

Systemes de precontrainte VSL

VSL SUISSE



A member of
Bouygues Construction

Novembre 2021

CATALOGUE TECHNIQUE

Éditorial



La précontrainte est un outil fantastique qui permet à l'ingénieur concepteur de définir la trajectoire des efforts internes dans les structures en béton en imposant un état de contrainte interne favorable. Cela permet de minimiser les déformations, d'augmenter l'élanement des éléments, de réduire l'encombrement des armatures, de permettre une construction par segments préfabriqués sans joints de reprise et d'utiliser de l'acier à haute résistance.

Cette brochure technique donne un aperçu des systèmes de précontrainte disponibles et de leurs domaines d'application. Il fournit des conseils aux ingénieurs dans la conception de structures précontraintes et dans le choix du système de précontrainte le mieux adapté à chaque projet.

Certains prétendent que la précontrainte est devenue une méthode de construction basique au même titre que le béton armé. C'est inexact, car la précontrainte ne se limite pas à être un produit. Elle est avant tout un concept structurel. La simple fourniture de composants de qualité ne suffit pas pour atteindre une précontrainte durable des structures. Il est tout aussi important de veiller aux détails lors de l'exécution sur chantier. Il est par conséquent dans l'intérêt des maîtres d'ouvrages que les entreprises spécialisées dans la précontrainte soient responsables de l'implémentation sur site.

En 2008, VSL a créé son Académie pour assurer la formation professionnelle de son personnel opérationnel sur des modèles à taille réelle. Cette formation permet aux superviseurs et aux ingénieurs d'acquiescer les compétences nécessaires pour former et accompagner les monteurs sur les spécificités de chaque projet. L'Académie est également un endroit propice pour permettre aux maîtres d'ouvrages et clients de se familiariser avec les systèmes de précontrainte de VSL et pour montrer, au moyen de démonstrations pratiques, l'importance d'un travail de chantier de qualité pour la durabilité d'un projet.

La durabilité reste un défi, mais celui-ci est réalisable si les détails constructifs modernes rendus obligatoires par les concepteurs et maîtres d'ouvrages dans les spécifications techniques sont mis en œuvre convenablement par les entreprises spécialisées et vérifiés par les ingénieurs responsables. Cela a été reconnu dès 2005 par des associations professionnelles internationales telles que la fib, qui ont déconseillé la vérification de l'étanchéité d'une gaine par l'eau, proposé de nouvelles méthodes d'essai pour l'évaluation des mélanges de coulis en présence de torons, et introduit le concept des niveaux de protection 1 à 3 (ou A à C). Les nouvelles méthodes d'essai seront reprises par les Eurocodes en 2007 (EN445 à 447). Le concept de niveau de protection A à C sera adopté par la SIA la même année.

VSL se tient volontiers à disposition des différents intervenants impliqués dans la précontrainte, du maître d'ouvrage à l'ingénieur, en passant par l'entrepreneur, pendant les phases de conception et tout au long du cycle de vie des ouvrages.

Dr. sc. h.c. ETH Max Meyer,
conseiller scientifique groupe VSL

Table des matières

A UN PARTENAIRE DE CONFIANCE DEPUIS 1956

1. 60 ans d'expérience et d'innovation	9
2. Principaux avantages de la précontrainte	10
3. Certification internationale	11
4. Technologie des systèmes de précontrainte	12

B VSL SYSTÈME DE PRÉCONTRAINTE À TORONS

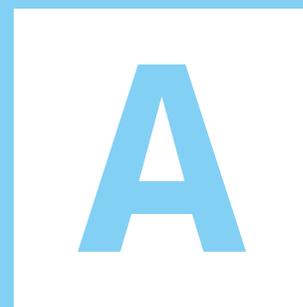
1. Durabilité des câbles de précontrainte	17
2. Systèmes de précontrainte VSL - pour toutes les applications	18
• Système de précontrainte pour dalles	20
• Système de précontrainte interne	22
• Système de précontrainte externe	24
• Système de câbles externes pour haubans de ponts extradossés	26
• Système de précontrainte par câbles isolés électriquement (EIT)	28
3. Mise en place de la précontrainte : la clé de la qualité	31
4. Surveillance des ouvrages	37
5. Conception des structures précontraintes	38

C DIMENSIONNEMENT ET CONSIDÉRATIONS CONSTRUCTIVES

1. Aide pour le dimensionnement	41
2. Considérations constructives	47
3. Équipement de mise en tension et espace libre	49

D DONNÉES TECHNIQUES DES SYSTÈMES DE PRÉCONTRAINTE VSL

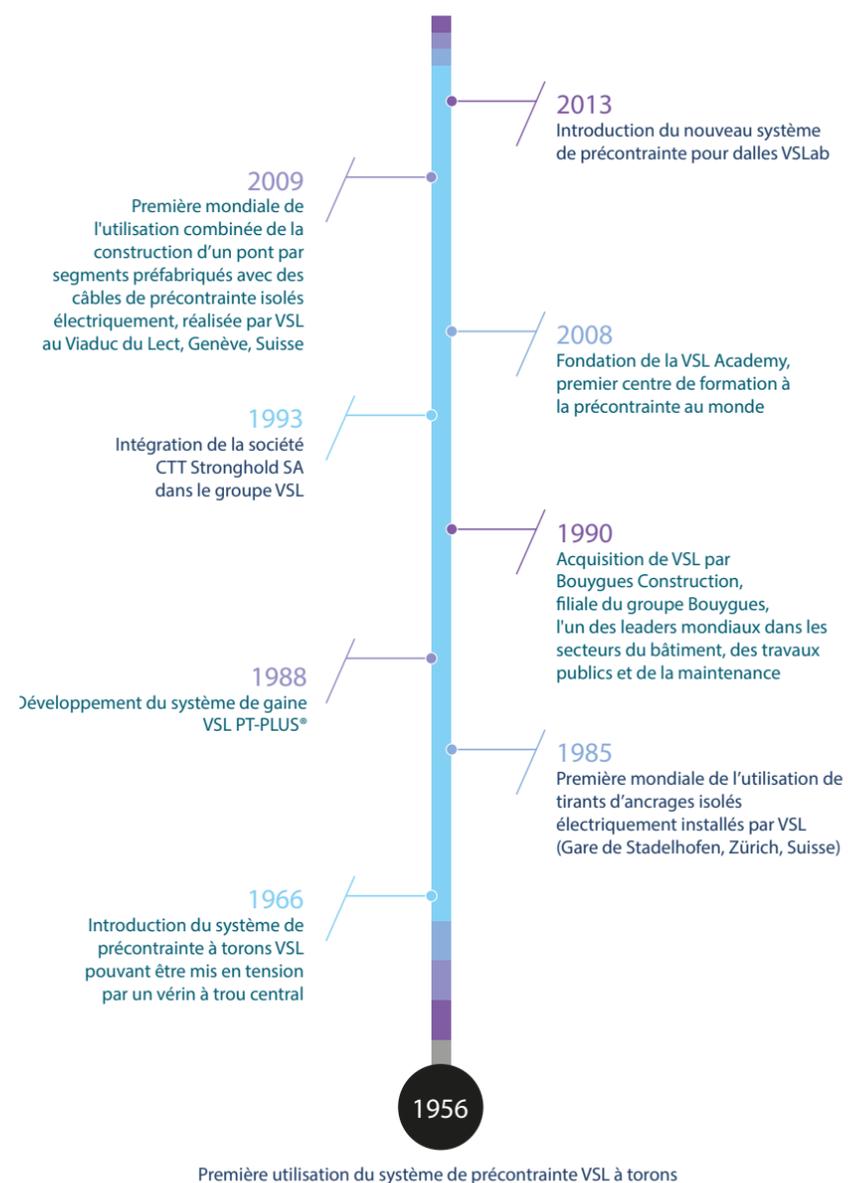
1. Câbles	53
2. Gaines	54
3. Ancrages	56
• Câbles de dalles	57
• Câbles multitorons internes	67
• Câbles multitorons externes	85
• Câbles isolés électriquement	89



Un partenaire de confiance depuis 1956

1

60 ans d'expérience et d'innovation





2 Principaux avantages de la précontrainte

- **Flexibilité dans la conception** – la précontrainte offre une plus grande flexibilité dans la conception et le respect des exigences architecturales. Des portées de plancher plus longues permettent de créer de grands espaces dans les bâtiments et offrent une flexibilité et un confort importants aux utilisateurs. La construction est simplifiée et l'épaisseur de dalle réduite, ce qui est particulièrement intéressant pour les bâtiments avec des gaines techniques sous plafond.
- **Périodes de construction plus courtes** – la précontrainte permet des temps de décoffrage réduits par le fait que le poids du béton est compensé par les efforts de déviation des câbles. En combinaison avec des larges tables de coffrage, il est possible dans le cadre de la construction de bâtiments d'atteindre des cycles de quatre jours.
- **Durabilité** – La contrainte élevée appliquée sur le béton permet d'accroître le contrôle de la fissuration et d'assurer la durabilité des structures.
- **Réduction de l'impact carbone** – Les constructions précontraintes sont plus élancées que celles en béton armé, ce qui réduit les quantités de béton et les charges appliquées aux fondations. L'utilisation de moins de matériaux de construction réduit ainsi l'empreinte carbone de la structure.
- **Économie** – Les durées de construction plus courtes et la réduction des matériaux de construction optimisent les coûts de construction, tandis que la durabilité accrue a un effet bénéfique sur le coût global de la structure sur l'ensemble de sa durée de vie.



Adhuc Tower Abu Dhabi, U.A.E. - 2009

3 Certification internationale

Les systèmes de précontrainte destinés à être utilisés dans l'Union européenne doivent satisfaire aux exigences techniques définies par un EAD (European Assessment Document). Le comportement des ancrages en condition d'utilisation et de rupture est vérifié par un ensemble de procédures d'essai. Une fois cette preuve produite, le système sera certifié par un document d'évaluation technique européen (ETA).

Les composants sont soumis à un contrôle de production en usine ainsi qu'à la surveillance indépendante et continue d'un organisme agréé (Notified Body). En outre, afin de garantir une installation conforme aux exigences du système, il est impératif que les systèmes de précontrainte soient installés par le personnel qualifié d'entreprises spécialisées.

DISPOSITIONS TYPES EN MATIÈRE D'ESSAIS

Les essais à appliquer aux systèmes de précontrainte sont détaillés dans le document d'évaluation européen EAD 160004-00-00-0301 (anciennement ETAG 013). Les essais suivants sont à réaliser pour chaque type d'ancrage :

- Essais de traction statique
- Essais de fatigue
- Essais de transfert de charge pour chaque classe de résistance de béton

D'autres essais sont définis dans l'EAD, tels que les essais d'assemblage et d'injection de coulis, ainsi que toute une série d'essais pour des applications spéciales, y compris les essais sur la déviation des câbles de précontrainte externe et le comportement des ancrages dans des conditions cryogéniques.

CERTIFICATION ETA – LE CONTRÔLE DE QUALITÉ PENDANT LA FABRICATION

L'EAD 160004-00-0301 spécifie les fréquences minimales de contrôles de fabrication qui doivent être mises en œuvre. Le processus de production complet de l'usine, incluant la conformité aux exigences, est intégralement audité par un organisme agréé. Toute non-conformité doit être rectifiée avant la recertification. Les fréquences de contrôles sont les suivantes :

- le fabricant du système de précontrainte (kit) et son usine de fabrication sont audités chaque année,
- chaque fournisseur de composants est audité tous les cinq ans,
- certains composants du kit sont sélectionnés chaque année sur site et des essais indépendants sont effectués pour contrôler leurs caractéristiques.

Ces dispositions garantissent la qualité et la conformité des composants du système livrés sur site.

L'ETA permet la mise sur le marché d'un produit de construction muni d'une attestation de conformité avec le marquage CE. Il s'agit d'une marque de conformité européenne et d'une déclaration du fabricant démontrant que le produit satisfait aux exigences des directives applicables.

UN PASSEPORT INTERNATIONAL GARANTISSANT LES NORMES LES PLUS ÉLEVÉES

Le marquage CE et l'évaluation technique européenne sont un passeport international pour les systèmes de précontrainte. Les systèmes de précontrainte marqués CE, installés par des entreprises de précontrainte spécialisées et certifiées offrent le plus haut niveau de qualité. Les maîtres d'ouvrages ont ainsi l'assurance que seuls des produits de haute qualité, à la pointe de la technologie sont installés et que le niveau de sécurité requis est assuré.



 	
<p>Cerema ITM 110 rue de Paris 77 171 Sourdis FRANCE</p> <p>Mail: eta@cerema.fr Tel: +33 461 523 131 Web: www.cerema.fr</p>	
<p>European Technical Assessment ETA 06/0006 of 12/09/2017</p>	
<p>Technical Assessment Body issuing the ETA:</p>	<p>Cerema Direction technique infrastructures de transport et matériaux</p>
<p>Trade name of the construction product</p>	<p>VSL Post-Tensioning System</p>
<p>Product family to which the construction product belongs</p>	<p>16. Reinforcing and prestressing steel for concrete (and ancillaries). Post tensioning kits.</p>
<p>Manufacturer</p>	<p>VSL INTERNATIONAL Ltd. Wankdorfallee, 5 CH-3014 Bern SWITZERLAND http://www.vsl.com/</p>
<p>Manufacturing plant(s)</p>	<p>VSL Systems Manufacturer S.L. Ribera del Congost, s/n - P. I. El Congost 08520 Les Franqueses del Vallès Barcelona SPAIN</p>
<p>This European Technical Assessment contains</p>	<p>141 pages including 4 Annexes (126 pages) which form an integral part of this assessment.</p>
<p>This European Technical Assessment is issued in accordance with regulation (EU) No 305/2011, on the basis of</p>	<p>ETAG 013, edition June 2002, used as European Assessment Document (EAD)</p>
<p>This ETA replaces</p>	<p>ETA 06/0006 version 2 of 26/05/2015</p>

4 Technologie des systèmes de précontrainte

Certifications des systèmes de management VSL

VSL est certifié selon les normes QSE suivantes :

- ISO 9001 : Management de la qualité
- ISO 14001 : Management environnemental
- ISO 45001 : Gestion de la santé et de la sécurité

La formation : au cœur de la performance



VSL ACADEMY - LA PREMIÈRE ACADÉMIE DE PRÉCONTRAINTÉ AU MONDE

En 2008, VSL a lancé la VSL Academy pour développer le partage des connaissances en formalisant et standardisant la formation de tous les contremaîtres, superviseurs et ingénieurs de chantier de précontrainte. La VSL Academy fournit des installations et des ressources uniques au sein de la société VSL avec des formations pratiques sur des modèles de précontrainte conçus pour couvrir l'ensemble des procédures opérationnelles et pour former notre personnel aux techniques et aux savoir-faire nécessaires à l'exécution de travaux selon les exigences normatives. En complément, elle permet d'harmoniser les procédures de travail et renforce les compétences.

LE SYSTÈME DE CERTIFICATION DE L'ACADÉMIE VSL

- L'étape 1 (formation de 2 semaines) consiste en une formation

sur les bases et les principes fondamentaux de la précontrainte et amène les participants au niveau de contremaître.

- L'étape 2 (formation de 1 semaine) forme les collaborateurs au niveau superviseur et chef de chantier.

FORMATION SUR SITE

Les contremaîtres et chefs de chantier certifiés à l'académie sont responsables de la formation de la main-d'œuvre sur site. Un personnel bien formé et certifié est l'atout le plus précieux de VSL pour fournir le meilleur service possible à ses clients.



R&D : la clé de la qualité et de la durabilité

L'activité de recherche et développement est le moteur de VSL. Les questions de Qualité, Sécurité, Environnement et de durabilité sont depuis longtemps prioritaires, de même que l'efficacité des méthodes de construction et des travaux sur site. Dans le domaine de la précontrainte, il est également important de disposer d'une expertise interne en matière de conception et de méthodes et d'être en mesure de proposer des solutions de surveillance et d'inspection.

La clé de la durabilité se reflète dans les concepts, les procédures de travail et la conception des systèmes de précontrainte VSL. Les principaux facteurs de durabilité sont :

NORMES DE QUALITÉ ÉLEVÉES

La combinaison de systèmes de précontrainte de pointe certifiés au niveau international et d'un personnel qualifié pour l'installation garantit le haut niveau de qualité des systèmes de précontrainte VSL.

COMPOSANTS ÉPROUVÉS

Les systèmes de précontrainte VSL sont équipés du système de gaines VSL PT-PLUS®, une gaine plastique étanche aux liquides et aux gaz. Cela augmente non seulement la protection contre la corrosion des torons, mais également la résistance à la fatigue du câble.

La mise en œuvre des câbles isolés électriquement (EIT) de VSL permet de vérifier l'intégrité du système de gainage après le bétonnage et, si nécessaire, de surveiller la structure tout au long de sa durée de vie. Le même principe a connu son succès initial avec une autre première mondiale VSL, l'utilisation de tirants d'ancrages isolés électriquement en 1985.

CONSTRUCTION DURABLE

La longévité des systèmes de précontrainte VSL contribue à la construction durable des structures dans lesquelles ils sont mis en œuvre.

L'optimisation de la structure par la mise en œuvre des systèmes de précontrainte VSL permet de réduire le volume de matériaux nécessaires - béton et armatures passives - et par conséquent l'empreinte carbone.

Support technique

Grâce à ses agences dans le monde entier, VSL peut offrir une palette complète de services professionnels de haute qualité pour tous types de projets, depuis les études de faisabilité et les avant-projets jusqu'aux propositions alternatives, en passant par les services de conseil aux entrepreneurs et la conception de travaux permanents. Nos ingénieurs conçoivent les meilleures solutions possibles avec le meilleur rapport qualité-prix. VSL fournit des approches entièrement personnalisées et adaptées aux besoins de chaque client.

Cette présence mondiale confère à VSL un haut degré d'expertise et de flexibilité qui lui permet de trouver les solutions les plus adaptées grâce à une coopération mondiale. Notre objectif est d'être le partenaire de choix pour les maîtres d'ouvrage, les ingénieurs et les entrepreneurs.

DÉVELOPPEMENTS ISSUS DE LA R&D

Coupleur de segments VSL PT-PLUS®

Le coupleur de segments VSL PT-PLUS® est utilisé dans les structures "match-cast", dans le cadre d'une précontrainte interne pour optimiser l'encapsulation dans les joints. Il est constitué d'un joint d'étanchéité, qui est comprimé lors du couplage des segments contre des surfaces d'appui bien définies.

Le couplage de segments VSL PT-PLUS® présente les caractéristiques suivantes :

- encapsulation complète des câbles pour les jonctions de segments : (obligatoire pour les catégories B et C)
- permet l'utilisation de câbles isolés électriquement dans la construction de segments "match-cast"
- compact
- peut être utilisé si des câbles se croisent en diagonale (jusqu'à un angle de 6 degrés)



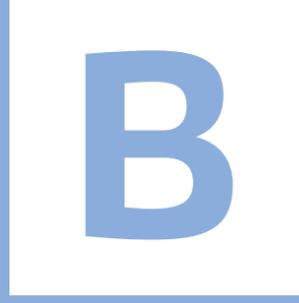
Essais pour les applications cryogéniques

La construction de conteneurs précontraints pour le stockage de GNL et GPL ("gaz naturel liquéfié" et "gaz de pétrole") exige que les ancrages, qui sont sécurisés par un EAD ou autre norme internationale, passent des tests de résistance à la traction à une température extrême de -196 degrés Celsius. Grâce à la longue expérience et à la technologie éprouvée des systèmes VSL pour une utilisation à très basse température, les systèmes de précontrainte VSL peuvent être utilisés dans le monde entier pour la précontrainte de tels conteneurs.



Chaque projet présente des défis uniques et, par conséquent, les membres du personnel technique de VSL travaillent en collaboration avec les maîtres d'ouvrage, les ingénieurs et les entrepreneurs pour déterminer les solutions optimales. Le Centre Technique de VSL, en collaboration avec les équipes d'ingénieurs des agences VSL locales fournit un soutien aux projets dans le monde entier. Les clients profitent grandement du développement continu des méthodes de construction spéciales de VSL et de l'échange d'informations qui a lieu sur l'ensemble du réseau VSL.

Les experts de VSL sont impliqués intensivement dans les organisations professionnelles, dans les comités tels que ceux de la fib (fédération internationale du béton) et du PTI (Post-tensioning Institute). De plus, VSL participe activement à l'élaboration de nouvelles normes, directives et recommandations.



VSL système de précontrainte à torons

1 Durabilité des câbles de précontrainte

L'importance de la conception

La durabilité des câbles de précontrainte dépend à la fois de la durabilité des matériaux utilisés : béton, acier de précontrainte, ancrages, gaines, matériaux d'injection (par ex. coulis de ciment) et de l'installation de ces matériaux. Une attention particulière sera portée aux exigences conceptuelles liées à la précontrainte - Tracé des câbles, qualité et enrobage de béton, sélection des matériaux en fonction de l'agressivité du milieu environnant.

Les choix conceptuels fait durant les phases d'avant-projet ont une influence déterminante sur la durabilité des câbles de précontrainte. VSL est en mesure d'aider les ingénieurs à évaluer et à sélectionner les stratégies et les mesures de protection.

Niveaux de protection des câbles

Le Bulletin 33 de la fib (Fédération Internationale du Béton) définit trois niveaux de protection (Cat) pour les câbles de précontrainte :

NIVEAU DE PROTECTION 1 (PL1 ou Cat A) :

"Une gaine avec un matériau de remplissage offrant une protection durable contre la corrosion"

La Cat A est le niveau de protection standard pour les câbles internes, où les torons sont placés dans une gaine feuillard et protégés par un coulis VSL-HPI.

NIVEAU DE PROTECTION 2 (PL2 ou Cat B) :

"Cat A avec en plus une enveloppe, enfermant le faisceau de torons sur toute sa longueur et assurant une barrière d'étanchéité permanente". Pour la précontrainte interne, la Cat B est un niveau de protection accru, grâce aux gaines VSL PT-PLUS®, qui assurent une encapsulation étanche du câble, qui est de plus protégé par un coulis VSL-HPI. Pour la précontrainte externe, où des gaines en PEHD lisses sont utilisées, la configuration standard est la Cat B, car les câbles n'ont pas la protection anticorrosion supplémentaire du béton environnant des câbles internes. Les monotorons non injectés VSL se caractérisent par la Cat B car ils fournissent un toron avec une gaine (HDPE), un matériau de remplissage (graisse) ainsi que la protection de la zone d'ancrage.

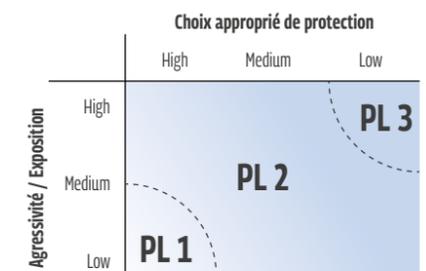
NIVEAU DE PROTECTION 3 (PL3 ou Cat C) :

"Cat B avec en plus une isolation électrique de l'ensemble du câble (torons, clavettes et ancrages) vis-à-vis de la structure permettant de contrôler à tout moment l'intégrité du gainage via des mesures de résistance électrique".

Pour le système de précontrainte isolé électriquement (EIT System) des gaines VSL PT-PLUS®, on utilise des capots en PEHD et du coulis de ciment VSL-HPI. De plus, le système d'ancrage prévoit une trompette en PEHD qui assure l'isolation des torons de la structure avoisinante, y compris dans la zone d'ancrage. La Cat C offre également une protection contre la corrosion par courants vagabonds.

Choix du niveau de protection approprié

La catégorie de protection (PL ou Cat) d'un câble de précontrainte définit sa résistance face aux agressions de son environnement. Ce niveau de protection est fonction des conditions d'exposition ainsi que de la qualité de l'élément structurel. Par conséquent, le PL (ou Cat) d'un câble doit être choisi sur la base de l'évaluation de ces facteurs.



L'évaluation du caractère agressif de l'environnement et de l'exposition peut être effectuée en se référant au tableau 1.3 du Bulletin 33 de la fib et à la norme EN 206-1 "Béton - Partie 1 : Spécifications, performances, production et conformité". Celle-ci définit la classification de l'environnement général auquel les structures en béton sont exposées et le degré de corrosivité de l'environnement.

Le niveau de protection structurelle est évalué en fonction de la qualité et de l'enrobage du béton, de la mise en place de systèmes d'étanchéité et de drainage, de la disposition des câbles et de l'accès pour l'inspection et la maintenance. Voir le Bulletin 33 de la fib.

Niveau de protection ⁽¹⁾	Cat	Type de gaine		Capot de protection		Matériau de remplissage (coulis VSL HPI)	Barrière étanche	Surveillance - isolation électrique
		Gaine PT-PLUS®	Gaine PE ⁽²⁾	Temporaire	Permanent			
	Cat B	✓ ⁽³⁾	✓	N/A	✓	✓	✓	N/A
	Cat C	✓ ⁽³⁾	✓	N/A	✓	✓	✓	✓

Notes

(1) En plus d'une protection externe appropriée des câbles (Cat A à Cat C), l'intégrité du matériau de remplissage est un facteur clé pour assurer la durabilité.

(2) Uniquement pour les câbles externes.

(3) Cat B avec coupleur segmentaire (p. 55) pour les câbles internes traversant les joints segmentaires, sauf si toutes les surfaces extérieures en béton des joints exposés à l'eau, à une humidité élevée, etc. sont protégées par des membranes. Pour la catégorie C, toujours avec coupleur segmentaire.

Systèmes de précontrainte VSL - pour toutes les applications

La technologie de précontrainte VSL englobe plusieurs systèmes spécialement conçus pour différentes applications et différentes exigences. Le tableau p. 19 donne un aperçu des systèmes et de leurs principaux domaines d'application, qui sont développés dans cette brochure :

SYSTÈME DE PRÉCONTRAINTE POUR DALLES	P. 20-21
SYSTÈME DE PRÉCONTRAINTE INTERNE	P. 22-23
SYSTÈME DE PRÉCONTRAINTE EXTERNE	P. 24-25
SYSTÈME DE PRÉCONTRAINTE EXTERNE POUR LES PONTS EXTRADOSSÉS	P. 26-27
SYSTÈME DE PRÉCONTRAINTE PAR CÂBLES ISOLÉS ÉLECTRIQUEMENT	P. 28-29

Le choix du système approprié doit tenir compte du type de structure, de sa conception structurelle et du niveau de protection requis :

A. TYPE D'ÉLÉMENT STRUCTUREL

La taille de l'élément structurel influence le type de système à utiliser :

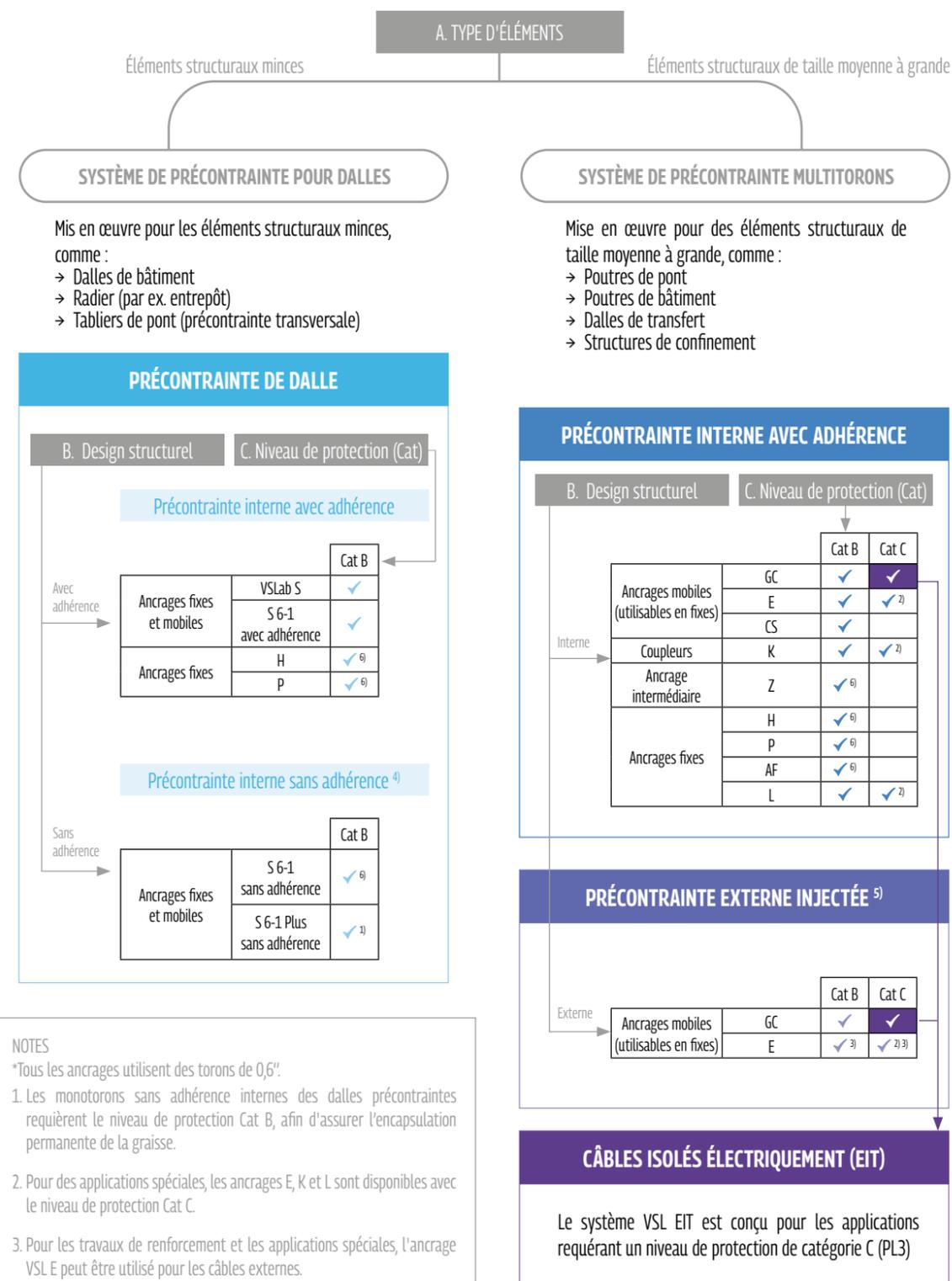
- Les câbles multitorons de 4 à 55 torons à gaines rondes sont généralement utilisés pour des éléments de structure de **taille moyenne à grande** (p. ex. poutres de ponts et poutres dans bâtiment)
- Les câbles de 1 à 5 torons à gaine plate sont généralement utilisés pour des éléments de structure **minces** (par exemple les dalles).

