mm}^2$ (Résistance caractéristique), $F_{pk} = 279\text{kN}$

Frettage pour béton avec une résistance $f_c, \min_{(t)} \geq 50/62,5 \text{ N/mm}^2$ (cylindre/cube) lors de la mise en tension

Unité	A- FRETTE HELICOÏDALE							B – FRETTE - ETRIER						
	I	P	ØS	ØG	n ⁽¹⁾	V _{max} ⁽³⁾	X ⁽⁴⁾	I	P	ØR	M	r ⁽²⁾	V _{max} ⁽³⁾	X ⁽⁴⁾
6-3	210	70	8	200	5	45	220	280	70	8	200	5	45	220
6-4	210	70	8	200	5	45	220	275	55	8	200	6	45	220
6-7	300	60	10	250	7	50	270	375	75	12	260	6	50	280
6-12	300	60	16	300	7	50	320	390	65	20	300	7	50	320
6-15	325	65	20	330	7	50	350	450	75	25	340	7	50	360
6-19	360	60	20	360	8	50	380	490	70	25	370	8	50	390
6-22	385	55	20	390	9	50	410	480	60	25	400	9	50	420
6-27	420	70	25	430	8	50	450	560	80	32	440	8	50	470
6-31	490	70	25	460	9	50	480	595	85	32	480	8	50	500
6-37	490	70	25	520	9	50	540	595	85	32	540	8	50	560

- (1) n Nombre de spires, y compris le premier et le dernier tour requis pour l'ancrage de spirale. Premier tour (coté plaque d'ancrage) soudé au tour précédent.
- (2) r Nombre de couches de renforcement
- (3) $V_{\max} \geq V \geq V_{\min}$; V_{\min} est spécifique au projet. Si V_{\min} est plus grand que V_{\max} , contactez VSL
- (4) X Espacement minimum entre centres d'ancrages

Toutes les dimensions en [mm]. Deux options (SOIT spirale SOIT étrier) sont présentées pour le renforcement. Des combinaisons de spirales et d'étriers avec des performances équivalentes (devant être approuvées par VSL) sont également possibles.

Frettes en acier $f_{yk} \geq 500 \text{ N/mm}^2$.

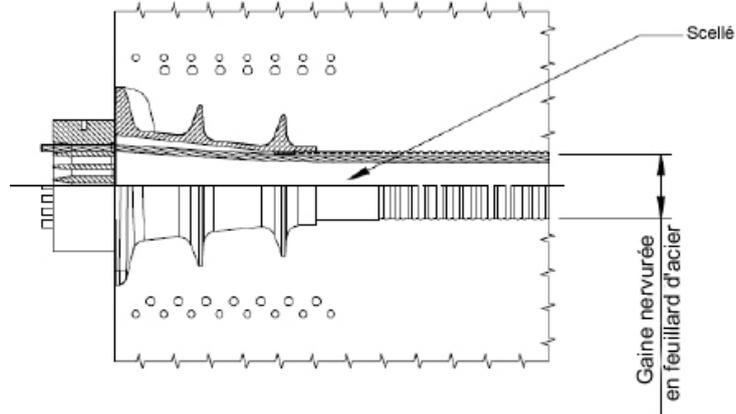
Toron $A_p = 150\text{mm}^2$, $f_{pk} = 1\,860 \text{ N/mm}^2$ (Résistance caractéristique), $F_{pk} = 279\text{kN}$

6.5. ANCRAGES TYPE NC ET NC-U

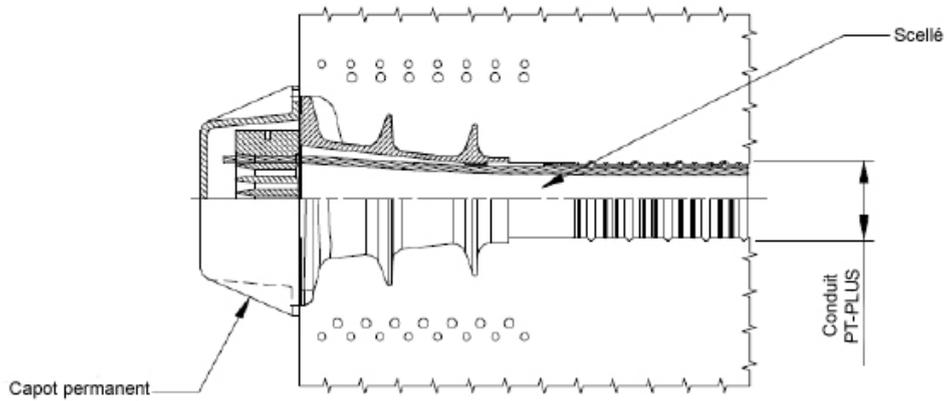
6.5.1. DISPOSITIONS DES CATEGORIES D'UTILISATION

Ancrage incorporé dans une structure béton

- Unité NC STANDARD (adhérente)



- Unité NC PLUS (adhérente)



- Unité NC-U STANDARD (non adhérente)

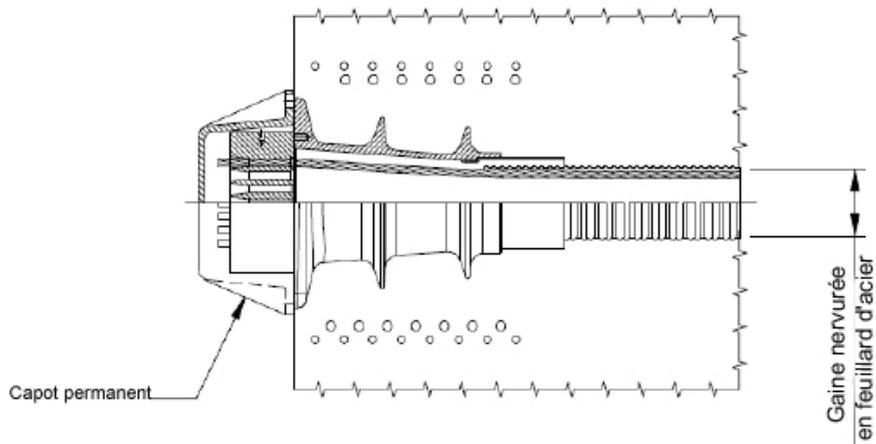


Figure 40 Disposition des catégories d'utilisation des ancrages type NC et NC-U

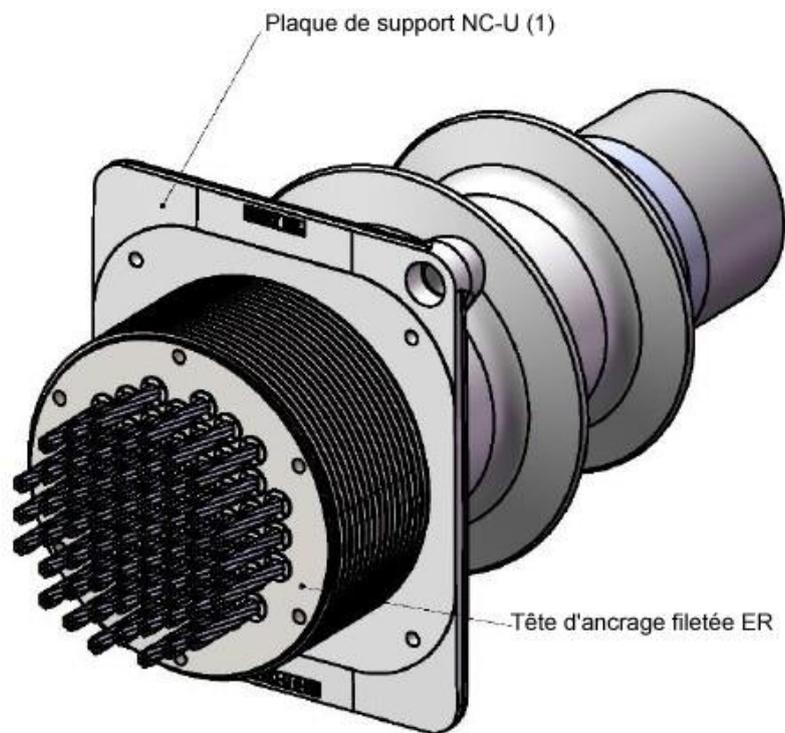


Figure 41 Montage avec tête d'ancrage fileté pour la surveillance de charge

- (1) Une tête d'ancrage fileté type ER pour la surveillance de la charge (tête d'ancrage E avec filetage extérieur) est montrée sur une plaque d'ancrage (plaque de support) NC-U. Le montage de têtes d'ancrage filetés est également possible sur les plaques d'ancrage NC, E, GC ou CS.

6.5.2. ANCRAGES TYPE NC ET NC-U @ 53/64 MPa

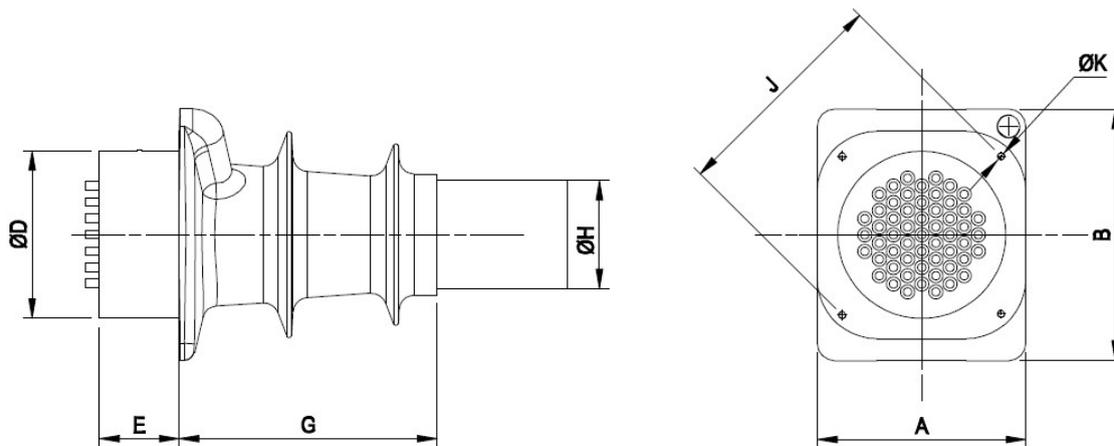


Figure 42 Dimensions des ancrages type NC et NC-U @53/64 MPa

Type	Unité	A	B	G	Têtes d'ancrage E/EP ⁽²⁾		Têtes d'ancrage E(QT)/EP(QT) ⁽²⁾		ØH	J ⁽¹⁾	K
					ØD	E	ØD	E			
NC	6-55	420	510	520	340	160	340	118	183	452	M16
NC-U	6-55	420	510	520	340	160	340	118	223	452	M16

Toutes les dimensions en [mm]

- (1) J entraxe des trous de fixation de la plaque au coffrage
(2) E les dimensions extérieures de E et EP – ou E (EQ) et EP (QT) – sont identiques

6.5.3. ARMATURES DE FRETTEGE LOCAL DES ANCRAGES TYPE NC ET NC-U @ 53/64 MPa

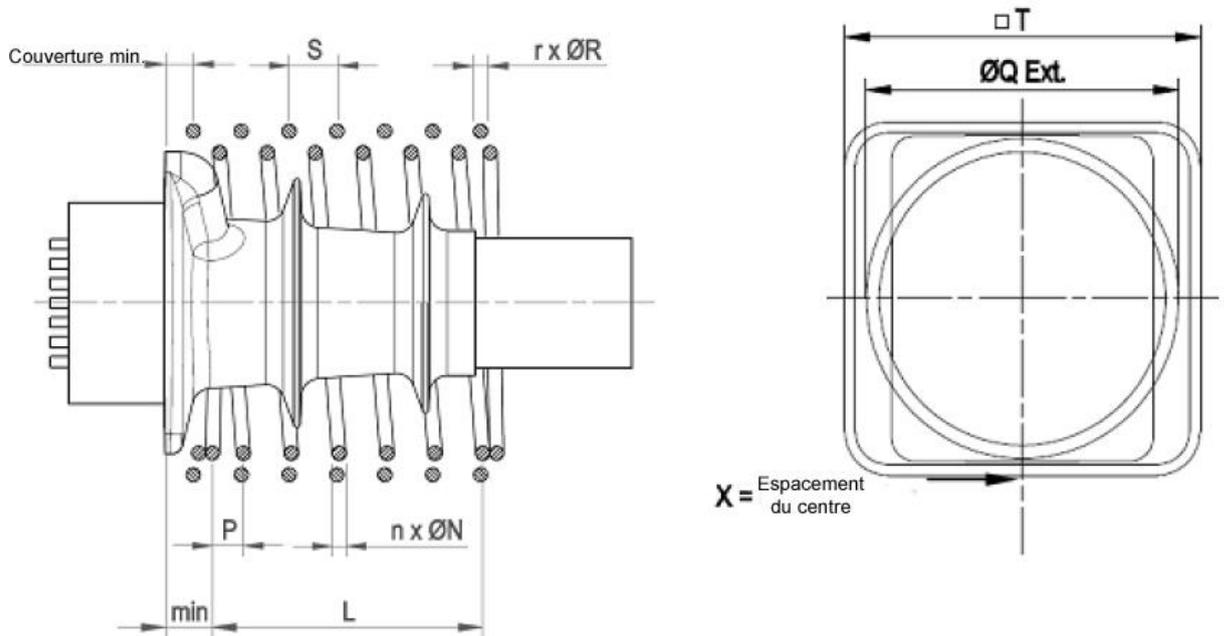


Figure 43 Armatures de frettage local des ancrages type NC et NC-U @53/64 MPa

Frettes pour béton avec $f_{c,min}(t) \geq 53/64 \text{ N/mm}^2$ (cylindre/cube) lors de la mise en tension

Unité	FRETTE HELICOÏDALE					RENFORT ORTHOGONAL				X
	ØN	n ⁽¹⁾	P	ØQ	L	ØR	r ⁽²⁾	S	T	
6-55	20	11	55	580	495	18	11	80	620	650

Toutes les dimensions en [mm]. Le renforcement consiste en une combinaison de spirale et d'étriers. D'autres combinaisons avec des performances équivalentes (devant être approuvées par VSL) sont également possibles.

Frettes en acier $f_{yk} \geq 500 \text{ N/mm}^2$.

- (1) n Nombre de spires, y compris premier et dernier tour requis pour l'ancrage de spirale
- (2) r Nombre de couches de renforcement

6.6. ANCRAGES TYPE H @ 28/35MPa

6.6.1. ARMATURE DE FRETTAGE LOCAL DES ANCRAGES TYPE H @ 28/35 MPa

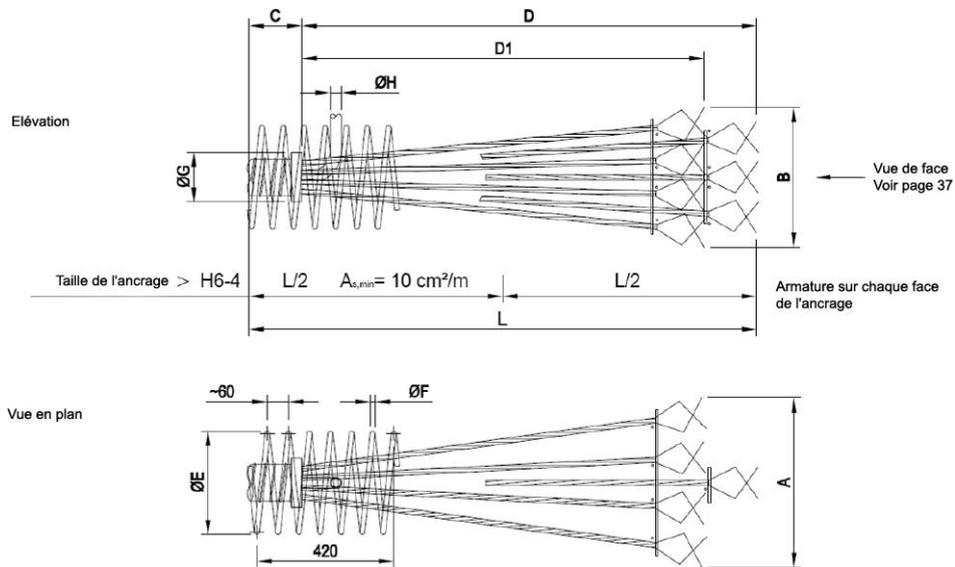


Figure 44 Ancre et armature de frettage local des ancrages type H @ 28/35 MPa

Frettes pour béton avec $f_{c,min}(t) \geq 28/35 \text{ N/mm}^2$ (cylindre/cube) lors de la mise en tension

Unité	A	B	(1)	D	B	(1)	C	D1	D	ØE	ØF	ØG	ØH
	Disposition 1			Disposition 2									
6-1	90	90	1	-	-	-	-	-	1 350	-	-	-	16/20
6-2	190	90	2	-	-	-	-	-	1 350	-	-	-	16/20
6-3	290	90	3	-	-	-	-	-	1 350	-	-	64	21/25
	210	90	2	-	-	-	-	1 150	1 350	-	-	64	21/25
6-4	390	90	4	210	190	4	-	-	1 350	-	-	70	28/32
	310	90	2	-	-	-	155	1 150	1 350	-	-	70	28/32
6-5	330	90	3	-	-	-	155	-	1 350	-	-	80	28/32
6-7	450	90	4	230	210	5	155	1 150	1 300	200	16	83	28/32
6-12	430	230	8	-	-	-	155	1 150	1 300	230	16	114	28/32
	-	-	-	390	330	12			-				
6-15	450	230	9	370	370	9	155	1 150	1 300	300	16	130	28/32
6-19	570	230	10	470	390	16	155	1 150	1 300	300	16	140	28/32
6-22	690	230	12	-	-	-	155	1 450	1 600	350	16	146	28/32
	-	-	-	490	470	20		1 250	1 400				
6-27	690	260	17	-	-	-	155	1 500	1 650	350	16	171	28/32
	-	-	-	530	510	20		1 450	1 600				
6-31	810	260	14	-	-	-	165	1 750	1 900	400	20	171	28/32
	-	-	-	570	510	20		1 550	1 700				
6-37	1050	370	18	-	-	-	175	2 400	2 550	400	20	178	28/32
	-	-	-	690	510	24		1 850	2 000				

Frettes en acier $f_{yk} \geq 500 \text{ N/mm}^2$.

(1) Nombre de torons de longueur D1

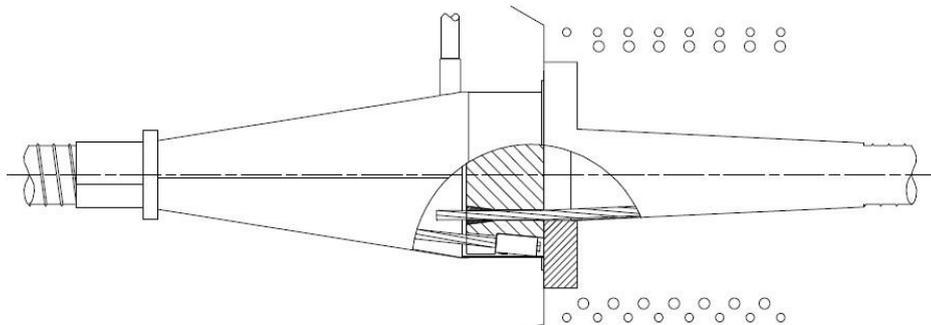
6.6.2. DISPOSITION ET DIMENSIONS MINIMALES DES SECTIONS DE BETON POUR ANCRAGES TYPE H @ 28/35 MPa

	Unité	Disposition	Unité	Disposition	Unité	Disposition	Unité	Disposition
Vue de Face	6-1/6-2	1	6-3	1	6-4	1	6-4	2
Vue de Face	6-5	1	6-7	1 / 2	6-12	1	6-12	2
Vue de Face	6-15	1	6-15	2	6-19	1	6-19	2
Vue de Face	6-22	1	6-22	2	6-27	1	6-27	2
Vue de Face	6-31	1	6-31	2	6-37	1	6-37	2
● Toron de longueur D1		○ Toron de longueur D		$f_{t, \min(t)} \geq 28/35 \text{ N/mm}^2$		Lors de la Mise en Tension		

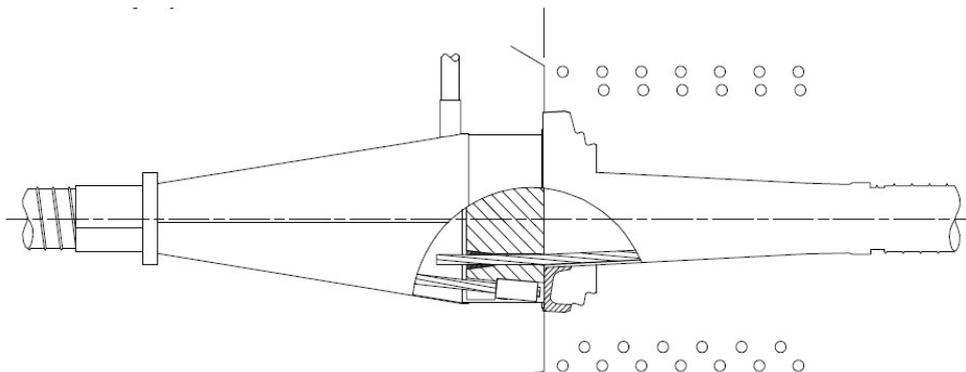
6.7. COUPLEURS TYPE K

6.7.1. DISPOSITIONS DES CATÉGORIES D'UTILISATION

Coupleur type K avec un ancrage type E



Coupleur type K avec un ancrage type CS



Coupleur type K avec un ancrage type GC

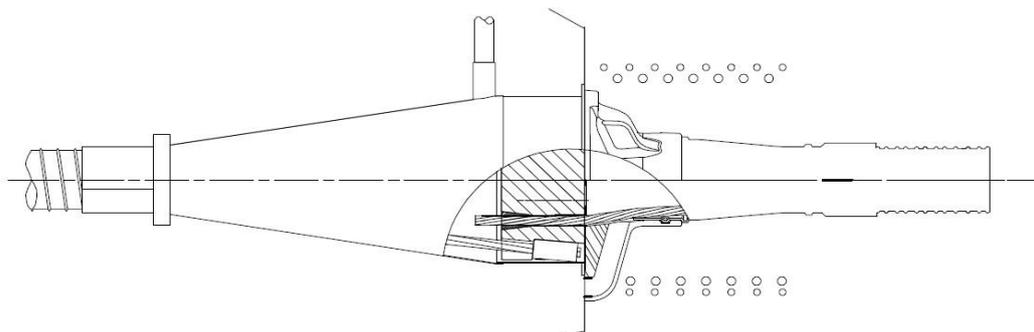


Figure 45 Disposition des catégories d'utilisation des coupleurs type K

Note : Les ancrages indiqués ci-dessus correspondent au niveau de protection 1. Pour les câbles encapsulés et de type EIT, on opte pour des composants polymères et des éléments isolants.

6.7.2. COUPLEURS TYPE K

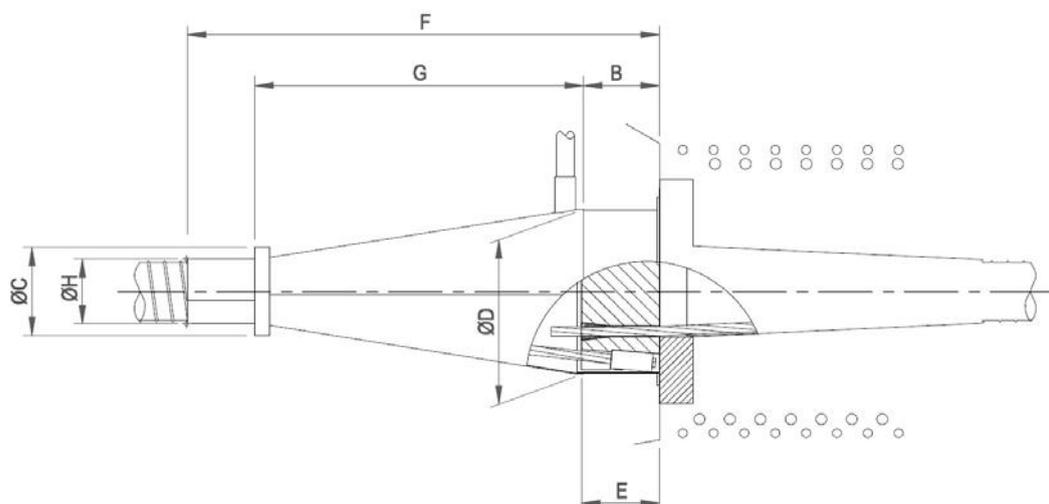


Figure 46 Dimensions des coupleurs type K

Unité	$\varnothing C$	$\varnothing D$	B	F	G	$\varnothing H$	E
6-3	76	150	160	430	214	62	118
6-4	83	160	160	440	218	67	118
6-7	95	190	160	560	321	77	128
6-12	121	240	160	660	423	97	128
6-15	133	270	160	770	532	102	128
6-19	146	280	160	770	532	112	128
6-22	159	310	160	910	631	122	128
6-27	168	350	180	980	688	132	150
6-31	178	360	180	970	658	142	150
6-37	203	400	200	1200	868	155	168

Toutes les dimensions en [mm]

6.8. COUPLEURS TYPE V

6.8.1. DISPOSITION DES CATÉGORIES D'UTILISATION

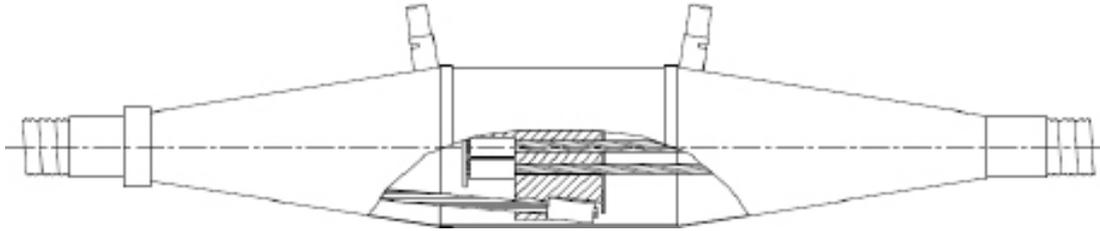


Figure 47 Disposition des catégories d'utilisation des coupleurs type V

Note : Les ancrages figurant ci-dessus correspondent au niveau de protection 1 (PL1 conformément au *fib Bulletin 33*). Pour les câbles encapsulés (PL2) et les câbles isolés électriquement (PL3), on opte pour les composants en polymère et les éléments isolants.

6.8.2. COUPLERS TYPE V

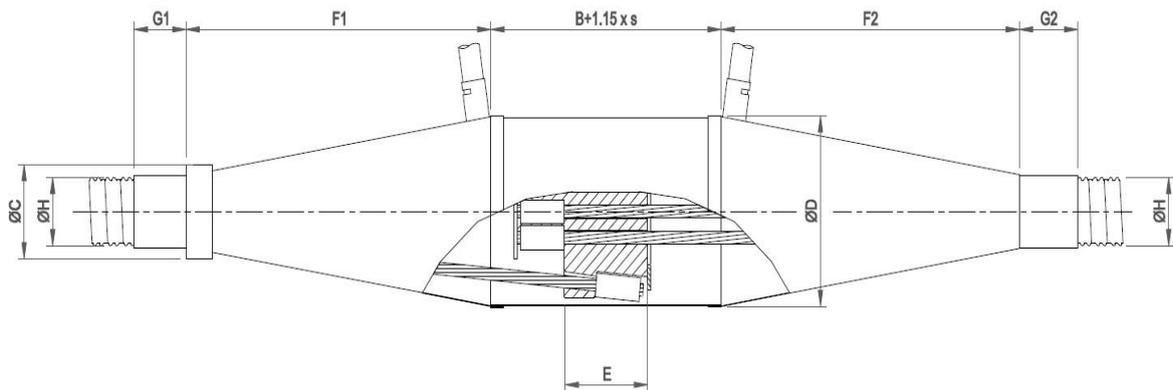


Figure 48 Dimensions des coupleurs type V

Unité	ØC	ØD	B	F1	F2	G1	G2	ØH	E
6-3	76	150	210	210	200	60	70	60	118
6-4	83	160	220	220	210	60	70	65	118
6-7	95	190	220	320	310	80	90	75	128
6-12	121	240	220	420	410	80	90	95	128
6-15	133	270	220	530	520	80	90	100	128
6-19	146	280	220	530	520	80	90	110	128
6-22	159	310	220	630	620	120	130	120	128
6-27	168	350	240	690	670	110	130	130	150
6-31	178	360	240	660	640	130	150	140	150
6-37	203	400	260	870	850	130	150	153	168

Toutes les dimensions en [mm]

s = déplacement du coupleur à la mise en tension

6.9. NICHES POUR ANCRAGES – EXIGENCES DE DEGAGEMENT

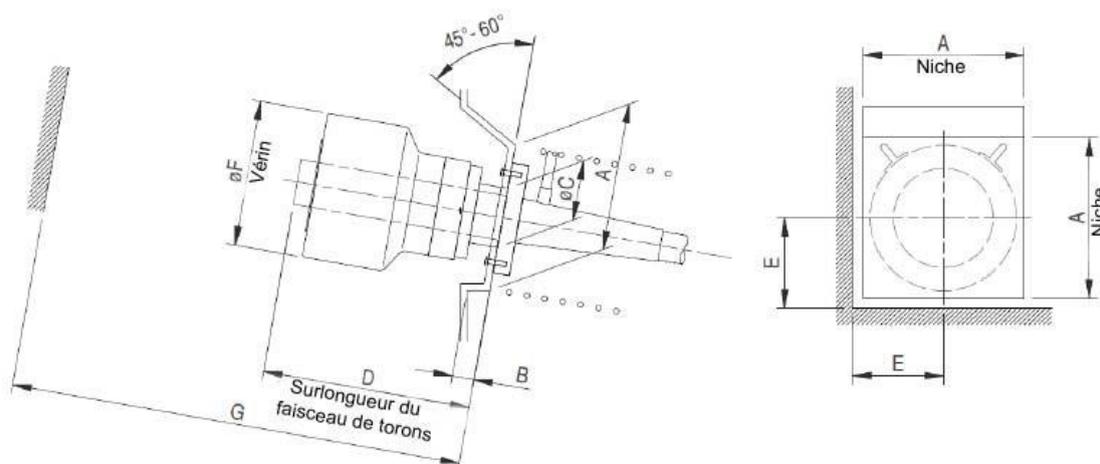


Figure 49 Dimensions des niches pour ancrages – Exigences de dégagement

Unité	Vérin ZPE	A	B	øC	D	E	øF	G	Poids kg
6-1	ZPE-23FJ	135	140	40	300	90	116	1 200	23
	ZPE-30	200			600	100	140	1 350	28
6-2	ZPE-60	170	140	60	650	140	180	1 100	74
6-3	ZPE-60	195	140	70	650	140	180	1 100	74
6-4	ZPE-7A	220	145	80	650	200	280	1 400	115
6-7	ZPE-12St2	305	150	90	670	200	310	1 300	151
	ZPE-200				950	210	315	2 000	308
	ZPE-185				620	180	300	1 220	280
6-12	ZPE-19	370	165	125	850	250	390	1 500	294
6-15	ZPE-460/31	460	175	150	700	300	485	1 500	435
	ZPE-500				1 050	330	550	2 100	1 064
6-19	ZPE-460/31	460	185	160	700	300	485	1 500	435
	ZPE-500				1 050	330	550	2 100	1 064
	ZPE-500K				1 150	330	510	2 000	450
6-22	ZPE-500	530	190	175	1 050	330	550	2 100	1 064
	ZPE-580				860	280	500	1 620	650
6-27	ZPE-750	595	200	195	1 150	365	520	2 600	1 100
6-31	ZPE-750	595	210	200	1 350	365	520	2 600	1 100
	ZPE-1000				1 200	450	790	2 400	2 290
6-37	ZPE-1000	640	225	225	1 200	450	790	2 400	2 290
	ZPE-1250				1 250	375	620	2 550	1 730
	ZPE-980				950	360	650	1 760	1 170
6-43	ZPE-1000	680	235	250	1 200	450	790	2 400	2 290
	ZPE-1250				1 250	375	620	2 700	1 730
6-55	ZPE-1000	760	250	260	1 200	450	790	2 400	2 290
	ZPE-1250				1 250	375	620	2 700	1 730
	ZPE-1450				1 010	420	770	1 850	1 690
6-55	ZPE-1350	760	250	260	1000 (2)	470	840	3 500 (2)	3 500 (2)

Notes : (1) Si une niche plus profonde > B est nécessaire, le dégagement minimum latéral E s'applique en lieu et place de la dimension A de la niche

(2) Les dimensions D, G ainsi que le poids du vérin ZPE 1350 dépendent de la configuration du vérin.

Note générale : D'autres modèles de vérins peuvent être utilisés s'ils sont validés par VSL. Se référer à la dernière révision de la brochure de précontrainte VSL ou contactez VSL pour une liste des équipements à jour. Les dimensions ci-dessus dépendent des unités de précontrainte et des vérins disponibles. Celles-ci peuvent être réduites s'il est absolument nécessaire. Dans ces cas, consultez les Centre Techniques VSL.

6.10. GAINES

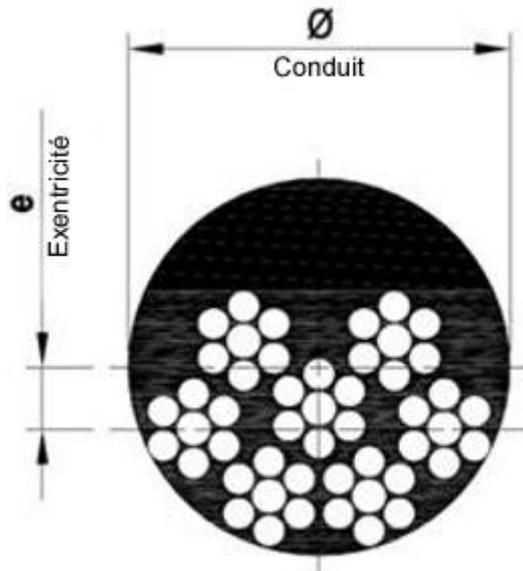


Figure 50 Dimensions des gaines

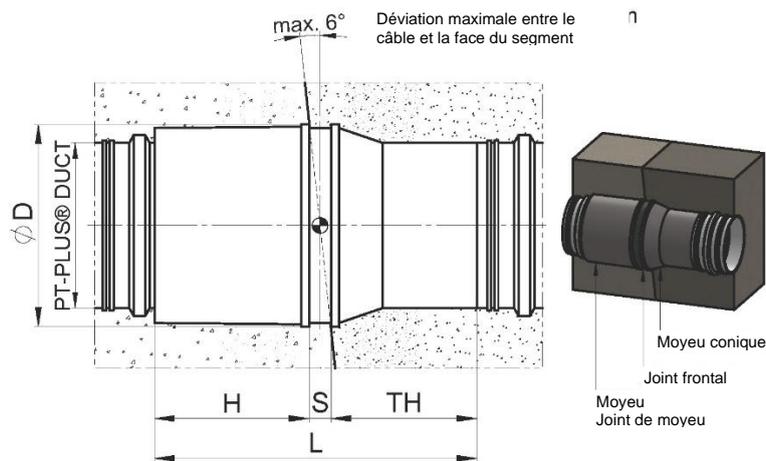


Figure 51 Coupleurs de segments – Gaine ronde PT-PLUS

Gaine PT-Plus®	ØD	L	H	S	TH
59	φ88	181,0	76,0	10	95
65	φ85	195,5	90,0	11	94,5
76	φ106	195,5	89,5	12	94,0
85	φ115	195,5	89,0	13	93,5
100	φ130	206,0	99,0	14	93,0
115	φ145	206,0	98,0	16	92,0
130	φ160	195,5	97,0	17	91,5
150	φ180	206,0	96,5	19	90,5

Toutes les dimensions en [mm]

N° Torons	Unité	Gaine nervurée en feuillard d'acier (1)(5)		Conduit VSL PT-PLUS (2)(5)		Tube lisse métallique (3)(5)	Conduit en Polymère (4) (5)	Conduit en Polymère pour Toron Gainé (4)(5)
		Øint / Øext	e	Øint / Øext	e	Øext x t	Øext x t min	Øext x t min
1	6-1	25/30	5	22/25	4	25.0 x 2.0	25 x 2.0	32 x 2.4
2	6-2	40/45	9			42.4x2.0/2.5/3.0	40 x 3.0	50 x 3.7
3	6-3	40/45	6			42.4x2.0/2.5/3.0	50 x 3.7	
4	6-4	45/50	7			48.3x2.0/2.5/3.0	50 x 3.7	75 x 5.6
5	6-7	50/57	8	58/63	13	76.1 x2.0/2.5/3.0	75 x 5.6	90 x 5.4
6		55/62	9	58/63	11			
7		55/62	7	65/70	14			
8	6-12	65/72	11	76/81	18	80.0 x2.0/2.5	90 x 5.4	110 x 5.3
9		65/72	9		16			
10		70/77	11		15			
11		70/77	9		13			
12		75/82	11		12			
13	6-15	80/87	13	85/91	16	101.6 x3.0/4.0/5.0	110 x 5.3	125 x 6.0
14		80/87	11		16			
15		80/87	10		12			
16	6-19	85/92	12	100/106	22	101.6 x3.0/4.0/5.0	110 x 5.3	140 x 6.7
17		85/92	11		20			
18		90/97	13		19			
19		90/97	12		18			
20	6-22	100/107	17	100/106	17	114.3 x3.0/4.0/5.0	125 x 6.0	
21		100/107	16		16			
22	6-27	100/107	15	115/121	15	114.3 x3.0/4.0/5.0	125 x 6.0	160 x 7.7
23		100/107	14		22			
24		100/107	13		22			
25		110/117	18		21			
26		110/117	17		21			
27	6-31	110/117	16	130/136	20	127.0 x3.0/4.0/5.0	140 x 6.7	160 x 7.7
28		110/117	15		27			
29		120/127	21		27			
30		120/127	20		26			
31	6-37	120/127	19	130/136	25	139.7 x3.0/4.0	140 x 6.7	180 x 8.6
32		120/127	18		24			
33		120/127	17		23			
34		120/127	16		22			
35		130/137	22		22			
36		130/137	21		21			
37		130/137	20		20			
38	6-43	140/147	25	150/157	31	152.4 x3.0/4.0/5.0	160 x 7.7	200 x 9.6
39		140/147	24		30			
40		140/147	23		29			
41		140/147	23		29			
42		140/147	22		28			
43	6-55	140/147	21	150/157	27	168.3 x3.0/4.0	180 x 8.6	225 x 10.8
44		150/157	27		27			
45		150/157	27		27			
46		150/157	26		26			
47		150/157	25		25			
48		150/157	24		24			
49		150/157	23		23			
50		160/167	29		24			
51		160/167	28		23			
52		160/167	27		22			
53		160/167	27		22			
54		160/167	27		22			
55	160/167	26	21					

- (1) Le Ø extérieur des nervures hélicoïdales n'est communiqué qu'à titre indicatif. Leurs dimensions réelles doivent être vérifiées avec le fournisseur. Pour des câbles longs ou avec de fortes déviations, utiliser le diamètre immédiatement supérieur. Les gaines nervurées en feuillard d'acier de diamètre supérieur à 130mm respectent les prescriptions de la norme EN 523 pour les mêmes épaisseurs de feuillard.
- (2) Ø extérieur de conduit.
- (3) Valeurs selon normes EN 10255, EN 10216-1, EN 10217-1, EN 10219-2 et EN 10305-3.
- (4) Conduits PE 80 ou PE 100 en polypropylène (PP) ou polyéthylène (PE) selon normes EN 12201
- (5) Toutes les dimensions sont des valeurs recommandées. Les valeurs réelles peuvent varier selon la disponibilité et les exigences du projet. Sauf indication contraire, les dimensions correspondent aux câbles à torons nus. Pour les dimensions avec torons protégés et gainés, consultez VSL.

ANNEXE 2 - FICHE TECHNIQUE DU SYSTEME VSL DALLE

ANNEXE 2 - FICHE TECHNIQUE DU SYSTEME VSL DALLE	93
1. Chapitre 1 – Définition du système	94
1.1. Principe du système VSL Dalle	94
1.2. Caractéristiques des unités du système	95
1.3. Les ancrages	96
1.4. Utilisations, options et possibilités	97
2. Chapitre 2 – Torons et gaines	99
2.1. Torons utilisés	99
2.2. Sujétions du système sans injection	99
2.3. Conduits utilisés pour le système adhérent	99
2.4. Tracé des câbles	101
2.5. Installation des gaines et torons	103
2.6. Protection provisoire et lubrification	103
2.7. Eléments de calcul	104
3. Chapitre 3 – Ancrages	105
3.1. Description des pièces d'ancrage	105
3.2. Organisation de la qualité.	107
3.3. Installation des différents ancrages	107
3.4. Disposition des ancrages	108
3.5. Conditions géométriques et mécaniques d'emploi	109
3.6. Armature de frettage local	111
4. Chapitre 4 – Mise en tension	111
4.1. Matériel pour la mise en tension	111
4.2. Procédure de mise en tension et contrôle	112
5. Chapitre 5 – Injection et cachetage	114
5.1. Injection	114
5.2. Cachetage	115
6. Chapitre 6 – Schémas de principe	116
6.1. ELEMENTS STANDARDS DES ANCRAGES – CLAVETTES	117
6.2. ANCRAGES TYPE S 6-1 ETSi 6-1	118
6.3. ANCRAGES TYPE S 6-1 PLUS ET Si 6-1 PLUS	121
6.4. ANCRAGES TYPE S 6-1 STANDARD ET Si 6-1 STANDARD	124
6.5. CCOUPLEUR A RESSORT SK 6-1 SL	127
6.6. ANCRAGES TYPE S 6-4 ET Si 6-4	128
6.7. ARMATURES DE FRETAGE LOCAL D'ANCRAGE – ANCRAGES S 6-1	131
6.8. ARMATURES DE FRETAGE LOCAL D'ANCRAGE ANCRAGE S 6-1 PLUS & S6-1 STANDARD	131
6.9. FRETES ET ARMATURES COMPLEMENTAIRES – ANCRAGES S 6-4	133
6.10. VERINS DE MISE EN TENSION ET EXIGENCES DE DÉGAGEMENT	134
6.11. GAINES	136

1. Chapitre 1 – Définition du système

1.1. Principe du système VSL Dalle

Le câble ou l'unité du Système VSL Dalle est composé d'un câble (composé d'un ou plusieurs torons en acier à haute résistance) et des ancrages placés à ses extrémités.

Dans ce système le câble peut être formé par une seule unité ou bien par un assemblage de plusieurs autres unités parallèles peu espacées (en général juste un toron).

Les câbles peuvent être :

- **Non adhérents.** Les monotorons graissés et gainés individuellement sont disposés directement dans le béton. Cette propriété des câbles rend leur protection indépendante de la structure. Seuls les monotorons graissés et gainés seront pris en compte dans cette ETE (se reporter au [Chapitre 2.1 – Torons utilisés](#) de la présente Annexe).
- **Adhérents.** Les torons nus sont logés dans un conduit cylindrique ou plat. Le vide ainsi créé est rempli après mise en tension d'un coulis injecté conformément à la norme EN 447 ou au DEE-160027-00-0301 qui a pour mission créer l'adhérence avec la structure et protéger contre la corrosion.

Les torons individuels sont conformes à la norme *prEN 10138-3 : Aciers de précontrainte – Partie 3 : Toron*. Il s'agit de torons 7 fils d'un diamètre nominal de Ø 15,2 et de Ø15,7 mm ($f_{pk} = 1\ 860\ \text{N/mm}^2$ ou $f_{pk} = 1\ 770\ \text{N/mm}^2$). Tant que la norme EN 10138 reste une prénorme, les torons 7 fils employés seront conformes aux dispositions nationales.

En changeant le type et le nombre de torons, il est possible d'obtenir des câbles ayant une résistance caractéristique variant de 260 à 1 116 kN.

Chaque toron est individuellement mis en tension et bloqué dans un trou tronconique d'ancrage au moyen de clavettes. Les clavettes serrent le toron et permettent de transférer la force de traction depuis le vérin vers l'ancrage.

La force établie par le calcul définit le type et le nombre de torons. Le type d'ancrage est défini par les exigences du projet et la catégorie d'utilisation.

Les câbles de précontrainte sont définis, de manière générale, par les ancrages (voir [Chapitre 3 – Ancrages](#) de la présente Annexe), le type de toron et la longueur.

A titre d'exemple, un « *câble VSL S 6-1 Plus Y1860 S7-15.7 L = 20,0 m* » est un câble qui fait 20 mètres de long, formé d'un toron de diamètre nominal 15,7, $f_{pk} = 1\ 860\ \text{MPa}$, et ayant deux ancrages VSL S6-1 Plus à ses extrémités.

Les unités incluses dans cette ETE possèdent 1 ou 4 torons. Les unités de dalle de type VSLab® avec 2, 3, 4 et 5 torons sont couvertes par l'ETE 13/0978.

Dans certains cas, il est possible de répliquer des unités ayant plusieurs de torons en disposant des unités monotorons parallèles et d'ajuster la force de précontrainte en modifiant l'espacement entre les unités individuelles.

1.2. Caractéristiques des unités du système

Le système peut être utilisé avec des torons de résistance caractéristique ou d'un diamètre inférieur (par exemple, torons avec $f_{pk} = 1\,770\text{ N/mm}^2$ ou $\varnothing 15,2$). Les dispositions des câbles avec torons dont la résistance caractéristique $f_{pk} = 1\,860\text{ N/mm}^2$ s'appliquent également aux câbles avec torons ayant $f_{pk} < 1\,860\text{ N/mm}^2$.

La norme *prEN 10138-3* : « *Aciers de précontrainte – Partie 3 : Torons* » donne les valeurs nominales suivantes pour les torons de précontrainte composant les unités de précontrainte VSL :

- Allongement à rupture : $\geq 3,5\%$
- Relaxation à $0,70 f_{pk}$ après 1 000 heures : $\leq 2,5\%$
- Relaxation à $0,80 f_{pk}$ après 1 000 heures : $\leq 4,5\%$
- Résistance à la fatigue ($0,70 f_{pk}$; 190 n/mm^2) : $\geq 2 \times 10^6$ cycles
- Coefficient D de traction déviée : $\leq 28\%$
- Module d'élasticité E_p : $195\,000\text{ N/mm}^2$

Le module réel d'élasticité du toron, mesuré par le fournisseur et communiqué au moment de sa livraison, sera pris en compte pour calculer les allongements de câble. Les torons gainés et protégés individuellement auront les mêmes propriétés mécaniques que les torons nus.