B. CONCEPTION STRUCTURELLE

- Pour la précontrainte de poutres, utiliser un système de précontrainte interne ou externe - ou une combinaison des deux.
- Pour la précontrainte de dalles, un système avec ou sans adhérence peut être choisi.

C. NIVEAU DE PROTECTION REQUIS (CAT)

Niveau de protection Cat B ou Cat C



NOTES

*Tous les ancrages utilisent des torons de 0,6".

- Les monotorons sans adhérence internes des dalles précontraintes requièrent le niveau de protection Cat B, afin d'assurer l'encapsulation permanente de la graisse.
- Pour des applications spéciales, les ancrages E, K et L sont disponibles avec le niveau de protection Cat C.
- Pour les travaux de renforcement et les applications spéciales, l'ancrage VSL E peut être utilisé pour les câbles externes.
- Une attention particulière doit être accordée à la redondance structurelle lors de l'utilisation de monotorons sans adhérence pour la précontrainte des dalles. Le feu peut entraîner la perte d'un câble sur toute sa longueur, ou des modifications futures apportées aux dalles peuvent interférer avec le tracé des câbles.
- En option, les câbles externes peuvent :
 - Être injectés au moyen d'un matériau souple
 - Être constitués de monotorons gainés-graissés insérés dans une gaine PE rempli de coulis de ciment
 - Être constitués d'un faisceau de monotorons avec des gaines étanches, sans gaine supplémentaire extérieure (par ex. précontrainte verticale dans une tour ou pilier).
- Selon ETA seulement Cat A.

SYSTÈME DE PRÉCONTRAÎTE POUR DALLES

Système de précontrainte par monotorons sans adhérence

Le système de précontrainte VSL par monotorons utilise des torons 0,6" recouverts d'une couche de graisse anticorrosion permanente et entourés d'une gaine PEHD extrudé. La graisse et la gaine polymère offrent une double protection contre la corrosion et empêchent toute liaison entre les torons et le béton environnant ce qui permet la mise en tension. Les monotorons sont installés individuellement ou en faisceaux de quatre torons au maximum. Chaque toron est mis en tension et ancré individuellement.

TORON GAINÉ GRAISSÉ

Les câbles sans adhérence utilisent des torons 0,6" avec gaine en PEHD extrudé et un matériau de remplissage (graisse).



ANCRAGES MOBILES

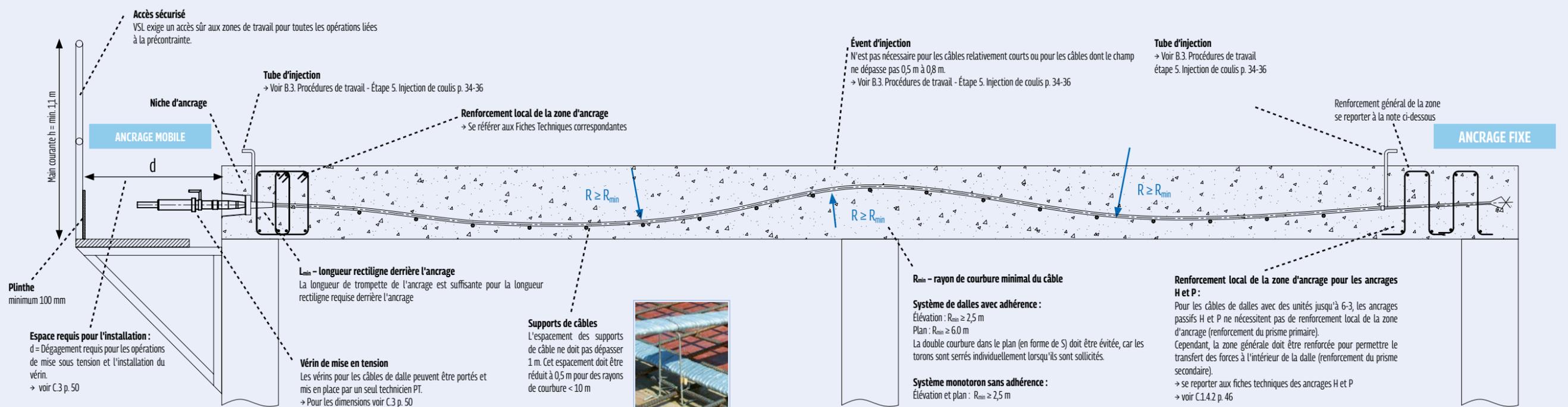
(également utilisables comme ancrages fixes)

S 6-1 Plus - sans adhérence

- Ancrage pour toron individuel
- Pour les câbles sans adhérence
- Corps d'ancrage en fonte et trompette en PEHD
- Unité : 6-1



Vue en coupe d'un câble de précontrainte VSL pour dalle



Système de précontrainte avec adhérence

Le système de précontrainte pour dalles avec adhérence a été utilisé dans de nombreux bâtiments, ponts et autres structures d'importance. Le système utilise jusqu'à cinq torons de 0,6" contenus dans des gaines plates et ancrés dans un seul ancrage. Les torons sont mis en tension et ancrés individuellement. Après la mise en tension, la gaine est remplie d'un coulis de ciment qui protège les torons contre la corrosion et effectue la liaison au béton environnant. 2 systèmes sont possibles : VSLab avec 2 à 5 torons par câble et le S 6-1 avec 1 seul toron.



Toron nu

Le toron standard utilisé pour la précontrainte avec adhérence de dalles est nu (diamètre 0,6") et protégé par une gaine remplie de coulis de ciment.

ANCRAGES MOBILES

(également utilisables comme ancrages fixes)

VSLab S

- Ancrage mobile pour câble avec adhérence
- Corps d'ancrage en fonte et trompette en plastique
- Unités : 6-2 à 6-5



S 6-1 Plus - Bonded

- Ancrage mobile standard pour câbles de dalle
- Corps d'ancrage en fonte et trompette en plastique
- Unité : 6-1

ANCRAGES FIXES

Ancrage H

- Ancrage standard en oignon pour câbles de dalle
- La force de précontrainte est transmise au béton en partie par adhérence et en partie par appui à l'extrémité (bulbe)
- Unités de 6-1 à 6-5



Ancrage P

- Utilisé lorsque la force de précontrainte doit être transférée à la structure à l'extrémité du câble
- Câble ancré par des douilles de compression reposant sur une plaque d'appui
- Unités de 6-1 à 6-5



Pour les dalles de grande surface qui doivent être coulées en plusieurs étapes, VSL recommande généralement une solution avec chevauchement d'ancrages passifs ou des armatures de transition. Pour des exigences particulières, VSL peut proposer un coupleur ou un ancrage intermédiaire pour l'ancrage des câbles de dalle. Pour plus d'informations, veuillez contacter votre représentant local VSL.

SYSTÈME DE PRÉCONTRAÎTE INTERNE

Câbles internes avec adhérence – le système le plus couramment mis en œuvre

Le système VSL multitorons interne est principalement utilisé pour la précontrainte avec adhérence où les torons nus sont protégés par un coulis de ciment qui assure la liaison avec la structure. De tels câbles sont largement utilisés dans le cadre de la construction d'ouvrages d'arts et de bâtiments.

Une autre configuration pour la précontrainte interne sans adhérence est constituée par des monotorons combinés à un coulis de ciment pour le remplissage de la gaine. Ce type de câble peut, par exemple, être utilisé pour le confinement des centrales nucléaires. Pour des détails spécifiques, veuillez contacter votre représentant VSL local.

Applications spéciales :

VSL propose également des solutions avec des câbles multitorons sans adhérence où les torons nus sont protégés au moyen d'un matériau de remplissage souple.



Vue en coupe d'un câble de précontrainte multitorons interne VSL avec adhérence

ANCRAGE MOBILE (également utilisable comme ancrage fixe)

Ancrage GC

- L'ancrage VSL le plus économique pour les applications multitorons
- Corps d'ancrage en fonte
- Diffusion de l'effort au béton par la combinaison de l'adhérence et du contact direct
- Système d'ancrage compact et facile à manipuler
- Unités de 6-3 à 6-55



Ancrage E

- L'ancrage le plus polyvalent pour un large panel d'ouvrages et de structures à renforcer (béton, acier, maçonnerie, etc.)
- Plaque d'ancrage en acier de construction
- La force de précontrainte est transmise à la structure par une plaque d'ancrage.
- Unités de 6-1 à 6-55



Ancrage CS

- Combinaison de plaque d'ancrage en fonte et mortier à haute résistance
- Trompette en PEHD pour envelopper les torons dans la plaque d'ancrage
- Unités de 6-3 à 6-55



COUPLEURS

Coupleur K

- Coupleur fixe utilisé pour le raccordement à d'un câble N à un câble N-1 déjà mis en tension
- Compatible avec les ancrages GC et E
- Les torons du câble N sont couplés au N-1 au moyen de douilles de compression positionnées sur la tête du coupleur
- Unités de 6-3 à 6-37



Ancrage intermédiaire Z

- Utilisé pour les câbles dont les extrémités ne peuvent pas être munies d'ancrages mobiles normaux (par exemple dans des silos ou conduites forcées).
- Pour plus de détails voir fiche technique 016 p. 73



ANCRAGE FIXE

Ancrage H

- La force de précontrainte est transmise au béton en partie par l'adhérence et en partie par l'ognon.
- Unités de 6-3 à 6-37



Ancrage P

- Utilisé lorsque la force de précontrainte doit être transférée à la structure depuis l'extrémité du câble sans accès à l'ancrage.
- Câble ancré par des douilles de compression reposant sur une plaque d'appui
- Unités de 6-2 à 6-55



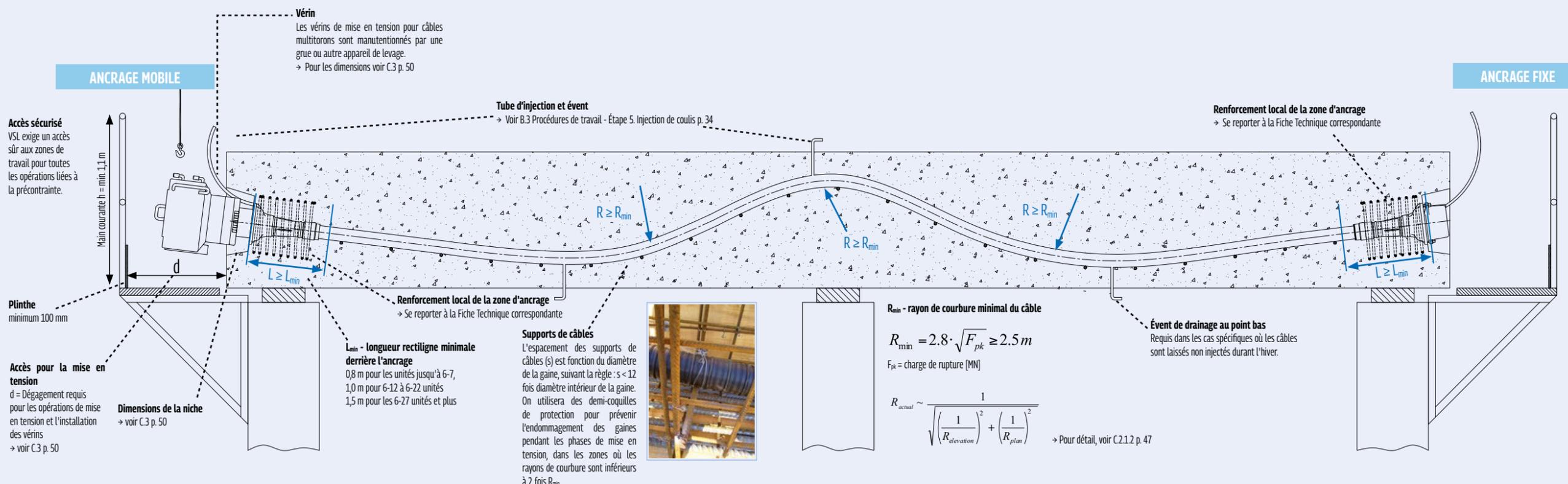
Ancrage AF

- Ancrage utilisé pour les câbles verticaux, où la force de précontrainte doit être transférée à la structure à l'extrémité inférieure du câble, lorsqu'il n'y a pas d'accès à l'ancrage fixe et que les torons ne peuvent être installés avant le coulage du béton
- Unités de 6-4 à 6-31



Ancrage U

- L'ancrage de type U (boucle) est souvent utilisé pour les câbles verticaux dans les parois de réservoirs et pour fixer le tablier aux piliers dans la construction de ponts à voûtes.
- Les torons sont installés dans la gaine après bétonnage
- Les torons sont à mettre en tension simultanément des deux côtés.
- Unités de 6-2 à 6-22



SYSTÈME DE PRÉCONTRAÎTE EXTERNE

La longueur libre des câbles de précontrainte externes s'étend à l'extérieur de la section en béton. Les câbles sont ancrés dans des traverses et déviés dans les traverses ou bossages de la structure.

Les raisons qui peuvent conduire à la mise en œuvre d'une solution utilisant des câbles externes sont les suivantes :

• Réduction de l'épaisseur des éléments porteurs

Le fait que le câble s'étende à l'extérieur de la section de béton implique que l'épaisseur des éléments porteurs n'a pas besoin d'être dimensionnée par rapport à la section du câble, ce qui peut amener des économies de coût des matériaux.

• Efficacité et qualité de la construction

L'absence de câbles à l'intérieur de la section de béton permet un bétonnage plus efficace et de meilleure qualité, permettant également une meilleure durabilité.

• Provision pour câbles de réserve

L'utilisation de câbles externes permet d'installer d'autres câbles futurs en ajoutant des ancrages et des déviateurs de réserve.

• Renforcement des structures existantes

Les câbles externes sont idéaux pour le renforcement des structures existantes.

• Possibilité d'inspection visuelle

Les câbles externes permettent de contrôler facilement la longueur libre des câbles pendant toute leur durée de vie.

Les applications ne se limitent pas aux structures en béton, mais comprennent également les structures métalliques, les ponts mixtes acier-béton, les structures en bois et en maçonnerie.

Les points suivants doivent être pris en compte :

- Les câbles de précontrainte externes doivent être remplaçables, car ils ne sont pas physiquement protégés par le béton environnant. C'est, bien sûr, seulement possible si le concepteur s'assure qu'il y a suffisamment d'espace derrière les ancrages dans la structure achevée pour permettre le remplacement des câbles.
- Les câbles externes doivent présenter le niveau de protection Cat B car ils n'ont pas la barrière anticorrosion supplémentaire du béton environnant.
- Les câbles externes nécessitent une inspection visuelle régulière pour vérifier que l'intégrité de la protection anticorrosion est toujours intacte car ils ne bénéficient pas de la protection physique du béton environnant.
- Du fait que le câble n'est pas lié à la structure, il n'est généralement pas possible d'utiliser pleinement la résistance à la traction du câble, à l'état de rupture pour les vérifications à l'état limite ultime.
- Les câbles externes sont généralement injectés avec du coulis à base de ciment. En option, elles peuvent être injectés à l'aide d'un produit souple.
- Les câbles externes ayant des points hauts aux diaphragmes internes, empêchant la mise en place d'évents de coulis à ces endroits, doivent être injectés au moyen d'un système d'assistance sous vide.

Applications spéciales :

VSL propose également des solutions avec des monotorons non adhérents (gainés/graisés) et des coulis à base de ciment ou des torons nus en combinaison avec un matériau de remplissage souple. Ce type d'application est généralement utilisé pour les travaux de renforcement. VSL peut offrir des caractéristiques spéciales d'ancrage et de câble pour permettre la vérification et l'ajustement de la force du câble si nécessaire. Pour des détails spécifiques, veuillez contacter votre représentant VSL local.

Composants des câbles externes

Les câbles de précontrainte multitorons externes VSL sont équipés d'une double gaine dans la zone d'ancrage. La gaine en PE traverse le déviateur en continu, les câbles ne sont donc pas liés à la structure.

Les câbles externes se composent de :

- Ancrage GC (ou ancrage E, comme alternative)
- Gaine PE
- Trompette intérieure dans la zone d'ancrage, reliée à la gaine PE
- Trompette extérieure avec extension
- Clavettes et torons nus
- Coulis à base de ciment



Alternativement, VSL peut également fournir une solution avec une enveloppe unique dans la zone d'ancrage. Pour cette configuration, la gaine doit dépasser de la face en béton pour permettre un raccordement étanche à la gaine PE.

ANCRAGE TYPE GC : L'ANCRAGE VSL POUR CÂBLES EXTERNES

- Le type GC est l'ancrage VSL le plus polyvalent pour les applications de câbles multitorons externes.
- Il s'agit d'un système d'ancrage compact et facile à manipuler.
- Unités allant de 6-3 à 6-43



Pour les travaux de renforcement, l'ancrage VSL E est largement utilisé, car la plaque d'appui peut être placée directement sur des structures existantes en acier, béton ou maçonnerie. Les unités des ancrages VSL E vont de 6-1 à 6-55. Pour des détails spécifiques, veuillez contacter votre représentant VSL local.

Les vides pour la gaine PE dans les déviateurs et l'extrémité en forme de cloche où les câbles sortent aux diaphragmes d'ancrage sont formés par un outil réutilisable appelé "Diabolo". Le diabolo est fixé au coffrage à l'aide de boulons et retiré après durcissement, en laissant un passage pour le câble.

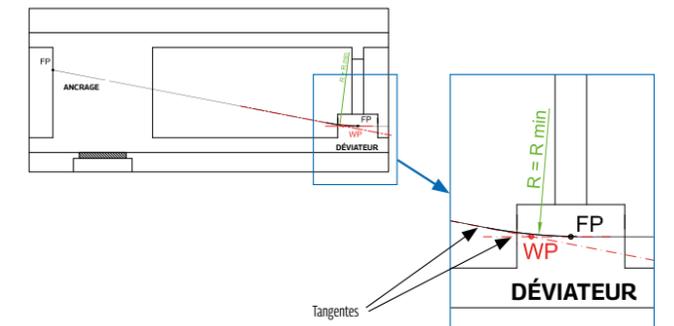


Profils des câbles externes

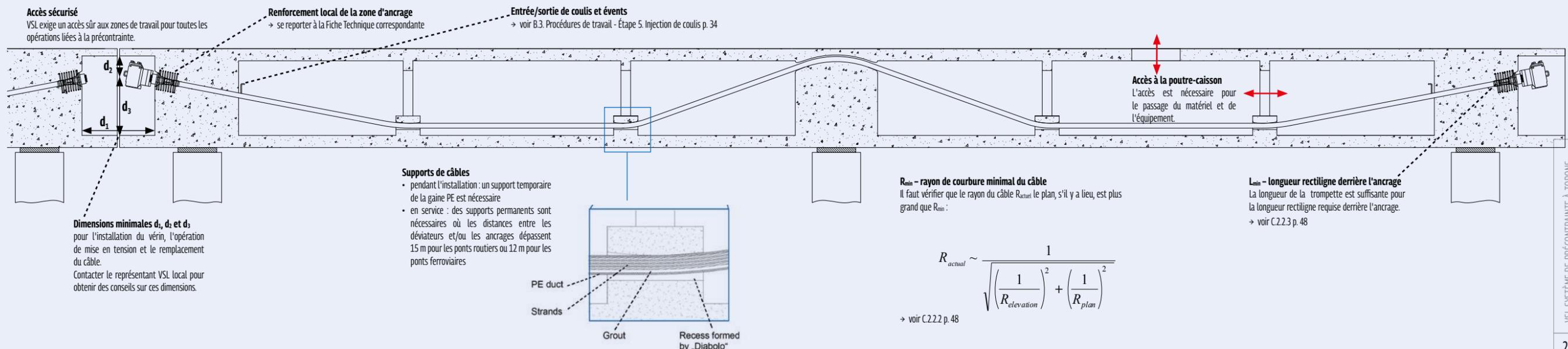
Pour permettre le remplacement, le profil d'un câble externe doit être une polygline, constituée uniquement de sections droites et, aux points de déviation, de sections courbes à rayons de courbure constants.

La définition du profil s'effectue par les éléments suivants :

- les points fixes (FP) aux ancrages et les points bas et hauts.
- les sections courbes (avec des rayons de courbure constants) aux points bas et hauts (emplacements des déviateurs).
- les points de travail (WP) aux points bas et hauts en reliant les tangentes aux courbes des points hauts et bas et aux points d'ancrage respectivement.



Élévation typique d'un câble de précontrainte multitorons VSL externe



SYSTÈME DE CÂBLES EXTERNES POUR HAUBANS DE PONTS EXTRADOSSÉS

Les ponts extradosés sont des structures combinant les caractéristiques des ponts à poutres et à haubans. La principale différence entre les ponts à haubans et les ponts extradosés est le rapport entre la hauteur du pylône et la longueur de la travée principale. Les ponts extradosés ont généralement une hauteur de pylône au-dessus du tablier inférieure à un huitième de la travée principale, ce qui implique une des inclinaisons de câble très faibles.

La faible inclinaison des câbles d'un pont extradosé entraîne une augmentation des efforts normaux dans le tablier et une diminution de la composante verticale des efforts aux points d'ancrage des câbles résultant en une mise en compression longitudinale du tablier. Les ponts extradosés sont caractérisés par une faible variation des contraintes dues aux charges de trafic.

Ces faibles variations de contraintes dues aux surcharges signifient qu'il est très souvent techniquement possible d'utiliser une technologie de précontrainte externe multitorons pour les câbles-haubans des ponts extradosés. Les câbles-haubans sont ancrés dans des blocs d'ancrage au niveau du tablier et enfilés à travers les déviateurs-selles du pylône.

Certains ponts extradosés ont des plages de fatigue élevées et dans ce cas, le système Hauban VSL est utilisé (versus le système de précontrainte externe VSL).

Les points suivants doivent être pris en compte lors de l'utilisation du système de précontrainte externe pour les ponts extradosés :

- À l'image du système hauban, les câbles de précontrainte externes doivent être remplaçables, car ils ne sont pas physiquement protégés par le béton environnant du système de précontrainte interne.
- L'ensemble du câble doit être protégé des agents extérieurs par une gaine étanche à l'air et à l'eau. Les ancrages doivent être munis en permanence de capots de protection. Les torons nus sont protégés à l'intérieur de la gaine par du coulis de ciment. Une gaine étanche et un coulis de ciment stable sont des facteurs clés pour assurer une protection durable contre la corrosion des câbles.
- De même, les câbles externes nécessitent une inspection visuelle régulière pour vérifier la pérennité de la protection anticorrosion.



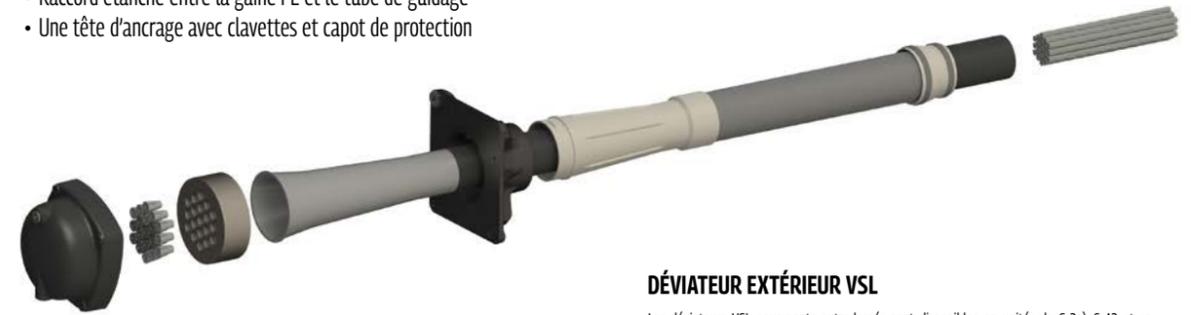
Élévation des câbles de précontrainte multitorons VSL extérieurs utilisés comme haubans pour ponts extradosés

Composants des câbles externes

Chaque câble extérieur est constitué d'une paire d'ancrages GC au niveau du tablier et d'un faisceau de torons nus protégé dans un tube PE injecté au coulis de ciment après la mise en tension. Le câble est guidé et dévié au pylône par une selle de déviation (ou déviateur).

L'ancrage (à chaque extrémité du câble) se compose de :

- Un ancrage extérieur GC connecté au tube de guidage par une "trompette" extérieure
- Une "trompette" intérieure dans la zone d'ancrage, reliée à la gaine PE.
- Raccord étanche entre la gaine PE et le tube de guidage
- Une tête d'ancrage avec clavettes et capot de protection



DÉVIATEUR EXTÉRIEUR VSL

Les déviateurs VSL pour ponts extradosés sont disponibles en unités de 6-3 à 6-43 et se composent de :

- Un caisson extérieur en acier solide du pylône
- Un caisson intérieur en acier
- Un système de calage pour fixer les deux caissons entre eux
- Un élément d'étanchéité pour garantir l'étanchéité du système
- Coulis de ciment pour la protection anticorrosion et pour le transfert des efforts différentiels des torons dans le caisson intérieur
- Un évent pour garantir l'injection complète du déviateur

Pour les dimensions détaillées, toujours spécifiques au projet, veuillez contacter votre représentant VSL.

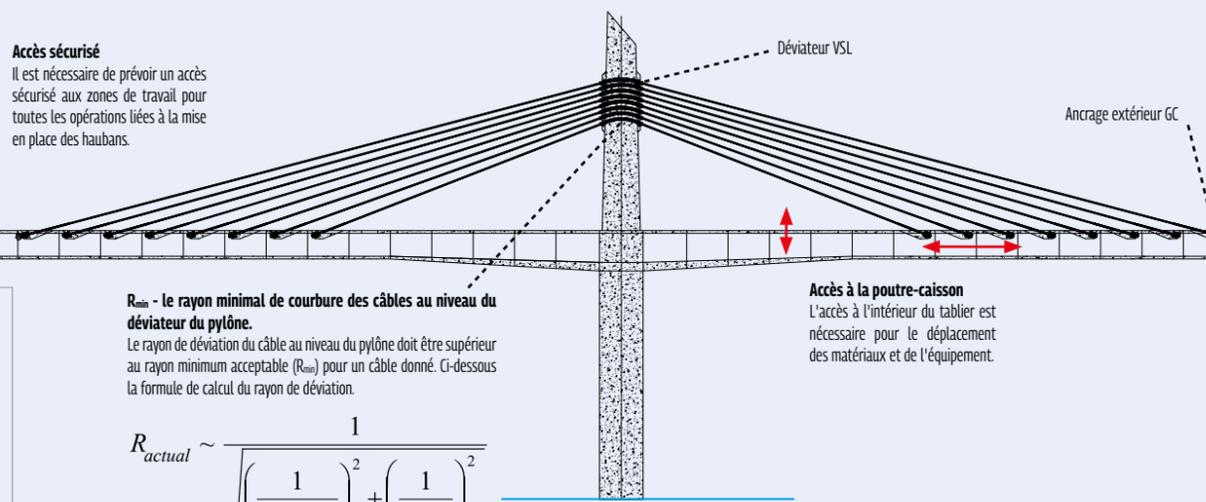
ANCRAGE TYPE GC - L'ANCRAGE VSL POUR CÂBLES EXTERNES

- L'ancrage VSL le plus polyvalent pour les applications de câbles multitorons externes
- Un système d'ancrage compact et facile à manipuler
- Unités de 6-3 à 6-43.