Avec les caractéristiques de torons définies par *prEN 10138-3* et les valeurs des sections des câbles A_p , les forces maximales recommandées par EN 1992-1-1 sont :

$$P_{max} = \min \{k_1 \cdot A_p \cdot f_{pk}; k_2 \cdot A_p \cdot f_{p0,1k}\}, \text{ avec } k_1 = 0,8, k_2 = 0,9$$

$$P_{m0,max} = \min \{k_7 \cdot A_p \cdot f_{pk}; k_8 \cdot A_p \cdot f_{p0,1k}\}, \text{ avec } k_7 = 0,75, k_8 = 0,85$$

où P_{max} est la force maximale appliquée à un câble et $P_{m0,max}$ est la valeur maximale de la force initiale après transfert de la charge vers l'ancrage.

Conformément aux dispositions de l'EN 1992-1-1, il est possible d'appliquer temporairement une force de précontrainte supérieure pouvant atteindre une valeur $k_3 A_p f_{p0,1k}$ avec $k_3 = 0,95$.

P_{max} et $P_{m0,max}$ peuvent être augmentées conformément à la partie 4 de l'EN 1992-1-1 si les valeurs réelles du toron sont $f_{p0,1k} / f_{pk} > 0,88$.

En prenant $f_{p0,1k} = 0,88 f_{pk}$ les forces obtenues pour les unités de précontrainte VSL sont les suivantes:

TYPE DU TORON		Y1770 S7-15.7 $f_{pk} = 1\,770\text{ N/mm}^2$ $F_{pk} = 266\text{ kN}; F_{p0,1k} = 234\text{ kN}$			Y1860 S7-15.3 $f_{pk} = 1\,860\text{ N/mm}^2$ $F_{pk} = 260\text{ kN}; F_{p0,1k} = 229\text{ kN}$			Y1860 S7-15.7 $f_{pk} = 1\,860\text{ N/mm}^2$ $F_{pk} = 279\text{ kN}; F_{p0,1k} = 246\text{ kN}$		
		A_p mm ²	P_{max} kN	$P_{m0,max}$ kN	A_p mm ²	P_{max} kN	$P_{m0,max}$ kN	A_p mm ²	P_{max} kN	$P_{m0,max}$ kN
S 6-1 / H 6-1	6- 1	150	210,3	198,6	140	206,2	194,8	150	221,0	208,7
H 6-2	6- 2	300	420,6	397,2	280	412,5	389,6	300	441,9	417,4
H 6-3	6- 3	450	630,8	595,8	420	618,7	584,3	450	662,9	626,1
S 6-4 / H 6-4	6- 4	600	841,1	794,4	560	824,9	779,1	600	883,9	834,8

Note: La force appliquée à la structure doit être conforme aux normes nationales

1.3. Les ancrages

1.3.1. Présentation des ancrages

Les ancrages du Système VSL Dalle sont tous (à l'exception des ancrages par adhérence type H) disponibles pour utilisation avec des câbles **non adhérents** ou **adhérents**. Les ancrages peuvent être classés comme suit :

Ancrages actifs types S 6-1, S 6-1 Standard, S 6-1 PLUS et S 6-4

Ces ancrages actifs sont conçus pour ancrer les câbles à l'extrémité de mise en tension. Ils sont constitués d'une tête d'ancrage avec des trous tronconiques abritant les clavettes de blocage permanentes. Ces ancrages peuvent être utilisés pour les câbles **non adhérents** et **adhérents**. Contrairement au système VSL multitoron, dans les ancrages de dalle la tête d'ancrage et la plaque d'appui sont intégrées dans un seul composant de la structure (appelé tête d'ancrage ou ancrage).

La continuité de la protection est assurée par un manchon en matière polymère entre la gaine et la tête d'ancrage. Dans le cas du S 6-1 PLUS, une protection en matière polymère couvre les faces externes de l'ancrage dans la continuité de la gaine en polymère.

Dans le cas de câbles non adhérents un capot est exigé pour encapsuler les clavettes et la longueur non gainée du toron après remplissage avec le produit de protection (identique ou compatible avec les monotorons graissés et gainés).

Les ancrages S 6-1, S 6-1 Standard et S 6-1 PLUS peuvent être utilisés comme ancrages intermédiaires disposés à un joint de construction lorsque les torons les traversent. Dans ce cas la première partie du câble est mise en tension. Après la construction de la seconde partie de la dalle, le toron est tendu à l'ancrage placé à l'extrémité du câble et l'ancrage intermédiaire devient obsolète, mais reste en place. Les empreintes de clavette sur la partie libre du toron sont acceptables. On devra éviter cependant de créer des empreintes de clavettes superposées et d'avoir des déviations angulaires du toron avant ou après l'ancrage intermédiaire.

Ancrages passifs types S 6-1, S 6-1 Standard, S 6-1 PLUS et S 6-4

Ces ancrages passifs bloquent les câbles à l'extrémité passive, où aucun effort de traction n'est appliqué. Ces ancrages sur l'extrémité passive sont les mêmes que sur l'extrémité de mise en tension et ils peuvent être utilisés pour les câbles **non adhérents** et **adhérents**.

Les clavettes sont installées à l'intérieur des ancrages qui restent accessibles et peuvent être contrôlées lors de la mise en tension.

Ces ancrages peuvent également être utilisés en tant qu'ancrages passifs noyés. Dans ce cas, leurs clavettes sont pré-bloquées dans les corps d'ancrage.

La protection de ces ancrages passifs est identique à celle des ancrages actifs.

Coupleur à ressort type SK 6-1 SL

Ce coupleur mobile à ressort permet de connecter les deux extrémités d'un toron au moyen d'un corps d'ancrage qui abrite deux clavettes opposées qui sont maintenues dans leur position par un ressort.

Ancrages avec injection type H 6-1 à H 6-4

Ces ancrages peuvent être utilisés pour le système **adhérent**. Ils sont identiques à ceux du système VSL Multitoron qui a été détaillé en Annexe 1 de cette ETE (voir [Chapitre 3.1.1 – Ancrages actifs et ancrages passifs](#))

1.3.2. Liste des ancrages agréés

Les unités du Système VSL Dalle couvertes dans cette ETE sont :

Système	ANCRAGE	Extrémité active ou passive			Coupleur à ressort	Adhérent
	UNITÉ					
Non adhérent	6-1	S 6-1	S6-1 PLUS	S 6-1 Standard	SK 6-1 SL	
	6-4	S 6-4				
Adhérent	6-1	S 6-1	S6-1 PLUS	S 6-1 Standard	SK 6-1 SL	H 6-1
	6-2					H 6-2
	6-3					H 6-3
	6-4	S 6-4				H 6-4

Note : Les ancrages du système adhérent incluent des composants pour permettre l'injection du coulis de ciment.

Les torons du Système de précontrainte VSL Dalle sont mis en tension individuellement avec les vérins VSL, qui sont présentés au [Chapitre 4-Mise en tension](#) de la présente Annexe. D'autres modèles de vérins peuvent être utilisés à condition qu'ils soient approuvés par VSL.

1.4. Utilisations, options et possibilités

1.4.1. Utilisations et options des unités du système VSL Dalle

Les unités du Système VSL Dalle sont exclusivement intérieures au béton ; elles peuvent être :

- **Non adhérentes**, c'est-à-dire avec des monotorons graissés et gainés, non adhérents à la structure
- **Adhérents**, c'est-à-dire avec des torons nus adhérents à la structure disposés dans une gaine avec coulis de ciment

Ces unités peuvent être aussi :

- Remplaçables pour autant qu'elles ne soient pas adhérentes à la structure
- Encapsulées et étanches
- Isolées électriquement

ANCRAGES	S 6-1	S 6-1 PLUS	S 6-1 Standard	S 6-4	SK 6-1 SL	H 6-1 to 6-4
	UTILISATIONS					
Câble intérieur* adhérent avec conduit métallique	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Câble intérieur* adhérent avec conduit en polymère	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Câble intérieur* non adhérent	✓	✓	✓	✓	✓	
Câble extérieur * avec coulis de ciment						
Câble extérieur* avec injection flexible						
Câble extérieur* pour matériaux divers (1)	✓	✓	✓			
Câble avec tension ajustable (2)	✓	✓	✓	✓	✓	
Câble remplaçable (3)	✓	✓	✓	✓	✓	
Câble encapsulé (étanche)	✓	✓		✓	✓	
Câble isolé électriquement				✓		

(*) intérieur/extérieur au béton

Note générale Les ancrages du système adhérent incluent des composants permettant l'injection de coulis de ciment.

- (1) L'ancrage doit être noyé dans le bloc de béton
- (2) Seulement s'ils ne sont pas adhérents à la structure
- (3) Le bureau d'études doit vérifier la faisabilité au regard du tracé du câble.

1.4.2. Possibilités du système VSL Dalle

Mise en tension partielle ou par étapes

La précontrainte peut être réalisée par étapes. Il est également possible de tendre certains torons individuels pour obtenir une mise en tension partielle. Une fois la force cible atteinte, on relâche la pression dans le vérin et les clavettes se bloquent dans la tête d'ancrage. A l'issue de chaque étape de précontrainte, les clavettes sont bloquées à l'intérieur de leurs cavités, transférant la charge du vérin vers l'ancrage. La procédure est identique en cas de câbles longs, où l'allongement nécessite plusieurs courses successives du vérin.

Libération de tension

Il est possible de libérer la tension d'un ancrage S 6-1, S 6-1 PLUS, S 6-1 Standard ou S 6-4 avec un outil spécial à condition que les surlongueurs nécessaires du toron aient été conservées et que les torons ne soient pas adhérents à la structure. La valeur de la surlongueur est donnée au [Chapitre 6.10 – Vérins de mise en tension et exigences de dégagement](#).

2. Chapitre 2 – Torons et gaines

2.1. Torons utilisés

Les torons sont présentés au [Chapitre 1.2 – Caractéristiques des unités du système](#) de cette Annexe. Ceux-ci devront être conformes à la norme *prEN 10138-3* : « *Aciers de précontrainte – Partie 3 : Torons* ». Elles peuvent être « Y1860S7 – N° 1.1366 » ou « Y1770S7 – N° 1.1365 ».

Les monotorons graissés et gainés individuellement sont utilisés comme câbles sans injection intérieurs ou extérieurs au béton ou à tout autre matériau. Ils sont conformes au DEE-160004-00-0301 qui spécifie les exigences, les méthodes de vérification et les critères d'acceptation de la graisse et de la gaine.

2.2. Sujétions du système sans injection

Les monotorons graissés et gainés sont installés directement en contact avec le béton. Des supports espacés de manière régulière sont nécessaires pour atteindre la géométrie requise.

Le raccordement de la gaine du monotoron au corps d'ancrage est réalisé au moyen d'un manchon pour un toron (en cas d'ancrages S 6-1, S6-1 PLUS et S 6-1 Standard) ou pour 4 torons (pour l'ancrage S 6-4). Ces raccordements sont en polymère et assurent l'étanchéité avec la gaine.

2.3. Conduits utilisés pour le système adhérent

Le Système VSL Multitoron peut utiliser plusieurs types de gaines qui sont décrites dans cette partie. Le type de gaine dépendra des exigences du projet, de l'utilisation finale de la structure et du type d'unités de précontrainte.

Le Système VSL Dalle est utilisé avec des gaines cylindriques (pour les unités 6-1) et avec des gaines plates (pour les unités 6-4). Les détails sont donnés au [Chapitre 6.11 – Gains](#) de la présente Annexe.

2.3.1. Types et dimensions des conduits utilisables

Suivant l'utilisation spécifique et le niveau de protection 1, 2 ou 3 requis (PL1 à PL3 conformément au *fib Bulletin 33 – Durabilité des câbles de précontrainte*), différents types de gaines sont utilisés. D'une façon générale, les gaines doivent être en mesure de définir le profil des câbles spécifiés (si ceux-ci sont noyés dans le béton), d'assurer une étanchéité lors de l'injection du coulis et de protéger les torons contre l'attaque de la corrosion externe (dans le cas de câbles extérieurs). Par conséquent, celles-ci doivent être mécaniquement résistantes, présenter une continuité de forme, assurer une continuité d'étanchéité au niveau des joints de construction et éventuellement une continuité d'isolation électrique sur toute leur longueur. Elles devront également garantir une adhérence efficace à la structure (lorsque celle-ci est exigé) et ne causer aucune agression chimique à l'acier de précontrainte.

Le tableau suivant présente les types de gaines qui sont généralement adoptées pour différentes applications :

Applications	Conduits	Gaine métallique	Gaine en polymère
		Gaine plate nervurée en feuillard d'acier	VSL PT-PLUS®
Câble intérieur au béton avec coulis de ciment	Standard (PL1)	✓	✓
	Étanche (PL2)	NA	✓ ^(a)
	Câbles isolés électriquement (PL3)	NA	✓ ^(a)
NOTES :			
Générales Niveaux de protection (PL1, PL2 and PL3) suivant <i>fib Bulletin 33-Durabilité des câbles de précontrainte</i>			
^(a) Les câbles PL2 et PL3 avec VSL PT-PLUS® sont adhérents à la structure.			
✓ : Conseillé		NP : Non admis	

Les gaines du Système VSL Dalle, soit avec section ronde ou plate, doivent être assez grandes pour permettre d'installer facilement les torons et d'injecter le produit de remplissage de protection de manière appropriée.

La hauteur de la section oblongue des gaines plates est significativement inférieure à deux fois le diamètre du toron afin de s'assurer que ceux-ci restent parallèles côte à côte, dans la même position tout au long du câble.

Les dimensions de gaines recommandées et les valeurs d'excentricité figurent au [Chapitre 6.11 – Gaines](#) de la présente Annexe.

Les gaines peuvent être fournies en couronnes ou en segments droits.

2.3.2. Conduits métalliques

Les câbles sont le plus souvent isolés du béton par des gaines nervurées en feuillard d'acier. Cela correspond à un niveau de protection standard PL1 comme défini par le *fib Bulletin* 33. Les gaines plates sont formées à partir de gaines cylindriques de Catégorie 1 (gaines normales) selon EN 523.

Les raccordements entre couronnes ou tronçons sont réalisés au moyen d'un connecteur (coupleur). Les joints sont scellés soit par du ruban adhésif soit par des manchons thermo rétractables.

2.3.3. Gaines en polymère

En cas d'exigences élevées relatives à la protection contre la corrosion (PL2 et PL3 selon *fib Bulletin* 33) et à la résistance à la fatigue des câbles, VSL recommande d'utiliser la gaine nervurée en polymère VSL PT-PLUS®. Elle ne s'emploie que pour précontrainte intérieure au béton avec un coulis d'injection à base de ciment. Elle fournit une adhérence parfaite entre les câbles et la structure.

La gaine VSL PT-PLUS® est conforme au DEE-160004-00-0301. Les segments de la gaine sont connectés par soudage au miroir bout à bout ou au moyen de connecteurs qui assurent l'étanchéité et l'isolation électrique. Des supports à demi-coquille rigide sont installés sur les points hauts du tracé du câble afin d'éviter des dommages lors de la mise en tension du câble si son rayon est inférieur à deux fois le rayon de courbure minimal admissible.

Pour le dimensionnement, conformément à l'EN 1992, on peut admettre que les câbles installés dans les gaines VSL PT-PLUS en polymère ont une longueur de scellement 50 % plus grande que les câbles dans des gaines nervurées en métal.

2.3.4. Accessoires pour reprises, événements et purges

Les accessoires d'événements et, si besoin est, de reprises et de purge du coulis sont fixés aux gaines le long du tracé du câble afin d'obtenir un remplissage complet des câbles. Ces accessoires incluent des coquilles ou colliers fixés aux gaines et connectés aux tubes qui sont accessibles depuis l'extérieur. Les options suivantes sont disponibles :

Gaine	Accessoire de raccordement à la gaine	Accessoire d'événement
Gaine en feuillard d'acier	Coquille en polymère étanchée	Gaine en polymère
Gaine VSL PT-PLUS®	Coupleurs avec événement de coulis	Gaine en polymère

La position des points de reprises, événements et purges le long du profil du câble est définie par le design.

2.3.5. Raccordement avec les trompettes

Le corps d'ancrage du S6-1, S6-1 Standard et S6-1 PLUS est connecté à une trompette ou un manchon qui est aligné avec le toron. Dans le cas de S 6-4, les torons sont déviés par une trompette à la transition entre la gaine et la tête d'ancrage S 6-4. Cette trompette est considérée comme faisant partie de l'ancrage.

L'étanchéité entre la gaine et les trompettes est réalisée au moyen de ruban adhésif, de manchons thermo rétractables ou d'accessoires de gaines (par exemple, un coupleur VSL PT-PLUS®).

2.4. Tracé des câbles

Le tracé des câbles est défini par le projet.

2.4.1. Longueurs droites derrière les ancrages

Pour les ancrages du Système VSL Dalle, leur longueur de trompette suffit comme longueur droite derrière l'ancrage.

2.4.2. Rayons de courbure

Système non adhérent

Les rayons de courbure minimaux des monotorons graissés et gainés est :

$$r_{\min} \geq 2,50 \text{ m,}$$

Des parties des torons peuvent être incurvées en forme de U avec un rayon plus réduit pour constituer un ancrage non visitable. Ces parties du câble sont généralement appelées « ancrages boucles » (encore qu'ils ne soient pas considérés comme des ancrages par le DEE-160004-00-0301). Elles sont approximativement placées à mi-longueur du câble et sont mises en tension aux deux extrémités au même moment. Dans ce cas, le rayon minimum est :

$$r_{\min} \geq 0,60 \text{ m}$$

Dans le cas d'un ancrage avec plusieurs torons, les torons seront disposés de sorte que la force radiale provenant de la déviation de chaque toron ne cause aucun dommage au toron adjacent.

Système adhérent

Les rayons minimaux de courbure r_{\min} des gaines plates en feuillard d'acier et de la gaine plate VSL PT-PLUS® (voir Chapitre 6 de la présente Annexe) sont :

En plan :	$r_{\min} \geq 6,00 \text{ m}$, courbure du câble dans une direction uniquement
Élévation :	$r_{\min} \geq 2,50 \text{ m}$.

Pour la gaine ronde VSL PT-PLUS® 22/25, le rayon minimal est :

$$r_{\min} \geq 2,50 \text{ m}$$

Le rayon de courbure doit se conformer aux réglementations nationales existantes.

2.4.3. Espacement des supports et tolérance

La position des supports sous la gaine est définie par le design. D'ordinaire, on les installe approximativement tous les mètres pour un rayon de courbure important et tous les cinquante centimètres pour un petit rayon de courbure afin d'obtenir la géométrie requise. En cas de dalles précontraintes bidirectionnelles, le design définit également la séquence d'installation pour éviter que les câbles se croisent.

Les gaines et câbles sont fixées fermement à leurs supports à une distance empêchant les déformations et déplacements excessifs. Les tolérances sur les positions de câble dans les éléments en béton doivent être conformes à EN 13670.

Lorsqu'un câble est ou peut être dévié au voisinage d'une paroi en béton pouvant conduire à une poussée au vide, des barres de fretage additionnelles seront calculées et installées dans la structure. Une attention particulière doit être portée aux poussées au vide dues aux singularités structurelles, comme les trémies, par exemple.

Les câbles du Système VSL Dalle peuvent être installées dans des dalles ayant une épaisseur inférieure à 450 mm selon la méthode « Freie Spanngliedlage » (disposition libre du câble). Dans ce cas, l'espacement maximal des supports du câble est :

- 1,5 m entre la fixation du câble à la nappe supérieure d'armatures passives et l'ancrage voisin
- 3,0 m entre la fixation du câble à la nappe inférieure d'armatures passives et l'ancrage voisin ou la fixation voisine à la nappe supérieure d'armatures passives

Aux points hauts et bas des tracés des câbles, ceux-ci sont fixés respectivement aux nappes supérieures et inférieures au moins en deux endroits voisins distants de 0,3 à 1,0 m. Les fixations doivent assurer un solide maintien des câbles sans dommage pour les gaines. Les nappes d'armatures passives sont installées conformément aux règles applicables.

2.4.4. Longueur de coupe des câbles

La longueur totale du toron sera définie en ajoutant la longueur du câble de précontrainte entre les ancrages à l'épaisseur des têtes d'ancrage et à la surlongueur nécessaire pour la mise en tension (traversant les vérins). Ces surlongueurs figurent au [Chapitre 6.10 – Vérins de mise en tension et exigences de dégagement](#) de la présente Annexe.

2.5. Installation des gaines et torons

Selon les conditions du projet, l'une des solutions suivantes est adoptée habituellement :

Système **non adhérent** :

- Monotorons coupés à la longueur en dehors de la structure (éventuellement avec les ancrages installés aux extrémités) puis livrés sur le chantier pour leur installation dans l'ouvrage
- Installation des monotorons individuels sur site avant bétonnage

Système **adhérent** :

- Câbles façonnés (torons et conduits) en dehors de la structure et livrés sur le chantier comme une unité pour installation dans l'ouvrage
- Câbles préformés en dehors de la structure, puis installés avant ou après bétonnage dans les gaines placées au préalable dans l'ouvrage
- Enfilage des torons individuels avant ou après bétonnage dans les gaines installées au préalable dans l'ouvrage

2.6. Protection provisoire et lubrification

Dans le système **adhérent**, l'huilage ou le graissage des câbles est réalisé au moyen de substances non dangereuses, afin de :

- Fournir une protection temporaire contre la corrosion depuis la sortie de l'usine jusqu'à leur protection permanente (injection de l'unité)
- Lubrifier et réduire la perte par frottement lors de la mise en tension

Dans ce même but, d'autres produits réduisant la perte par frottement peuvent être utilisés, à condition qu'ils ne soient pas considérés des substances dangereuses, soient de facile application et restent inertes en présence du produit de protection (assurant l'éventuelle adhérence à la structure).

Pour la précontrainte adhérente, les seuls produits pouvant être utilisés sont ceux qui ne doivent pas être retirés avant l'injection.

De plus, ces produits doivent se conformer aux réglementations en vigueur du lieu d'utilisation.

2.7. Eléments de calcul

2.7.1. Pertes de frottements

Le frottement entre les torons et gaines, survenant lors de la mise en tension, réduit la force de précontrainte appliquée dans les torons le long du tracé des câbles. Cette force, selon la norme EN 1992-1-1, est exprimée par la formule :

$$P_{m0}(x) = P_{m0}(0) e^{-\mu(\theta+kx)}$$

où

- $P_{m0}(x)$ force de précontrainte à une distance x de l'extrémité de mise en tension au moment de la mise en tension
- $P_{m0}(0)$ force de précontrainte du câble à l'extrémité de mise en tension (avec $x = 0$) au moment de la mise en tension après pertes par frottement de l'ancrage actif, également appelée force de mise en tension de calcul (précisée par le bureau d'études)
- μ coefficient de frottement entre les torons et la gaine
- θ déviations angulaires cumulées du câble sur la distance x
- k coefficient de déviation angulaire parasite (par unité de longueur) pour les câbles intérieurs

Application	μ (rad ⁻¹) (1)		k (rad/m)	
	Fourchette	Valeur recommandée	Fourchette	Valeur recommandée
Monotoron graissé et gainé individuellement	0,04-0,07	0,05	0,004-0,006	0,005
Câble avec gaine nervurée en feuillard d'acier	0,16-0,22	0,18	0,004-0,008	0,005
Câble avec gaines VSL PT-PLUS®	0,10-0,15	0,12	0,004-0,010	0,005

(1) Les valeurs limites d'intervalle s'entendent pour les torons lubrifiés et non lubrifiés.