Accès sécurisé

Il est nécessaire de prévoir un accès sécurisé aux zones de travail pour toutes les opérations liées à la mise en place des haubans.



R_{min} - le rayon minimal de courbure des câbles au niveau du déviateur du pylône.

Le rayon de déviation du câble au niveau du pylône doit être supérieur au rayon minimum acceptable (R_{min}) pour un câble donné. Ci-dessous la formule de calcul du rayon de déviation.

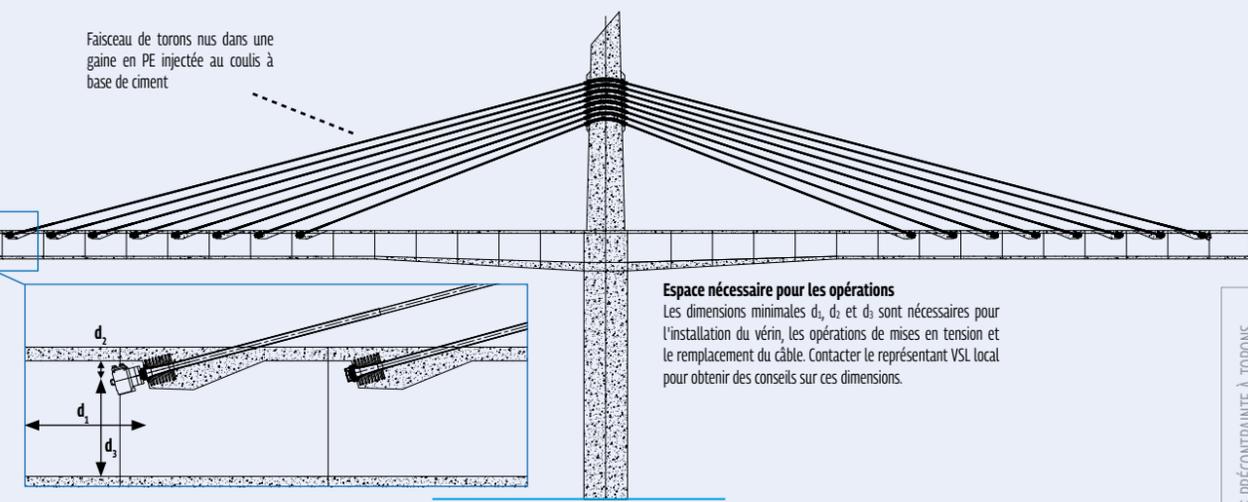
$$R_{actual} \sim \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_{elevation}}\right)^2 + \left(\frac{1}{R_{plan}}\right)^2}}$$

→ voir C.5.2.2.2 p. 103

Accès à la poutre-caisson

L'accès à l'intérieur du tablier est nécessaire pour le déplacement des matériaux et de l'équipement.

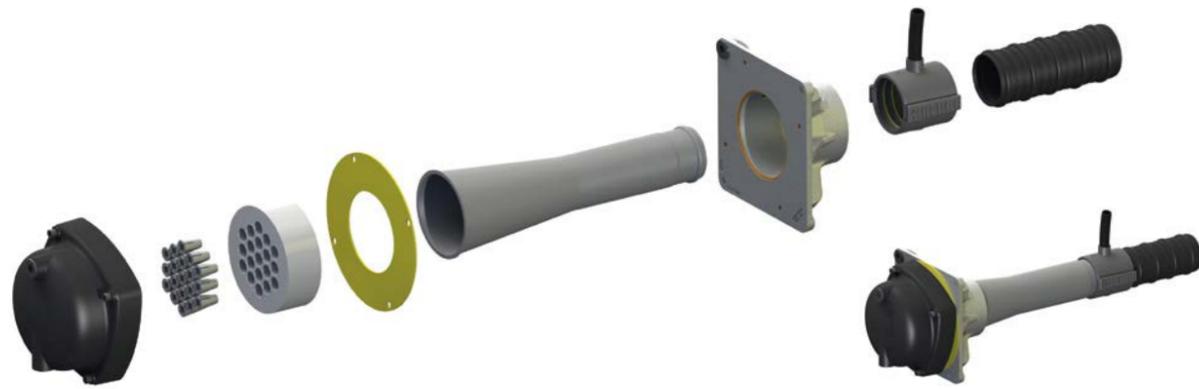
Faisceau de torons nus dans une gaine en PE injectée au coulis à base de ciment



Espace nécessaire pour les opérations

Les dimensions minimales d₁, d₂ et d₃ sont nécessaires pour l'installation du vérin, les opérations de mises en tension et le remplacement du câble. Contacter le représentant VSL local pour obtenir des conseils sur ces dimensions.

SYSTÈME DE PRÉCONTRAINTE PAR CÂBLES ISOLÉS ÉLECTRIQUEMENT (EIT)



Durabilité accrue grâce au niveau de protection PL 3

Les câbles isolés électriquement VSL (EIT) présentent une protection de niveau Cat C, avec encapsulation complète du câble et protection anticorrosion contre les agents agressifs extérieurs. Les câbles sont également protégés contre la corrosion provoquée par les courants vagabonds et permettent de surveiller la qualité de l'encapsulation pendant toute la durée de vie du câble.

Les câbles isolés électriquement sont choisis pour répondre aux exigences spécifiques du projet, pour permettre la surveillance de l'encapsulation ainsi que pour les câbles exposés à un environnement très agressif et nécessitant une protection supplémentaire.

Les câbles VSL EIT peuvent être utilisés comme câbles internes ou externes. Les détails de cette section sont basés sur les câbles internes. Les détails des câbles EIT externes sont similaires à ceux des câbles externes standards, mais comprennent des éléments supplémentaires pour l'isolation électrique et pour le contrôle de l'encapsulation.

Composants des câbles EIT

Les câbles VSL EIT se composent de :

- Ancrage CS ou GC (Corps d'ancrage en fonte et tête d'ancrage)
- Plaque d'isolation
- Trompette en plastique
- Gaiens PT-PLUS® avec coupleurs
- Capot de protection avec connexion électrique
- Torons nus et clavettes
- Coulis de ciment



Avantages des câbles EIT

L'utilisation du système de Précontrainte EIT présente un intérêt certain dont certaines spécificités sont rappelées ci-après :

- Encapsulation complète du câble
→ Durabilité
- Protection contre les courants vagabonds
→ Durabilité
- Isolation électrique du câble
→ Contrôle et confirmation de l'intégrité de la gaine
- Permet de détecter d'éventuelles fuites dans l'encapsulation du câble suite à un défaut lors de l'installation. Une seule mesure par câble après bétonnage offre un contrôle de qualité fiable.
- Résistance accrue à la fatigue
→ Durabilité

Applications spéciales

Dans le cadre de réparation ou de renforcement de structure, nécessitant des câbles EIT, l'ancrage VSL E EIT peut être utilisé (unités 6-1 à 6-55). De plus, le coupleur K et l'ancrage L (boucle) sont également disponibles en configuration EIT.

Pour des détails spécifiques, veuillez contacter votre représentant VSL.

Détail des câbles EIT

Les exigences relatives au renforcement local de la zone d'ancrage, à la disposition des câbles et les dimensions de dégagement nécessaires à l'installation des vérins sont identiques au système de précontrainte multitorons VSL.

Les exigences particulières relatives à la spécification détaillée des câbles EIT sont décrites ci-dessous.

Raccordements électriques

Un groupe de câbles EIT nécessite les connexions électriques suivantes :

- Boîtier de mesures
- Câble reliant la tête d'ancrage et le boîtier : VSL recommande fortement de raccorder les deux ancrages du câble, afin d'assurer la détection de la localisation de défauts avec plus de fiabilité.
- Câble reliant l'ensemble des armatures passives de la structure et le boîtier.

Montage du câble

Le montage des ancrages et des gaiens, l'enfilage des torons, les opérations de mises en tension et d'injection s'effectuent de la même manière que pour les câbles multitorons VSL (→ voir les procédures de montage). Une attention particulière doit être portée aux éléments spécifiques EIT tels que la plaque d'isolation et les connexions électriques. L'implication précoce de VSL pour coordonner la conception et les travaux d'installation du système de précontrainte est fortement recommandée et permettra de prendre en compte les considérations de chacun des intervenants pour la parfaite réalisation du projet.



Vérification de l'étanchéité du câble

Après le montage des ancrages et des gaiens et avant le bétonnage, l'étanchéité du câble EIT constitue un point d'arrêt. Ce contrôle peut être effectué par :

- Une inspection visuelle
- Un contrôle d'étanchéité à l'air comprimé
- Un contrôle d'étanchéité (CO₂ ou fumée)



Supports de câbles

Les demi-coquilles en plastique sont utilisées pour éviter que les gaiens PT-PLUS® ne soient endommagés dans des sections courbes où $R < 2 \times R_{min}$.

L'espacement s entre les supports est donné en fonction du diamètre de la gaine : s est inférieur ou égal à 10-12 fois le diamètre intérieur de la gaine.



Les événements EIT avec niche

Les câbles VSL EIT sont équipés d'événements placés dans une niche. Le coffrage de la niche réutilisable est retiré pour l'opération d'injection.

Après l'injection, un capuchon en plastique est vissé sur l'événement du coulis pour garantir l'encapsulation complète du câble. Ces niches seront rebouchées dans le cadre d'une bonne finition de l'ouvrage.

Surveillance de l'intégrité de l'encapsulation

L'utilisation de câbles EIT permet de vérifier l'isolation électrique et l'intégrité de la gaine après la construction et de contrôler ainsi la protection anticorrosion des torons pendant toute la durée de vie de l'ouvrage. RLC-mètre connecté au boîtier permettra de relever l'impédance du système câble/béton (cage d'acier environnante). L'instrument mesure l'impédance (Z) du système composé, sur toute la longueur du câble, les torons, le coulis de ciment, la gaine ainsi que ses constituants (coupleurs, événements), ses défauts éventuels et le béton environnant. En se basant sur l'impédance, l'appareil calcule et affiche les paramètres suivants :

- Résistance ohmique R [kΩ]
- Capacité C [nF]
- Facteur de perte D [- -]

Les paramètres mesurés dépendent de plusieurs facteurs:

- Longueur du câble et le diamètre de la gaine (la résistance ohmique, R, pour un câble donné diminue avec sa longueur)
- Type d'ancrage
- Détail de la gaine (raccords, joints soudés miroir)
- Nombre et type d'événements d'injection
- Résistance électrique spécifique du béton et du coulis, qui dépend elle-même du rapport eau-ciment, du degré d'hydratation et de paramètres climatiques tels que la température et l'humidité.

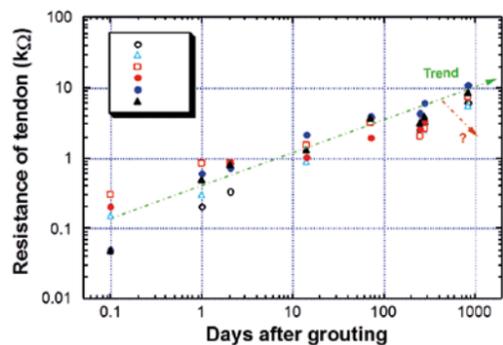
Pour assurer la comparabilité et définir des valeurs limites pour les critères d'acceptation, la résistance ohmique est normalisée en valeurs indépendantes de la longueur :

→ Résistance ohmique normalisée $RL = R \times L [k\Omega m]$ où L est la longueur du câble.

Comme indiqué, la résistance ohmique mesurée dépend fortement de l'environnement (température et humidité) c'est pourquoi les critères d'acceptation spécifiques doivent être définis à chaque projet. Il convient de se référer aux normes et recommandations locales, par exemple à la directive suisse "Dispositions pour garantir la durabilité des câbles de précontrainte dans les structures en béton", publiée par l'Agence fédérale des routes (ASTRA) et les Chemins de fer suisses (CFF) en 2007.

Le potentiel des câbles EIT ne peut être pleinement exploité que si tous les partis concernés sont sensibles aux considérations particulières à prendre en compte à tous les stades du projet (conception, préparation des travaux, ferrailage, installation du système de précontrainte, bétonnage, mise en tension et injection). Les installations spécifiques nécessaires à la mesure de l'impédance pendant le montage et la durée de vie de l'ouvrage doivent être planifiées à l'avance et détaillées dans le cahier des charges du projet.

Les résultats de la surveillance doivent être interprétés par un spécialiste et les dispositions particulières en cas de problèmes sur les mesures sont à convenir.



Suivi à long terme

Le graphique ci-dessus montre les résultats de la surveillance à long terme du projet "Prés du Mariage" en Suisse, où six câbles VSL EIT ont été installés. L'impédance Z de chaque câble a été mesurée à intervalles réguliers depuis l'injection. Comme on peut le constater, les mesures des six câbles présentent une certaine dispersion, mais la tendance générale est à l'augmentation de la résistance avec le temps, ce qui s'explique par l'hydratation du coulis et du béton environnant et le dessèchement qui en résulte. Dans le diagramme logarithmique "Résistance en fonction du temps", une ligne droite peut être observée. Ceci indique que l'augmentation de la résistance est très rapide au début mais ralentit après quelques mois, devenant asymptotique après plusieurs années. Il convient de noter que la surveillance à long terme vise principalement à vérifier la variation de la résistance dans le temps et que la valeur absolue de la résistance elle-même n'a qu'une importance secondaire.

L'EIT permet de détecter très tôt l'infiltration d'eau : si l'eau (contenant du chlorure) atteint un défaut dans la gaine, le béton et le coulis s'humidifient et la résistance électrique de ce câble diminue significativement et rapidement (chute brutale). Par conséquent, la mesure de l'impédance électrique aux intervalles d'inspection réguliers représente un système d'alerte précoce simple mais très efficace pour détecter un risque de corrosion. Ainsi, des mesures appropriées (inspection et réparation si nécessaire) peuvent être prises avant que des dommages importants ne surviennent.

3 Mise en place de la précontrainte : clé de la qualité

En tant qu'entreprise spécialisée et expérimentée, VSL installe des câbles de précontrainte avec un personnel qualifié et des équipements fiables et conformément à des procédures éprouvées. Cette section donne un aperçu général des procédures de travail pour les câbles de dalle et pour les câbles multitorons internes et externes.

ÉTAPE 1 - Pose des ancrages, gaines et renforcement local de la zone d'ancrage	P. 31
ÉTAPE 2 - Enfilage des torons	P. 32
ÉTAPE 3 - Mise en tension des câbles	P. 32
ÉTAPE 4 - Protection des ancrages	P. 33
ÉTAPE 5 - Injection	P. 34-36
ÉTAPE 6 - Travaux post-injection	P. 36

ÉTAPE 1 | Pose des ancrages, gaines et renforcement local de la zone d'ancrage

La première étape pour l'installation d'un système de précontrainte est l'installation des ancrages, des gaines et du renforcement local de la zone d'ancrage.

Ancrages (ancrages mobiles) :

- sont fixés au coffrage à l'aide de boulons
- doivent être orientés perpendiculairement à l'axe du câble
- le coffrage doit présenter un trou adapté sur l'axe du câble, si les torons sont installés avant le bétonnage ou si des câbles préfabriqués sont posés.

Gainés :

- s'appuient sur des supports de câble
- doivent être installées sans cassures
- sont munies d'évents
- doivent être correctement couplées

Armatures de la zone d'ancrage :

- doivent être positionnées derrière l'ancrage conformément aux fiches techniques VSL

CÂBLES DE DALLES

Câbles avec adhérence :

Les ancrages VSLab S sont pourvus d'une niche qui permet la fixation de la trompette au coffrage. La gaine est raccordée à la trompette, sur laquelle est fixé l'évent.



Câbles sans adhérence :

L'ancrage S 6-1 Plus sans adhérence est pourvu d'une niche pour la fixation de l'ancrage sur le coffrage. La trompette relie l'ancrage à la gaine du monotoron.



Les monotorons avec adhérence ou sans adhérence reposent sur des supports. La distance entre les supports ne doit pas dépasser 1 m pour les grands rayons de courbure (~10 m) et 0,5 m pour les petits rayons de courbure. Les gaines ou monotorons doivent être fixés aux supports ou aux armatures au moyen d'un fil de ligature.

CÂBLES INTERNES MULTITORONS

Les ancrages du système multitorons VSL sont fixés au coffrage à l'aide de boulons. La gaine est installée et raccordée à l'ancrage. L'orifice d'injection du coulis est intégré dans l'ancrage.

La gaine repose sur des supports ; les distances entre eux ne doivent pas dépasser 10 à 12 fois le diamètre intérieur de la gaine.

Pour les gaines PT-PLUS®, là où le rayon de courbure du câble est inférieur à deux fois le rayon minimal ($R < 2 R_{min}$) il est recommandé de fixer les coquilles de protection sur la gaine au niveau des supports de manière à la protéger durant l'installation et le bétonnage.



CÂBLES EXTERNES MULTITORONS

Avant le bétonnage : La plaque d'ancrage, la trompette et le manchon externes sont installés. Des niches réutilisables sont utilisées pour créer les vides pour les torons dans les déviateurs et à la sortie des torons au niveau des diaphragmes d'ancrage.

Après bétonnage : la gaine PE et la trompette intérieure sont installés. Le soudage miroir des éléments de gaine est effectué avant l'installation. Un coupleur de gaine est utilisé pour les raccordements spécifiques, afin d'assurer la tolérance lors de l'installation. Les tubes d'injection sont raccordés à la gaine à côté des membranes d'extrémité.

Des supports temporaires pour les gaines sont nécessaires pendant l'installation. Les câbles externes peuvent également nécessiter des supports permanents, si la distance entre les déviateurs et/ou les ancrages dépassent 15 m pour les ponts routiers ou 12 m pour les ponts ferroviaires.

ÉTAPE 2 | Enfilage des torons

Trois options sont disponibles pour l'installation de câbles de précontrainte :

- 2.1 Poussage de torons individuels (avant ou après bétonnage pour la précontrainte interne ; après bétonnage pour la précontrainte externe)
- 2.2 Enfilage du faisceau de torons entier (après bétonnage pour la précontrainte interne et externe)
- 2.3 Pose de câbles préfabriqués (avant bétonnage, pour la précontrainte interne uniquement)

CÂBLES DE DALLES PRÉCONTRAINTES

Les câbles de dalle avec adhérence sont généralement enfilés avant le bétonnage (2.1).

Comme alternative, les câbles peuvent être préfabriqués dans l'atelier VSL ou sur site (2.3). Les câbles préfabriqués composés de torons et de gaines sont livrés par camion et posés par une grue directement sur le coffrage de la dalle.

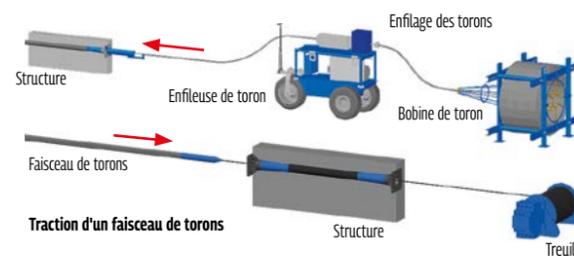
Les câbles sans adhérence (monotorons) sont préfabriqués, enroulés pour le transport et installés avant le bétonnage.

CÂBLES MULTITORONS INTERNES ET EXTERNES

Pour l'installation des torons des câbles multitorons internes et externes, les procédures suivantes sont utilisées :

Enfilage des torons individuels (2.1) - Les torons sont tirés d'une bobine et poussés dans la gaine. Pour les câbles longs, on utilise un équipement de poussage des torons. L'enfilage peut être effectué avant ou après le bétonnage pour la précontrainte intérieure et toujours après le bétonnage pour la précontrainte extérieure.

Alternativement, le faisceau de torons entier peut être **tiré à travers** la gaine après le bétonnage (2.2). Cette opération s'effectue à l'aide d'un treuil et d'un câble de traction.



ÉTAPE 3 | Mise en tension

L'opération de mise en tension peut être effectuée une fois que le béton a atteint la résistance minimale spécifiée dans les fiches techniques VSL et que le coffrage a été retiré de l'ancrage. La mise en tension comprend les étapes suivantes :

- **Étape 1 - Pose de la tête d'ancrage et des clavettes :** Il est important que cette opération soit effectuée après le bétonnage afin d'éviter que les surfaces de l'ancrage ou que les clavettes ne soient endommagées pendant le bétonnage ou salies par des projections de béton.
- **Étape 2 - Positionnement du vérin**
- **Étape 3 - Mise en tension :** Pendant la mise en tension, la pression affichée sur le manomètre et l'allongement des torons sont enregistrés sur le rapport de mises en tension. Comme alternative à l'enregistrement manuel, VSL peut fournir l'acquisition automatique des données pendant la mise en tension.
- **Étape 4 - Transfert de force :** En relâchant la pression dans le vérin, la force est transférée du vérin à l'ancrage.
- **Étape 5 - Coupe des surlongueurs :** Les surlongueurs des torons sont coupés une fois que l'opération de mise en tension est terminée et approuvée par l'ingénieur.

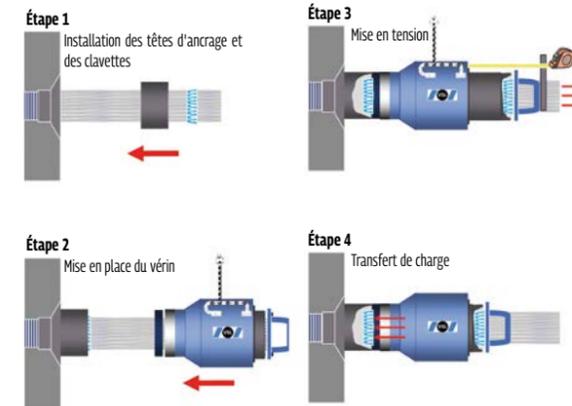
DALLES PRÉCONTRAINTES

Les ancrages pour les câbles avec adhérence ne sont installés qu'après bétonnage.

Les torons pour câbles de dalle sont mis en tension individuellement à l'aide de vérins VSL et d'une pompe hydraulique. L'équipement nécessaire pour les câbles de dalle précontrainte est suffisamment léger pour être positionné et déplacé à la main.

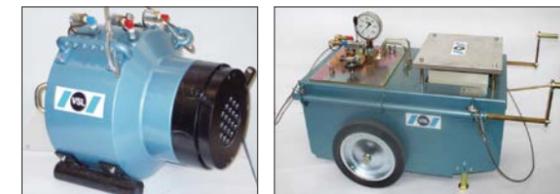


CÂBLES MULTITORONS INTERNES ET EXTERNES



L'opération de mise en tension est identique pour les câbles internes et externes. Tous les torons sont mis en tension simultanément à l'aide d'un vérin multitorons VSL et une pompe hydraulique. L'équipement est positionné et déplacé à l'aide d'une grue ou autre appareil de levage.

Les vérins multitorons VSL sont compacts et courts afin de réduire au minimum la surlongueur des torons et l'espace requis derrière les ancrages.



ÉTAPE 4 | Protection des ancrages

En préparation de l'opération d'injection, les têtes d'ancrage sont munies de capot de protection, obligatoires pour les catégories B et C. Les capots sont munis d'évents, afin de s'assurer que les cavités autour des clavettes sont remplies de coulis de ciment.

CÂBLES DE DALLE

Pour les câbles avec adhérence de Cat A, les ancrages peuvent être équipés de capots temporaires. Après injection, le capot est ôté et l'évent est rempli de béton.

Les câbles sans adhérence sont munis d'un capot de protection permanent rempli de graisse. La niche est remplie de béton après l'installation du capot.



PRÉCONTRAINTES INTERNES

Pour les câbles **internes** multitorons, des capots permanents ou temporaires sont utilisés :



Capot permanent (Catégorie B et C)



Capot temporaire (Catégorie A)

CÂBLES EXTERNES MULTITORONS

Pour les câbles **externes**, des capots de protection permanents doivent être utilisés, car les câbles externes doivent avoir au moins la catégorie de protection B en raison de l'absence de protection par le béton.



Capot permanent (Catégorie B ou C)

OBJECTIFS DE L'INJECTION DE COULIS

Les objectifs de l'injection des câbles sont de :

1. Fournir un système de protection anticorrosion efficace, en remplissant l'espace libre des câbles d'un coulis qui permet une encapsulation alcaline.
2. Obtenir une liaison efficace entre le câble et le béton environnant (uniquement pour la précontrainte interne).

La qualité du coulis est d'une importance primordiale pour la durabilité des câbles de précontrainte. Une injection de haute qualité est obtenue lorsque les points suivants sont respectés :

- Sélection minutieuse des matériaux constitutifs
- Contrôle continu de la qualité pour assurer la constance des caractéristiques des matériaux
- Choix approprié du malaxeur
- Choix d'une composition et d'une procédure de mélange adaptée aux matériaux, à l'environnement et au malaxeur choisis
- Encapsulation efficace des câbles : Utilisation de capots de protection temporaires ou permanents (avec orifices d'injection) pour sceller les ancrages. Vérification de l'étanchéité du câble en mesurant la variation de pression par un test à l'air comprimé ou au vide avant l'injection.
- Réalisation des travaux d'injection par du personnel qualifié suivant des méthodes d'exécution approuvées. Fermeture des orifices d'injection (événement et purge) après mesure du poids spécifique du mortier de ciment fluide. Relevé des données de mesure pour chaque câble injecté.
- Contrôle qualité journalier des injections (wick induced test)
- Vérification du remplissage des capots et des événements dans les 24 h après la fin de l'injection et faire l'appoint si nécessaire. Relevé des contrôles pour chaque câble.
- Utilisation de capots temporaires ou permanents avec des événements.
- Tracés du câble et des événements d'injection pour assurer un écoulement optimal du coulis de ciment et un remplissage complet de la gaine, des ancrages et des événements d'injection.

ÉTAPES D'INJECTION

L'injection des câbles de précontrainte s'effectue selon les étapes suivantes :

1. Avant l'injection du coulis :

- Soufflage des gaines. NB : L'utilisation d'eau pour souffler les gaines avant l'injection du coulis est interdite.
- Installation de capots temporaires ou permanents à tous les ancrages avec événements aux points hauts.
- Test de pression d'air pour détecter d'éventuelles fuites dans le système de gaines assemblé.

2. Injection :

- Préparation du coulis
- Injection ininterrompue du câble
- Fermeture des événements (dans le sens de l'injection), seulement une fois que le coulis qui en sort a la même consistance et la même viscosité que celui du malaxeur.
- Lorsque le câble est entièrement rempli, la pression doit être maintenue pendant au moins une minute, afin de vérifier l'étanchéité du câble.
- Un jour après l'injection, tous les points d'entrée et de sortie ainsi que

les capots doivent être vérifiés pour s'assurer que le remplissage est complet et faire l'appoint si nécessaire.

RECOMMANDATIONS DE VSL SUR L'INJECTION DE COULIS

Toutes les entités du groupe VSL doivent réaliser l'injection de coulis conformément aux normes européennes suivantes :

- EN445 : Coulis pour câbles de précontrainte - Méthodes d'essai
 - EN446 : Coulis pour câbles de précontrainte - Procédures d'injection
 - EN447 : Coulis pour câbles de précontrainte - Exigences de base
- Pour les pays hors Europe, il est fait référence à la norme ISO 14824 (voir A.3 p. 11).

SPÉCIFICATION DU COULIS

Le coulis est composé de ciment, d'eau et d'adjuvants. Ces composants ont une interaction complexe qui affecte fortement les caractéristiques du coulis.

• Ciment :

Le ciment Portland est recommandé pour l'injection de coulis. Le ciment doit être exempt de chlorures (moins de 0,1 %) ou d'autres éléments agressifs. De plus, il doit être compatible avec les adjuvants et doit maintenir des propriétés uniformes dans les différents lots.

• De l'eau :

L'eau doit être exempte de toute impureté pouvant influencer le durcissement du coulis et ne doit contenir aucune substance attaquant l'acier de précontrainte. En général, l'eau potable répond à ces exigences.

• Adjuvants :

- Adjuvant plastifiant, pour réduire la viscosité et améliorer la fluidité.
- Adjuvant stabilisateur, pour limiter la sédimentation ou la ségrégation et assurer l'homogénéité du coulis.

COULIS DE CIMENT VSL-HPI

Grâce à ses nombreuses années d'expérience, VSL connaît l'importance d'un coulis de haute qualité pour assurer la durabilité à long terme des câbles de précontrainte. Sous la marque VSL-HPI (High Performance Injection), VSL a développé un processus complet dédié à l'amélioration de la qualité des coulis sur site.

En général, VSL développe un mélange spécifique à chaque projet (HPI-Grout-Mix). Pour ce faire, les constituants de coulis disponibles localement sont utilisés et leurs performances sont vérifiées. Le mélange fournit un coulis stable à faible sédimentation et présentant une viscosité permettant d'assurer le remplissage complet des gaines.

ÉQUIPEMENT

VSL utilise des malaxeurs à hélices ou colloïdaux pour la préparation du coulis. Lorsqu'il est mélangé à l'aide de ces mélangeurs, le coulis a l'aspect d'un "colloïde", c'est-à-dire une substance composée de très petites particules insolubles qui restent en suspension dans un liquide environnant (eau).

L'équipement d'injection de VSL est composé de :

- un réservoir d'eau calibré (tolérance +/- 1 %)
- un mélangeur mécanique
- deux réservoirs de malaxage, pour assurer une production continue de grands volumes (les malaxeurs avec un seul réservoir peuvent être utilisés pour les câbles de dalle nécessitant de petits volumes de coulis)
- un agitateur dans le réservoir
- une pompe
- un tamis en amont de la pompe pour empêcher les grumeaux d'entrer dans le câble.



ESSAIS

Le coulis VSL-HPI satisfait aux exigences d'essai standard spécifiées dans les normes EN 445, 446 et 447 (ainsi que dans la norme ISO 14824, partie 1-3). Les exigences d'essai sont les suivantes :

1. Essai standard de viscosité

But : assurer une viscosité adéquate (temps d'écoulement) du coulis pour injection.

Montage d'essai : 1 litre de coulis doit passer à travers un cône standardisé dans un temps déterminé.

Exigences : Limite de temps d'écoulement ≤ 25 secondes. Il doit également présenter une stabilité du temps d'écoulement sur une période prolongée d'au moins 30 minutes.

2. Essai standard de résistance à la compression

But : Enregistrer la résistance à la compression, généralement après 7 et 28 jours.

Montage d'essai : essai de résistance à la compression standard sur un prisme de 40 x 40 x 160 mm.

Exigences : La résistance à la compression du coulis ne doit pas être inférieure à 30 MPa à 28 jours ou 27 MPa à 7 jours.

3. Essai "mud balance"

But : Vérification de la densité du coulis fluide (poids/volume) pour confirmer la teneur en eau du coulis in situ.

Montage d'essai : Test "mud balance"

Exigences : La densité du coulis s'écoulant du câble représente au moins la même densité que celui spécifique du coulis VSL-HPI.

Le coulis de ciment VSL-HPI, en raison de sa faible teneur en eau et de sa faible porosité, présente une densité élevée d'environ 2 050 kg/m³.

4. Essai de resuage à la mèche

But : Vérification de la variation de volume, y compris l'effet filtrant d'un toron.

Montage d'essai : Un tube vertical transparent de 1m avec un seul toron de 0,6" en son centre. Le tube est rempli de coulis jusqu'à une hauteur définie ; les hétérogénéités et les variations de volume sont mesurées à des intervalles spécifiés jusqu'à 24 heures : Le resuage ne doit pas dépasser 0,3 % du volume initial après 3 heures de repos et le changement de volume du coulis au repos pendant 24 heures doit se situer entre -1 % et +5 %.

5. Essai en tube incliné

But : Vérification des propriétés d'exsudation et de la stabilité

Montage d'essai : Tubes transparents inclinés de 5 m de long, chacun avec 12 torons de 0,6". Les tubes sont remplis de coulis ; les niveaux d'air, d'eau et de tout autre liquide sont mesurés à intervalles réguliers jusqu'à 24 heures. Cet essai donne une représentation réaliste de l'environnement du coulis à l'intérieur du câble et permettant d'analyser la stabilité du coulis contre la ségrégation.

Exigences : Le resuage ne doit pas dépasser 0,3 % du volume initial du coulis après 3 heures au repos.

Les essais ci-dessus sont à effectuer quotidiennement lors de l'injection des câbles, à l'exception de l'essai en tube incliné, qui est effectué lors de la première injection sur un projet pour obtenir l'approbation d'un coulis spécifique.

DÉTAILS CONSTRUCTIFS

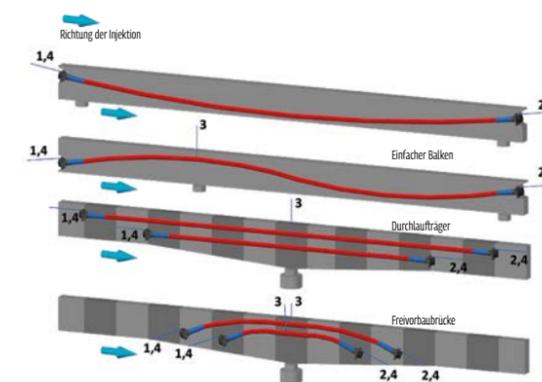
Le détail correct des gaines, des événements et des raccords manchons est d'une importance primordiale pour une injection de qualité. Tous les raccords entre gaines, événements, ancrages et capots de protection doivent être étanches pour assurer le remplissage complet du câble avec un coulis stable.

La distance entre les événements varie en fonction du type de câble, de sa géométrie et de la méthode d'injection utilisée. Un espacement acceptable est de l'ordre de 30 à 70 mètres.

Les exemples ci-dessous illustrent les emplacements d'événements et de points d'injection pour les types de câbles les plus courants :

Les points d'injection doivent être situés à :

- Point d'entrée du coulis (1)
- Points de sortie du coulis (2)
- Point haut du tracé de gaine (3), pour purge
- Capots (4), pour purge



POINTS D'INJECTION POUR LES CÂBLES DE DALLE VSL

Pour les câbles de dalle relativement courts (c.-à-d. en dessous de l'espacement acceptable donné ci-dessus pour la distance maximale entre événements) et présentant un profil relativement faible d'au plus 0,5 m - 0,8 m, aucun événement n'est requis aux points hauts.

INJECTION SOUS VIDE

Dans le cadre de l'injection sous vide, le câble est soumis au vide avant l'injection et la majeure partie de l'air enfermé est évacuée. Ceci réduit considérablement le risque de laisser des poches d'air dans le câble injecté. Il peut être particulièrement utile pour l'injection de longs câbles horizontaux sans points hauts définis.

L'injection de coulis sous vide doit être utilisée pour des câbles externes

dont les points hauts sont au niveau des déviateurs internes, empêchant la mise en place d'événements.

En outre, il est recommandé d'utiliser l'injection sous vide pour les longs câbles horizontaux sans point haut défini (par ex. précontrainte horizontale de réservoirs cylindriques). L'injection sous vide ne peut être réalisée que si le système de gaine, incluant les ancrages, est étanche à l'air. En addition, des équipements spéciaux sont nécessaires ainsi que des détails de raccords spéciaux.

DISPOSITIONS SPÉCIALES

Pour la précontrainte interne dans les structures en voussoirs à segments préfabriqués en béton armé, tous les joints doivent être collés avec de l'époxy. Si les câbles se situent dans le tablier d'un pont, l'application d'une membrane d'étanchéité est fortement recommandée. Celle-ci est obligatoire lorsque du sel de déglacage est utilisé.

Alternativement, les coupleurs pour voussoirs segmentaires VSL PT-PLUS® spécialement conçus et détaillés pour ce type d'application (voir section Technique) peuvent être utilisés.

Les câbles externes sont généralement injectés avec un coulis à base de ciment. Alternativement, ils peuvent être injectés au moyen d'un matériau souple.

RÉFÉRENCES

Pour plus d'informations sur le coulis d'injection, voir le rapport VSL : INJECTION DES CÂBLES DE PRÉCONTRAINTÉ (VSL Report Séries N°5, issu en 2002).

ÉTAPE 6 | Travaux post-injection

Après l'injection, les travaux de finition suivants sont à effectuer :

- Dans le cas d'un **câble extérieur**, les raccords entre éléments de gaine doivent être recouverts de manchons thermo-rétractables. Il en est de même pour les points d'injection.
- Dans le cas d'ancrages **à l'intérieur d'une niche**, celle-ci est à remplir de béton après injection du coulis.

4 Surveillance des ouvrages

VSL offre divers produits et services pour la surveillance structurale. Cette section présente des exemples choisis et n'a pas pour but de donner une vue d'ensemble exhaustive. Pour de plus amples informations concernant la surveillance structurale, veuillez contacter votre représentant VSL local.

Contrôle de l'injection avec le détecteur de vide et de corrosion VSL (VCSensor)

Le détecteur de vide et de corrosion VSL est utilisé pour réduire le risque de défauts non détectés en vérifiant que le câble a été correctement injecté et en confirmant les propriétés du coulis. Le détecteur est installé avant le bétonnage aux points potentiellement critiques du câble et détecte si l'alcalinité est insuffisante ou s'il y a une contamination au chlorure du coulis pendant le processus de remplissage. De plus, il permet de détecter la ségrégation d'eau. Par conséquent, il confirme la présence d'un coulis ayant des propriétés alcalines suffisantes à toutes les sections critiques du câble, ce qui permet un contrôle de qualité maximale pendant l'injection. Le détecteur de vide pour coulis VSL développé en 2010 est breveté et son efficacité testée en laboratoire et sur maquette grandeur nature dans le cadre d'un projet de rénovation d'ouvrage d'art en Angleterre.



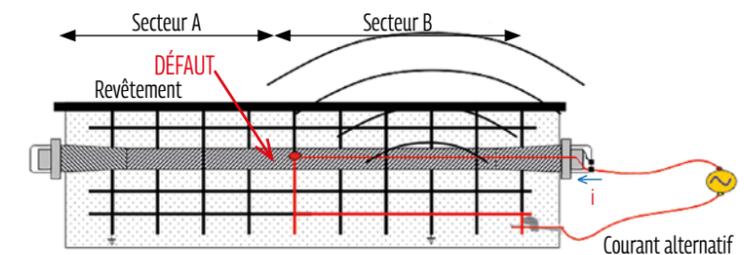
Câbles isolés électriquement (EIT) - surveillance à long terme de l'encapsulation des câbles et la localisation d'éventuels défauts.

Les câbles isolés électriquement (EIT) permettent la surveillance de l'encapsulation des câbles. La surveillance à long terme de l'encapsulation du câble permet de détecter très tôt toute infiltration d'eau, ce qui indique un défaut possible de l'encapsulation étanche du câble (voir pages 28-29).

Connaître l'emplacement de tout défaut éventuel est essentiel pour en estimer les conséquences sur la durabilité, mais aussi pour réparer le défaut.

Afin de localiser le défaut, un champ électrique alternatif est imposé entre le câble de précontrainte et les armatures passives, en utilisant les connexions électriques prévues pour les mesures d'impédance. La mesure du flux magnétique du courant alternatif résultant permet de déterminer les zones où le courant circule et localiser les points où le courant sort du câble.

La figure ci-contre montre la présence d'un champ magnétique dans le secteur B, alors que dans le secteur A, aucun champ magnétique n'est mesuré. Un repérage fiable du défaut est possible si les câbles sont reliés électriquement des deux côtés.

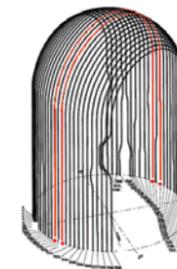


Suivi en service des structures spéciales - Garantir la performance au fil des ans

VSL assure la surveillance en service de structures spéciales telles que les réacteurs de centrales nucléaires. Les réglementations applicables imposent souvent des stratégies de surveillance des structures de confinement, en raison du fait que les facteurs externes, ainsi que les changements dans les propriétés mécaniques du béton et de l'acier à mesure qu'ils vieillissent, ont un impact direct sur la sûreté nucléaire.

VSL est en mesure de fournir différentes techniques de surveillance de l'acier de précontrainte, des contraintes et déformations de la structure. Par exemple, les extensomètres pour mesurer la déformation le long des câbles à l'aide de la technologie Fibre Bragg. La température et la déformation sont mesurées le long de câbles sélectionnés, ce qui permet de surveiller les efforts des câbles à tout moment au cours de la vie de la structure.

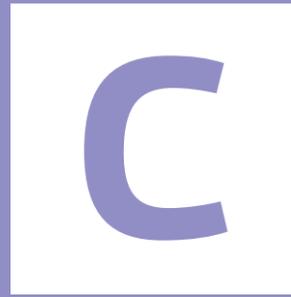
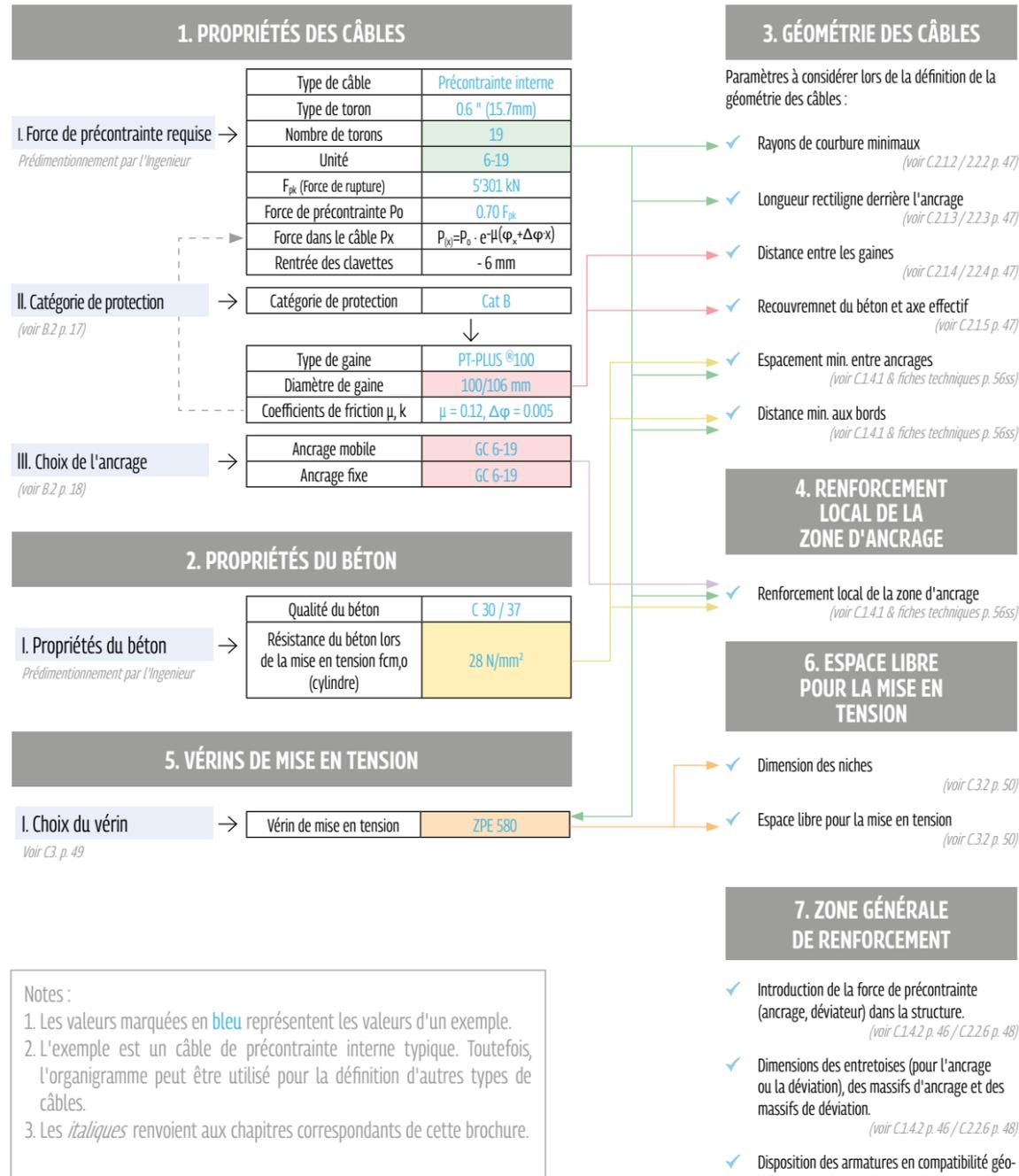
Pour plus d'informations sur la surveillance structurale, veuillez contacter votre représentant VSL local.



Surveillance de la précontrainte intégrée : capteurs répartis le long d'un câble précontraint de 12MN (Technologie Fibre Bragg)

5 Conception de structures précontraintes

Divers paramètres structurels et géométriques doivent être considérés lors de la conception d'une structure avec des câbles de précontrainte, pour respecter les normes et réglementations applicables. Cette page donne un aperçu des différents paramètres et indique les principales relations entre eux :



Dimensionnement et considérations constructives

1 Aide pour le dimensionnement

1.1 Force de tension des câbles de précontrainte

Les normes et codes internationaux définissent la force de tension maximale d'un câble précontraint. Le tableau ci-dessous donne un aperçu des différentes normes.

Une distinction est faite entre les forces avant et après le transfert de la force de précontrainte au béton, afin de permettre une compensation partielle des pertes par frottement par une "surtension" temporaire (voir C.4.2).

NORME	Force de précontrainte max. APRÈS la mise en tension et la rentrée des clavettes	Force de précontrainte max. pendant la mise en tension
Code modèle fib 2010	Min (0,75 f_{pk} , 0,85 $f_{p0,1k}$)	Min (0,80 f_{pk} , 0,90 $f_{p0,1k}$)
Eurocode 2 (EN-1992-1-1)	Min (0,75 f_{pk} , 0,85 $f_{p0,1k}$)	Min (0,80 f_{pk} , 0,90 $f_{p0,1k}$)
SIA 262 (2013)	0,70 f_{pk}	0,75 f_{pk}

Où :

f_{pk} : résistance caractéristique à la traction

$f_{p0,1k}$: valeur caractéristique mesurée à 0,1 % de l'élongation

La plupart des codes et normes applicables permettent une surtension temporaire du câble (voir C.4.2.8 p. 99).

La norme EN-1992-1-1-1 spécifie les forces de tension maximales dans les annexes nationales ; les valeurs indiquées sont des valeurs recommandées.

La précontrainte d'un câble ne peut être réalisée qu'une fois que le béton a atteint la résistance mécanique requise. La résistance doit être vérifiée par des essais sur site avant la mise en tension. Elle doit être supérieure aux valeurs spécifiées par l'ingénieur. Les valeurs minimales sont indiquées dans les fiches techniques de ce catalogue. Des résistances de béton inférieures sont acceptables lors de mises en tensions partielles (voir C1.4.1 p 46).

1.2 Force de précontrainte dans les câbles - pertes de force des câbles

La force de précontrainte initiale appliquée diminue le long du câble en raison de divers facteurs. Les pertes de force de précontrainte sont décrites dans ce chapitre. En général, les pertes immédiates et à long terme sont considérées séparément :

Pertes immédiates :

- Pertes dues au frottement le long du câble et dans l'ancrage
- Pertes dues à la rentrée des clavettes
- Raccourcissement élastique du béton

Pertes à long terme :

- Pertes dues à la relaxation de l'acier de précontrainte
- Pertes dues au fluage et au retrait du béton

1.2.1 PERTES DUES AU FROTTEMENT

Les pertes dues au frottement le long du câble peuvent être calculées par la formule de Coulomb :

$$P_{(x)} = P_o \cdot e^{-\mu(\varphi_x + \Delta\varphi \cdot x)}$$

- Où :
- $P_{(x)}$ = Force de précontrainte à une distance x de l'ancrage actif
 - P_o = Force de précontrainte à l'ancrage mobile
 - e = fonction exponentielle
 - μ = Coefficient de frottement entre l'acier de précontrainte et la gaine [rad-1]
 - φ_x = Somme des déviations angulaires du câble dans tous les plans sur la distance x (en radians [rad])
 - $\Delta\varphi$ = Déviation angulaire accidentelle (tolérance de pose) par unité de longueur [rad x m-1]

Les valeurs des coefficients μ et $\Delta\varphi$ dépendent du type d'acier de précontrainte et du type de gaine. Un grand nombre d'essais en laboratoire sur des modèles grandeur nature et de nombreuses mesures sur site ont été effectués afin de déterminer les coefficients généralement applicables aux systèmes VSL.

Note : Une représentation alternative de la formule de Coulomb peut être utilisée

dans certains pays et règlements : $P_{(x)} = P_o \cdot e^{-(\mu \cdot \varphi_x + \Delta\varphi^* \cdot x)}$

Avec facteur de déviation angulaire accidentelle $\Delta\varphi^*$ [m^{-1}]

Valeurs des coefficients μ et $\Delta\varphi$:

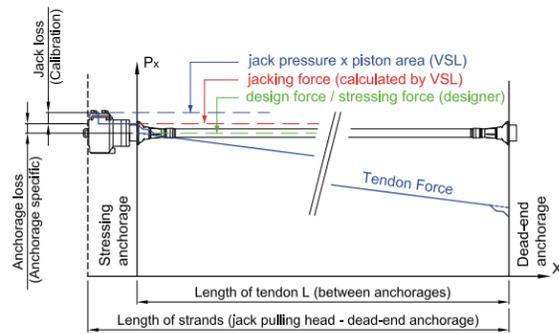
Type de câble et de gaine	Plage	Valeur recommandée
Câble interne avec adhérence avec gaine acier feuillard (toron nu)	$\mu = 0.16 - 0.22$ $\Delta\varphi = 0.004 - 0.008$	$\mu = 0.18$ $\Delta\varphi = 0.005$ ($\Delta\varphi^* = 9 \times 10^{-4}$)
Câble interne avec PT-PLUS® (toron nu)	$\mu = 0.10 - 0.14$ $\Delta\varphi = 0.004 - 0.010$	$\mu = 0.12$ $\Delta\varphi = 0.005$ ($\Delta\varphi^* = 6 \times 10^{-4}$)
Câble externe avec tube PE (toron nu)	$\mu = 0.10 - 0.14$ $\Delta\varphi = 0^{(2)}$	$\mu = 0.12$ $\Delta\varphi = 0^{(2)}$ ($\Delta\varphi^* = 0$)
Câble interne sans adhérence avec torons individuels gainés et graissés	$\mu = 0.04 - 0.07$ $\Delta\varphi = 0.004 - 0.006$	$\mu = 0.05$ $\Delta\varphi = 0.005$ ($\Delta\varphi^* = 2.5 \times 10^{-4}$)
Application spéciale : Câble externe avec torons gainés et graissés et gaine PE extérieure	$\mu = 0.04 - 0.07$ $\Delta\varphi = 0^{(2)}$	$\mu = 0.06$ $\Delta\varphi = 0^{(2)}$ ($\Delta\varphi^* = 0$)

Notes :

1. Les valeurs limites d'intervalle englobent les torons lubrifiés et non lubrifiés.
2. Les valeurs du facteur de déviation angulaire accidentelle k sont nulles pour les câbles à l'extérieur de la section en béton.

Il faut ajouter les pertes dues au frottement dans la tête d'ancrage et celles dans le vérin aux pertes dues au frottement le long du câble. Ces pertes varient selon la section du câble, le type d'ancrage et le type de vérin utilisé.

Ces pertes sont prises en compte lors du calcul de la force et de la pression hydraulique du vérin par VSL. Par conséquent, l'ingénieur concepteur du projet n'a pas besoin de tenir compte de ces pertes.



1.2.2 PERTES DUES À LA RENTRÉE DES CLAVETTES

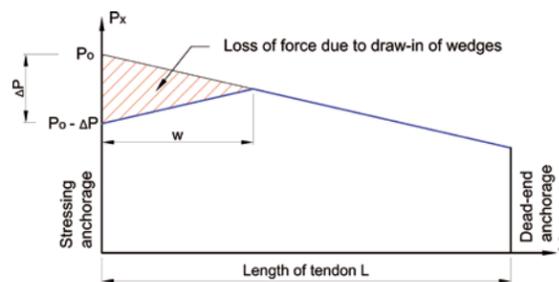
Lorsque les torons sont bloqués dans l'ancrage, les clavettes se déplacent sur une distance fixe d'environ 6 mm. Cette valeur est indépendante de la section du câble du diamètre nominal du toron et de sa qualité. En supposant une perte linéaire de tension due au frottement (hypothèse valable dans la plupart des cas), la perte de tension et la zone affectée par la rentrée des clavettes est calculée comme suit :

$$w = \sqrt{\frac{\Delta l_c \cdot E_p \cdot A_p}{\Delta p}}$$

$$\Delta P = 2 \cdot \Delta p \cdot w$$

Où : w = Distance influencée par la rentrée des clavettes
 ΔP = Perte de force à l'ancrage due à la rentrée des clavettes
 Δl_c = 0,006 m (rentrée de clavette)
 E_p = Module d'élasticité de l'acier de précontrainte en KN/m²
 A_p = Section de l'acier en [m²]
 Δp = Perte de force par m en [kN/m']

$$\Delta p = \frac{P_o - P_L}{L}$$



Dans la plupart des cas, cette perte n'a pas d'influence pratique puisque la force requise dans le câble est définie par le moment déterminant, qui est généralement situé à un point non affecté par w . Cependant, pour les câbles courts à faible courbure, ou lorsque la force de contrôle est située à proximité de l'ancrage, il peut être conseillé de compenser la perte causée par la rentrée des clavettes par un calage entre le bloc d'ancrage et la plaque d'appui (opération à 2 étapes de mises en tension).

1.2.3 PERTES DUES AU RACCOURCISSEMENT ÉLASTIQUE DU BÉTON

La perte de force du câble correspondant à la déformation instantanée du béton doit être prise en compte en tenant compte de l'ordre dans lequel

les câbles sont mis en tension.

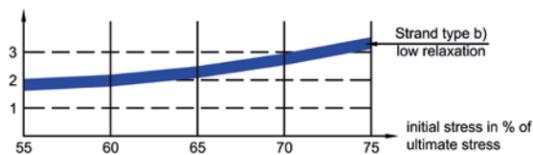
Pour les cas standard, comme les dalles ou les poutres de pont, le raccourcissement est insignifiant en termes de pertes. Toutefois, il faut l'envisager pour les poutres qui sont fortement sollicitées avec seulement quelques câbles.

1.2.4 PERTES DUES À LA RELAXATION DE L'ACIER DE PRÉCONTRAÎTE

La relaxation est la perte de force, mesurée en fonction du temps, dans un câble qui est soumis à une contrainte et maintenu à une longueur constante. Elle représente une propriété physique du matériau, qui varie en fonction de la qualité de l'acier et de la méthode de production. Pour un acier donné, la relaxation dépend essentiellement de la force initiale et de la température ambiante.

Les torons utilisés par VSL sont des torons à faible relaxation, avec une relaxation maximale à 1 000 heures de 2,5 % (pour une force initiale de 70 % UTS (résistance maximale à la traction) et une température ambiante de 20 °C).

Le graphique ci-dessous permet d'estimer la relaxation d'un toron à faible relaxation à 1 000 heures, pour une température de 20 °C et en fonction de la contrainte initiale du câble (contrainte initiale moyenne en % f_{pk} , considérant les pertes immédiates).



Les pertes dues à la relaxation de l'acier de précontrainte dépendent fortement de la température.

Si les pertes de relaxation sont importantes pour la performance de la structure ou de l'élément, il est fortement recommandé d'effectuer les essais de relaxation à la température particulière lorsque l'on s'attend à ce que la température soit nettement supérieure à 20 °C sur de longues périodes.

La perte de relaxation après un temps infini peut être estimée à deux ou trois fois la valeur à 1 000 heures.

Par conséquent, pour la conception préliminaire, les pertes dues à la relaxation des aciers de précontrainte avec un niveau de contrainte initiale normal et des températures autour de 20 °C peuvent être considérées comme étant de 6 à 7 %.

Cette estimation peut être considérée comme une valeur supérieure. Il convient de noter qu'il existe un écart important entre les différents codes et règlements, de sorte que pour les calculs détaillés, il convient de se référer aux codes et règlements applicables, par exemple le code modèle fib 2010.

1.2.5 PERTES DUES AU FLUAGE ET AU RETRAIT DU BÉTON

Le calcul des pertes dues au fluage et au retrait du béton doit être effectué sur la base des codes et normes applicables ou conformément au fib Model Code 2010.

Pour les câbles avec adhérence, il faut tenir compte de la déformation locale au niveau du câble, tandis que pour les câbles sans adhérence (par exemple, les câbles externes qui ne sont pas liés à la structure), il faut tenir compte de la déformation de la structure entière entre les ancrages du câble.