2.7.2. Principes de calcul des allongements

Voir [Chapitre 2.6.2 – Principes de calcul des allongements](#) de l'Annexe 1.

Considérant l'espace limité dans la gaine, le mou du toron peut être négligé.

Note : les pertes par frottement dans les ancrages sont présentées au [Chapitre 4.2.1 – Mesure de la force](#) de la présente Annexe.

2.7.3. Rentrée des clavettes d'ancrage

La valeur de la rentrée de clavettes est :

- 6 mm, qui est constante pour tous les ancrages et clavettes si ceux-ci sont installés sans l'action de l'un vérin de clavetage (voir [Chapitre 4.1.1 – Vérins de mise en tension](#)).
- 5 mm, qui reste constante pour tous les ancrages et clavettes si ceux-ci sont installés avec l'action d'un vérin de clavetage (voir [Chapitre 4.1.1 – Vérins de mise en tension](#)).

Les ancrages du Système VSL Dalle ne permettent pas d'ajustement par recalage.

3. Chapitre 3 – Ancrages

3.1. Description des pièces d'ancrage

Les ancrages actifs et passifs du Système VSL Dalle comprennent :

3.1.1. Ancrages actifs et passifs

Pour ces ancrages, la tête et la plaque d'ancrage se combinent pour former une seule pièce appelée communément corps d'ancrage.

Les ancrages du Système VSL Dalle couverts par cette ETE relèvent des types suivants :

Ancrage S 6-1

Le corps d'ancrage est coulé en fonte à graphite sphéroïdal selon la Norme EN 1563. Le trou tronconique est soumis à un contrôle rigoureux.

Le manchon en matière polymère est solidement connecté au corps d'ancrage. Dans le cas **non adhérent**, le bouchon d'extrémité est en matière polymère ou métallique. Dans le cas **adhérent**, un capot provisoire ou permanent assure l'étanchéité pour permettre l'injection.

Ancrages S 6-1 PLUS et S-6-1 Standard

Le corps d'ancrage est coulé en fonte à graphite sphéroïdal selon la Norme EN 1563. Le trou tronconique est soumis à un contrôle rigoureux.

La pièce moulée dans la fonte est identique pour les deux ancrages. Le type S 6-1 Plus est recouvert d'une protection externe en polymère pour isoler le corps métallique d'ancrage du béton.

Le manchon en matière polymérique est solidement fixé à la sortie du corps d'ancrage. Dans le cas **non adhérent**, le bouchon d'extrémité est en matière polymérique. Dans le cas **adhérent**, un capot provisoire ou permanent assure l'étanchéité pour permettre l'injection.

SK 6-1 SL

Les coupleurs SK 6-1 SL sont destinés au raccord de deux torons successifs. Ils sont constitués de quatre composants : le corps du coupleur (fabriqué en fonte selon la norme ASTM A 897 M), deux clavettes type W6ML et un ressort de retenue.

Les coupleurs doivent être disposés dans des logements (voir schémas présentés au [Chapitre 6.5 – Coupleur à ressort SK 6-1 SL](#) de la présente Annexe). Ces logements sont en polymère ou constitués de conduits en acier dont le diamètre interne est assez grand pour accueillir les coupleurs et leur longueur est suffisante pour permettre le libre déplacement du coupleur durant les opérations de mise en tension. Les raccords entre les logements d'ancrage et les conduits standards du câble (ou les torons non adhérents) devront être scellés de manière appropriée. Dans le cas de torons non adhérents, les espaces vides entre les coupleurs et leurs logements doivent être remplis de graisse.

Ancrage S 6-4

Le corps d'ancrage est coulé en fonte à graphite sphéroïdal selon la norme EN 1563. Les 4 trous tronconiques sont rigoureusement contrôlés.

Le manchon en matière polymère de cet ancrage est inséré dans le béton et héberge le corps d'ancrage simplement appuyé.

Dans le cas **non adhérent**, un capot permanent rempli de graisse obture l'extrémité de l'ancrage. Dans le cas **adhérent**, un capot provisoire ou permanent assure l'étanchéité pour permettre l'injection.

Clavettes

Les clavettes sont décolletées, filetés et séparées en deux parties avant un traitement thermique. Les types de clavettes suivants sont disponibles :

- **W6N** et **W6S**. Elles sont en acier allié pour cimentation conformément à la Norme EN 10084 ou GB/T 3077-99 et GB/T 5216-2004. Ces modèles peuvent être utilisés avec les ancrages S 6-1, S 6-1 PLUS, S 6-1 Standard et S 6-4. Les clavettes W6N sont utilisées pour les torons soit 0,6" - T15,2 (type W6N) soit 0,6"S - T15,7 (type W6S). Pour pouvoir différencier à l'œil les W6N (clavettes normales) et les clavettes W6S (clavettes super), les clavettes S possèdent une rainure sur la face avant.
- **W6M**. Elles sont en acier allié pour cimentation conformément à la Norme EN 10087. Ces clavettes peuvent être utilisées avec les ancrages S 6-1 PLUS et S 6-1 Standard avec des torons 0,6" - T15,2 (type Y1860S7 ou Y1770S7).
- Les clavettes **W6ML** en acier allié et destinées à la cimentation conformément à la Norme EN 10087, peuvent être utilisées sur des coupleurs SK 6-1 SL uniquement avec torons 0,6" - T15,2 (type Y1860S7 ou Y1770S7). Elles sont fabriquées avec des clips et ne doivent être utilisées qu'avec des coupleurs à ressort.

Toutes les clavettes sont soumises à des contrôles rigoureux.

3.1.2 Livraison sur site et ordre des opérations

Système non adhérent

Habituellement (précontrainte intérieure d'un nouvel ouvrage en béton avec torons installés après bétonnage), l'ordre des opérations est le suivant :

1. Livraison des ancrages S 6-1, S 6-1 PLUS, S 6-1 Standard ou des trompettes S 6-4, livraison des monotorons et des accessoires d'installation et placement dans le ferrailage passif. Ces pièces d'ancrage sont fixées au coffrage. Les pièces d'ancrage sont livrées identifiées sur palettes ou en vrac.
2. Livraison des clavettes (et si cela est applicable, des ancrages S 6-4), bétonnage, installation des ancrages S 6-4 et des clavettes, mise en tension, coupe des surlongueurs du toron et protection permanente des ancrages. Ces pièces d'ancrage sont livrées identifiées, emballées et protégées.

Système adhérent

Dans le système adhérent, l'installation du toron a lieu avant bétonnage et l'ordre des opérations est :

1. Livraison des ancrages S 6-1, S 6-1 PLUS, S 6-1 Standard ou des trompettes S 6-4, gaines, accessoires pour le placement dans le ferrailage passif et torons. Ces pièces d'ancrage sont fixées au coffrage. Les unités d'ancrage arrivent sur le chantier avec une identification, un conditionnement et une protection appropriés.
2. Livraison des clavettes (et si applicables, du corps d'ancrage S 6-4), bétonnage, installation des ancrages S 6-4 et des clavettes, mise en tension, coupe des surlongueurs du toron, installation des capots de protection temporaire et injection de la protection permanente des câbles. Ces pièces d'ancrage arrivent sur le chantier avec une identification, un conditionnement et une protection appropriés.

Tous les coupleurs SK 6-1 SL (corps de coupleur, clavettes W6ML et ressort) sont assemblés avant livraison sur le chantier. Ceux-ci sont livrés lorsque les torons doivent être installés (avant bétonnage) avec identification, conditionnement et protection appropriés.

3.2. Organisation de la qualité

La fabrication des composants des ancrages du Système VSL Dalle est conduite conformément aux spécifications, aux procédures de production et de contrôle définies dans la présente ETE et documents associés.

Les procédures de contrôle appliquées au Fabricant des Composants d'ancrage et l'organisation de la qualité de l'Entreprise Spécialisée de Précontrainte permettent d'assurer la traçabilité des produits jusqu'à leur distribution sur chantier.

3.3. Installation des ancrages VSL

La mise en œuvre des ancrages VSL est réalisée comme décrite ci-dessus. Elle doit être confiée à un personnel compétent et doit être fait appel à l'encadrement technique de l'Entreprise Spécialisée de Précontrainte ou à des Chargés de Mise en Précontrainte formés de manière appropriée.

3.3.1. Ancrages actifs type S 6-1, S 6-1 PLUS, S 6-1 Standard et S 6-4

Les corps d'ancrage S 6-1, S 6-1 PLUS ou S-1 Standard et les trompettes S 6-4 sont fixées au coffrage et raccordés aux monotrons ou gaines, qui ont été placés dans la structure. Pour des informations sur les connexions des ancrages aux gaines, se référer au [Chapitre 2.2 – Sujétions du système sans injection](#) et au [Chapitre 2.3 – Conduits utilisés pour le système avec adhérent](#) de la présente Annexe.

La tête d'ancrage S 6-4 est installée dans la trompette qui est placée avant coulage du béton. Les clavettes (et les têtes d'ancrages S 6-4) sont positionnées immédiatement avant la mise en tension afin d'éviter tous dommages à ces composants.

Pour les pertes de frottement dans les ancrages lors de la mise en tension, référez-vous au [Chapitre 4.2.1 – Mesures de la force](#) de la présente Annexe.

3.3.2. Ancrages passifs type S 6-1, S 6-1 PLUS, S 6-1 Standard et S 6-4

Les clavettes sont installées dans les ancrages qui restent accessibles pendant la phase de mise en tension pour observation.

Ces ancrages peuvent également être utilisés comme ancrages passifs noyés. Dans ce cas, leurs clavettes sont pré-bloquées dans les corps d'ancrage.

3.3.3. Coupleurs intermédiaires type SK 6-1 SL

Dans les deux systèmes, **non adhérent** ou **adhérent**, les ancrages des coupleurs intermédiaires SK6- 1 SL sont assemblés sur les torons. Il est important de vérifier que le toron est correctement positionné à l'intérieur de la clavette (usuellement par marquage de l'extrémité du toron) et qu'il est parfaitement verrouillé par celle-ci. Une attention particulière doit être accordée à la position du coupleur qui doit être libre de bouger durant la mise en tension.

3.3.4. Ancrages adhérents type H 6-1 à H 6-4

Ces ancrages sont uniquement utilisés pour le système **adhérent**. Ils sont strictement identiques à ceux du système multitoron décrits au [Chapitre 3.1.1 – Ancrages actifs et ancrages passifs](#) de l'Annexe 1.

3.4. Disposition des ancrages

Le type d'ancrages et les catégories d'utilisation possible sont comme suit (consultez le [Chapitre 1.4.1 – Utilisations et options des unités du système VSL Dalle](#) de la présente Annexe) :

Ancrage	Composant	Utilisations					
		câble intérieur adhérent avec conduit métallique	câble intérieur, adhérent avec conduit en polymère	câble intérieur non adhérent	câble remplaçable (2)	câble encapsulé (étanche, PL2)	câble isolée électriquement (PL3) (1)
S 6-1	Corps d'ancrage	S 6-1					
	Trompette	Connexion T S 6-1		Manchon S 6-1		Connexion T / Manchon S 6-1	
	Capot	Bouchon de fermeture S 6-1					
S 6-1 Standard	Corps d'ancrage	S 6-1					
	Trompette	Connexion T S 6-1 Standard		Manchon S 6-1 Standard non adhérent			
	Capot	-					
S 6-1 PLUS	Corps d'ancrage	S 6-1 PLUS					
	Trompette	Connexion T S 6-1 PLUS		Manchon S 6-1 PLUS non adhérent		Connexion T / Manchon S 6-1 PLUS	
	Capot	Bouchon – Capot S 6-1 PLUS					
S 6-4	Corps d'ancrage	S 6-4					
	Trompette	Trompette S 6-4					
	Capot	Capot d'injection S 6-4					
SK 6-1 SL		SK 6-1 SL					

Notes :

- Générales : Les ancrages du système adhérent incluent des composants permettant l'injection du coulis de ciment
 (1) : l'isolation électrique est assurée par une trompette en polymère (corps d'ancrage),
 (2) : Le câble n'est remplaçable qu'à condition qu'il n'ait pas été scellé

3.5. Conditions géométriques et mécaniques d'emploi

3.5.1. Dégagement derrière les ancrages

Il est nécessaire de respecter un dégagement derrière les ancrages afin de pouvoir installer les vérins de mise en tension. Les dimensions figurent au [Chapitre 6.10 – Vérins de mise en tension et exigences de dégagement](#).

Ces dimensions doivent être augmentées en cas d'utilisation d'équipement pour détendre ou surtendre les câbles. Consultez VSL pour plus d'informations.

3.5.2. Résistance du béton, couverture et entraxe des ancrages

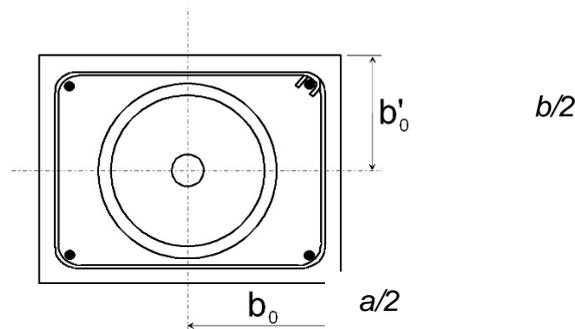
Les forces de précontrainte sont transférées aux structures dans les zones d'ancrages. L'introduction de ces forces à la structure en béton impose les dispositions suivantes :

- Il faut respecter une distance minimum entre les ancrages adjacents (distance centre à centre) et à partir d'un ancrage vers la paroi de la structure. Ces distances sont données en Annexe 1 pour les différents types d'ancrage et d'unités.
- Une armature de frettage local (AFL) doit être installée sous les ancrages. Cette AFL, qui fait partie intégrante de l'ancrage, doit être définie en fonction de la résistance du béton, la charge de rupture du câble, la résistance de l'acier passif et le type d'ancrage utilisé. Voir partie 3.6 pour plus de détails.
- Le béton, au voisinage des plaques, doit être bien compacté et vibré et atteindre la résistance minimale requise au moment de la mise en tension.
- Une zone générale de diffusion derrière les ancrages, appelée prisme secondaire, doit être calculée et définie en détail par le bureau d'études selon les règles de calcul applicables pour s'assurer que les forces de précontrainte introduites dans la structure au niveau des ancrages peuvent être distribuées sur la totalité de la section transversale de la structure sans surcharger le béton et l'acier passif.

Les valeurs maximales pour la force appliquée au câble (P_{max}) et la valeur maximale après transfert de la charge à l'ancrage ($P_{m0,max}$) figurent au [Chapitre 1.2 – Caractéristiques des unités du système](#) de la présente Annexe.

Les dimensions et l'armature de frettage local d'ancrage ont été définies selon le DEE-160004-00-0301.

Les blocs d'essai sont des prismes de béton testés en compression axiale avec une section transversale de béton $A_c = a \times b$:



$a/2$ et $b/2$ sont les distances entre l'axe d'ancrage et la paroi du bloc d'essai.

Ces dimensions de référence a et b permettent d'obtenir l'espacement minimal entre ancrages contigus dans la structure dans les directions x et y (x et y), de sorte que :

$$A_c = x \times y \geq a \times b$$

L'entraxe/espacement entre ancrages réel doit être conforme à :

$$x \geq 0,85 a$$

$$y \geq 0,85 b$$

où a, b : dimensions latérales du bloc d'essai
 x, y : espacement minimal des ancrages pour le câble considéré dans la structure dans les directions x et y, la plus petite $x \leq y$ étant retenu

Les valeurs de X_{\min} et Y_{\min} dans les deux directions sont données dans les tableaux ci-dessous. Comme expliqué plus haut, il est possible de réduire la valeur dans une des directions (jusqu'à 85 %) si le produit $xy \geq X^2$. Cette adaptation se conformera aux règles de calcul applicables (voyez le Chapitre 3.6 pour plus de détails).

Les **distances minimales aux parois** de la structure sont calculées à partir des espacements dans les directions x et y avec les formules suivantes :

$$e_x = \frac{x}{2} - 10 \text{ mm} + c$$

$$e_y = \frac{y}{2} - 10 \text{ mm} + c$$

où e_x, e_y : Distance de l'axe de l'ancrage à la paroi dans la direction x et y respectivement
 c : Enrobage minimal des armatures exigé dans le lieu d'utilisation

Note : 10 mm est l'enrobage de béton retenu dans les blocs d'essai (à l'exception des ancrages H réalisés avec un enrobage de 25 mm).

Les zones de frettage local des ancrages adjacents ne doivent pas se chevaucher. De plus, elles doivent rester à l'intérieur du béton.

Le tableau ci-dessous donne un aperçu des différents ancrages et des résistances minimales du béton au moment de la mise en tension (résistance cylindre/cube) pour lesquelles les espacements des ancrages et des armatures des frettage local des ancrages sont détaillés dans les tableaux du Chapitre 6 de cette Annexe pour les différents systèmes VSL Dalle ([S 6-1](#), [S 6-1 PLUS](#) / [S 6-1 Standard](#) et [S 6-4](#)).

$f_{c,\min(t)} (7) \geq$	16/20 N/mm ² (5)								20/25 N/mm ² (6)			
Ancrage	S 6-1		S 6-1 PLUS		S 6-1 Standard		S 6-4		S 6-1 PLUS		S 6-1 Standard	
u / u' mm (3)	105	75	122	94	117	89	280	115	117	89	117	89
a / b mm (4)	180	120	180	140	180	140	400	220	170	140	170	140
X_{\min} / Y_{\min} mm (8)	155	100	155	120	155	120	340	185	150	120	150	120

- (3) Dimensions de la plaque/corps d'ancrage
- (4) Dimensions du bloc d'essai
- (5) Avec un toron Y1 860 S7 Ø 15,7 – T15,7 ou 6S avec $f_{pk} = 1\ 860 \text{ N/mm}^2$, $F_{pk} = 279 \text{ kN}$ et $F_{p0.1k} = 246 \text{ kN}$ ou en-dessous ($f_{pk} = 1\ 770 \text{ N/mm}^2$)
- (6) Avec un toron Y1 860 S7 Ø 15,2 – T15,2 ou 6 avec $f_{pk} = 1\ 860 \text{ N/mm}^2$, $F_{pk} = 260 \text{ kN}$ et $F_{p0.1k} = 229 \text{ kN}$ ou en-dessous ($F_{pk} = 1\ 770 \text{ N/mm}^2$)
- (7) Résistance du béton exprimée en valeurs cylindre / cube
- (8) Si X_{\min} est choisi, la valeur de y sera telle que $X_{\min} y \geq a b$
 Cela s'applique également à Y_{\min} (avec x de sorte que $x Y_{\min} \geq a b$)

Les valeurs de $f_{c,min}(t)$ sont les valeurs minimales de la résistance du béton requise au moment de la mise en tension à la valeur maximale P_{max} (voir [Chapitre 1.2 – Caractéristiques des unités du système](#) pour plus de détails). Sur le chantier, la résistance moyenne du béton mesurée sur cylindre / cube doit être égale ou supérieure à $f_{c,min}(t)$ lors de la mise en tension.

Il est toutefois possible de ne tendre le câble que partiellement conformément à la norme EN 1992 1-1 (Chapitre 5.10.2.2 point 4) : « Si la mise en tension d'un câble est effectuée par étapes, la résistance requise pour le béton peut être réduite. Il convient d'adopter une résistance minimale $f_{cm}(t)$ au temps t égale à k_4 [%] de la résistance du béton requise pour la précontrainte totale, telle qu'indiquée sur l'Agrément Technique Européen. Entre la résistance minimale et la résistance du béton requise pour la totalité de la précontrainte, la précontrainte peut être interpolée entre k_5 [%] et 100 % de la force de précontrainte totale.

NOTE : Les valeurs de k_4 et k_5 à utiliser dans un pays donné peuvent être fournies par son Annexe Nationale. Les valeurs recommandées sont $k_4= 50\%$ et $k_5= 30\%$. . »

Par exemple, dans le cas d'une mise en tension à 50 % de la valeur maximale à l'ancrage par exemple, la résistance caractéristique f_{cm0} peut être réduite approximativement aux 2/3 des valeurs indiquées ci-dessus.

Pour les ancrages de type H, la résistance du béton dans la zone d'ancrage lors de la mise en tension doit être supérieure à $f_{c,min}(t)$ à savoir, supérieure à 28/35 N :mm² (Voir [Chapitre 3.5 – Conditions géométriques et mécaniques d'emploi](#) de l'Annexe 1 de la présente ETE).

3.6. Armature de frettage local d'ancrage

Comme mentionné précédemment, une armature de frettage local d'ancrage doit être utilisée comme spécifié au Chapitre 6 de la présente Annexe. Conformément au DEE160004-00-0301, cela suppose la présence d'un renforcement additionnel de 50 kg/m³ dans la structure.

Dans tous les cas, le bureau d'études définira l'armature de la zone générale de distribution conformément aux règles de calcul applicables.

Les armatures de frettage local d'ancrage spécifiées dans cette ETE et confirmées par les essais de transfert de charge peuvent être modifiées s'il est nécessaire. Dans ce cas, elles seront conformes aux règles de calcul nationales et seront approuvées par l'autorité locale et le détenteur de l'ETE pour garantir une performance équivalente.

Il appartient à l'entreprise en charge du bétonnage de s'assurer que la densité et la configuration du ferrailage permettent un bétonnage correct.

4. Chapitre 4 – Mise en tension

4.1. Matériel pour la mise en tension

Le matériel VSL pour la mise en tension, se compose de vérins de mise en tension, de centrales hydrauliques d'instruments de mesure.

4.1.1. Vérins de mise en tension

Les torons sont mis en tension individuellement au moyen de vérins VSL. Il en existe deux types :

- Vérin à double effet avec piston creux
- Vérin à deux pistons formé par deux vérins parallèles à double effet disposés de part et d'autre du toron. Cette configuration permet la mise en tension des ancrages intermédiaires.

Ces matériels permettent de tendre le toron en une ou plusieurs étapes et, s'il est nécessaire, de le détendre. Leurs caractéristiques figurent dans le tableau ci-dessous.

Désignation	DKP 6	Twin 25 T	ZPE 23 FJ	Alevin A 7-24
Type	2 // pistons	2 // pistons	1 piston creux	1 piston creux
Encombrement (mm ²)	240 x 165	252 x 164	Ø 116	Ø 108
Longueur (mm)	615	549	790	834
Poids (kg)	30	30	23	24
Course (mm)	200	190	200	200
Aire du piston (mm ²)	4 926	5 655	4 710	4 008
Pression maximale (bar)	467	442	488	599
Force maximale (kN)	230	250	230	240
Présence d'un vérin de clavetage ?	Non	Oui	Oui	Oui

D'autres modèles de vérins peuvent être utilisés s'ils sont approuvés par VSL.