Les équations suivantes sont basées sur les données du code du modèle fib code 2010 et permettent de déterminer les pertes finales dues au retrait et au fluage sous contrainte constante. Veuillez vous référer aux normes applicables pour des calculs détaillés.

$$\Delta p_{c+s} = \frac{\Delta \sigma_{p,c+s}}{\sigma_{p0}} \cdot 100$$

$$\Delta \sigma_{p,c+s} = \frac{\varepsilon_{cs(t,t_0)} \cdot E_s + \alpha \cdot \phi(t,t_0) \cdot \sigma_{c,p0+g}}{1 - \alpha \frac{\sigma_{c,p0}}{\sigma_{p0}} \left(1 + \frac{\phi(t,t_0)}{2}\right)}$$

Où : Δp_{c+s} = Pertes finales de précontrainte dues au retrait et au fluage [%]

$\Delta \sigma_{p,c+s}$ = Variation de la contrainte dans l'acier de précontrainte due au fluage et au retrait [N/mm²]

σ_{p0} = Contrainte initiale dans l'acier de précontrainte

$\sigma_{c,p0}$ = Contrainte normale dans le béton due à la précontrainte

$\sigma_{c,p0+g}$ = Contrainte normale dans le béton due à la précontrainte, juste après la mise en tension

E_s = Module d'élasticité de l'acier de précontrainte (195 000 N/mm²)

E_m = Module d'élasticité du béton [N/mm²]

$\varepsilon_{cs(t,t_0)}$ = Rétrécissement final spécifique du béton ; peut être obtenu à partir du diagramme ci-dessous

$\phi(t,t_0)$ = Coefficient de fluage final du béton, peut être obtenu à partir du diagramme ci-dessous

α = E_s / E_m

Les facteurs influençant la quantité de retrait et de fluage sont :

- Âge au chargement de la structure, t_0 [jours]
- Conditions atmosphériques, humidité relative RH [%]
- Géométrie des éléments, taille théorique $h = 2A_c/u$ [mm]

Les pertes finales dues au retrait et au fluage sont influencées par les facteurs ci-dessus. De plus, la contrainte initiale dans le béton due à la précontrainte et à la charge permanente $\sigma_{c,p0+g}$ est d'une importance majeure.

La **déformation de retrait totale** $\varepsilon_{cs(t,t_0)}$ (en 10E-3), qui tient compte du retrait autogène et du retrait par séchage, peut être estimée à l'aide du tableau ci-dessous :

Conditions atmosphériques sèches (HR = 50%, à l'intérieur)		Conditions atmosphériques humides (HR = 80%, extérieur)			
Taille notionnelle $2A_c/u$ [mm]					
50	150	600	50	150	600
-0.61	-0.60	-0.49	-0.38	-0.38	-0.31

L'effet du temps de chargement sur le retrait total peut être négligé pour une analyse préliminaire.

Le **coefficient de fluage final** $\phi(t,t_0)$ est indiqué dans le tableau ci-dessous. Le coefficient de fluage dépend fortement de l'âge du béton de la structure au moment du chargement.

Âge au chargement t_0 [jours]	Conditions atmosphériques sèches (HR = 50 %, à l'intérieur)			Conditions atmosphériques humides (HR = 80 %, extérieur)		
	Taille notionnelle $2A_c/u$ [mm]					
	50	150	600	50	150	600
1	4.8	4.0	3.3	3.2	2.9	2.6
7	3.5	2.9	2.4	2.4	2.2	2.0
28	2.7	2.3	1.9	1.9	1.7	1.5
90	2.1	1.8	1.5	1.5	1.3	1.2
365	1.6	1.3	1.1	1.1	1.0	0.9

Comme indiqué précédemment, les pertes dues au fluage et au retrait dépendent fortement de facteurs géométriques, atmosphériques et temporels et varient également en fonction des différents codes et réglementations.

Le tableau ci-dessous donne une estimation des pertes dues au fluage et retrait pour trois cas différents. Ces valeurs ne peuvent être utilisées qu'à titre préliminaire ; pour les calculs détaillés, il convient de se référer à la méthode de calcul applicable suivant les codes et règlements en vigueur, par ex. le Code modèle fib.

Cas I : Béton coulé sur place avec mise en précontrainte précoce des câbles dans des conditions atmosphériques sèches

Cas II : Béton coulé sur place avec mise en précontrainte standard des câbles dans des conditions atmosphériques humides

Cas III : Éléments préfabriqués mise en tension après plus de 30 jours

Valeurs typiques des pertes dues au fluage et au retrait :			
Cas	I	II	III
Câbles de dalle	8 - 9 %	6 - 8 %	4 - 6 %
Ponts et poutres	12 - 15 %	8 - 12 %	5 - 8 %

1.2.6 TOTAL DES PERTES DÉPENDANTES DU TEMPS

Les valeurs typiques des pertes totales dépendantes du temps pour les câbles précontraints dues à la relaxation de l'acier de précontrainte et dues au fluage et retrait du béton peuvent être calculées en ajoutant les pertes dues à la relaxation aux valeurs du tableau ci-dessus :

Par exemple le cas I :

- pour câbles de dalle ~ 15 %
- Pour les ponts et les poutres ~ 20%.

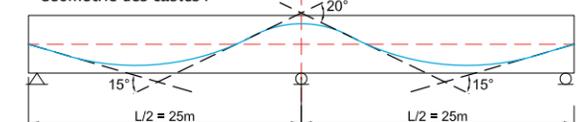
Ces valeurs sont approximatives et, pour un calcul détaillé, il convient de se référer aux codes et règlements applicables, par exemple le Code modèle B 2010.

1.2.7 EXEMPLE POUR LA DÉTERMINATION DE LA FORCE DE PRÉCONTRAÎTE LE LONG DU CÂBLE

Ce paragraphe montre un exemple pour la détermination de la force de précontrainte le long du câble, compte tenu des pertes dues au frottement et à la rentrée de clavettes.

- Câble VSL 6-12, 12 torons, diamètre nominal (\emptyset) 15,7 mm (0,6")
- Longueur du câble $L = 50$ m
- Section d'un toron $A_s = 150$ mm²
- Résistance à la traction caractéristique $f_{pk} = 1,860$ MPa
- Charge de rupture caractéristique du câble $F_{pk} = 3,348$ kN
- Module d'élasticité de l'acier de précontrainte = 195 000 MPa
- Câble équipé d'ancrages GC 6-12 et gaine PT-PLUS® Force de précontrainte initiale = 75 % $F_{pk} = 2,511$ kN

• Géométrie des câbles :



CAS 1 - EXEMPLE SIMPLIFIÉ POUR LA DÉTERMINATION APPROXIMATIVE DE PERTE (les pertes sont supposées être linéaires sur la longueur du câble) :

Pertes dues au frottement : $P_{(x)} = P_o \cdot e^{-\mu(\varphi_s + \Delta\varphi \cdot x)}$

Avec : $\mu = 0.12$
 $\Delta\varphi = 0.005$

$P_{(50m)} = 2'511 \cdot e^{-0.12 \cdot ((2 \cdot 15 + 20) \cdot \frac{\pi}{180} + 0.005 \cdot 50)} = 2'511 \cdot 0.87 = 2'195 \text{ kN}$
(= $0.65 \cdot F_{pk}$)

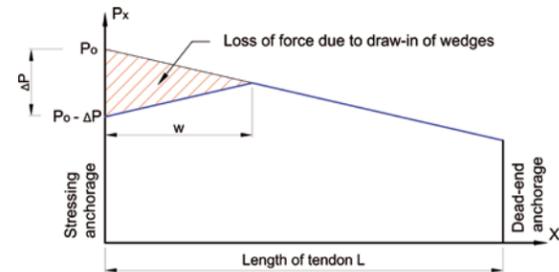
• Influence de la rentrée de clavettes :

$\Delta P = \frac{2'511 - 2'195}{50} = 6.32 \text{ kN/m}$

$w = \sqrt{\frac{6 \cdot 195'000 \cdot 12 \cdot 150}{6.32}} \approx 18 \text{ m}$

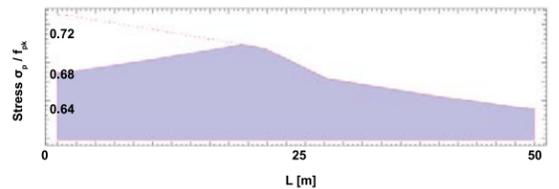
$\Delta P \approx 2 \cdot 18 \cdot 6.32 \approx 228 \text{ kN}$

$P_o - \Delta P \approx 2'283 \text{ kN}$



CAS 2 - CALCUL DÉTAILLÉ AVEC VARIABLE Δp :

Le calcul détaillé est effectué par un logiciel spécialisé qui tient compte du fait que Δp varie le long du câble. Les résultats sont présentés ci-dessous.



Les observations suivantes peuvent être faites :

- Le calcul détaillé montre que les pertes ne sont pas strictement linéaires le long du câble, mais dépendent de la distribution des déviations du câble sur sa longueur.
- La zone affectée par les pertes dues à la rentrée de clavettes (w) est effectivement d'environ 19,5 m de long.
- La force de précontrainte au niveau de l'ancrage passif est dans les deux cas égale à $0,65 F_{pk}$.
- La différence entre le cas I et le cas II ne se produit qu'en raison de l'hypothèse du cas I que la perte totale est répartie linéairement sur la longueur du câble.

1.2.8 SURTENSION DES CÂBLES DE PRÉCONTRAITE

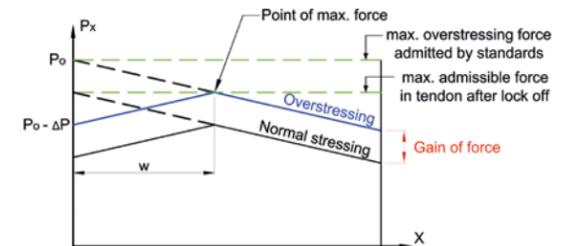
La plupart des codes et normes applicables permettent une surtension temporaire de l'élément, ce qui présente les avantages suivants :

- Une augmentation significative de la force de précontrainte sur toute la longueur du câble compense en partie la perte de force résultant du frottement. Il en résulte une économie de la quantité d'acier de

précontrainte nécessaire.

- Objectif de la force maximale admissible P_{adm} à une distance w de l'ancrage. Pour la plupart des structures, le moment de flexion déterminant l'amplitude de la force de précontrainte n'est pas à la position d'ancrage.

La valeur de la surtension est fixée dans les codes et normes applicables. En outre, il convient de vérifier que la force de précontrainte dans le câble après le transfert sur le béton reste en dessous des valeurs admissibles. Pour les valeurs, voir C.1.1. p. 41. Selon l'Eurocode 2 (EN 1992-1-1) par exemple, la force maximale APRÈS transfert de la force de précontrainte sur le béton est de min ($0.75 f_{pk}$; $0.85 f_{p0.1k}$).



Il est également possible de compenser entièrement la rentrée de clavettes en ajoutant des cales de 6 mm entre le bloc d'ancrage et la plaque d'appui.

1.2.9 TENSION DES CÂBLES : MISE EN TENSION D'UN OU DES DEUX CÔTÉS

La décision de mettre un câble en tension à partir d'un côté ou des deux côtés dépend de la longueur du câble, de son profil et du type de gaine qui est utilisé. Pour chaque cas particulier, il convient d'analyser s'il existe un intérêt à mettre en tension le câble d'une extrémité ou des deux extrémités. Dans le cas d'une mise en tension des deux côtés, celle-ci se fera de façon séquentielle et non simultanée.

En règle générale, les éléments suivants peuvent être conservés :

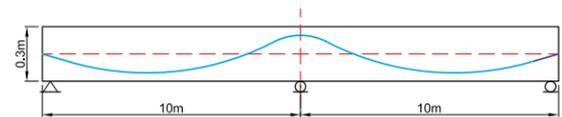
- Les câbles courts de la dalle ne sont mis en tension que d'un seul côté
- Les câbles longs avec des courbures importantes sont mis en tension par les deux côtés.

Cette section comprend 2 exemples, qui serviront de guide pour décider si la mise en tension doit se faire d'un côté ou des deux côtés. Les pertes comprennent les pertes immédiates ; les pertes dépendantes du temps ne sont pas prises en compte.

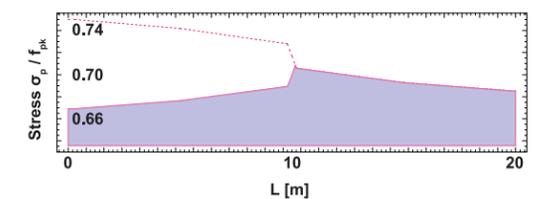
CÂBLE COURT DE DALLE :

Câble de ~20 m de long sur deux travées à petit courbure (épaisseur de la dalle 30 cm).

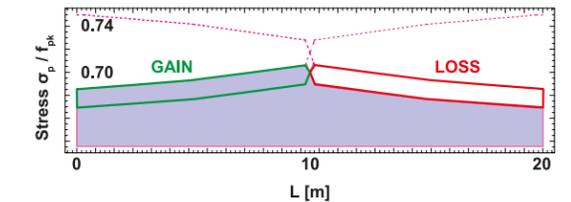
Élévation du câble :



Contrainte dans l'acier de précontrainte (σ_p / f_{pk}) lors de la précontrainte d'un côté :



Contrainte dans l'acier de précontrainte (σ_p / f_{pk}) lors de la précontrainte par les deux côtés :

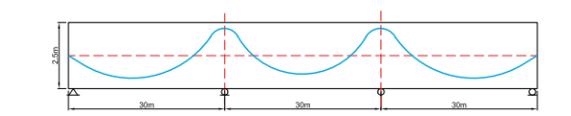


La mise en tension des deux côtés apporte :

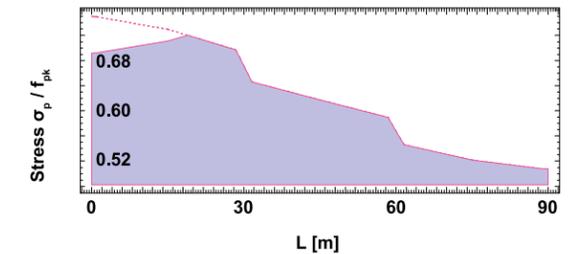
- Faible gain (~2 % f_{pk}) près de l'ancrage gauche
- Faible perte (~2 % f_{pk}) près de l'ancrage droit en raison de la rentrée des clavettes de la 2e étape de mise en tension.
- Dans l'ensemble : pas d'avantage dû à la contrainte des deux côtés, mais simplement un diagramme d'inversion de force, car le diagramme de force se produit sur la moitié de la longueur du câble à cause de la rentrée des clavettes.

CÂBLE LONG :

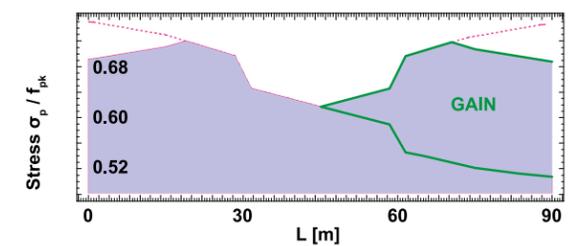
Câble d'une longueur d'environ 90 m dans des entretoises de poutre-caisson de 2,5 m de hauteur sur 3 travées :



Contrainte dans l'acier de précontrainte (σ_p / f_{pk}) lors de la précontrainte d'un côté :



Contrainte dans l'acier de précontrainte (σ_p / f_{pk}) lors de la précontrainte par les deux côtés :



La mise en tension des deux côtés apporte :

- gain significatif (~18 % f_{pk}) sur la moitié droite du câble
- Dans l'ensemble : Une amélioration sensible du diagramme des forces dans le cas d'une mise en tension des deux côtés. Pour cet exemple, la mise en tension des deux côtés est fortement recommandée.

Pour les cas intermédiaires, l'avantage d'une mise en tension des deux côtés doit être évalué pour chaque cas. En général, VSL recommande la mise en tension d'un seul côté des câbles de dalle jusqu'à 30 m avec faible courbure dans des gaines métalliques et des câbles de poutres avec un profil parabolique simple dans des gaines en plastique jusqu'à 40 m à 50 m.

1.3 Détermination de l'allongement des câbles

L'allongement d'un câble de précontrainte est utilisé pour valider l'opération de mise en tension. L'allongement mesuré est comparé à l'allongement théorique et la différence doit se situer dans des limites clairement définies. Pour les critères d'acceptation, il convient de se référer aux codes et normes applicables.

La définition exacte de l'allongement du câble ΔL est :

$$\Delta L = \int_0^L \frac{P_x}{E_s \cdot A_s} \cdot dx + \int_0^L \frac{P_x}{E_c \cdot A_c} \cdot dx$$

Acier de précontrainte Raccourcissement élastique du béton

Le second terme peut être négligé dans la plupart des cas, sauf lorsque les contraintes normales dans le béton résultant de la précontrainte sont élevées. Par conséquent, l'allongement du câble peut être exprimé en général par :

$$\Delta L = \int_0^L \frac{P_x}{E_s \cdot A_s} \cdot dx$$

Il est recommandé d'utiliser un logiciel spécialisé pour le calcul de l'allongement du câble. Le calcul peut être effectué sans logiciel. Cependant, pour certains profils de câbles irréguliers, il peut être nécessaire de varier Δp (perte de force par mètre) le long de la longueur du câble au lieu d'utiliser une moyenne Δp calculée sur toute la longueur du câble.

L'utilisation de mesures d'extension pour vérifier si le diagramme théorique des forces a été réalisé sur le terrain n'est pas une méthode très exacte, car l'allongement des câbles dépend de nombreux facteurs qui peuvent varier considérablement en amplitude. Par exemple, le module d'élasticité n'est pas une propriété physique garantie par les fabricants de torons. Les résultats des mesures effectuées sur des échantillons prélevés sur le même lot de torons peuvent varier de 3 à 5 %. Il est donc recommandé de calibrer physiquement les mesures d'extension au début d'un projet en équipant un câble avec deux ancrages actifs à chaque extrémité afin que la force de précontrainte au deuxième ancrage puisse être mesurée directement par une simple mesure de tension au vérin.

Les équations d'allongement des câbles ci-dessus impliquent que les paramètres suivants, qui affectent directement l'allongement, doivent être précis :

- Force de précontrainte appliquée (utilisation de vérins calibrés et de manomètres)
- Longueur du câble
- Profil de câble tel que construit en ligne avec le profil défini sur les dessins d'atelier et utilisé pour les calculs d'allongement.

1.4 Considérations relatives à la zone d'ancrages de câbles

Le transfert des forces de précontrainte de l'ancrage dans le béton produit des contraintes qui dépassent la résistance du béton et qui doivent être reprises par des armatures spéciales. De plus, les ancrages doivent être positionnés à une distance adéquate du bord du béton et espacés d'un entraxe minimal afin de garantir l'introduction de la force de précontrainte dans le béton. Sont requis : Les entre axes, les distances aux bords et l'armature nécessaire dans la zone d'ancrage. La zone d'ancrage dépend fortement de la résistance du béton au moment de la contrainte, f_{cm0} .

1.4.1 CONSIDÉRATIONS GÉOMÉTRIQUES POUR LE POSITIONNEMENT DES ANCRAGES DE PRÉCONTRAINTE

L'entraxe (X) entre les ancrages VSL est indiqué dans les fiches techniques correspondantes. Une augmentation de la résistance du béton au moment de la mise en tension, $f_{cm,0}$, permet une diminution de l'entraxe requis, X. Les fiches techniques des ancrages VSL sont présentées dans la section D 3.

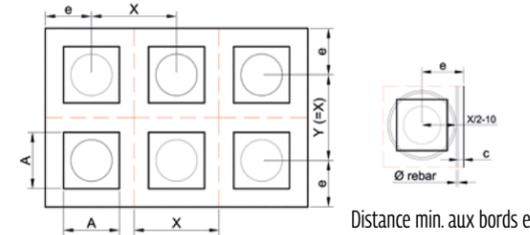
Le système de précontrainte VSLab S comporte des zones d'ancrage locales de forme rectangulaire (X par Y), conçues pour minimiser soit l'épaisseur de la dalle, soit l'espacement entre les ancrages.

Les systèmes de précontrainte VSL multitorons (internes et externes) présentent des zones d'ancrage locales de forme carrée (X par X). Dans des situations avec des exigences géométriques particulières, les zones d'ancrage locales peuvent être adaptées à une forme rectangulaire. Pour des détails spécifiques, y compris des informations sur le renforcement de la zone d'ancrage locale correspondante, veuillez contacter votre représentant VSL local.

La distance minimale requise aux bords (e) est calculée comme suit :

$$e_x = \frac{X}{2} + c - 10\text{mm} + \phi_{\text{armature}} \quad ;$$

où c est l'enrobage de béton requis pour l'armature passive et ϕ_{armature} de la barre d'armature est le diamètre du ou des lits d'armatures.



Répartition de six ancrages (dans une zone d'ancrage locale de forme carrée)

Considérations particulières en cas de précontrainte partielle des câbles : Si la conception prévoit une mise en précontrainte partielle du câble à une force sensiblement inférieure aux forces de contrainte maximales indiquées à la section C.1.1 p. 41, la résistance requise du béton $f_{cm,0}$, au moment de la mise en tension, peut être réduite en fonction de la force de précontrainte appliquée :

- pour 50 % de la force totale de précontrainte, la résistance requise du béton, $f_{cm,0}$, peut être réduite aux deux tiers des valeurs indiquées dans les fiches techniques VSL
- pour 30 % de la force totale de précontrainte, la résistance requise du béton, $f_{cm,0}$, peut être réduite de moitié par rapport aux valeurs indiquées dans les fiches techniques VSL.

1.4.2 RENFORCEMENT LOCAL DE LA ZONE D'ANCRAGE

L'armature nécessaire à l'introduction de la force de précontrainte dans la structure peut être divisée en trois types :

a) Renforcement local de la zone à proximité immédiate de l'ancrage (renforcement local du prisme primaire)

Pour ce faire, on peut utiliser des spirales (hélices), des étriers (renforcement orthogonal) ou une combinaison des deux. La conception de la zone locale (ZL), le renforcement local de la zone locale et les entraxes minimaux font partie intégrante de l'ancrage et relèvent de la responsabilité de VSL. La conception et les détails de la ZL présentés dans toutes les fiches techniques de cette brochure est basée sur l'approche utilisée pour calculer la ZL en fonction de l'ETA. Par conséquent, la ZL

peut être différente dans un pays ou pour un projet, où d'autres codes ou spécifications sont une exigence légale ou contractuelle. Toutefois, la ZL qui diffère des fiches techniques de cette brochure ne peut être utilisée qu'avec l'accord écrit du bureau de représentation VSL local. Une modification de la forme de la zone locale d'ancrage implique nécessairement un ajustement du renforcement de la zone locale de l'ancrage. Pour plus de détails, contactez votre représentant VSL local. Pour être efficace, le renforcement de la zone locale doit être placé correctement : il doit être centré autour de l'axe d'ancrage et doit être positionné au plus près derrière l'ancrage.

b) Zone générale de renforcement pour introduire la force de précontrainte dans la structure (régions D ; renforcement du prisme secondaire)

Les normes et codes applicables stipulent que la conception de l'armature nécessaire à l'introduction de la force de précontrainte dans la structure (zone générale) relève de la responsabilité de l'ingénieur de projet. Le rapport de VSL *Detailing of Post tensioning (Détails de la précontrainte)* contient des lignes directrices pour sa conception. Les facteurs de charges applicables pour la force de précontrainte et les facteurs de résistance des matériaux doivent être pris en compte conformément aux normes applicables. Un soin particulier doit être apporté à la conception et à la réalisation des détails des zones D où sont ancrés les câbles externes, car les forces de précontrainte ne peuvent pas être directement introduites dans les éléments de la section transversale.

c) Renforcement pour des forces d'éclatement près des bords sans contraintes

Cette armature est conçue par l'ingénieur de projet dans le cadre du renforcement global de la structure.

1.5 Résistance au cisaillement des éléments précontraints

Pour la vérification de la résistance au cisaillement des éléments précontraints, il faut tenir compte de ce qui suit :

- La composante verticale d'un câble de précontrainte peut être considérée comme augmentant la résistance au cisaillement, si elle est favorable :

$$\Delta V_{rd,p} = P_{\infty} \cdot \sin \beta_p$$

- Dans le cas de structures avec des gaines de diamètre $\phi \geq$ largeur de l'âme (b_w) / 8, la résistance ultime de la bielle de compression doit être calculée sur la base de la valeur nominale de l'âme $b_{w,nom}$:

$$b_{w,nom} = b_w - k_D \cdot \sum \phi$$

où $k_D = 0.5$ pour les gaines en acier injectées
 0.8 pour les gaines PT-PLUS® injectées
 1.2 pour les gaines non injectées

- La résistance au cisaillement du béton dépend de la largeur d'ouverture de la fissure de cisaillement critique. La force normale induite par les câbles de précontrainte réduit la largeur d'ouverture de la fissure de cisaillement critique et tend donc à une augmentation de la résistance au cisaillement. C'est le cas pour le cisaillement dans les poutres ainsi que pour l'analyse par poinçonnement des dalles post-contraintes.

Pour de plus amples informations, il convient de se référer aux codes et normes applicables.

2 Considérations constructives

Cette section donne un aperçu des contraintes géométriques pour le détail de la disposition des câbles de précontrainte.



2.1 Détail de la disposition des câbles pour les câbles internes

2.1.1 ESPACEMENT MINIMAL ENTRE LES ANCRAGES

Les exigences d'espacement des ancrages de précontrainte et les distances de bord requises sont décrites sous C.1.4.1 p. 46.

2.1.2 RAYONS DE COURBURE MINIMAUX

VSL recommande de limiter les rayons de courbure du câble aux valeurs suivantes pour que le comportement dans la zone déviée soit acceptable, que les gaines et les câbles soient faciles à installer et que les valeurs de perte par frottement soient respectées. Les valeurs indiquées sont conformes à la norme fib 2010.

- **Système de précontrainte de dalle** (valeurs pour les unités 6-1 à 6-5):

- **Système de câbles avec adhérence :**

- . En élévation : $R_{min} \geq 2,5$ m
- . En plan : $R_{min} \geq 6,0$ m

. Une double courbure en plan (en forme de S) doit être évitée, car les torons risquent de se coincer lorsqu'ils sont mis en tension individuellement.

- **Système monotorons sans adhérence :**

- . Plan/élévation : $R_{min} \geq 2,5$ m

- **Système de précontrainte interne multitorons :**

$$R_{min} = 2.8 \cdot \sqrt{F_{pk}} \geq 2.5 \text{ m} \quad F_{pk} = \text{charge de rupture du câble en [MN]}$$

La valeur de R_{min} doit être considérée dans le plan du tendon (en tenant compte de la courbure combinée du tendon en élévation et en plan) :

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

Unité [-]	R_{min} [m]	Unité [-]	R_{min} [m]
6-1 - 6-3	2.5	6-22	6.9
6-4	3.0	6-27	7.7
6-7	3.9	6-31	8.2
6-12	5.1	6-37	9.0
6-15	5.7	6-43	9.7
6-19	6.4	6-55	11.0

Note :

Les valeurs indiquées de R_{min} s'appliquent aux gaines en acier ondulé et aux gaines en polymère PT-PLUS®. Des rayons en dessous de ces valeurs peuvent être utilisés dans des cas particuliers tels que les boucles (voir ci-dessous) et les tubes lisses en acier pré-courbés. Pour plus de détails, veuillez contacter votre représentant VSL.

- **Application spéciale : Ancrage en L (boucle)**

$$R_{min} = 0.6 \cdot \sqrt{F_{pk}} \geq 0.6 \text{ m} \quad F_{pk} = \text{charge de rupture du câble en [MN]}$$

2.1.3 LONGUEUR RECTILIGNE DERRIÈRE L'ANCRAGE

Il est recommandé de disposer un segment de câble rectiligne à l'arrière de l'ancrage afin que les torons ne présentent pas de déviation excessive au point de sortie interne de l'ancrage. Cette longueur rectiligne dans un alignement axial varie en fonction de la taille de l'unité de précontrainte. VSL recommande les valeurs suivantes :

- **Système de précontrainte de dalles :**

La longueur de trompette de l'ancrage est suffisante pour la longueur rectiligne requise derrière l'ancrage.

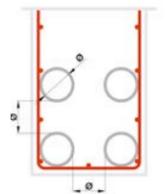
- **Système de précontrainte interne multitorons :**

- $L_{min} = 0,8$ m pour les unités jusqu'à 6-7
- $= 1,0$ m pour les unités de 6-12 à 6-22
- $= 1,5$ m pour les unités 6-27 et plus

2.1.4 DISTANCES ENTRE LES GAINES

Les distances entre les gaines doivent être déterminées conformément aux codes et règlements applicables. En se basant sur le Code fib 2010, VSL recommande ce qui suit :

- L'espacement minimal entre les gaines est égal au diamètre extérieur de la gaine.
- Les gaines pour les groupes de câbles courbes doivent être espacées et renforcées de manière à ce que les forces de déviation par rapport aux câbles courbes puissent être transférées en toute sécurité autour de la gaine adjacente à l'intérieur de la courbure. (Ceci peut toujours être vérifié directement avec un modèle Bielles-Tirants).
- Les gaines pour les groupes de câbles doivent avoir un espacement minimal qui permet une mise en place et un compactage adéquats du béton.
- Les câbles de précontrainte peuvent se toucher localement s'ils se croisent à peu près perpendiculairement ou s'ils ne se touchent que sur une petite longueur longitudinale.
- Une attention particulière doit être portée aux situations où un groupe entier de câbles parallèles est dévié dans un élément en béton (par exemple dans la dalle de tablier d'un pont en encorbellement). De tels cas doivent être conçus à l'aide de modèles Bielles-Tirants, ce qui permettra également au concepteur de dimensionner l'armature passive requise entre les gaines.