Le schéma du [Chapitre 6.10 – Vérins de mise en tension et exigences de dégagement](#) de la présente Annexe précise les dégagements à aménager autour des ancrages aux abouts des pièces précontraintes pour permettre une mise en œuvre aisée.

4.1.2. Pompes hydrauliques

Les vérins sont connectés aux pompes hydrauliques VSL qui ont été conçues pour des vitesses normales de mise en tension et contiennent des éléments de sécurité nécessaires.

4.1.3. Instruments de mesure

La force et l'allongement sont contrôlés avec précision lors de l'opération de mise en tension par les instruments de mesure.

4.2. Procédure de mise en tension

Avant la mise en tension, il faut vérifier ce qui suit :

- Les consignes de sécurité sont connues et correctement appliquées.
- Les valeurs cibles de force et d'allongement sont correctement définies. Le Chargé de la Mise en Précontrainte connaîtra les tolérances et prendra en compte les ajustements nécessaires à ces valeurs.
- Le Chargé de la Mise en Précontrainte connaît la procédure à adopter si les valeurs ne sont pas situées dans les seuils de tolérance (ou pour tout autre incident non anticipé).
- L'ordre de mise en tension est correctement défini.
- Le matériel de mise en tension (y compris les instruments de mesure) est conforme aux spécifications de la présente ETE.
- La structure est en mesure de supporter les charges de précontrainte et le béton a atteint la résistance minimale requise dans la zone locale.
- Les surlongueurs des torons pour la mise en tension sont en bon état.

Il est interdit de rester derrière le vérin ou dans son voisinage immédiat lors de la mise en tension. Les mêmes précautions doivent être prises pour la zone derrière une tête d'ancrage passive accessible.

L'une des caractéristiques fondamentales des ancrages VSL est son système de blocage des clavettes. Les clavettes restent constamment en contact avec les torons au cours de la mise en tension et la charge est automatiquement transférée vers la tête d'ancrage lorsque la pression est relâchée dans le vérin. Avec certains vérins, il est possible de réaliser un clavetage avant le transfert de charge afin de réduire la valeur de la rentrée des clavettes (voir [Chapitre 2.7.3 – Rentrée des clavettes d'ancrage](#) de cette Annexe).

4.2.1. Mesure de la force

La force dans le câble (ou la pression dans le vérin) est généralement la valeur cible, puisqu'elle peut être mesurée directement et est directement proportionnelle à la force le long du câble dans la structure. La pression dans la chambre du vérin est indiquée par des manomètres qui sont régulièrement recalibrés et qui sont, généralement, de Catégorie 1 (précision de 1 % sur toute la gamme). Pour la pression maximum habituelle de 600 bars, la déviation maximum admissible est 6 bars.

Pour calculer la force de précontrainte appliquée à la structure (et définie par le bureau d'études) la force manométrique (obtenue en multipliant la lecture des pressions par la surface du piston) doit être corrigée avec les pertes à l'intérieur du vérin et les pertes dues au frottement des torons dans l'ancrage.

Les valeurs des pertes dans les vérins sont mesurées lors de leurs étalonnages et ont habituellement les valeurs suivantes :

Vérin DKP 6 et vérin Twin 25 T :	3,5 %
Vérin ZPE 23 FJ et vérin Alevin A7-24 :	1,5 %

Les pertes k_a , dans les ancrages actifs ont les valeurs suivantes :

- S 6-1, S 6-1 Standard et S 6-1 PLUS : 0 à 1 %
- S 6-4 :
0 à 1 % pour les deux torons centraux
2 % pour les deux torons extérieurs

4.2.2. Mesure des allongements

L'allongement du câble fournit des informations sur le comportement de celui-ci lors de sa mise en tension et donne des indications pour savoir si la force cible a été atteinte le long du câble installé dans la structure.

Les valeurs des allongements sont mesurées directement sur les torons ou sur le vérin de mise en tension. Elles sont enregistrées pour les différentes étapes de mise en tension sur les fiches de mise en tension. Pour les gaines rondes et les gaines plates pour un seul toron, les pertes dues au mou du câble sont généralement ignorées.

Les valeurs sont comparées aux valeurs d'allongement théoriques, qui sont calculées suivant le [Chapitre 2.7.2 – Principes de calcul des allongements](#) de la présente Annexe.

5. Chapitre 5 – Injection et cachetage

5.1. Injection

5.1.1. Système non adhérent

Le monotoron (graissé et gainé individuellement), protégé à l'origine en usine par la graisse, ne nécessite pas de protection additionnelle.

Après la mise en tension et le recépage des torons, les unités d'ancrage S 6-1, S 6-1 PLUS, S 6-1 Standard et S 6-4 sont remplies de graisse (identique ou compatible avec celle du monotoron conformément au DEE-160027-00-0301). Un capot vient couvrir les clavettes et la longueur non gainée.

5.1.2. Système adhérent

Généralités

Le type de produits d'injection est défini par le projet. Les produits se conformeront à la réglementation locale et ne peuvent être dangereux pour l'hygiène, la santé ou l'environnement.

Produits d'injection

Lorsque les torons doivent être adhérents à la structure, le produit de remplissage est un coulis à base de ciment hydraulique. Ces produits font appel à des adjuvants qui améliorent les performances pour atteindre à la fois la sédimentation et la ségrégation minimales, tout en gardant une fluidité suffisante pour remplir les câbles. Ils doivent être des coulis de ciment conformes à la norme EN 447 ou à des exigences plus strictes si elles sont demandées par le projet. Dans certaines régions de l'UE, des circonstances climatiques défavorables ou d'autres conditions particulières imposent l'application de coulis spéciaux selon le DEE-160027-00-030.

Afin de pouvoir remplir complètement un câble avec un coulis de ciment, il est obligatoire de cacheter toutes les têtes d'ancrage exposées avec un capot soit temporaire soit permanent.

Le cachetage n'est strictement nécessaire que lors de l'emploi de capots temporaires (recyclés ou non). Si les capots permanents sont laissés apparents, les parties métalliques devront être protégées contre la corrosion (voir [Chapitre 3.1.1 – Ancrages actifs et passifs](#) de la présente Annexe).

Matériel d'injection :

Le matériel d'injection est adapté aux produits à injecter.

Pour les coulis d'injection à base de ciment, le matériel d'injection VSL se compose essentiellement de malaxeurs et de pompes intégrés dans un seul équipement permettant la préparation du coulis et l'exécution de l'injection. Ces équipements permettent de doser avec précision les composants du coulis et d'obtenir un mélange parfaitement homogène. La pompe est conçue pour une injection continue à un débit approprié.

Dans tous les cas, il est obligatoire d'utiliser des capots soit temporaires soit permanents équipés de d'évents pour cacheter les ancrages jusqu'au durcissement du coulis.

Procédures d'injection :

Avant l'injection du coulis, il faut vérifier ce qui suit :

- Le produit d'injection doit être conforme aux exigences de la présente ETE et du DEE-160027-00-0301,
- La convenance du produit proposé pour le projet spécifique a été vérifiée par un « essai de convenance » en employant le même équipement utilisé par le projet et les mêmes composants du produit venant des mêmes fournisseurs que pour le projet.
- L'intégralité du câble (longueur libre et ancrages) est étanche au coulis.
- La température de l'air et de la structure sont conformes aux conditions d'utilisation du produit d'injection.
- Il y a suffisamment de tubes transparents à disposition pour conduire l'essai quotidien de ressuage à la mèche.

L'étanchéité du câble doit être vérifiée avant de commencer l'injection. Celle-ci est vérifiée soit par un test de mise en pression à l'air soit par un essai sous vide. Il est interdit d'utiliser de l'eau pour nettoyer les débris sur les câbles ou pour vérifier l'étanchéité.

Lors de l'injection, l'équipe de précontrainte doit vérifier à toutes les sorties, événements intermédiaires et événements de capots que le câble a été intégralement injecté avec le coulis ayant les propriétés spécifiées. Ceci est généralement fait en confirmant, par une mesure, que le coulis qui s'écoule à ces points a atteint la densité cible du coulis. Les purges et événements seront uniquement fermés une fois qu'il a été confirmé, avec des mesures, que le coulis s'écoulant possède la densité minimale requise. Les procédures d'injection et de surveillance du coulis seront réalisées selon la norme EN 446.

La quantité du produit d'injection par longueur unitaire de câble sera calculée comme suit :

$$\text{Volume} = [(\text{section interne gaine} - \text{section câble}) \times (\text{unité de longueur})] \times (1 + \xi)$$

où ξ ($0,05 \leq \xi \leq 0,10$) tient compte des pertes sur chantier et de la forme de la gaine.

Les paramètres pertinents associés à l'injection des câbles doivent être consignés dans les fiches d'injection.

5.2. Cachetage

La continuité de la protection sera assurée pour la longueur libre du câble et pour les ancrages. Consultez le Chapitre 3.1.1 et les schémas du Chapitre 6 de la présente Annexe.

Le cachetage des niches de mise en tension des ancrages est une disposition pour protéger les têtes d'ancrage. Il peut être nécessaire de compléter cette action avec un film étanche pour empêcher l'eau de pénétrer dans les niches. Comme alternative préférable, il est possible aussi d'équiper l'ancrage du câble avec un capot permanent.

6. Chapitre 6 – Schémas de principe

(dimensions exprimées en mm)

Figure 52 Clavette W6N Clavette W6S	117
Figure 53 Clavette W6M (pour utilisation avec toron T15.2)	117
Figure 54 Clavette W6ML (pour utilisation avec coupleur à ressort)	117
Figure 55 Ancrage type S 6-1 – Système non adhérent	118
Figure 56 Ancrage type S 6-1 - Système adhérent	119
Figure 57 Ancrages type S 6-1 – Dimensions	120
Figure 58 Ancrages type S 6-1 – Dimensions du dispositif d'installation	120
Figure 59 Ancrage type S 6-1 PLUS – Système non adhérent	121
Figure 60 Ancrage type S 6-1 PLUS – Système adhérent	122
Figure 61 Ancrages type S 6-1 PLUS – Dimensions	123
Figure 62 Ancrages type S 6-1 PLUS – Dimensions du dispositif d'installation	123
Figure 63 Ancrages type S 6-1 Standard – Système non adhérent	124
Figure 64 Ancrages type S 6-1 Standard – Système adhérent	125
Figure 65 Corps d'ancrage type S 6-1 Standard	126
Figure 66 Trompette S 6-1 Standard (pour application sans adhérence)	126
Figure 67 Coupleur à ressort SK 6-1 SL (application adhérente ou non adhérente)	127
Figure 68 Dimensions corps du coupleur à ressort SK 6-1 SL	127
Figure 69 Schéma d'assemblage du coupleur à ressort SK 6-1 SL	127
Figure 70 Ancrage type S 6-4 – Système non adhérent	128
Figure 71 Ancrage type S 6-4 - Système adhérent	129
Figure 72 Ancrages type S 6-4 – Dimensions corps et manchon	130
Figure 73 Ancrages type S 6-4 – Dimensions dispositif d'installation	130
Figure 74 Exemple d'armatures à disposer complémentaires à celles d'équilibre général type S 6-1 $f_{c,min}(t) > 16/20$ N/mm ²	131
Figure 75 Exemple d'armatures à disposer complémentaires à celles d'équilibre général type S 6-1 PLUS et S 6-1 Standard $f_{c,min}(t) > 16/20$ N/mm ²	131
Figure 76 Exemple d'armatures à disposer complémentaires à celles de l'équilibre général type S 6-1 PLUS et S 6-1 Standard $f_{c,min}(t) > 20/25$ N/mm ²	132
Figure 77 Exemple d'armatures à disposer complémentaires à celles de l'équilibre général type S 6-4 $f_{c,min}(t) > 16/20$ N/mm ²	133
Figure 78 Vérin de mise en tension DKP-6	134
Figure 79 Vérin double Twin 25T	134
Figure 80 Vérin de mise en tension ZPE-23FJ	134
Figure 81 Vérin de mise en tension Alevin A7/24	134
Figure 82 Exigences de dégagement avec les vérins DKP-6 et ZPE 23FJ	135
Figure 83 Exigences de dégagement avec le vérin double Twin 25T	135
Figure 84 Exigences de dégagement avec le vérin Alevin A7-24	135
Figure 85 Gaine adhérente VSL PT-PLUS® / adhérente / non adhérente	136

6.1. ELEMENTS STANDARDS DES ANCRAGES – CLAVETTES

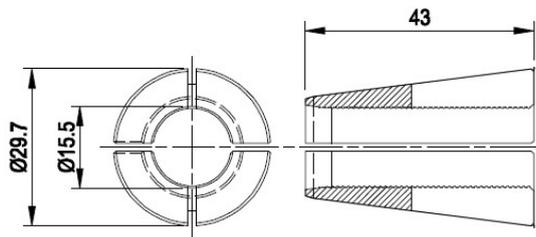
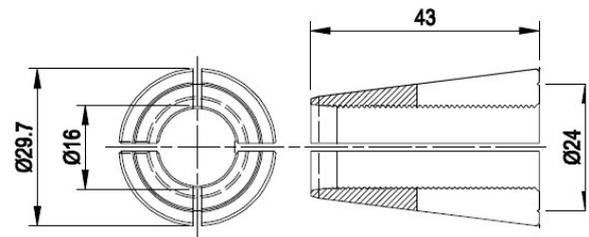


Figure 52 Clavette W6N



Clavette W6S

Note: Les clavettes W6N et W6S peuvent être fabriquées avec ou sans clip.

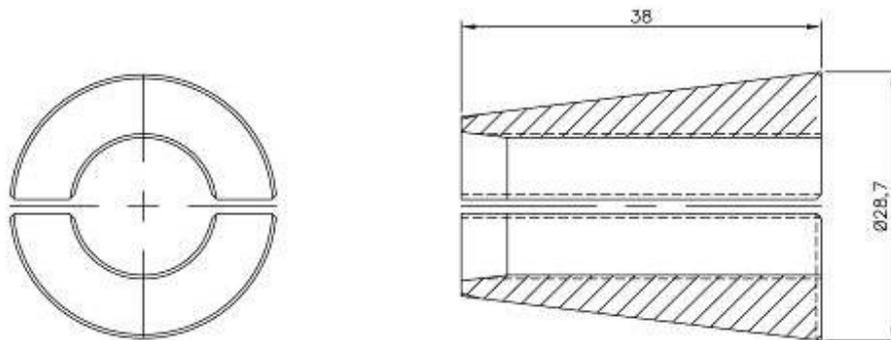


Figure 53 Clavette W6M (pour utilisation avec toron 15.2)

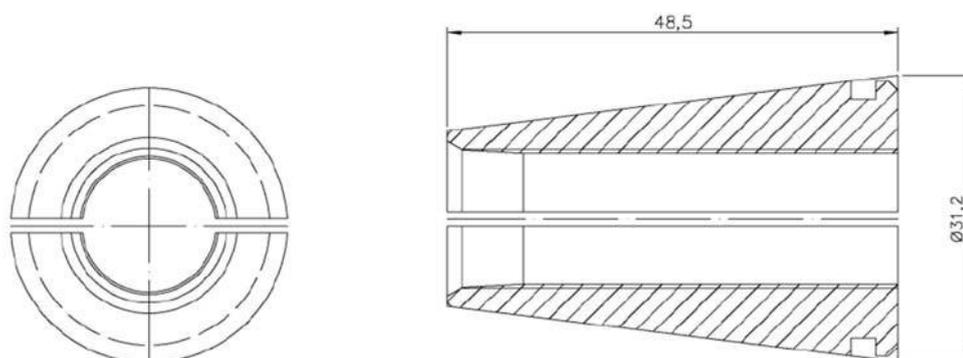


Figure 54 Clavette W6ML (pour utilisation avec coupleur à ressort)

6.2. ANCRAGES TYPE S 6-1

6.2.1. PRINCIPE DU SYSTEME NON ADHÉRENT – ANCRAGE S 6-1

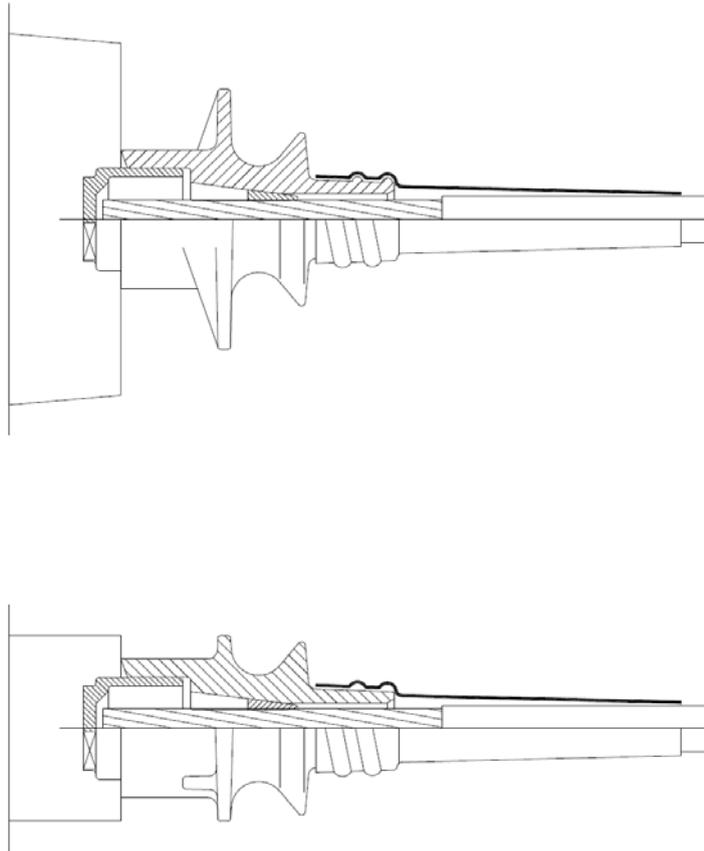


Figure 55 Ancrage type S 6-1 – Système non adhérent

Note : Le même corps d'ancrage est utilisé pour les ancrages noyés S 6-1.

6.2.2. PRINCIPE DU SYSTEME ADHÉRENT – ANCRAGE S 6-1

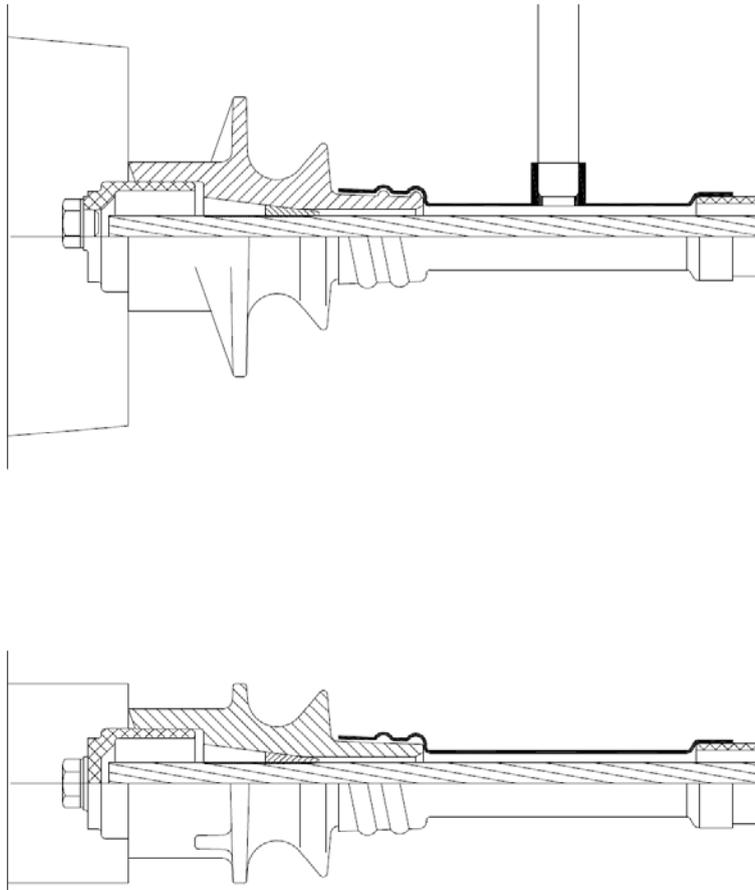


Figure 56 Ancrage type S 6-1 – Système adhérent

Note: Le même corps d'ancrage est utilisé pour les ancrages noyés S 6-1.

6.2.3. DIMENSIONS CORPS ET MANCHON – TYPE S 6-1

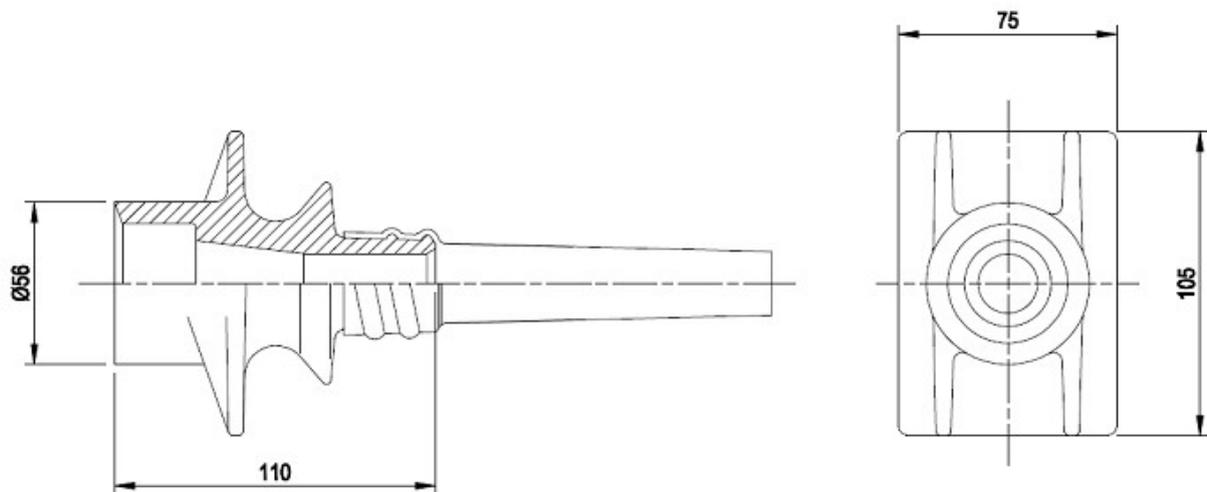


Figure 57 Ancrages type S 6-1 - Dimensions

Note : L'ancrage S 6-1 peut être utilisé en tant qu'ancrage intermédiaire, fixe ou noyé S 6-1

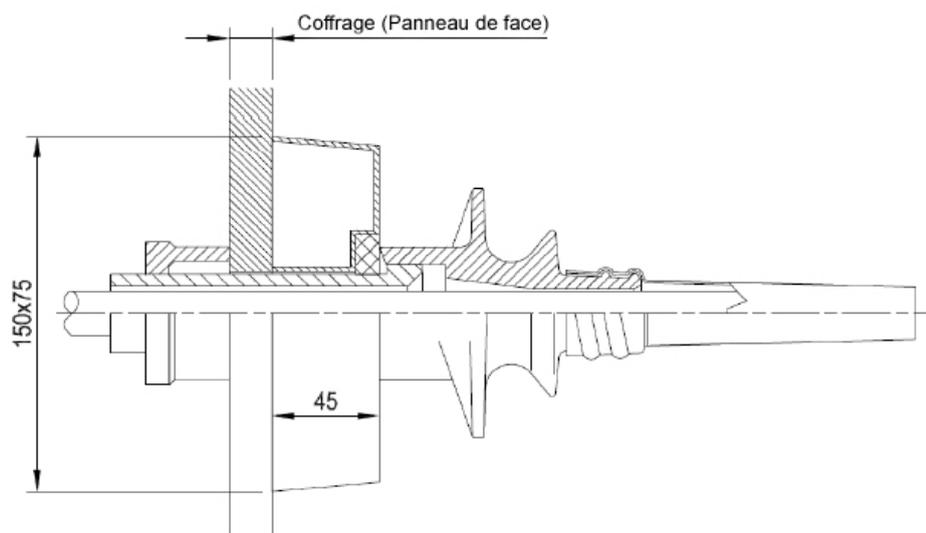


Figure 58 Ancrages type S 6-1 - Dimensions du dispositif d'installation

6.3. ANCRAGES TYPE S 6-1 PLUS

6.3.1. PRINCIPE DU SYSTEME NON ADHÉRENT – ANCRAGE S 6-1 PLUS

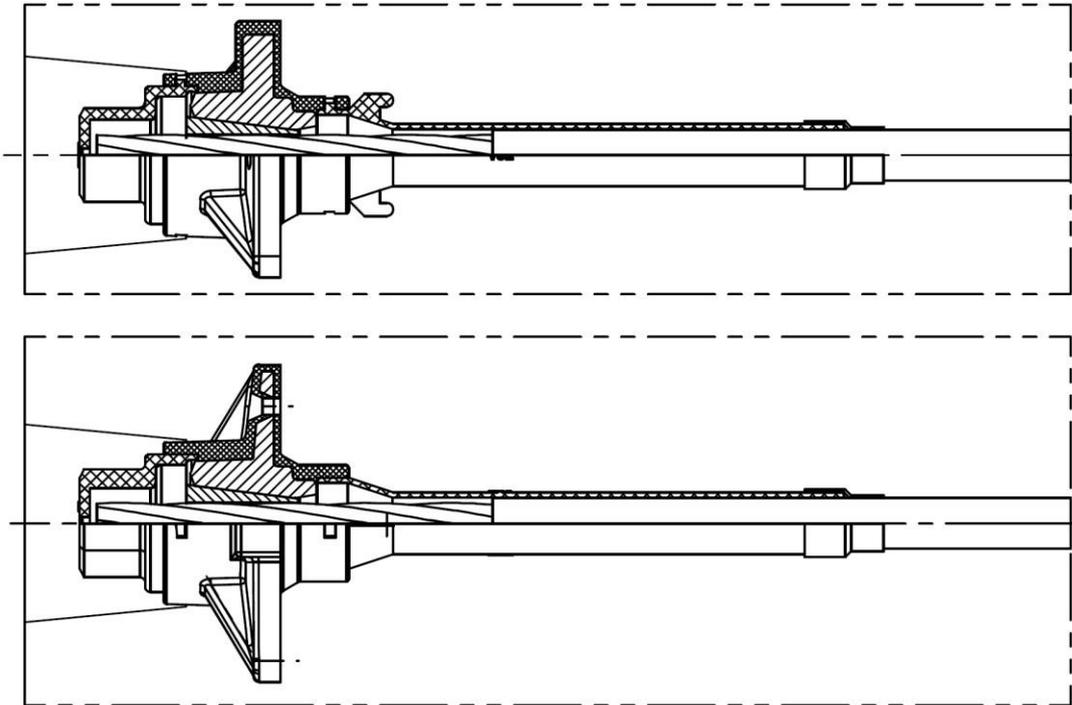


Figure 59 Ancrage type S 6-1 PLUS – Système non adhérent

Note: Le même corps d'ancrage est utilisé pour les ancrages noyés S 6-1 PLUS.

6.3.2. PRINCIPE DU SYSTEME ADHÉRENT – ANCRAGE S 6-1 PLUS

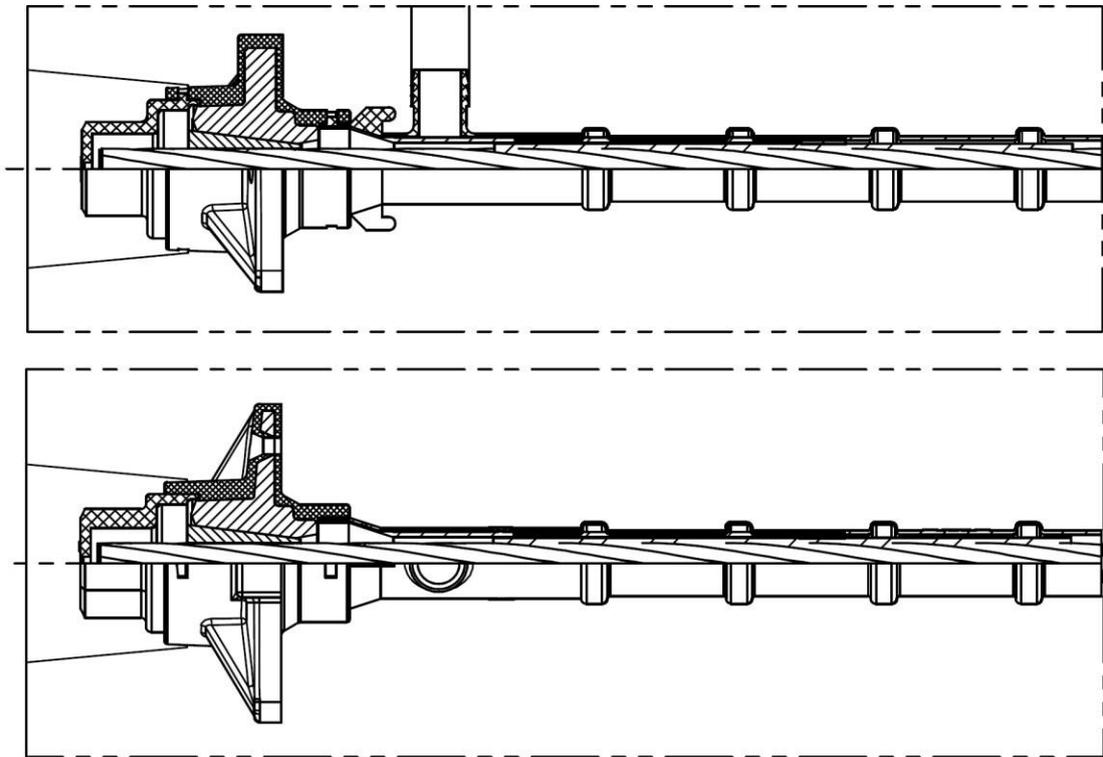


Figure 60 Ancrage type S 6-1 PLUS – Système adhérent

Note : Le même corps d'ancrage est utilisé pour l'ancrage noyé S 6-1 PLUS.

6.3.3. DIMENSIONS CORPS ET MANCHON – TYPE S 6-1 PLUS

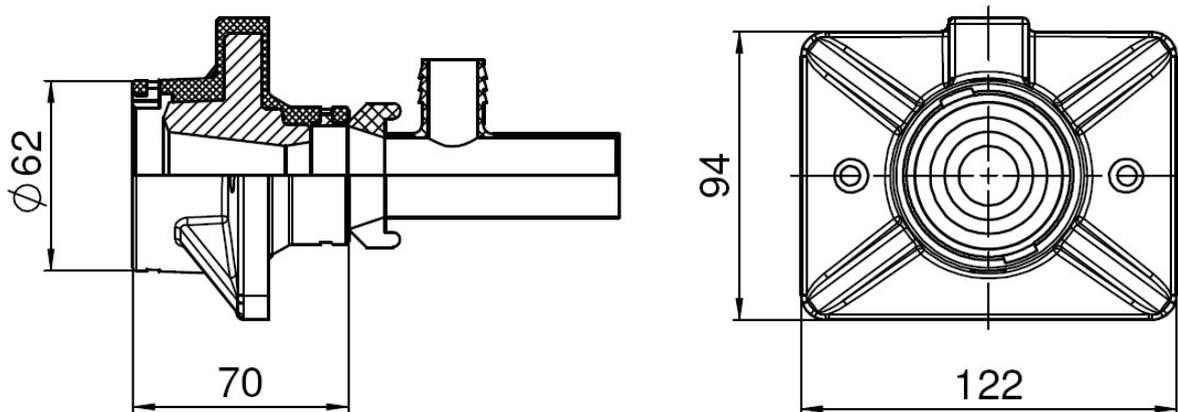


Figure 61 Ancrages type S 6-1 PLUS – Dimensions

Note : Le corps d'ancrage S 6-1 PLUS peut être utilisé en tant qu'ancrage intermédiaire, fixe ou noyé S 6-1 PLUS

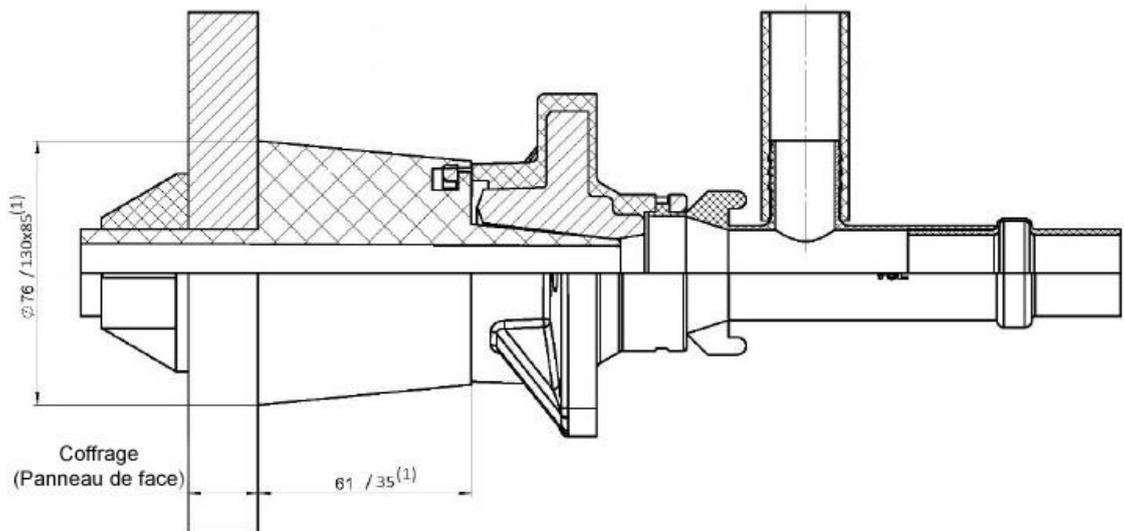


Figure 62 Ancrages type S 6-1 PLUS – Dimensions du dispositif d'installation

(1) Les dimensions de la niche de coffrage dépendent du modèle d'insert béton

6.4. ANCRAGES TYPE S 6-1 STANDARD

6.4.1. PRINCIPE DU SYSTEME NON ADHÉRENT – ANCRAGE S6-1 STANDARD

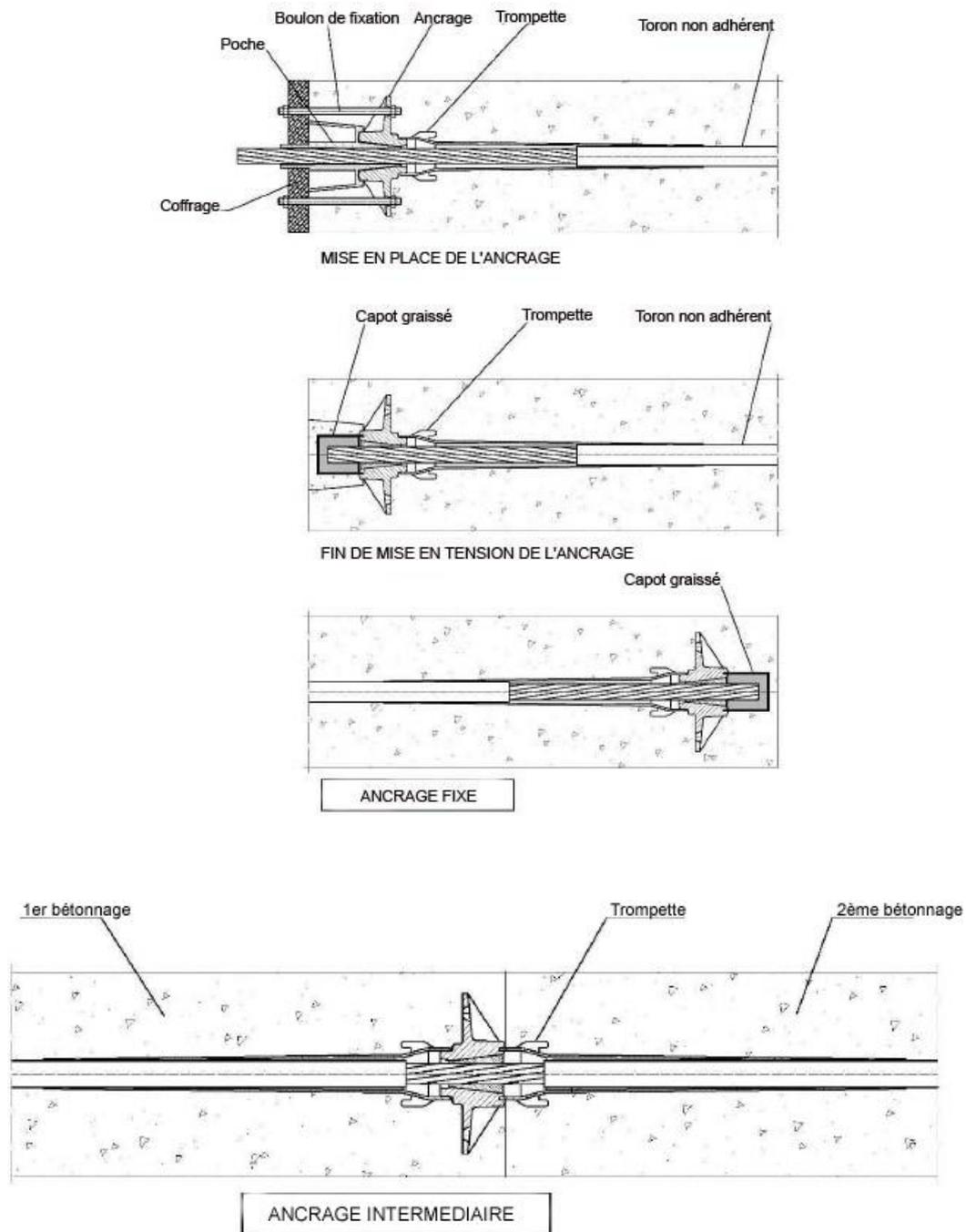


Figure 63 Ancrages type S 6-1 Standard – Système non adhérent

6.4.2. PRINCIPE DU SYSTEME ADHÉRENT – ANCRAGE S6-1 STANDARD

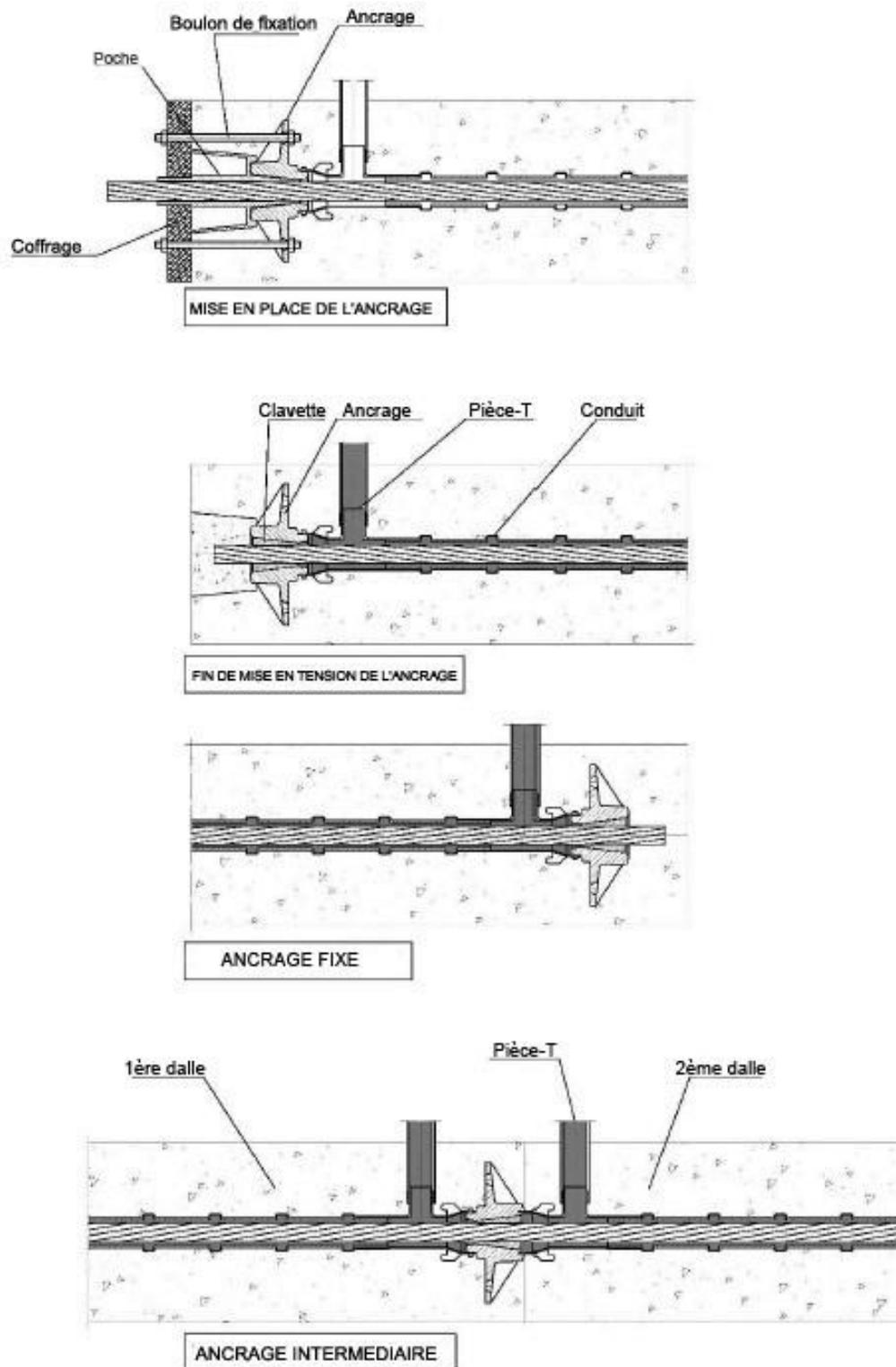


Figure 64 Ancrage type S 6-1 Standard – Système adhérent

6.4.3. DIMENSIONS CORPS ET TROMPETTE - TYPE S 6-1 STANDARD

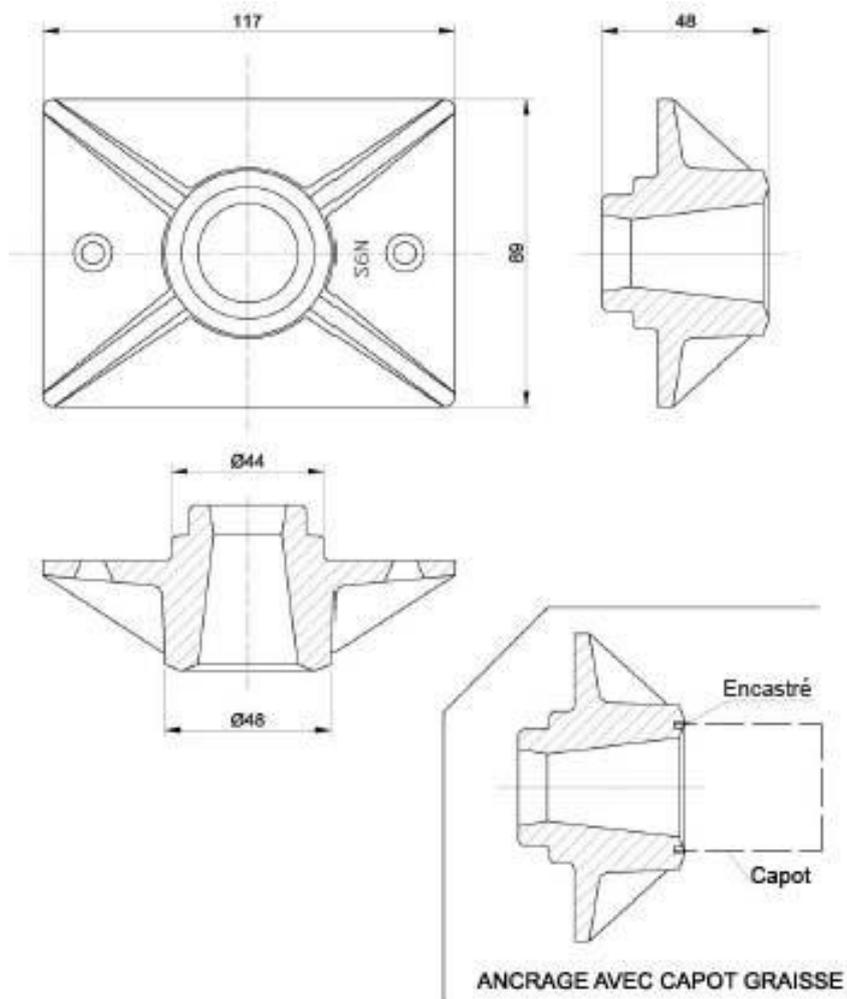


Figure 65 Corps d’ancrage type S 6-1 Standard

Note : Le corps d’ancrage S 6-1 Standard peut être utilisé pour former un ancrage intermédiaire, fixe ou noyé S 6-1 Standard

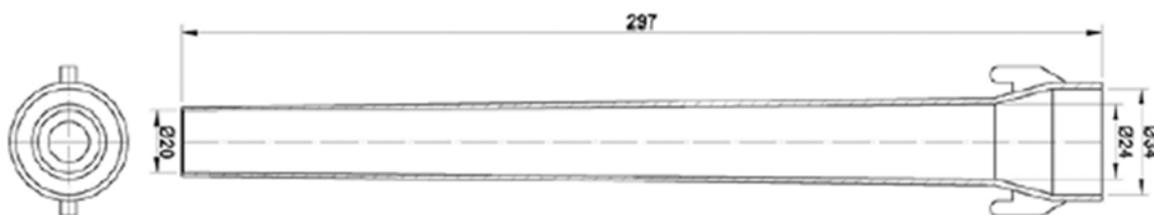


Figure 66 Trompette type S 6-1 Standard (pour application sans adhérence)