2.1.5 RECOUVREMENT DE BÉTON REQUIS

Le recouvrement de béton requis pour les câbles de précontrainte doit être déterminé conformément aux codes et règlements applicables. Le recouvrement est déterminé en fonction de la classe d'exposition, de l'adhérence et de la résistance au feu.

2.1.6 SUPPORTS DE CÂBLE

- **Système de précontrainte de dalles :**

L'espacement entre les supports ne doit pas dépasser 1 m pour les

grands rayons de courbure (~10 m) et 0,5 m pour les petits rayons de courbure.

• Système de précontrainte interne multitorons :

L'espacement entre les supports s est donné en fonction du diamètre de la gaine : $e < 10-12 \times \varnothing_{gaine}$

Il n'est pas recommandé d'espacer les appuis de plus d'un mètre. Les demi-coquilles en plastique sont utilisées pour éviter que les tubes PT-PLUS® ne soient endommagés pendant l'installation et le bétonnage lorsqu'ils sont installés dans des sections de câbles courbes ($R < 2 \times R_{min}$), et où les torons sont comprimés contre la gaine pendant la mise en tension.

2.2 Détail de la disposition des câbles pour les câbles externes

2.2.1 ESPACEMENT MINIMAL ENTRE LES ANCRAGES

Les exigences d'espacement des ancrages de précontrainte et les distances de bord requises sont décrites sous C.1.4.1 p. 46.

2.2.2 RAYONS DE COURBURE MINIMAUX

VSL recommande de limiter les rayons de courbure du câble aux valeurs suivantes afin que le comportement dans la zone déviée soit acceptable, que les gaines et les câbles soient faciles à installer et à manipuler et que les valeurs de pertes par frottement soient respectées. Les valeurs indiquées sont conformes à la norme fib 2010.

Les rayons de courbure minimaux doivent être pris en compte pour la zone de déviation et la zone d'ancrage.

Il faut vérifier que le rayon du câble R_{actual} dérivé des courbures combinées en élévation et en plan, le cas échéant, est supérieur à R_{min} :

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

Unités	R_{min}	
	Rayon	Zone d'ancrage (tube en acier)
[-]	[m]	[m]
6-3 - 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
6-31	4.0	4.7
6-37	4.0	5.0
6-43	4.5	5.5

2.2.3 LONGUEUR RECTILIGNE DERRIÈRE L'ANCRAGE

La longueur de trompette de l'ancrage est suffisante pour servir de longueur rectiligne requise derrière l'ancrage pour assurer la courbure du câble derrière l'ancrage.

2.2.4 DISTANCE ENTRE LES GAINES

Pour les câbles externes, la distance entre les gaines est généralement déterminée soit par l'espacement des ancrages dans la zone d'ancrage,

soit par la dimension du diablo ou la charge introduite dans les déviateurs dans la zone du déviateur. Outre ces contraintes structurelles, VSL recommande de prévoir au moins un diamètre de gaine comme espacement minimal entre les gaines.

2.2.5 SUPPORTS DE CÂBLES

Lors de l'installation, un support temporaire des gaines en PE est nécessaire.

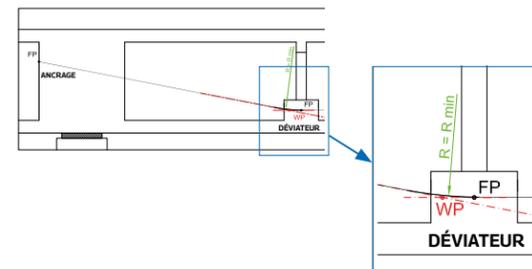
Des supports permanents peuvent être nécessaires si des distances entre les déviateurs et/ou ancrages dépassent 15 m pour les ponts routiers ou 12 m pour les ponts ferroviaires afin d'éviter les vibrations des câbles dues à la charge du trafic.

2.2.6 DÉFINITION DU PROFIL DU CÂBLE

Pour en permettre le remplacement, le profil d'un câble extérieur doit être une polygone, constituée uniquement de sections droites et courbes avec des rayons de courbure constants.

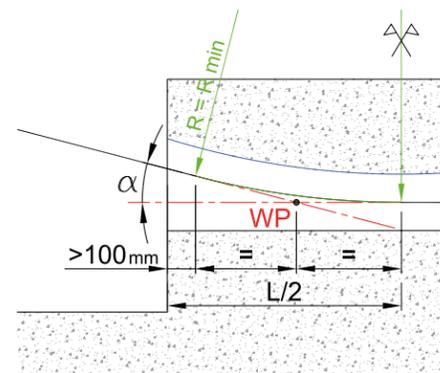
Le profil du câble est défini par :

- les points fixes (FP) aux ancrages et aux points bas et hauts
- les sections courbes (avec des rayons de courbure constants) aux points bas et hauts
- Les points de travail (WP) aux points bas et haut en ajustant les tangentes de connexion aux courbes aux points haut et bas et aux points d'ancrage.



2.2.7 DÉTAIL DU DÉVIATEUR "DIABOLO"

Le détail du déviateur Diabolo doit être effectué sur la base des figures suivantes :



où :

- α = Déviation angulaire du câble (entre les tangentes)
- R_{min} = rayon de courbure minimal (\rightarrow 2.2.2)
- L = longueur du raidisseur (fonction de α)

3 Équipement de mise en tension et espace libre

Cette section donne un aperçu des équipements de mise en tension VSL. L'équipement de mise sous tension doit être choisi en fonction des dimensions des câbles de précontrainte choisis. Les exigences de dégagement et les dimensions de blocage correspondantes sont présentées à la section 3.2.

3.1 Caractéristiques des vérins de mise en tension



ZPE-23FJ



ZPE-460/31



ZPE-980

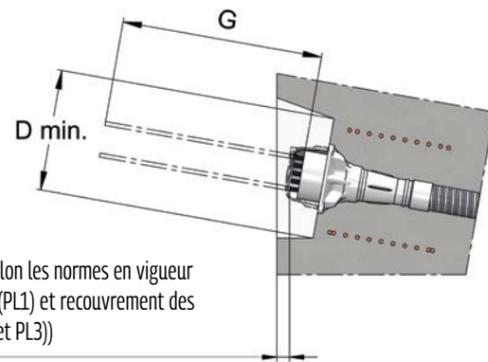
Vérin ⁽¹⁾	Taille max. de câble pour du toron 0.6" ⁽²⁾	Capacité	Pression de service	Surface du piston	Course	Poids	Pompe conseillée ⁽¹⁾
		[kN]	[bar]	[mm ²]	[mm]	[kg]	
DKP-5	-	147	473	3,105	200	19	PE-554
DKP-6	6-1	230	467	4,926	200	30	
ZPE-23-FJ	6-1	230	488	4,710	200	23	
ZPE-7A	6-4	1,064	523	20,360	160	115	EHPS-5 EHPS-3/4
ZPE-12	6-7	1,850	598	30,940	100	151	
ZPE-185	6-7, 6-4, 6-3	1,886	600	30,930	100	180	
ZPE-19	6-12, 6-7	2,900	580	50,030	100	306	
ZPE-460	6-19, 6-15, 6-12	4,660	580	80,400	100	435	EHPS-10 EHPS-4
ZPE-580	6-22, 6-19, 6-15, 6-12	5,805	600	95,170	150	660	
ZPE-750	6-31	7,500	600	124,700	150	1,100	EHPS-22
ZPE-980	6-37, 6-31, 6-27	9,750	590	165,230	150	1,155	
ZPE-1000	6-43	10,000	553	180,940	200	2,290	
ZPE-1250	6-55	12,500	577	216,800	150	1,730	
ZPE-1450	6-55, 6-43	14,500	595	243,690	150	1,709	

Notes :

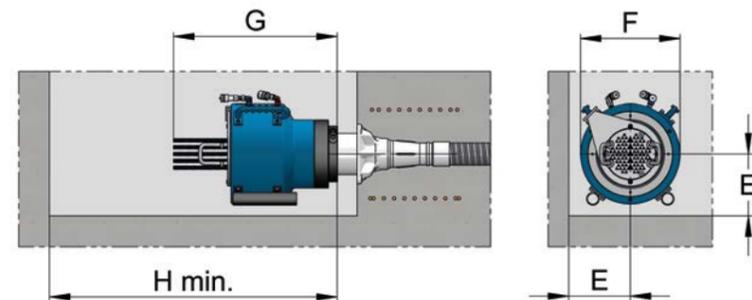
(1) Équipement conseillé en gras

(2) Avec force de vérinage $\leq (81,5 \text{ bis } 85) \% \times n \times 279 \text{ kN}$

3.2 Dimensions des niches et espace libre nécessaire



Recouvrement de béton selon les normes en vigueur (recouvrement des torons (PL1) et recouvrement des capots de protection (PL2 et PL3))



Désignation	D_{min}	E_{min}	F	G_{min}	H_{min}
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
DKP-5	-	-	162	340	950
DKP-6	-	-	240	550	940
ZPE-23-FJ	-	110	116	480	1,550
ZPE-7A	210	200	300	590	1,370
ZPE-12	250	210	310	460	1,150
ZPE-185	210	240	384	590	1,340
ZPE-19	290	260	390	630	1,490
ZPE-460	350	300	485	510	1,270
ZPE 580	330	310	512	800	1,760
ZPE-750	430	330	565	1,100	2,420
ZPE-980	420	380	646	850	1,860
ZPE-1000	490	450	800	1,060	2,310
ZPE-1250	490	380	670	1,200	2,600
ZPE-1450	480	430	766	890	1,940

Notes :

D_{min} est la dimension minimale pour permettre l'utilisation des vérins de mise en tension. Dans certains cas, la largeur de la niche peut cependant être déterminée par la largeur de la plaque d'appui plus 10 à 20 mm de tous les côtés.

Les valeurs ci-dessus peuvent être réduites en cas d'absolue nécessité. Pour plus de détails, veuillez contacter votre représentant VSL.

D

Données techniques des systèmes de précontrainte VSL

1 Câbles

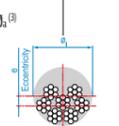
1.1 Caractéristiques des torons 15 mm (0.6")

Type de toron			prEN 10138 - 3 (2009)
			Y1860S7
Diamètre nominal	d	(mm)	157
Section nominale	A _p	(mm ²)	150
Masse nominale	M	(kg/m)	1.172
Limite élastique nominale	f _{yk} / f _{yk}	(N/mm ²)	1640 ⁽¹⁾
Limite d'élasticité spécifique/min.	F _{yk} / F _{yk}	(kN)	246 ⁽²⁾
Résistance à la traction	f _{yk}	(N/mm ²)	1860
Force de rupture min./spécifique	F _{yk}	(kN)	2790
Module de Young		(kN/mm ²)	env. 195
Relaxation ⁽³⁾ après 1000 h à 20 °C et 0,7 x F _{yk}		(%)	max. 2,5

1. f_{yk}: Valeur caractéristique mesurée pour 0.1 % d'élongation permanente.
2. Calculé à partir de la limite d'élasticité nominale et de la section nominale

3. Valable pour la classe de relaxation selon prEN 10138-3

1.2 Caractéristiques des câbles 15 mm (0.6") et diamètres de gaines correspondants

Unité	Nombre de torons	Charge de rupture		Gaine plastique VSL PT-PLUS®		Gaine PE ⁽⁵⁾	
		Y1860S7 (prEN)		Ø / Ø _s ⁽³⁾	e	Ø _{ext} x L _{min}	e
		d=15.7 mm A _p =150 mm ² [kN]					
				[mm]	[mm]	[mm x mm]	[mm]
6-1	1	279		22/25	6	25 x 20	3
6-2	2	558		⁽¹⁾	-	40 x 30	6
6-3	3	837		⁽¹⁾	-	50 x 37	8
6-4	4	1116		⁽¹⁾	-	50 x 37	6
6-7	5	1395		58/63 ⁽¹⁾	-	75 x 56	17
	6	1674		58/63	11	75 x 56	15
	7	1953		65/70	14	75 x 56	13
6-12	8	2232		76/81	18	90 x 54	20
	9	2511		76/81	16	90 x 54	18
	10	2790		76/81	15	90 x 54	17
	11	3069		76/81 ⁽⁴⁾	13	90 x 54	15
	12	3348		76/81 ⁽⁴⁾	12	90 x 54	14
6-15	13	3627		85/91	16	110 x 53	26
	14	3906		85/91	16	110 x 53	25
	15	4185		85/91	12	110 x 53	24
6-19	16	4464		100/106	22	110 x 53	22
	17	4743		100/106	20	110 x 53	20
	18	5022		100/106	19	110 x 53	19
	19	5301		100/106	18	110 x 53	18
6-22	20	5580		100/106	17	125 x 60	24
	21	5859		100/106	16	125 x 60	23
	22	6138		100/106	15	125 x 60	22
6-27	23	6417		115/121	22	125 x 60	21
	24	6696		115/121	22	125 x 60	21
	25	6975		115/121	21	125 x 60	20
	26	7254		115/121	21	125 x 60	20
	27	7533		115/121	20	125 x 60	19
6-31	28	7812		130/136	27	140 x 67	26
	29	8091		130/136	27	140 x 67	25
	30	8370		130/136	26	140 x 67	24
	31	8649		130/136	25	140 x 67	23
6-37	32	8928		130/136	24	140 x 67	22
	33	9207		130/136	23	140 x 67	21
	34	9486		130/136	22	140 x 67	20
	35	9765		130/136 ⁽¹⁾	22	140 x 67	20
	36	10044		130/136 ⁽¹⁾	21	140 x 67	19
	37	10323		130/136 ⁽¹⁾	20	140 x 67	18
6-43	43	11997		150/157	27	160 x 77	24
6-55	55	15345		150/157	21	n.a.	

1. Gains plates PT-PLUS® pour utilisation avec ancrage VSLAB S : C.2.3 p. 42

2. Convient uniquement aux câbles courts à faible courbure. Pour les autres cas, contacter le représentant VSL local.

3. Ø_s se réfère au diamètre extérieur du tube. Pour le diamètre des nervures voir C.2.3 p.42

4. Pour les gaines où des torons sont installés après bétonnage, utiliser des PT-PLUS 85/91.

5. Les épaisseurs de paroi indiquées dans le tableau sont extraites de l'Agrément Technique Européen et correspondent à des SDR de 13 à 21, selon le diamètre.

2 Gaines

2.1 Généralités

La gaine doit avoir un diamètre suffisant pour permettre l'installation des torons.

Si le couplage des gaines VSL est fait conformément, elles résistent une pression de béton minimum de 0,7 bar, lors du bétonnage.

2.2 Gaines pour niveau de protection B et C

2.2.1 LE SYSTÈME DE GAINES VSL PT-PLUS®

Le système de gaines VSL PT-PLUS® est utilisé pour les câbles internes adhérents. Étanche à l'eau et aux gaz, il répond aux exigences d'une protection renforcée contre la corrosion (Cat B). De plus, le système PT-PLUS® peut être équipé de détails additionnels au niveau de l'ancrage pour obtenir des câbles isolés électriquement (EIT) et atteindre un niveau de protection de catégorie C. Les gaines PT-PLUS® sont en polypropylène.

La forme nervurée de la gaine assure la liaison du câble au béton environnant à travers le coulis de ciment.

Par rapport aux gaines en feuillard d'acier, l'utilisation des gaines PT-PLUS® améliore le comportement structurel du câble précontraint à la fatigue (voir section 6.8 du code européen EN 1992-1-1-1).

Pour les dimensions, se reporter aux chapitres C.1.2 et C.1.4 p.39-40 et au tableau ci-dessous. Pour les câbles de précontrainte de dalle ou les câbles transversaux dans les dalles de tablier de pont, on utilise la **gaine plate PT-PLUS®**, qui permet de réduire l'excentricité du câble pour un design optimal.

La couleur standard des gaines PT-PLUS® est le noir. Dans les pays chauds, l'utilisation de gaines blanches est recommandée.

2.2.2 RACCORDS PT-PLUS®

Les gaines PT-PLUS® sont fabriquées en longueurs de 6 m et sont reliées par des raccords PT-PLUS®. Les raccords PT-PLUS® se composent de deux demi-coquilles, fixées par des serre-joints polymères. Alternativement, les éléments de gaines peuvent être raccordés avec des manchons thermo-rétractables ou par soudures miroir (voir point 2.3.4).

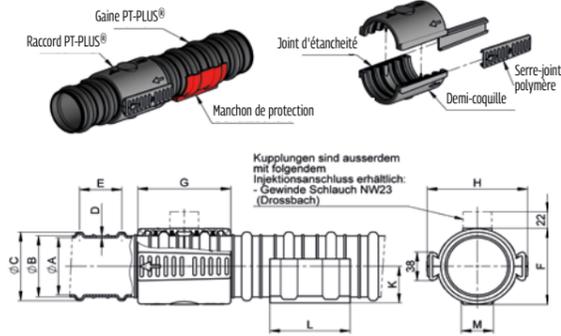
Les gaines plates PT-PLUS® sont fournies sur bobines. Par conséquent, il n'est généralement pas nécessaire de raccorder les gaines.

2.2.3 DIMENSIONS DES GAINES PT-PLUS®

Gaines PT-PLUS® rondes

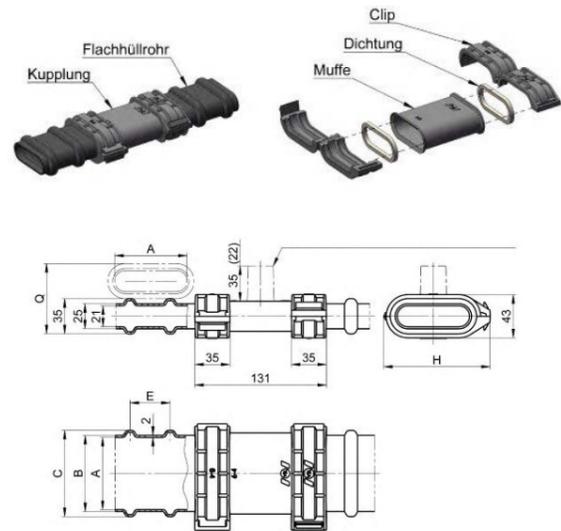
Type	Câble		Gaine					Coupleur				Coque de protection			
	Unité	ØA	ØB	ØC	D	E	F	G	H	K	L	M			
22	6-1	22	25	31	1.5	55	27.5	80	-	-	-	-	-	-	-
59	6-7	58	63	73	2.5	42	83	108	107	39.5	82	30			
65*		65	70	80	2.5	52.5	90	118	114	43	92	40			
76	6-12	76	81	91	2.5	52.5	101	116	125	48.5	100	40			
85*	6-15	85	91	101	3	52.5	109	118	133	53.5	100	50			
100	6-19/22	100	106	116	3.0	60	124	126	148	61	119	50			
115	6-27	115	121	131	3.0	60	139	127	163	68.5	119	60			
130	6-31/37	130	136	146	3.0	52.5	154	134	179	76	110	65			
150	6-43/55	150	157	167	3.5	60	176	126	200	86.5	118	70			

* Non disponible en Suisse



Gaines PT-PLUS® plates

Type	Câble	Gaine plate				Coupleur	Chevauchement
		Unités	A	B	C		
	0.6"	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
37/21	6-2	37	41	51	49	71	60
54/21	6-3	54	58	68	60	88	63
72/21	6-4	72	76	86	40	106	70
90/21	6-5	90	94	104	40	124	70



2.2.4 GAINES LISSES EN POLYÉTHYLÈNE

Les gaines lisses sont principalement utilisées pour les câbles externes. Ils sont fabriqués en polyéthylène (PE) résistant aux UV selon les normes EN 12201, ASTM D3035 ou ASTM F714 ou normes équivalentes. Les gaines ont normalement un rapport diamètre/épaisseur (SDR) compris entre 17 et 21, et un taux de remplissage ne dépassant pas 0,5. Le taux de remplissage est le rapport entre la section d'acier de précontrainte et la section de la gaine. Pour les dimensions, voir section C.1.2.

Les gaines en PE lisse sont généralement livrées en éléments de 6 m ou 12 m. La gaine d'un câble extérieur est constituée de plusieurs éléments qui sont assemblés par soudage miroir, un procédé d'assemblage par fusion thermique des deux surfaces avant soudage pour former une connexion permanente et monolithique.

Les coupleurs sont utilisés à des endroits spécifiques d'un câble extérieur, afin de fournir une tolérance pour l'installation. Ces coupleurs sont composés d'un segment de gaine légèrement plus grand que celles à raccorder. Les transitions aux deux extrémités du coupleur doivent être réalisées par soudage PE ou manchons thermo-rétractables.

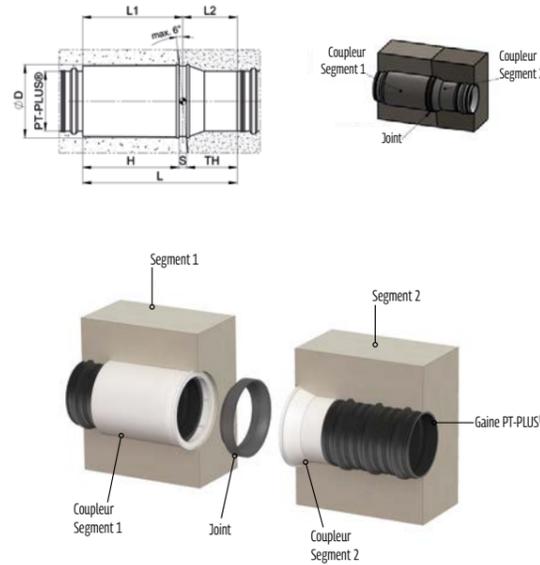
2.2.5 COUPLEUR VSL PT-PLUS®

Le coupleur VSL PT-PLUS® est utilisé lorsque la précontrainte interne traverse des structures en segments préfabriqués. Ils assurent la continuité de l'encapsulation du câble au niveau des joints des segments. Il se compose d'une bague d'étanchéité qui est comprimée contre les parois du coupleur lors de l'assemblage des segments.

Le coupleur VSL PT-PLUS® présente les caractéristiques suivantes :

- encapsulation complète des câbles de précontrainte au niveau des joints de segments (nécessaire pour Cat B et C)
- permet la mise en œuvre de câbles isolés électriquement dans des structures en segments préfabriqués
- compact
- peut être utilisé lorsque les câbles traversent le joint avec un angle jusqu'à 6 degrés).

GAINES PT-PLUS®	ØD	L	L1	L2	H	S	TH
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
59	88	255.5	155.5	100	150.5	10	95
65	95	273	173	100	167.5	11	94.5
76	106	273	173	100	167	12	94
85	115	273	173	100	166.5	13	93.5
100	130	284	184	100	177	14	93
115	145	284	184	100	176	16	92
130	160	273	173	100	164.5	17	91.5
150	180	284	184	100	174.5	19	90.5



2.3 Tubes en acier

Des tubes en tôle d'acier et ceinturable mécaniquement et pouvant être soudés sont utilisables pour des applications spéciales, telles que la cryogénie, le nucléaire ou l'offshore. Dans ces cas-là, les gaines sont soumises à une pression externe élevée pendant le bétonnage ou, dans le cas des câbles verticaux, à une pression interne élevée pendant l'injection ou lorsque la courbure des câbles est particulièrement forte. Pour plus d'informations contactez votre représentant VSL local.

2.4 Influence de la gaine sur la résistance à la fatigue des câbles

La résistance à la fatigue des câbles de précontrainte dépend du type de gaine utilisé. Lors de l'utilisation d'une gaine feuillard, la surface de contact entre le toron et la gaine en acier est très limitée. Par conséquent, la pression de contact sur le toron dans les zones déviées peut être très élevée. En revanche, les gaines PT-PLUS® présentent une plus grande surface de contact et une pression de contact plus faible entre le toron et le polymère.

La figure ci-dessous montre les résultats des essais de fatigue des poutres précontraintes réalisés à l'EPF de Zurich. Les résultats montrent une résistance à la fatigue sous charge cyclique de l'acier de précontrainte.

L'axe X indique le nombre de cycles, tandis que l'axe Y indique l'amplitude des contraintes dans l'acier de précontrainte.

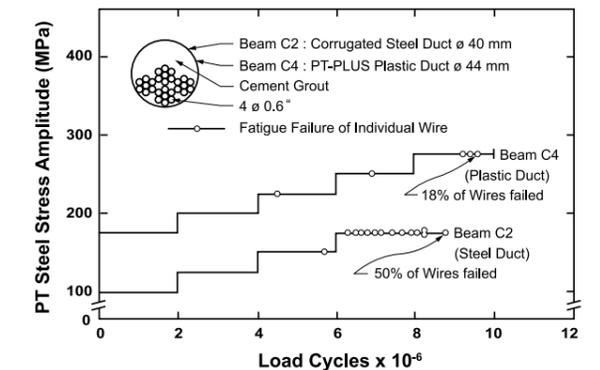
Les essais avec des gaines en polymère ont montré une résistance à la fatigue nettement meilleure que les essais avec des gaines feuillard.

Afin d'éviter la rupture de torons, VSL recommande de limiter la plage de contraintes sous charge de fatigue pour 1 million de cycles comme suit :

150MPa pour gaines en polymère

120MPa pour gaines feuillard

Pour la combinaison des charges de fatigue et plus de détails, se référer à la section 6.8 de l'Eurocode EN 1992-1-1.



3 Ancrages

Cette section comprend les données techniques des ancrages VSL, telles que leur géométrie, le renforcement local des zones d'ancrage et les entre-axes minimaux.

Le dimensionnement de la zone d'ancrage locale (ZL), des armatures de la zone d'ancrage et des entraxes minimaux en fonction de la résistance du béton au moment de la mise en tension, qui est indiquée sur les fiches techniques suivantes, sont basés sur l'approche utilisée pour calculer la (ZL) selon le document d'évaluation européen EAD 160004-00- 0301 (précédemment appelé ETAG 013).

Table des matières :

CÂBLES DE DALLE	P. 57-65
CÂBLES MULTITORONS INTERNES	P. 67-83
CÂBLES MULTITORONS EXTERNES	P. 85-87
CÂBLES ISOLÉS ÉLECTRIQUEMENT (EIT)	P. 89-93

Comment trouver la fiche technique correspondante :

CHOISIR L'ANCRAGE

Le choix de l'ancrage s'effectue en fonction du type d'élément structurel, des considérations de conception ainsi que des exigences en matière de niveau de protection :

→ voir page 18 : Les systèmes de précontrainte par torons VSL - des solutions pour chaque application

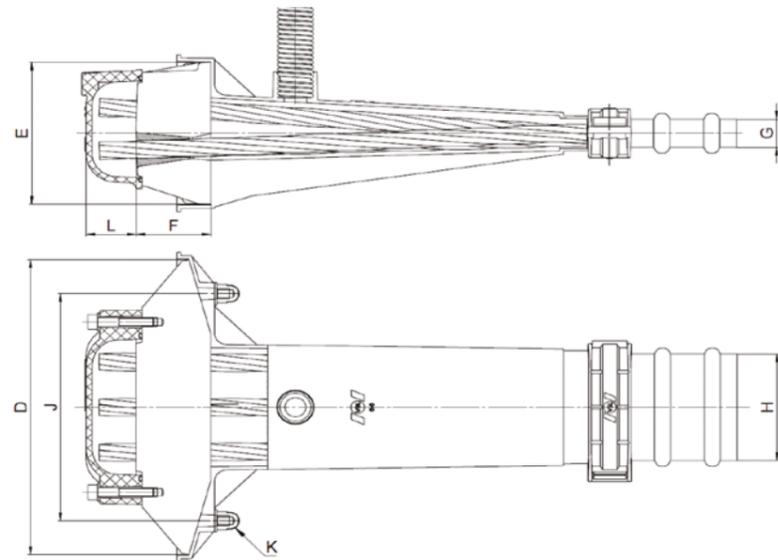
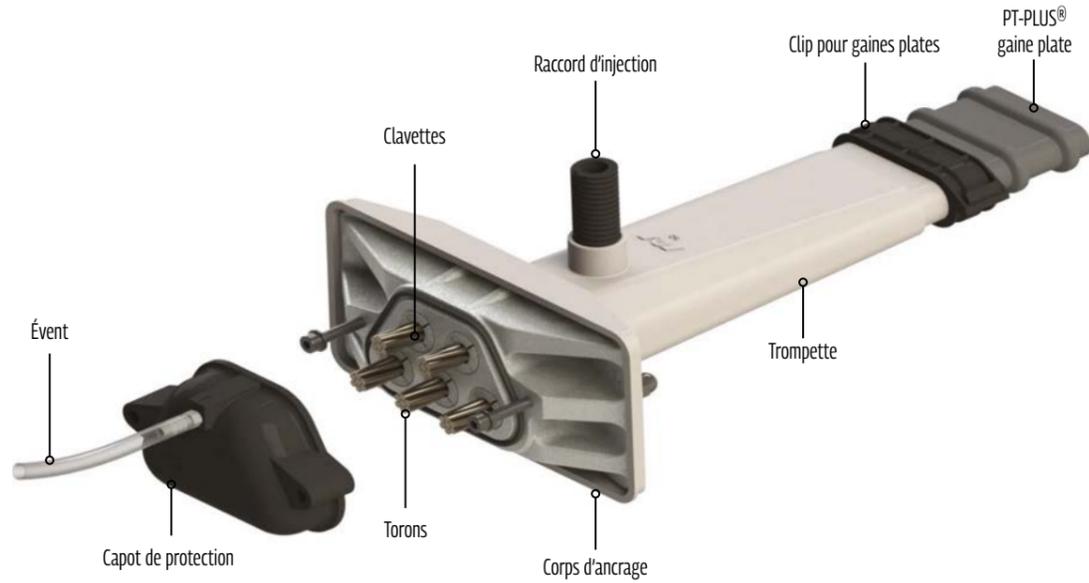
CHOISIR LA FICHE TECHNIQUE

Choisir la fiche technique en fonction des tableaux à l'ouverture de chaque sous-chapitre.