6.5. COUPLEUR A RESSORT SK 6-1 SL

6.5.1. PRINCIPE DU SYSTEME ADHÉRENT ET NON ADHÉRENT

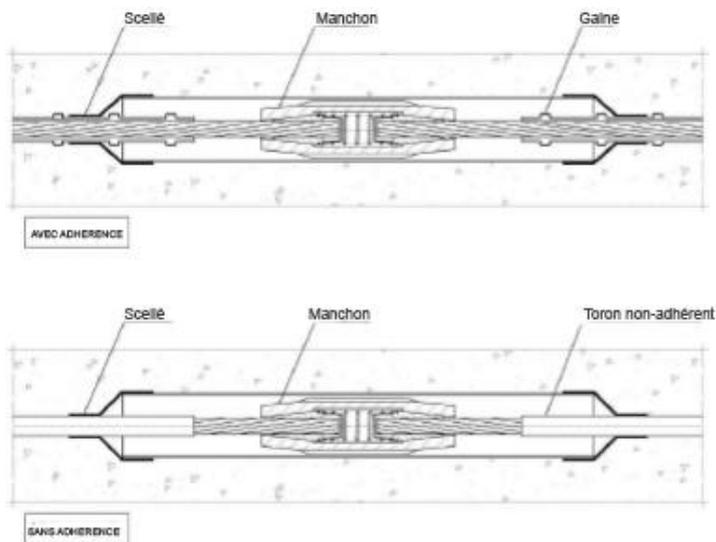


Figure 67 Coupleur à ressort SK 6-1 SL (application adhérente ou non adhérente)

6.5.2. DIMENSIONS ET ASSEMBLAGE

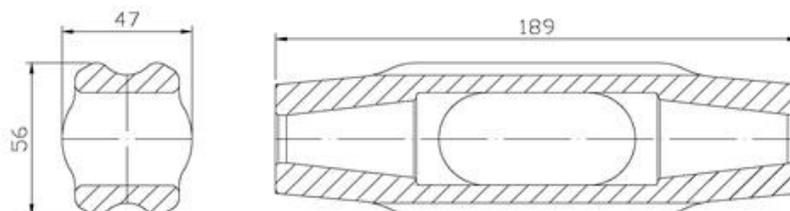


Figure 68 Dimension du corps du coupleur à ressort SK 6-1 SL

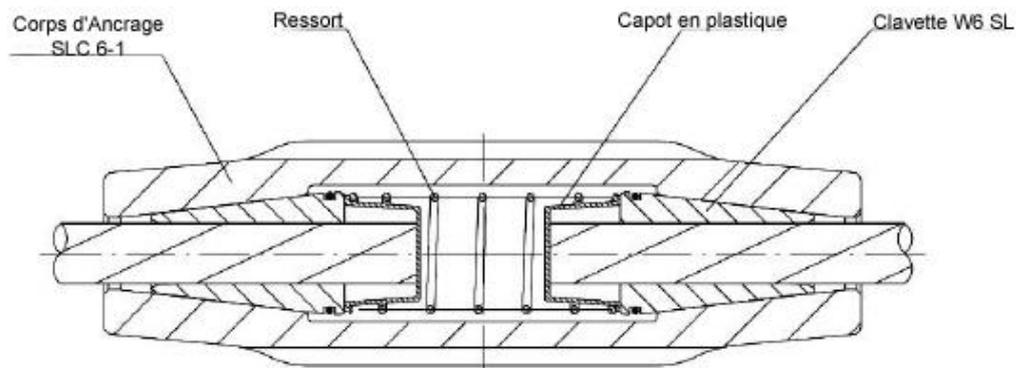


Figure 69 Schéma d'assemblage du coupleur à ressort SK 6-1 SL

6.6. ANCRAGES TYPE S 6-4 ET Si 6-4

6.6.1 PRINCIPE DU SYSTEME NON ADHÉRENT – ANCRAGE S 6-4

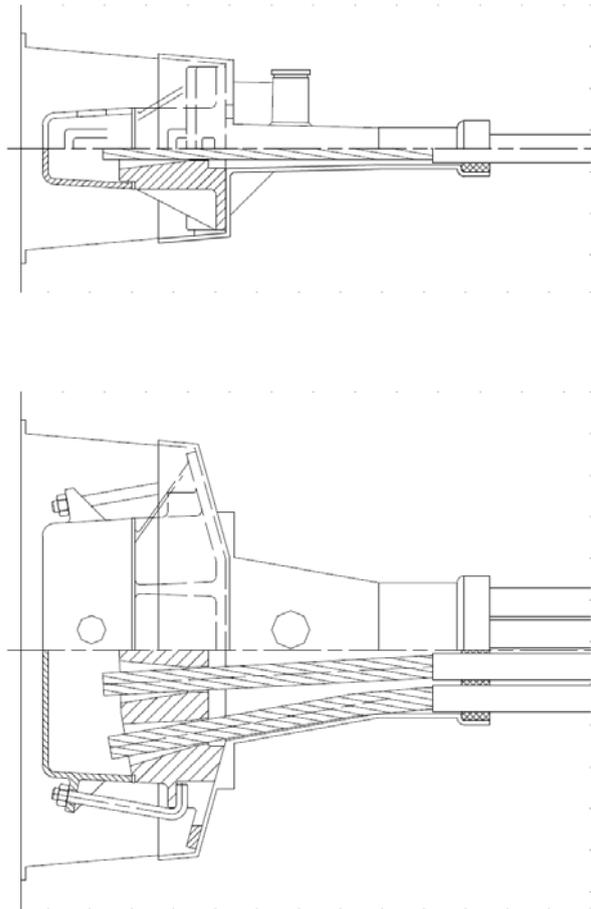


Figure 70 Ancrage type S 6-4 – Système non adhérent

6.6.2 PRINCIPE DU SYSTEME ADHÉRENT – ANCRAGE S 6-4

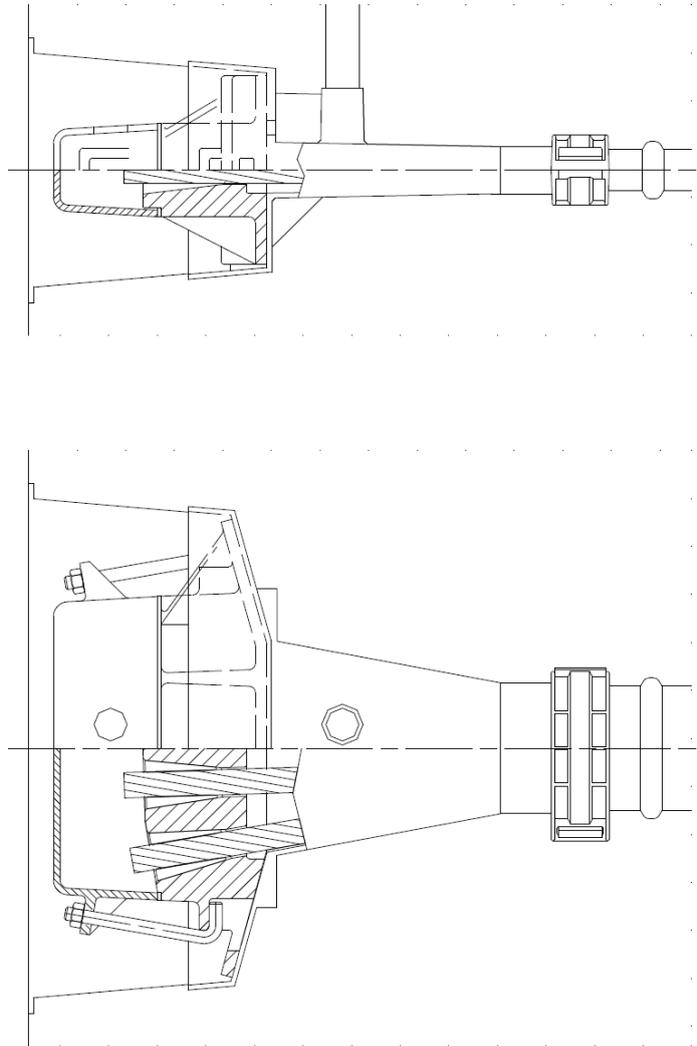


Figure 71 Ancrage type S 6-4 – Système adhérent

6.6.3 DIMENSIONS CORPS ET MANCHON – TYPE S 6-4

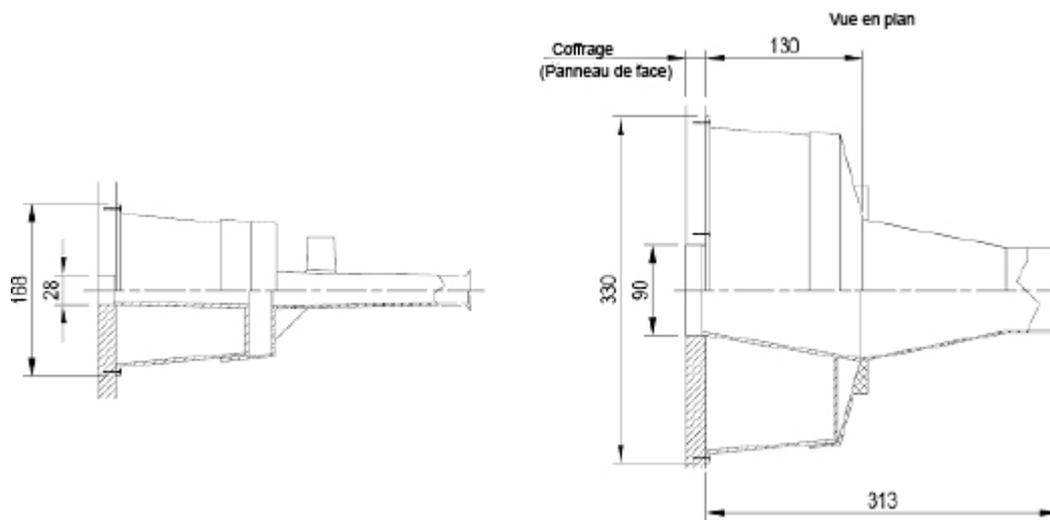


Figure 72 Ancrages type S 6-4 - Dimensions corps et manchon

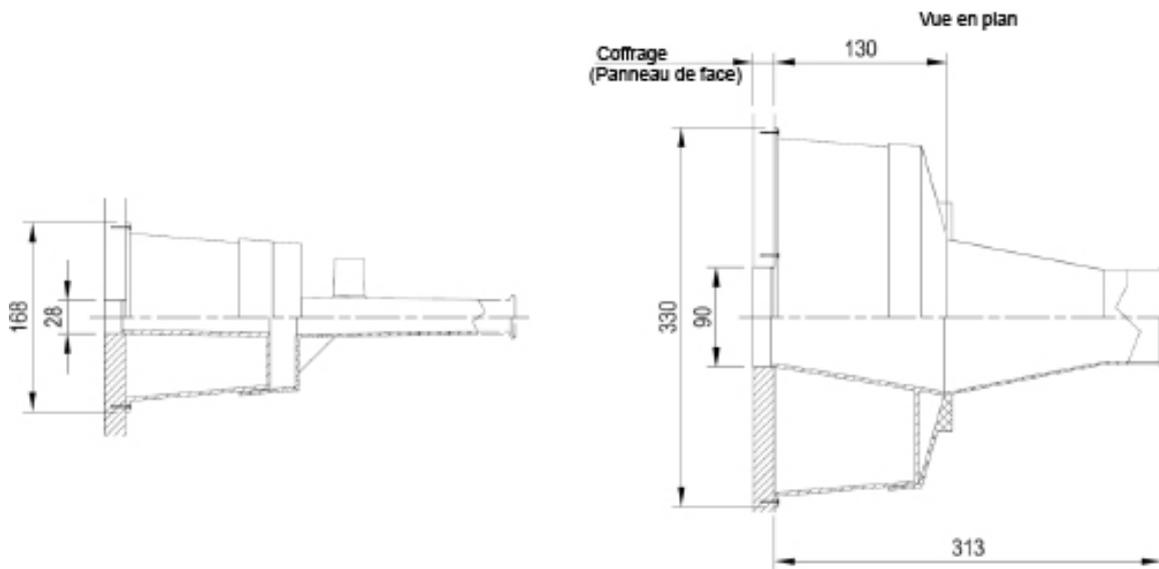


Figure 73 Ancrages type S 6-4 – Dimensions dispositif d’installation

6.7. ARMATURES DE FRETTAGE LOCAL D'ANCRAGE – ANCRAGES S6-1

Avec $f_{c,min}(t) > 16/20 \text{ N/mm}^2$ (résistance cylindre / cube) et toron Y1 860 S7 Ø 15,7 – T15,7 - 6S avec $f_{pk} = 1 860 \text{ N/mm}^2$, $F_{pk} = 279 \text{ kN}$ et $F_{p0.1k} = 246 \text{ kN}$ ou en-dessous.

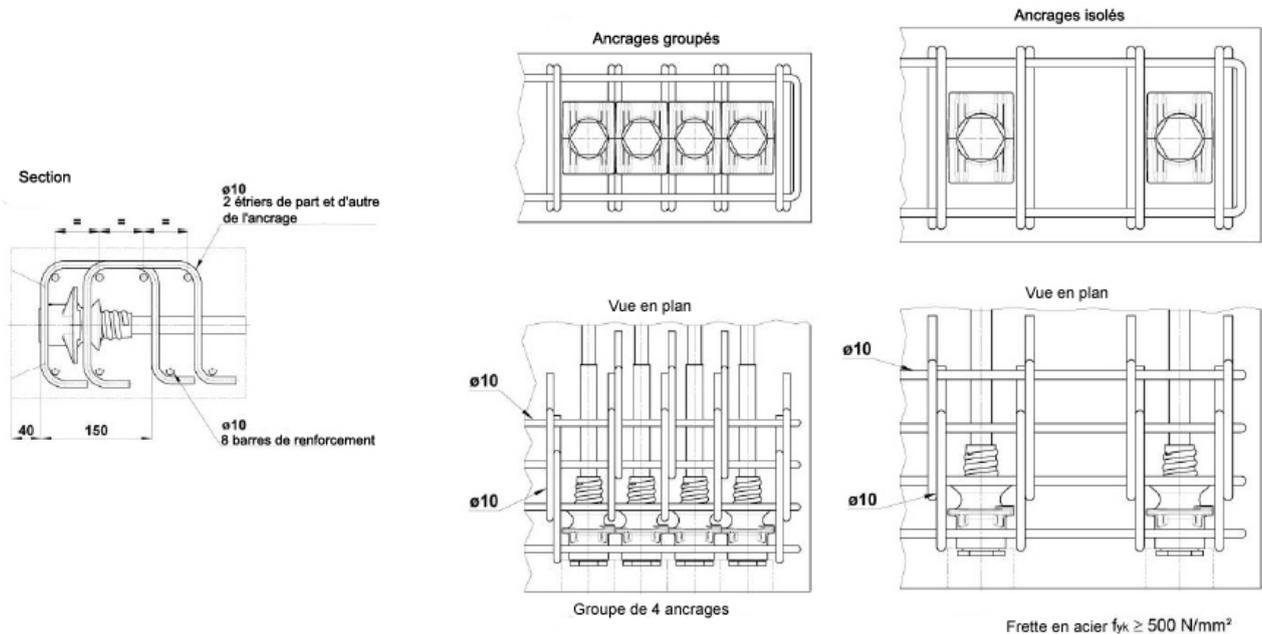


Figure 74 Exemple d'armatures à disposer complémentaires à celles d'équilibre général type S 6-1 $f_{c,min}(t) > 16/20 \text{ N/mm}^2$

6.8. ARMATURES DE FRETTAGE LOCAL D'ANCRAGE ANCRAGE S 6-1 PLUS & S6-1 STANDARD

Avec $f_{c,min}(t) > 16/20 \text{ N/mm}^2$ (résistance cylindre / cube) et toron Y1 860 S7 Ø 15,7 – T15,7 - 6S avec $f_{pk} = 1 860 \text{ N/mm}^2$, $F_{pk} = 279 \text{ kN}$ et $F_{p0.1k} = 246 \text{ kN}$ ou en-dessous.

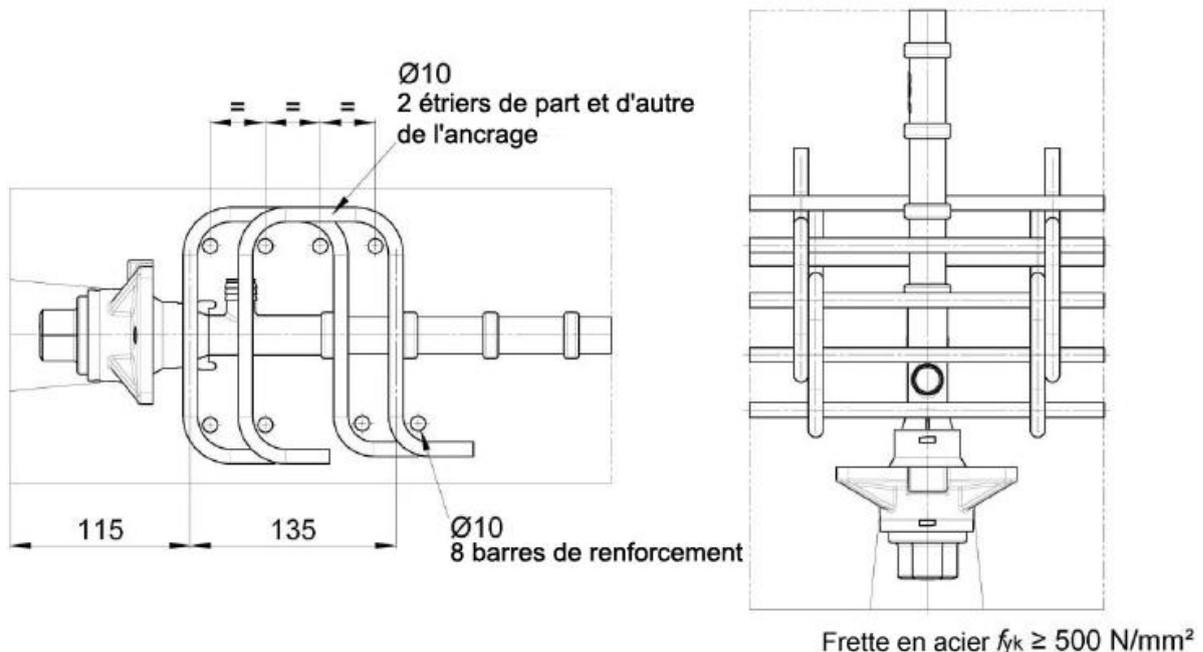
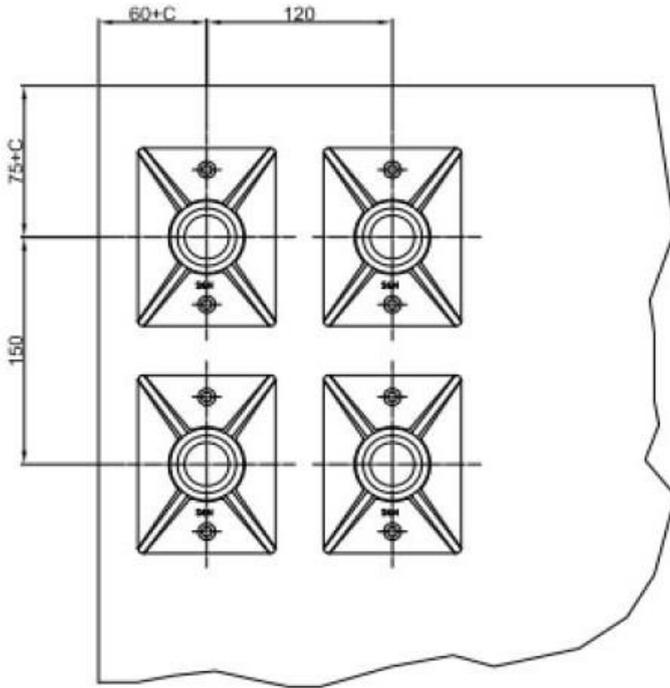


Figure 75 Exemple d'armatures à disposer complémentaires à celles d'équilibre général type S 6-1 PLUS et S 6-1 Standard $f_{c,min}(t) > 16/20 \text{ N/mm}^2$

Avec $f_{c,min}(t) > 20/25 \text{ N/mm}^2$ (résistance cylindre / cube) et toron Y1860 S7 $\varnothing 15,2 - T15,2 - 6N$ avec $f_{pk} = 1\,860 \text{ N/mm}^2$, $F_{pk} = 260 \text{ kN}$ et $F_{p0.1k} = 229 \text{ kN}$ ou en-dessous.

DISPOSITIF D'ANCRAGE TYPIQUE



ARMATURE DE FRETAGE LOCAL

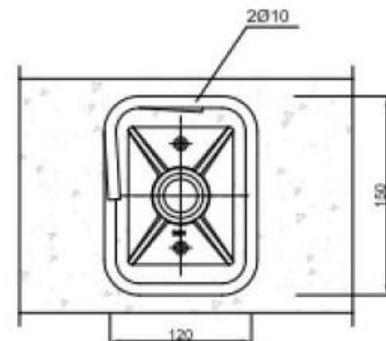
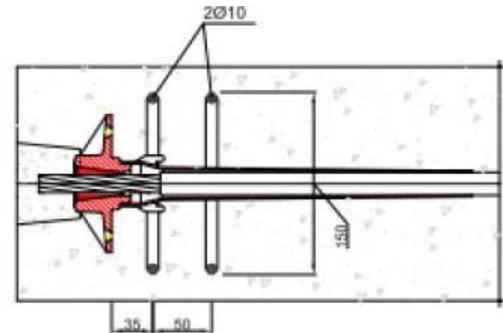
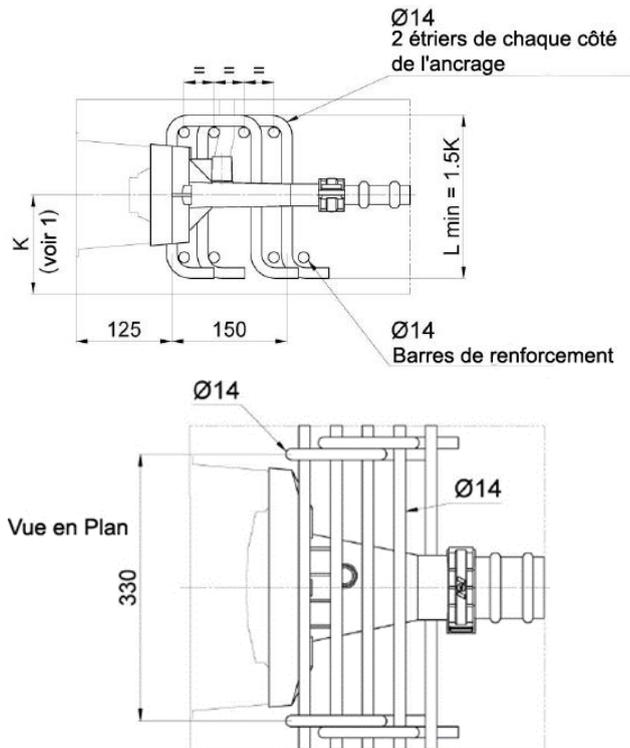


Figure 76 Exemple d'armatures à disposer complémentaires à celles d'équilibre général type S 6-1 PLUS et S 6-1 Standard $f_{c,min}(t) > 20/25 \text{ N/mm}^2$

6.9. FRETTES ET ARMATURES COMPLEMENTAIRES – ANCRAGE S6-4

Avec $f_{c,min}(t) > 16/20 \text{ N/mm}^2$ (résistance cylindre / cube) et toron Y1 860 S7 Ø 15,7 – T15,7 ou 6S avec $f_{pk} = 1\,860 \text{ N/mm}^2$, $F_{pk} = 279 \text{ kN}$ et $F_{p0.1k} = 246 \text{ kN}$ ou en-dessous.



- 1) $K = b'$, voir §3.5.2.
- 2) L doit être aussi grand que possible en fonction de l'épaisseur de la dalle et de la longueur du tour de barre $L_{min} = 1,5K$
- 3) Dans le cas d'ancrages dans un coin de dalle, les barres doivent être ancrées pour assurer l'équilibre

Frette en acier $f_{yk} \geq 500 \text{ N/mm}^2$

Figure 77 Exemple d'armatures à disposer complémentaires à celles d'équilibre général type S 6-4 $f_{c,min}(t) > 16/20 \text{ N/mm}^2$

6.10. VERINS DE MISE EN TENSION ET EXIGENCES DE DÉGAGEMENT

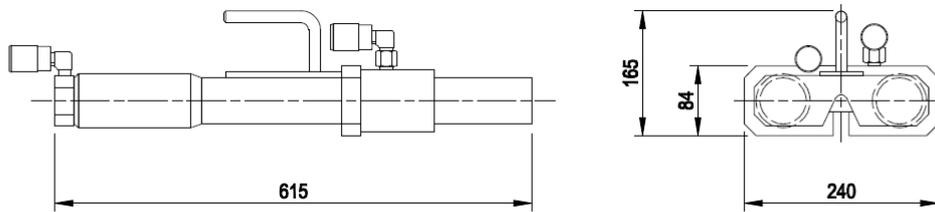


Figure 78 Vérin de mise en tension DKP-6

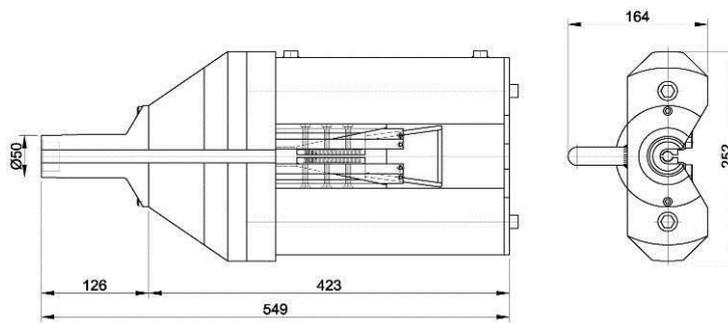


Figure 79 Vérin double Twin 25T

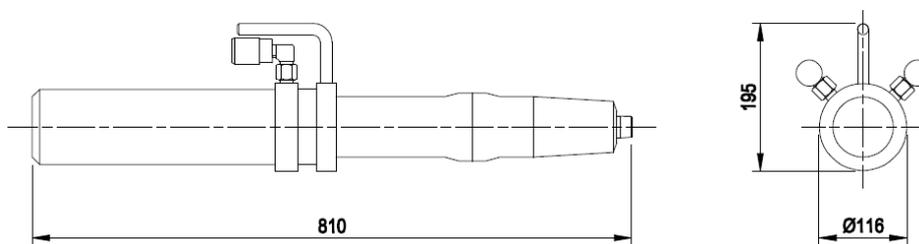


Figure 80 Vérin de mise en tension ZPE-23FJ

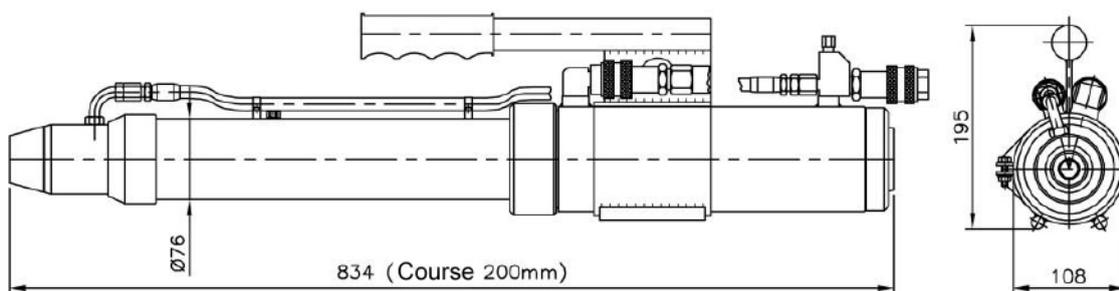


Figure 81 Vérin de mise en tension Alevin A7/24

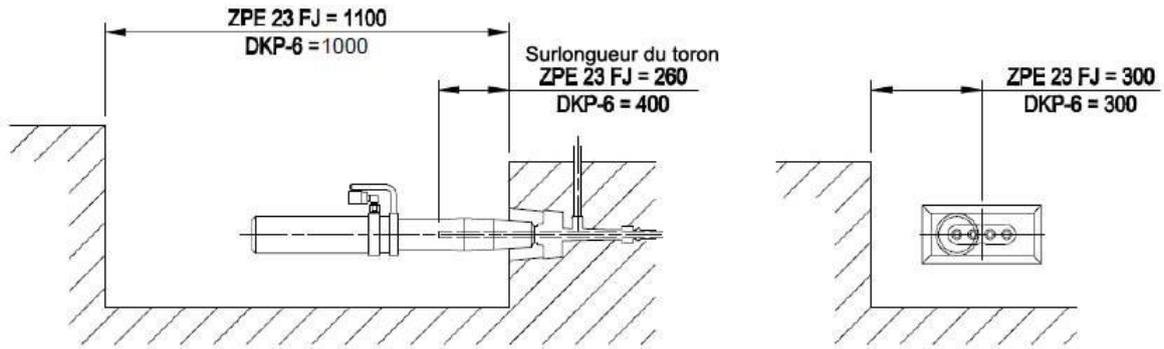


Figure 82 Exigences de dégagement avec les vérins DKP-6 et ZPE 23FJ

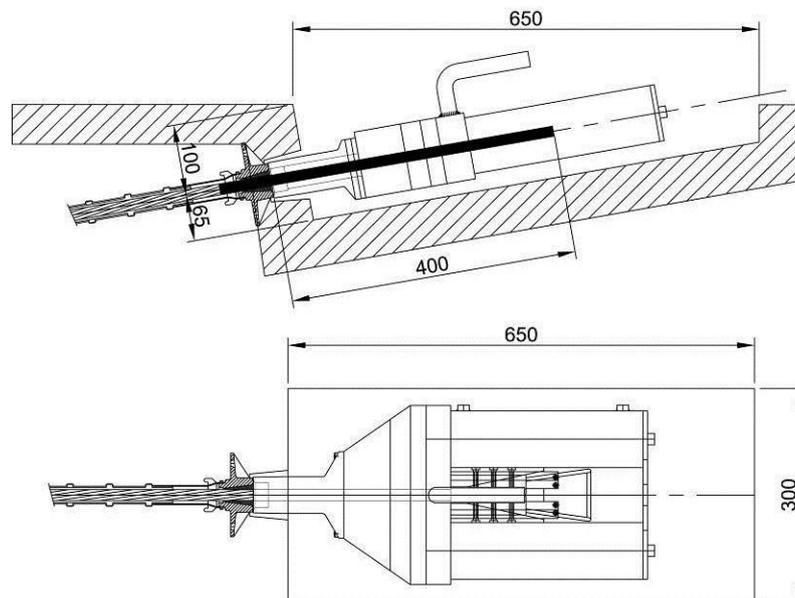


Figure 83 Exigences de dégagement avec le vérin double Twin 25T

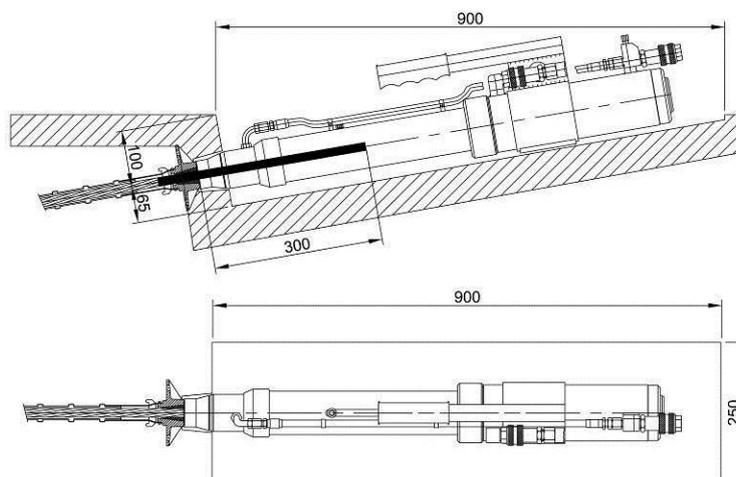


Figure 84 Exigences de dégagement avec le vérin Alevin A7-24

Notes : D'autres modèles de vérins peuvent être utilisés s'ils sont approuvés par VSL. Consultez la dernière révision de la brochure de précontrainte de VSL ou contactez VSL pour une liste à jour de l'équipement. Les dimensions ci-dessus dépendent des unités de précontrainte et des vérins disponibles. Celles-ci peuvent être réduites s'il est absolument nécessaire. Dans ces cas, consultez les Centres Techniques VSL.

6.11. GAINES

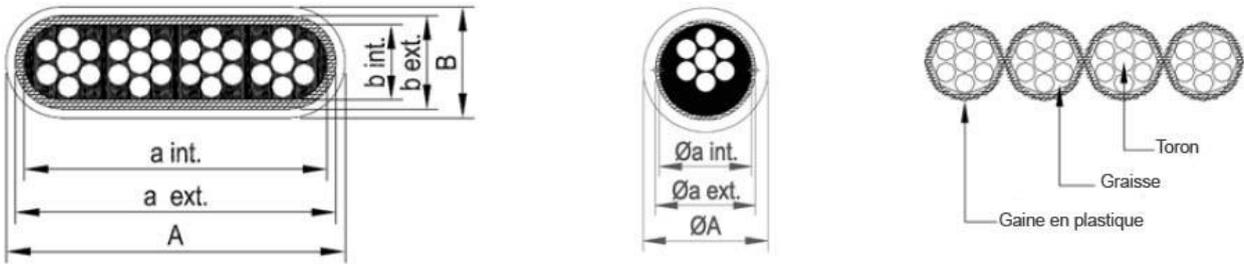


Figure 85 Gaine adhérente VSL PT-PLUS® / adhérente / non adhérente

Adhérente

	Gaine nervurée en feuillard	Gaine VSL PT-PLUS®
a int.	72	72
a ext.	-	76
A	75	86
b int.	18	21
b ext.	-	25
B	21	35

Adhérente

	Gaine VSL PT-PLUS®
Øa int.	22
Øa ext.	25
ØA	31

Non adhérente

Ø Toron	Ø ext. gaine Min / Max
0.6"	18 / 20

ANNEXE 3 – PLAN D'ESSAIS PRESCRIT ET ESSAIS D'AUDIT

1. Programme d'essais prescrit

1	2	3	4	5	6
Composant	Élément	Contrôle / Vérification	Traçabilité ⁴	Fréquence minimale	Documentation
Plaque d'ancrage	Matériau ⁷	Vérification	Partielle ⁶	100 % ⁸	2.2 ou 3.1 ¹
	Dimensions détaillées ⁵	Contrôle		3 % ⁸ ≥ 2 éléments	Oui
	Inspection visuelle ³	Vérification		100 % ⁸	Non
Tête d'ancrage coupleur	Matériau ⁷	Vérification	Totale	100 % ⁸	3.1 ²
	Dimensions détaillées ⁵	Contrôle		5 % ⁸ ≥ 2 éléments	Oui
	Inspection visuelle ³	Vérification		100 % ⁸	Non
Clavette, Douilles de compression	Matériau ⁷	Vérification	Totale	100 % ⁸	3.1 ²
	Traitement, dureté	Contrôle		0.5 % ⁸ ≥ 2 éléments	Oui
	Dimensions détaillées ⁵	Contrôle		5 % ⁸ ≥ 2 éléments	Oui
	Inspection visuelle ³	Vérification		100 % ⁸	Non
Gaine	Matériau ⁶	Vérification	CE ²	100 %	CE ²
	Inspection visuelle ³	Vérification		100 %	Non
Toron	Matériau ⁶	Vérification	Certification Nationale jusqu'au marquage CE ²	100 %	CE ²
	Diamètre	Contrôle		Chaque bobine	Non
	Inspection visuelle ³	Vérification		Chaque bobine	Non
Composants du produit d'injection selon EN 447	Ciment ⁶	Vérification	Totale	100 %	CE ²
	Adjuvants, additifs ⁶	Vérification	Partielle	100 %	CE ²
Monotoron	Matériau ⁶	Vérification	Certification Nationale jusqu'au marquage CE ²	100 %	CE ⁷
Tubes en plastique	Matériau ⁶	Vérification	Totale	100 %	CE ²
Gaines nervurées en polymère	Matériau et composants du système	Selon <i>fib Bulletin 75</i> , Chapitre 9	Totale	100 %	CE ⁷

Tous les échantillons sont prélevés de manière aléatoire et sont clairement identifiés.

Les détails concernant les procédures d'échantillonnage, y compris les méthodes d'enregistrement et de contrôle, font l'objet d'un accord entre l'Organisme d'Evaluation Technique et le Fabricant dans le cadre du programme d'essais prescrit. On utilise de préférence des méthodes d'échantillonnage et d'essai normalisées. En règle générale, tous les résultats sont consignés dans les rapports de contrôle de manière à permettre une comparaison directe avec les données de spécification figurant dans l'ETE ou dans la documentation complémentaire.

- 1 2.2 : Rapport d'essai type 2.2 (plaque d'ancrage métallique simple) ou certificat d'inspection 3.1 (plaques d'ancrage en fonte) conformément à la norme EN 10 204).
- 2 3.1 : Certificat d'inspection type 3.1 conformément à la norme EN 10 204.
Si les critères de délivrance du marquage CE ne sont pas disponibles, le programme d'essais prescrit doit inclure les mesures appropriées, jusqu'au moment où la spécification technique harmonisée sera disponible.
- 3 Inspections visuelle des aspects généraux tels que les dimensions principales, l'aspect extérieur, le marquage/étiquetage correct, l'état de surface, l'absence de défauts visibles, l'homogénéité, l'absence de corrosion, le revêtement, etc., sauf si ces aspects sont déjà couverts par d'autres éléments du programme d'essais prescrit. L'objectif de cette inspection est de garantir que le composant correspond à sa description et de détecter toute non-conformité visible pour un inspecteur expérimenté avec ce type de composants.
- 4 Totale : traçabilité totale de chaque composant jusqu'aux matières premières.
Partielle : Traçabilité de chaque livraison de composants jusqu'à un point défini.
- 5 Dimensions détaillées : mesures de toutes les dimensions et angles conformément aux spécifications énoncées dans le programme d'essais prescrit.
- 6 Les vérifications des matériaux ne sont fournies qu'à titre indicatif, car elles ne sont pas prévues dans le programme d'essais prescrit.
- 7 Lorsque les critères de délivrance du marquage CE n'existent pas, le programme d'essais prescrit doit prévoir des mesures appropriées. Le certificat doit être basé sur des contrôles spécifiques sur le lot de fabrication issu de la production afin de confirmer les propriétés spécifiées et il doit être préparé par un service du fournisseur qui soit indépendant du service de production.
- 8 Procédure conforme aux Spécifications du Contrôle Final de VSL.

Note : D'une manière générale, tous les essais, inspections, etc. sont effectués en vue de vérifier que les informations contenues dans les plans de fabrication et les spécifications pertinentes sont réellement appliqués aux composants.

2. Essais d'audit

Durant les inspections de surveillance, l'Organisme Notifié doit prélever des échantillons de composants du système de Précontrainte ou des composants individuels pour lesquels l'ETE a été accordée, afin d'effectuer des essais indépendants. Pour les composants les plus importants Le tableau ci-dessous présente les procédures minimales qui sont appliquées par l'Organisme Notifié.

1	2	3	4
Composant	Élément	Contrôle / Vérification	Nombre d'échantillons des composants par an
Plaques d'ancrage et autres éléments de transfert de force	Matériau conforme aux spécifications	Vérification, contrôle	1/an
	Dimensions détaillées	Contrôle	
	Inspection visuelle ¹⁰	Vérification	
Tête d'ancrage, Coupleur	Matériau conforme aux spécifications	Vérification, contrôle	1/an
	Dimensions détaillées	Contrôle	
	Inspection visuelle ¹⁰	Vérification	
Clavettes, douilles de compression	Matériau conforme aux spécifications	Vérification, contrôle	2/an
	Traitement	Contrôle	2/an
	Dimensions détaillées	Contrôle	1/an
	Principales dimensions, dureté de la surface	Contrôle	5/an
	Inspection visuelle ¹⁰	Vérification	5/an
Gaines nervurées en plastique/ polymère	Selon <i>fib Bulletin 75</i> , Chapitre 9	Vérification, contrôle	1 série/an (1 pour matériau : 2 tailles de gaine et 2 composants)
Essai de l'élément unique de traction	Essai sur une armature de précontrainte individuelle selon l'Annexe C.7	Essai	1 série/an
Coulis	Essais de coulis selon les points 11 à 18 du Tableau 3 (y compris, entre autres, essais de tube incliné et ressuage à la mèche) du DEE-160027-00-0301 ¹¹	Essai	1 série d'essais/an

Tous les échantillons sont prélevés de manière aléatoire et sont clairement identifiés.

Les détails concernant les procédures d'échantillonnage, y compris les méthodes d'enregistrement et de contrôle, font l'objet d'un accord entre l'Organisme d'Evaluation Technique et le Fabricant dans le cadre du programme d'essais prescrit. On utilise de préférence des méthodes d'échantillonnage et d'essai normalisées. En règle générale, tous les résultats sont consignés dans les rapports de contrôle de manière à permettre une comparaison directe avec les données de spécification figurant dans l'ETE ou dans la documentation complémentaire.

¹⁰ Inspections visuelle des aspects généraux tels que les dimensions principales, l'aspect extérieur, le marquage/étiquetage correct, l'état de surface, l'absence de défauts visibles, l'homogénéité, l'absence de corrosion, le revêtement, etc., sauf si ces aspects sont déjà couverts par d'autres éléments du programme d'essais prescrit. L'objectif de cette inspection est de garantir que le composant correspond à sa description et de détecter toute non-conformité visible pour un inspecteur expérimenté avec ce type de composants.

¹¹ Appliqué au coulis spécial spécifié dans le DEE-160027-00-0301 et dans cette ETE.

ANNEXE 4 – NORMES ET DIRECTIVES DE RÉFÉRENCE

1. Matériaux et normes de référence

Composant	Matériau	Norme
Plaque d'ancrage	Acier profilé	EN 10025
Plaque en fonte	Fonte	EN 1561, EN 1563
Tête d'ancrage	Acier trempé et revenu	EN 10083-1, EN 10083-2, GB/T 3077, GB/T 17107, ASTM A897 M
Coupleur monotoron	Fonte	ASTM A897 M
Clavettes	Acier de cémentation ou de décolletage	EN 10084, EN 10087, GB/T 3077, GB/T 5216
Douilles de compression	Acier non allié	EN 10083-2
Gaines nervurées	Feuillard métallique	EN 523
Gaine en polymère	Matériau en polymère	fib Bulletin 75
Bloc de déviation	Matériau en polymère	-
Coulis	Ciment, additifs	EN 447
Toron	Toron d'acier	prEN 10138-3

Note : Les matériaux précis et leurs propriétés sont déposés auprès de Cerema ITM

2. Directives et recommandations

Document d'Evaluation Européen

DEE 1600004-00-0301 édition de septembre 2016 des « Procédés de précontrainte des structures par post-tension »

DEE 160027-00-0301 édition de septembre 2016 des « Produits spéciaux de remplissage pour les procédés de précontrainte »

Accord d'Atelier du CEN (Comité Européen de Normalisation)

CWA 14646:2003: "Exigences relatives à la mise en œuvre de procédés de précontrainte par post-tension et à la qualification de l'entreprise distributrice spécialisée et de son personnel."

Recommandations CEB-FIP

fib Bulletin N° 33 – 2005 : « Durabilité des câbles de précontrainte »

fib Bulletin N° 75 – 2014 : « Systèmes de gaines en polymère pour précontrainte intérieure adhérente ». Recommandation

3. Standards et normes

ASTM A897 M (2016)	“Spécifications standard pour des pièces en fonte ADI (fonte austénitique et bainitique)”
EN 445 : 2007	“Coulis pour câbles de précontrainte – Méthodes d’essai”
EN 446 : 2007	“Coulis pour câbles de précontrainte – Procédures d’injection de coulis”
EN 447 : 2007	“Coulis pour câbles de précontrainte – Prescriptions pour les coulis courants”
EN 523 : 2005	“Gainés en feuillard d’acier pour câbles de précontrainte – Terminologie, prescriptions, contrôle qualité”
EN 1561 : 2011	“Fonderie – Fonte à graphite lamellaire”
EN 1563 : 2012	“Fonderie – Fonte à graphite sphéroïdal”
EN 1992-1-1 : 2004	“Eurocode 2 : Calcul des structures en béton - Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments”
EN ISO 9001 : 2008	“Systèmes de management de la Qualité -Exigences”
EN 10025-2 : 2006	“Produits laminés à chaud en aciers de construction – partie 2 : conditions techniques de livraison pour les aciers de construction non alliés”
EN 10083-1 : 2008	“Aciers pour trempe et revenu - Partie 1 : Conditions techniques générales de livraison”
EN 10083-2 : 2006	“Aciers pour trempe et revenu - Partie 2 : Conditions techniques de livraison des aciers non alliés”
EN 10084 : 2010	“Acier de cémentation – Conditions techniques de livraison”
prEN 10138-3 : 2006	“Aciers de précontrainte – Partie 3 : Toron”
EN 10216-1 : 2014	“Tubes sans soudure en acier pour service sous pression- Conditions techniques de livraison – Partie 1 : Tubes en acier non allié avec caractéristiques spécifiques à température ambiante ”
EN 10217-1 : 2003	“Tubes soudés en acier pour service sous pression - Conditions techniques de livraison – Partie 1 : Tubes en acier non allié avec caractéristiques spécifiques à température ambiante”
EN 10219-1 : 2007	“Profils creux de construction soudés, formés à froid en aciers non allié et à grains fins – Partie 1 : Conditions techniques de livraison ”
EN 12201-1 : 2012	“Systèmes de canalisation en plastique pour l’alimentation en eau et pour les branchements et les collecteurs d’assainissement avec pression – Polyéthylène (PE) – partie 1 : généralités”
EN 10204 : 2006	“Produits métalliques – Types de documents de contrôle”
EN 10255 : 2005	“Tubes en acier non allié soudable et filetables - Conditions techniques de livraison”
EN 10305-3 :2011	“Tubes de précision en acier - Conditions techniques de livraison – Partie 3 : Tubes soudés calibrés à froid”
EN 13391 : 2005	“Essais mécaniques concernant les procédés de précontraintes par post-tension”
EN 13670 : 2013	“Exécution de structures en béton” GB/T 3077-1999 “Structure en aciers alliés”
GB/T 5216-2004	“Aciers profilés soumis à des exigences de dureté à la trempe”
GB/T 17107-1997	“Nuances d’aciers profilés et propriétés mécaniques pour les pièces forgées”
XP-A-35-037-3:2003	“Produits en acier - Torons en acier haute résistance protégés gainés –Partie 3 : Prescriptions relatives aux torons protégés gainés adhérents (type SC) ”