Câbles de dalle

Ancrage [-]	Type de fiche technique [-]	Fiche technique No. VSLI-BDA	Page
VSLab S	Géométrie	200	58
VSLab S	Renforcement de la zone locale (spirale)	201	59
VSLab S	Renforcement de la zone locale (étriers)	202	60
S 6-1 Plus – avec adhérence	Géométrie	203	61
S 6-1 Plus – sans adhérence	Géométrie	204	62
S 6-1 *	Renforcement de la zone locale	205	63
H (Dalle)	Géométrie et renforcement des zones locales	206	64
P (Dalle)	Géométrie	207	65

Système de précontrainte pour dalle avec adhérence TYPE D'ANCRAGE VSLAB S

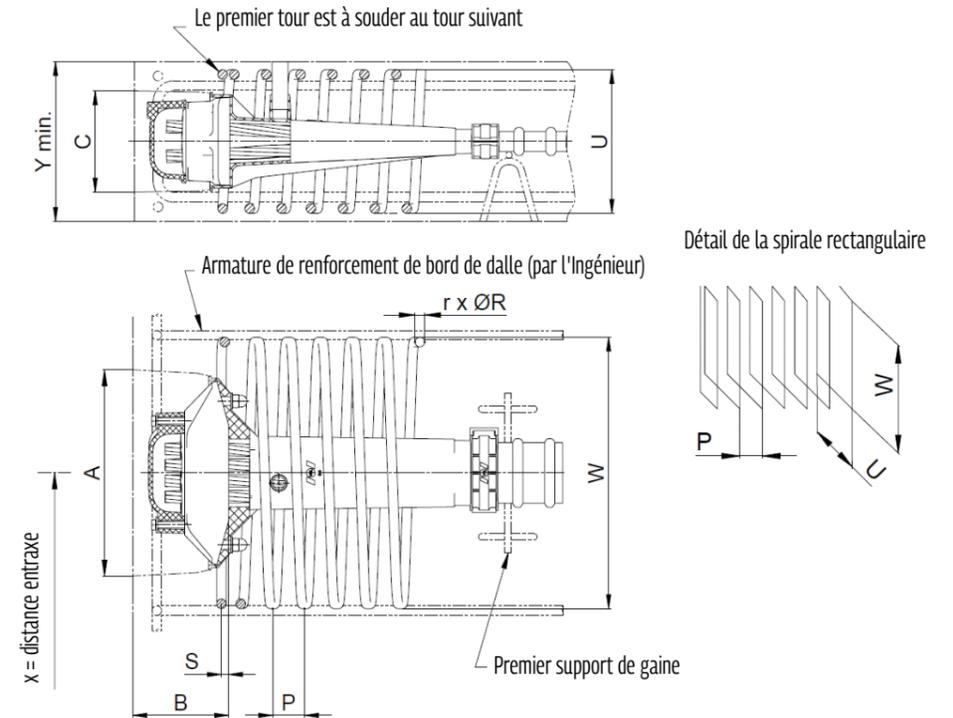


Unités	D	E	F	G	H	J	K	L
6-2	170	75	55	25	41	140	M10	40
6-3	210	90	55	25	58	170	M10	40
6-4	230	110	60	25	76	180	M10	40
6-5	260	125	60	25	94	200	M10	40

NOTES

Toutes les dimensions sont en [mm]

Système de précontrainte pour dalle avec adhérence TYPE D'ANCRAGE VSLAB S / RENFORCEMENT DE ZONE LOCALE



VSLab S 20, pour un béton C 20/25

$f_{c, min}(t) = 20 \text{ N/mm}^2$ (Cylindre) et mise en tension à $P_0 = 0,75 P_{pk}$

Option A - Épaisseur minimale de dalle											
Unités	Renforcement de la zone locale						Espacement / épaisseur		Niche		
	P	r ⁽¹⁾	ØR	S	U	W	X ⁽²⁾	Y _{min} ⁽³⁾	A	B	C
6-2	35	6	12	10	120	255	275	160	175	115	80
6-3	40	6	12	0	140	330	350	180	215	115	95
6-4	40	7	12	10	160	380	400	200	235	120	115
6-5	35	8	12	15	180	420	440	220	265	120	130

Option B - Espacement minimal des ancrages											
Unités	Renforcement de la zone locale						Espacement / épaisseur		Niche		
	P	r ⁽¹⁾	ØR	S	U	W	X _{min} ⁽²⁾	Y ⁽³⁾	A	B	C
6-2	35	6	12	10	145	220	240	185	175	115	80
6-3	40	6	12	0	180	260	280	220	215	115	95
6-4	40	7	12	10	220	280	300	260	235	120	115
6-5	35	8	12	15	250	310	330	290	265	120	130

NOTES

Toutes les dimensions sont en [mm]

Limite d'élasticité minimale pour l'armature d'éclatement $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$

(1) r = nombre de tours, y compris la longueur pour l'ancrage de la barre d'armature

(2) X = entraxe min. entre les ancrages

(3) Y = épaisseur de dalle min. admissible, sur la base d'un enrobage de 20 mm

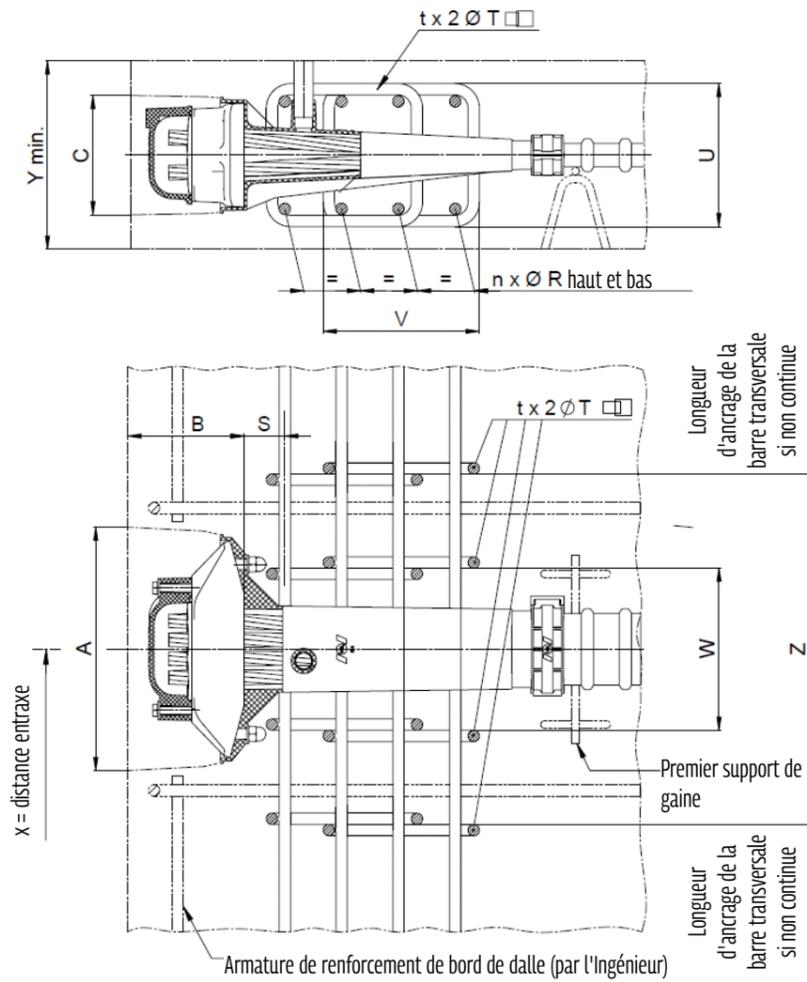
Pour le calcul de la distance minimale aux bords, voir C.4.4.4.1 p. 101

Pour la force de précontrainte maximale et la surtension temporaire, voir C.1.4.1 p.96 et C.4.2.8 p.99 ou C.4.2.8 p.99.

Zone d'ancrage locale ancrée conformément à SIA 262

Les armatures, l'entraxe et la distance aux bords peuvent être modifiés, contacter VSL.

Système de précontrainte pour dalle avec adhérence ANCRAGE FIXE H/DIMENSIONS ET RENFORCEMENT DE ZONE LOCALE



VSLab S 20, pour un béton C 20/25

$f_{cmin}(t) = 20 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_0 = 0,75 P_{pk}$

Unités	Renforcement de la zone locale					Espacement / épaisseur		Réservation						
	n ⁽¹⁾	ØR	S	t ⁽²⁾ x ØT	U _{min} ⁽³⁾	U _{max} ⁽³⁾	X _{min} ⁽⁴⁾	Y _{min} ⁽⁵⁾	A	B	C			
6-2	4	10	25	2 x 10	110	120	130	200	-	240	160	175	115	80
6-3	4	14	30	2 x 14	130	150	160	260	-	310	180	215	115	95
6-4	4	14	40	4 x 14	150	180	160	170	300	360	200	235	120	115
6-5	4	14	40	4 x 14	170	200	180	240	350	400	220	265	120	130

NOTES

Toutes les dimensions sont en [mm].

Limite d'élasticité minimale pour le renforcement local de la zone $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$

(1) n = nombre de barres transversales à ancrer selon les règles générales de dimensionnement

(2) t = nombre de paires d'étriers

(3) $U_{min} \leq U \leq U_{max}$ en fonction de l'épaisseur de la dalle et du recouvrement de béton souhaités

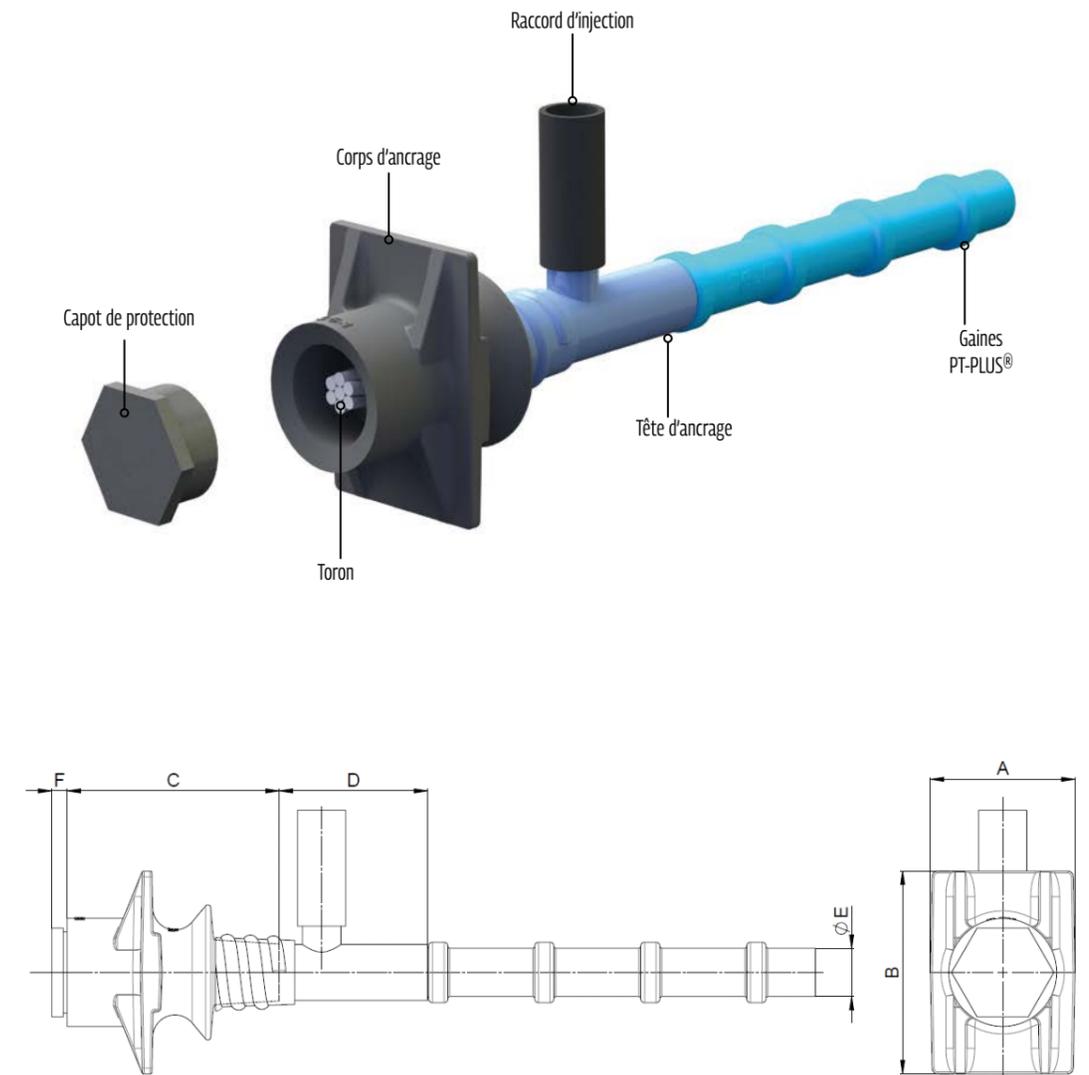
(4) X = entraxe min. entre les ancrages

(5) Y = épaisseur de dalle min. admissible, sur la base d'un enrobage béton de 20 mm

Pour le calcul de la distance minimale aux bords, voir C.4.4.4.1 p. 101

Pour la force de précontrainte maximale et la surtension temporaire, voir C.4.1 p.96 et C.4.2.8 p.99 ou C.4.2.8 p.99. Renforcement de zone locale ancré conformément à BS EN 1992 Renforcement, l'entraxe et la distance aux bords peuvent être modifiés, contacter VSL

Système de précontrainte pour dalle avec adhérence ANCRAGE MOBILE S 6-1

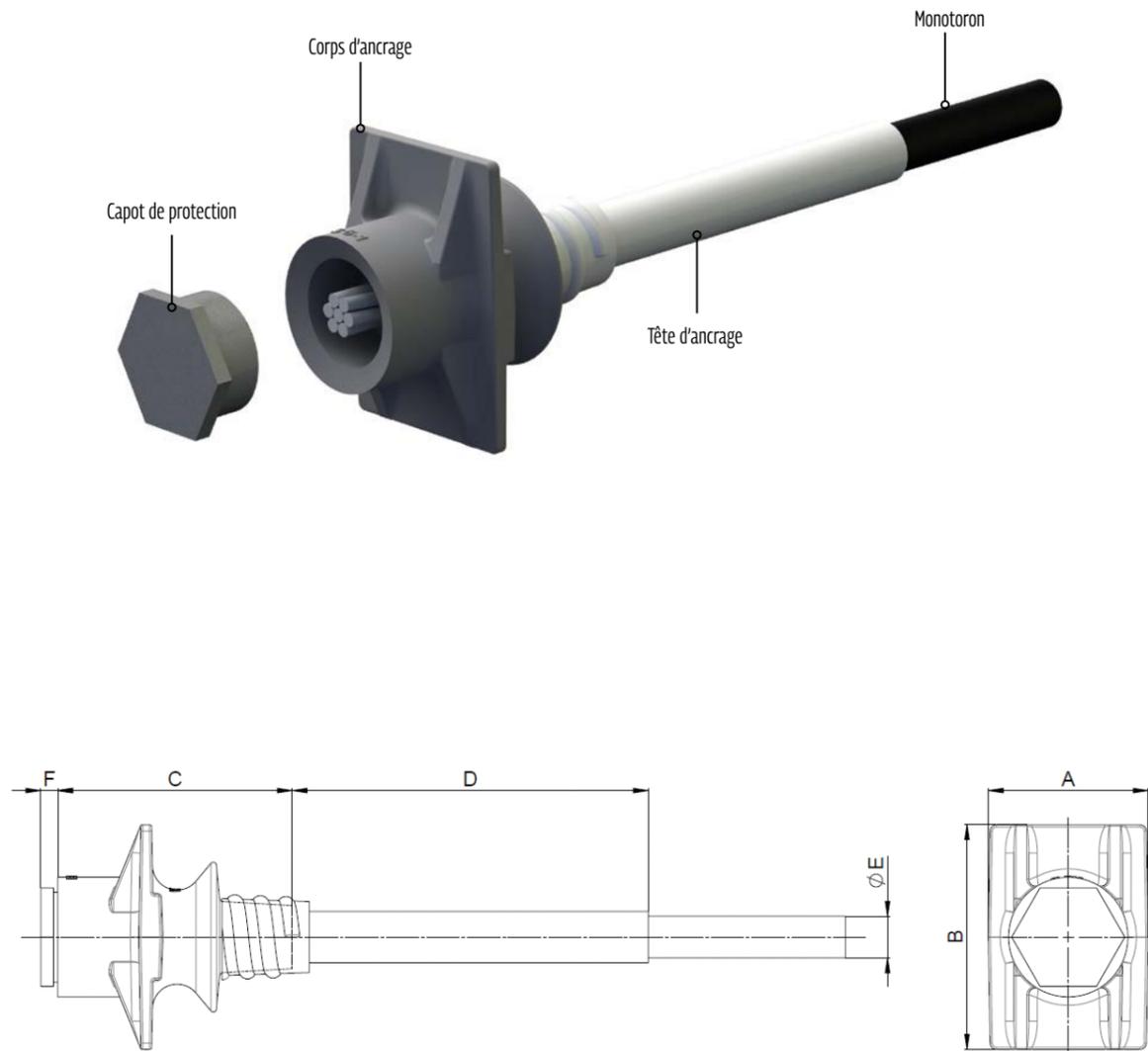


Unités	A	B	C	D	ØE	F
6-1	75	105	110	77	22/25	8

NOTES

Toutes les dimensions sont en [mm]

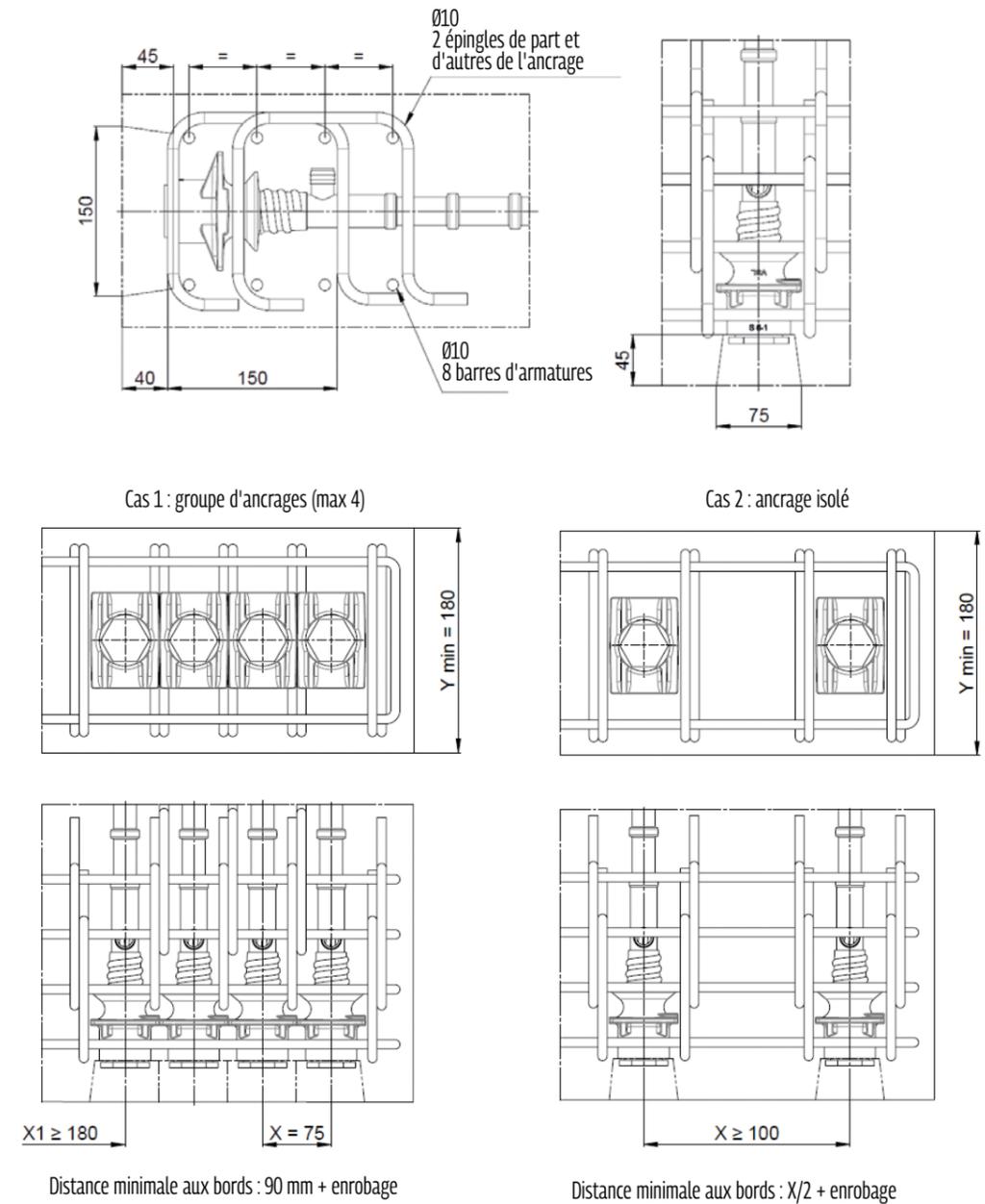
Système de précontrainte pour dalle sans adhérence
ANCORAGE S 6-1



Unités	A	B	C	D	ØE	F
6-1	75	105	110	167	19	8

NOTES
Toutes les dimensions sont en [mm]

Système de précontrainte pour dalle avec et sans adhérence
ANCORAGE MOBILE S 6-1 AVEC ADHÉRENCE ET S 6-1 MONO / RENFORCEMENT DE ZONE LOCALE

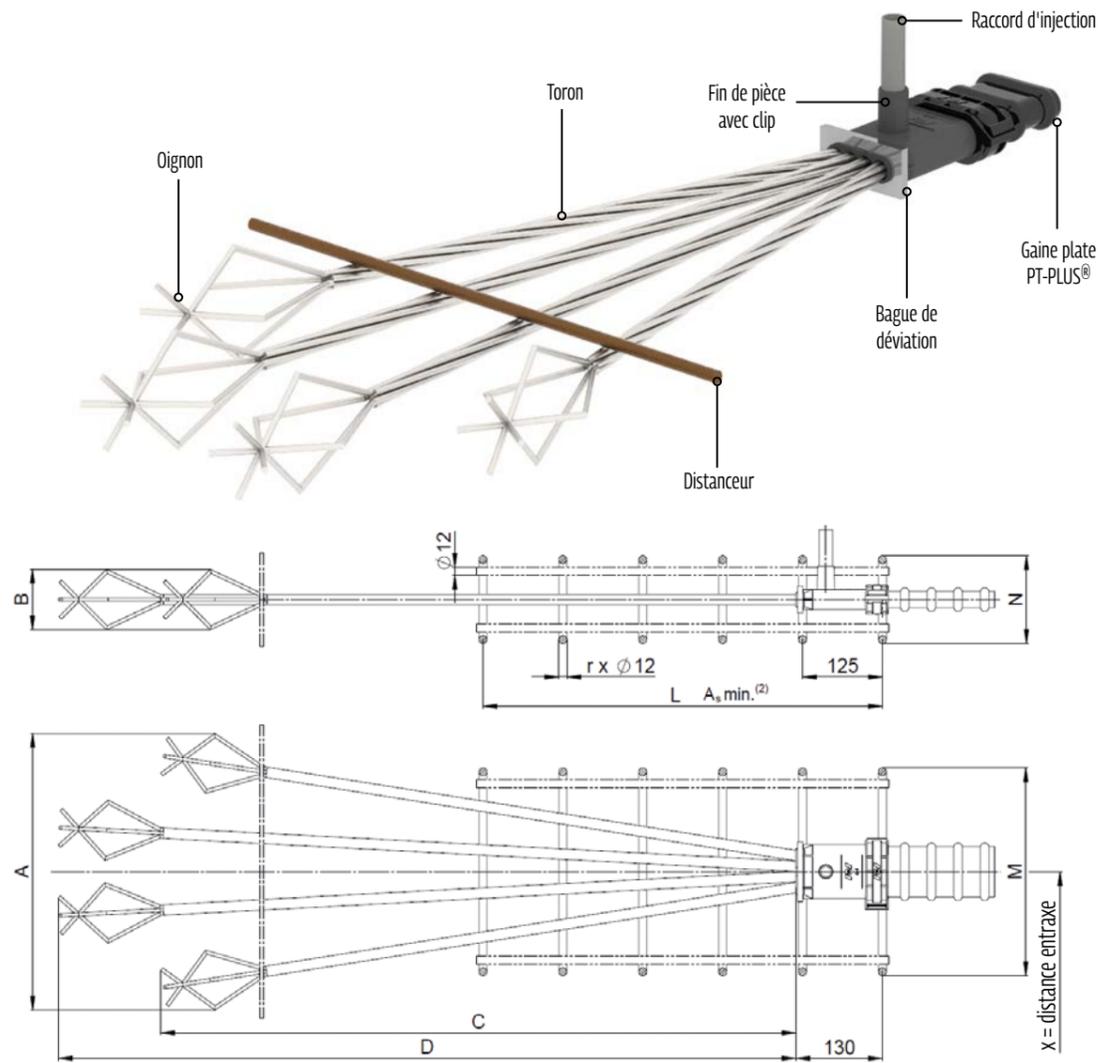


S 6-1 20, pour un béton C 20/25
 $f_{cmin}(t) = 16 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_0 = 0,75 P_{pk}$

NOTES
Toutes les dimensions sont en [mm]
Limite d'élasticité minimale pour le renforcement local de la zone $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$
Pour la force de tension maximale et surtension temporaire, voir C.4.1 p.96 et C.4.2.8 p.99

X = entraxe min. entre les ancrages
X1 = espacement minimal entre le dernier et le premier ancrage des ancrages groupés

Système de précontrainte pour dalle avec adhérence ANCRAGE FIXE H/DIMENSIONS ET RENFORCEMENT DE ZONE LOCALE



H (Slab) 20, pour un béton C 20/25
 $f_{cmin}(t) = 20 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_0 = 0,75 P_{pk}$

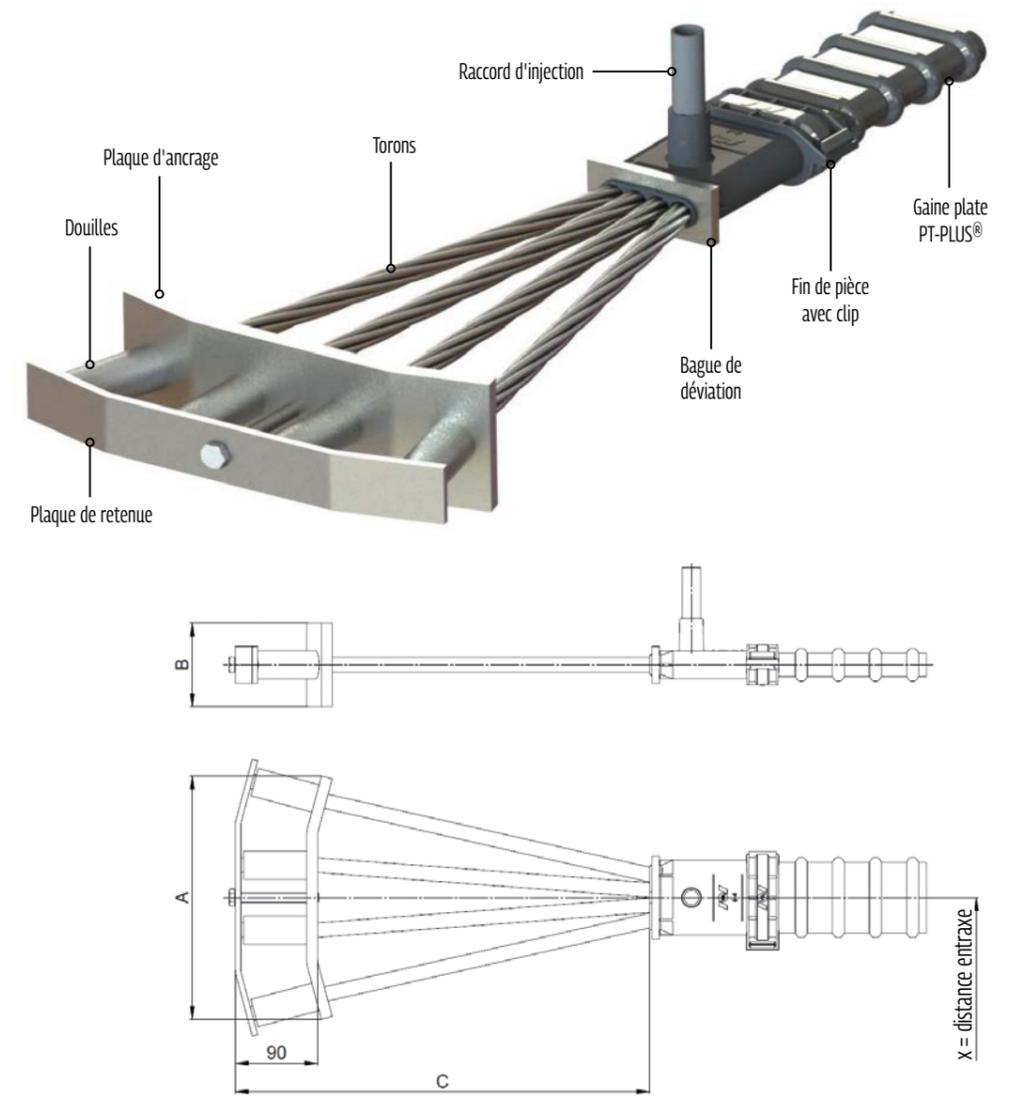
Unités	A	B	C	D	X ⁽¹⁾	L	Disposition des torons		
							M ⁽³⁾	N ⁽³⁾	r
6-1	90	90	1350	-	140	-	6-3	6-4	6-5
6-2	190	90	1350	-	240	-			
6-3	210	90	1350	1500	310	-			
6-4	310	90	1350	1500	360	875	220	130	8
6-5	330	90	1350	1500	400	875	240	130	8

NOTES

Toutes les dimensions sont en [mm]
 Limite d'élasticité minimale pour les renforcements de zone locale : 460 N/mm²
 (1) X = entraxe min. entre les ancrages
 (2) A_{Min.} = section d'acier des renforcements complémentaires. (non nécessaire s'il y a au moins 10 cm²/ml de chaque côté du bloc d'ancrage)

(3) M dans la direction A et N dans la direction B
 Les armatures d'éclatement ne sont pas nécessaire dans le cas des ancrages 6-1, 6-2 et 6-3. Cependant, dans les dalles, il y a toujours besoin de disposer des aciers de diffusion générale (à la charge de l'Ingénieur)

Système de précontrainte pour dalle avec adhérence ANCRAGE FIXE P



P (Slab) 20, pour un béton C 20/25
 $f_{cmin}(t) = 20 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_0 = 0,75 P_{pk}$

Unités	A	B	C	X ⁽¹⁾
6-2	180	70	280	240
6-3	230	80	330	310
6-4	260	100	430	360
6-5	310	110	430	400

NOTES

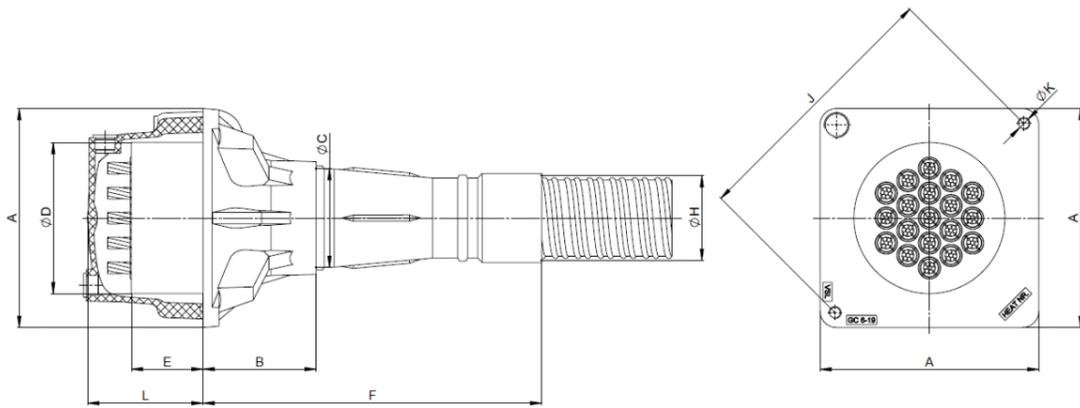
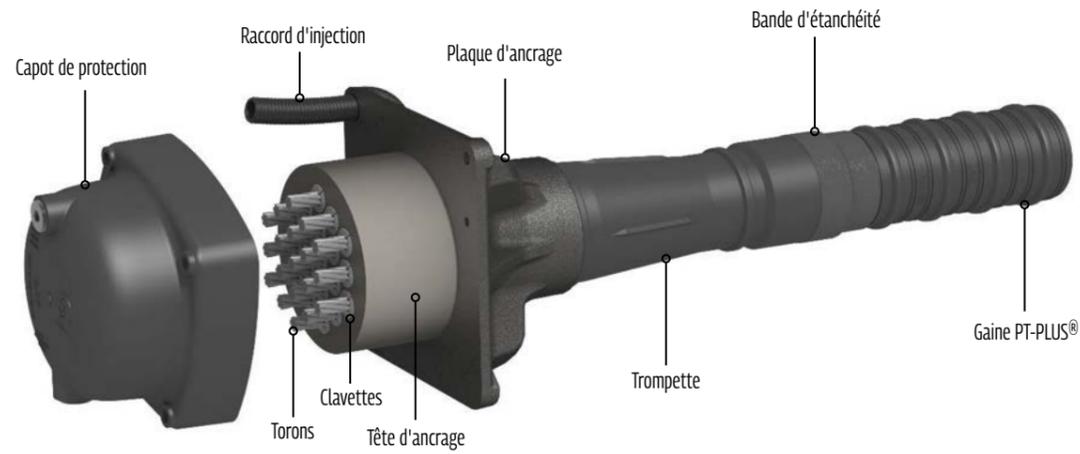
Toutes les dimensions sont en [mm]
 Limites d'élasticité minimale pour les aciers de la zone locale : 500 N/mm²
 (1) X = entraxe entre les ancrages

Les armatures d'éclatement ne sont pas nécessaire d. Cependant, dans les dalles, il y a toujours besoin de disposer des aciers de diffusion générale (à la charge de l'Ingénieur)

Câbles multitorons internes

Ancrage [-]	Type de fiche technique [-]	Fiche technique No. VSLI-BDA	Page
GC Interne	Géométrie	208	68
GC Interne	Renforcement de la zone locale	209	69
CS 2000	Géométrie	210	70
CS 2000	Renforcement de la zone locale	211	71
E	Géométrie	212	72
E	Renforcement de la zone locale	213	73
H	Géométrie	214	74
H	Renforcement de la zone locale	215	75
P	Géométrie	216	76
P	Renforcement de la zone locale	217	77
Kupplung K	Géométrie	218	78
Z	Géométrie	219	79
AF	Géométrie	220	80
AF	Renforcement de la zone locale	221	81
L	Géométrie	222	82
L	Renforcement de la zone locale	223	83

Système de précontrainte interne avec adhérence ANCRAGE MOBILE GC



Unités	A	B	ØC	ØD	E	F	ØH ⁽²⁾	J ⁽¹⁾	ØK	L
6-3 ⁽³⁾	130	120	50	95	50	120 ⁽³⁾	50	140	M12	105
6-4 ⁽³⁾	140	120	60	110	55	120 ⁽³⁾	60	154	M12	110
6-7 ⁽³⁾	180	135	76	135	60	135 ⁽³⁾	69	210	M12	120
6-12 ⁽³⁾	230	220	92	170	75	220 ⁽³⁾	92	264	M16	135
6-15	260	240	113	190	85	240 ⁽³⁾	113	316	M16	145
6-19	290	150	131	200	95	450	112	354	M16	155
6-22	320	150	153	220	100	640	112	400	M16	160
6-27	350	170	164	240	110	620	127	430	M16	170
6-31	375	170	173	260	120	580	143	470	M16	180
6-37	410	170	196	280	135	770	142	524	M16	200
6-43	470	180	230	316	105	935	166	420	M20	215
6-55	520	180	240	340	118	1035	166	452	M20	230

NOTES

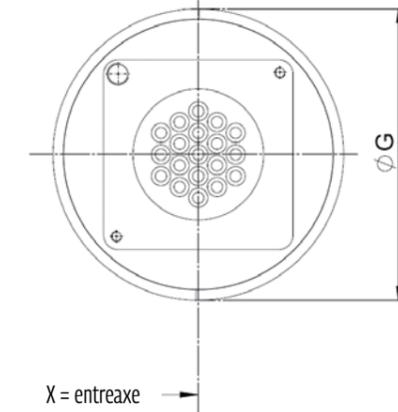
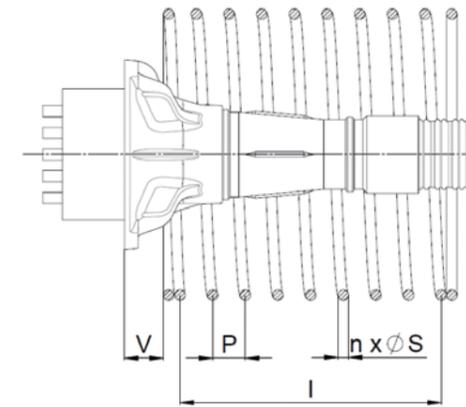
Toutes les dimensions sont en [mm]

(1) J - espacement des boulons pour la fixation au coffrage

(2) ØH - Intérieur dia de la trompette

(3) Ces unités ne requièrent pas de trompette en PE

Système de précontrainte interne avec adhérence ANCRAGE MOBILE GC / RENFORCEMENT DE ZONE LOCALE



GC 25, pour un béton C 25/30

 $f_{c,min}(t) = 25 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_0 = 0,75 P_{pk}$

Unités	ØS	n ⁽¹⁾	Wendel			V _{max} ⁽²⁾	X ⁽⁴⁾
			P	ØG	l ⁽²⁾		
6-3	12	5	60	190	180	45	210
6-4	14	6	65	220	260	45	240
6-7	16	6	70	300	280	45	320
6-12	18	8	65	395	390	50	415
6-15	18	9	60	445	420	50	465
6-19	20	9	65	505	455	50	525
6-22	20	11	60	545	540	50	565
6-27	20	12	55	605	550	50	625
6-31	22	12	65	650	650	50	670
6-37	22	13	60	710	660	50	730
6-43	25	12	60	680	600	50	700
6-55	25	15	55	770	715	50	790

GC 30, pour un béton C 30/37

 $f_{c,min}(t) = 28 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_0 = 0,75 P_{pk}$

Unités	ØS	n ⁽¹⁾	Wendel			V _{max} ⁽²⁾	X ⁽⁴⁾
			P	ØG	l ⁽²⁾		
6-3	12	5	55	165	165	45	185
6-4	14	5	65	195	195	45	215
6-7	16	6	65	260	260	45	280
6-12	18	7	65	350	325	50	370
6-15	18	9	55	390	385	50	410
6-19	20	9	60	440	420	50	460
6-22	20	10	55	475	440	50	495
6-27	22	10	60	530	480	50	550
6-31	22	12	55	570	550	50	590
6-37	22	13	55	635	605	50	655
6-43	25	12	60	640	600	50	660
6-55	25	14	55	730	660	50	750

GC 40, pour un béton C 40/50

 $f_{c,min}(t) = 36 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_0 = 0,75 P_{pk}$

Unités	ØS	n ⁽¹⁾	Wendel			V _{max} ⁽²⁾	X ⁽⁴⁾
			P	ØG	l ⁽²⁾		
6-3	12	5	55	145	165	45	165
6-4	14	5	60	170	180	45	190
6-7	16	6	65	230	260	45	250
6-12	18	7	60	305	300	50	325
6-15	18	8	55	345	330	50	365
6-19	20	8	60	390	360	50	410
6-22	20	9	55	420	385	50	440
6-27	22	9	60	465	420	50	485
6-31	22	11	55	500	495	50	520
6-37	22	12	55	570	550	50	590
6-43	25	11	60	610	540	50	630
6-55	25	13	55	690	605	50	710

NOTES

Toutes les dimensions sont en [mm]

Limite d'élasticité minimale pour les renforcements de zone locale : $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$

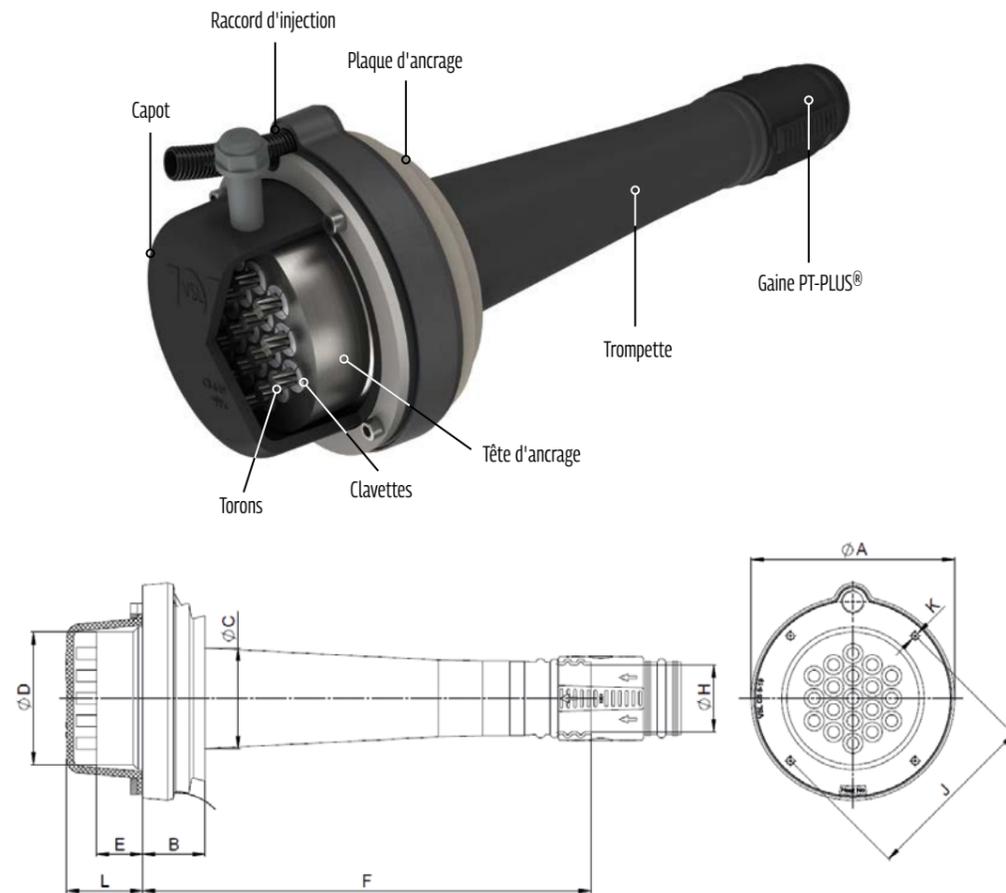
(1) n = nombre de tour pour la spirale (sont inclus le premier et dernier tours qui servent de longueur d'ancrage)

(2) ???

(3) $V_{max} > V > V_{min}$; V_{min} est l'enrobage du projet. Si $V_{min} > V_{max}$, contacter VSL.

(4) X = entreaxe min. entre les ancrages

Système de précontrainte avec adhérence. ANCRAGE ACTIF CS2000



Unités	ØA	B	ØC	ØD	E	F	ØH ⁽²⁾	J ⁽¹⁾	ØK	L
6-7	222	60	85	143	50	360	57	188	M12	112
6-12	258	80	117	178	60	530	74	220	M12	113
6-19	300	90	148	210	70	660	98	260	M12	114
6-22	320	100	165	228	70	740	100	274	M12	115
6-27	360	110	181	256	69	810	111	310	M16	140
6-31	390	122	188	274	69	740	126	330	M16	150
6-37	420	130	211	300	82	925	126	357	M16	160

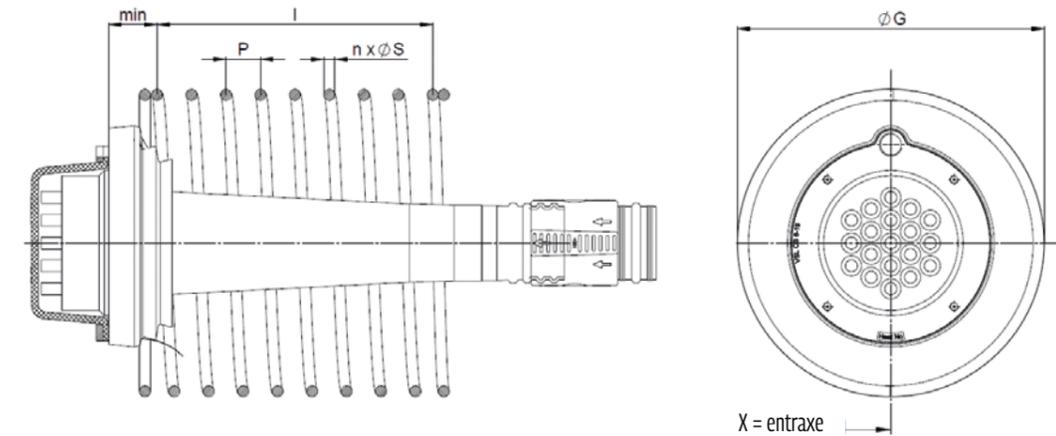
NOTES

Toutes les dimensions sont en [mm]

(1) J - Espacement des vis de fixation au coffrage

(2) ØH - Diamètre intérieur de la trompette

Système de précontrainte avec adhérence. ANCRAGE MOBILE CS 2000/RENFORCEMENT DE ZONE LOCALE



CS 2000-30, pour un béton C 30/37

$f_{c,min}(t) = 28 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) lors de la mise en tension à $P_0 = 0,75 P_{pk}$

Unités	Wendel					X ⁽³⁾
	ØS	n ⁽¹⁾	P	ØG	l ⁽²⁾	
6-7	16	6	65	290	260	310
6-12	18	8	60	390	360	410
6-19	20	11	55	495	495	515
6-22	22	10	60	530	480	550
6-27	22	12	55	590	550	610
6-31	22	13	55	635	605	655
6-37	26	12	65	695	650	715

CS 2000-40, pour un béton C 40/50

$f_{c,min}(t) = 36 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) lors de la mise en tension à $P_0 = 0,75 P_{pk}$

Unités	Wendel					X ⁽³⁾
	ØS	n ⁽¹⁾	P	ØG	l ⁽²⁾	
6-7	16	6	65	270	260	290
6-12	18	8	55	355	330	375
6-19	20	10	55	455	440	475
6-22	22	10	60	490	480	510
6-27	22	11	55	545	495	565
6-31	22	12	55	590	550	610
6-37	26	11	65	645	585	665

NOTES

Toutes les dimensions sont en [mm]

Limite d'élasticité minimale pour le renforcement de zone locale $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$

Pour le calcul de la distance au bord minimale, se référer à la section C.1.4.1

Pour la force de tension maximale et la surtension temporaire, se référer aux sections C.1.1 et C.1.2.8

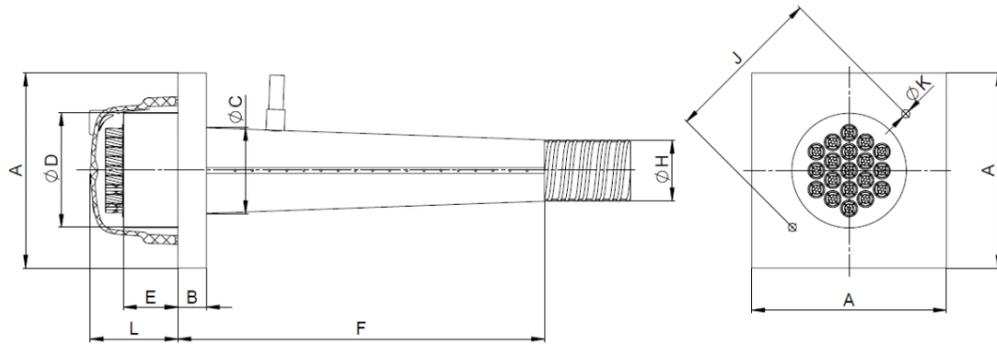
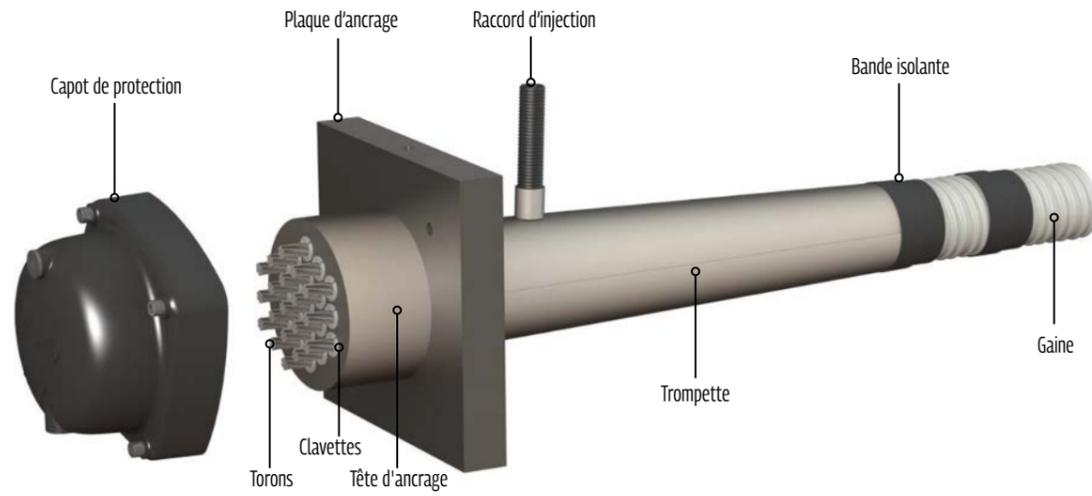
Le renforcement, la distance aux bords et l'entraxe des ancrages peuvent être modifiés, contacter VSL

(1) n = nombre de tours de spirale, y compris le premier et le dernier tour. Le premier tour de spirale (plaque d'ancrage) est relié au tour adjacent.

(2) l = longueur de la zone d'ancrage locale confinée par la spirale

(3) X = Entraxe minimum entre les ancrages

Système de précontrainte avec adhérence ANCRAGE ACTIF E



Unités	A	B	ØC	ØD	E	F	ØH ⁽²⁾	J ⁽¹⁾	ØK	L
6-1	75	10	18	53	50	155	25	86	Ø5	110
6-2	110	10	50	90	50	205	50	136	Ø5	110
6-3	135	15	56	95	50	210	55	135	M12	110
6-4	160	20	65	110	55	215	60	150	M12	115
6-7	205	30	84	135	60	325	72	210	M12	120
6-12	270	40	118	170	75	500	92	265	M16	135
6-15	305	45	143	190	85	585	97	275	M16	145
6-19	340	50	150	200	95	640	107	280	M16	155
6-22	370	55	172	220	100	745	122	310	M16	160
6-27	410	60	185	240	110	690	132	330	M16	170
6-31	435	65	192	260	120	755	142	360	M16	180
6-37	480	75	215	280	135	905	155	370	M16	195
6-43	520	80	248	320	145	1030	165	420	M20	210
6-55	580	95	255	340	160	1045	185	452	M20	225

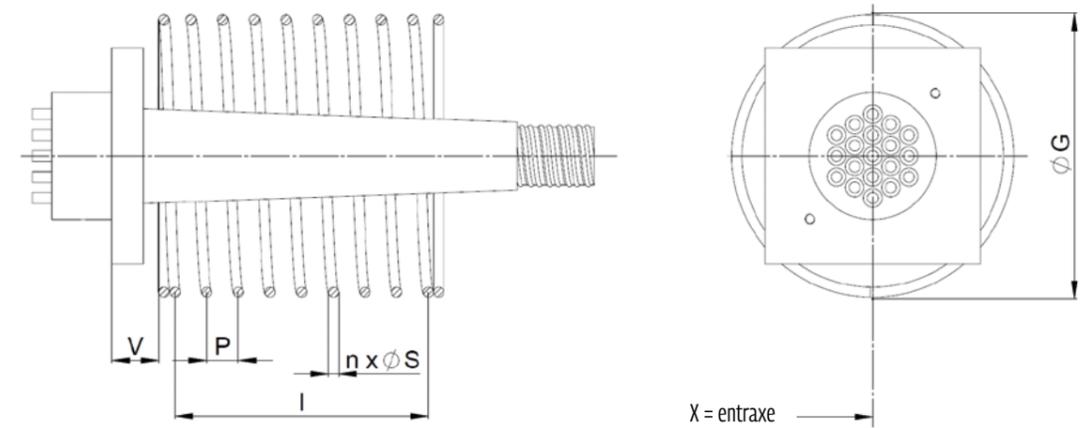
NOTES

Toutes les dimensions sont en [mm]

(1) J - Espacement des vis de fixation au coffrage

(2) ØH - Diamètre intérieur de la trompette

Système de précontrainte ANCRAGE MOBILE E / RENFORCEMENT DE ZONE LOCALE



E 25, pour un béton C 25/30

 $f_{c,min}(t) = 22 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_0 = 0,75 P_{pk}$

Unités	Wendel					$V_{max}^{(3)}$	X ⁽⁴⁾
	ØS	n ⁽¹⁾	P	ØG	l ⁽²⁾		
6-1	10	4	70	105	140	40	125
6-2	12	5	65	155	195	40	175
6-3	12	5	60	190	180	45	210
6-4	14	6	65	220	260	50	240
6-7	16	6	70	300	280	60	320
6-12	18	8	65	295	390	70	415
6-15	18	9	60	445	420	75	465
6-19	20	9	65	505	455	80	525
6-22	20	11	60	545	540	85	565
6-27	20	12	55	605	550	90	625
6-31	22	12	65	650	650	95	670
6-37	22	13	60	710	660	105	730
6-43	26	12	75	765	750	110	785
6-55	26	14	70	870	840	125	890

E 30, pour un béton C 30/37

 $f_{c,min}(t) = 28 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_0 = 0,75 P_{pk}$

Unités	Wendel					$V_{max}^{(3)}$	X ⁽⁴⁾
	ØS	n ⁽¹⁾	P	ØG	l ⁽²⁾		
6-1	10	4	70	90	140	40	110
6-2	12	4	65	135	130	40	155
6-3	12	5	55	165	165	45	185
6-4	14	5	65	195	195	50	215
6-7	16	6	65	260	260	60	280
6-12	18	7	65	350	325	70	370
6-15	18	9	55	390	385	75	410
6-19	20	9	60	440	420	80	460
6-22	20	10	55	475	440	85	495
6-27	22	10	60	530	480	90	550
6-31	22	12	55	570	550	95	590
6-37	22	13	55	625	605	105	645
6-43	26	11	70	675	630	110	695
6-55	26	13	65	765	715	125	785

NOTES

Toutes les dimensions sont en [mm]

Limite d'élasticité minimale pour le renforcement de zone locale $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$

Pour le calcul de la distance au bord minimale, se référer à la section C.1.4.1

Pour la force de tension maximale et la surtension temporaire, se référer aux sections C.1.1 et C.1.2.8

Le renforcement, la distance aux bords et l'entraxe des ancrages peuvent être modifiés, contacter VSL

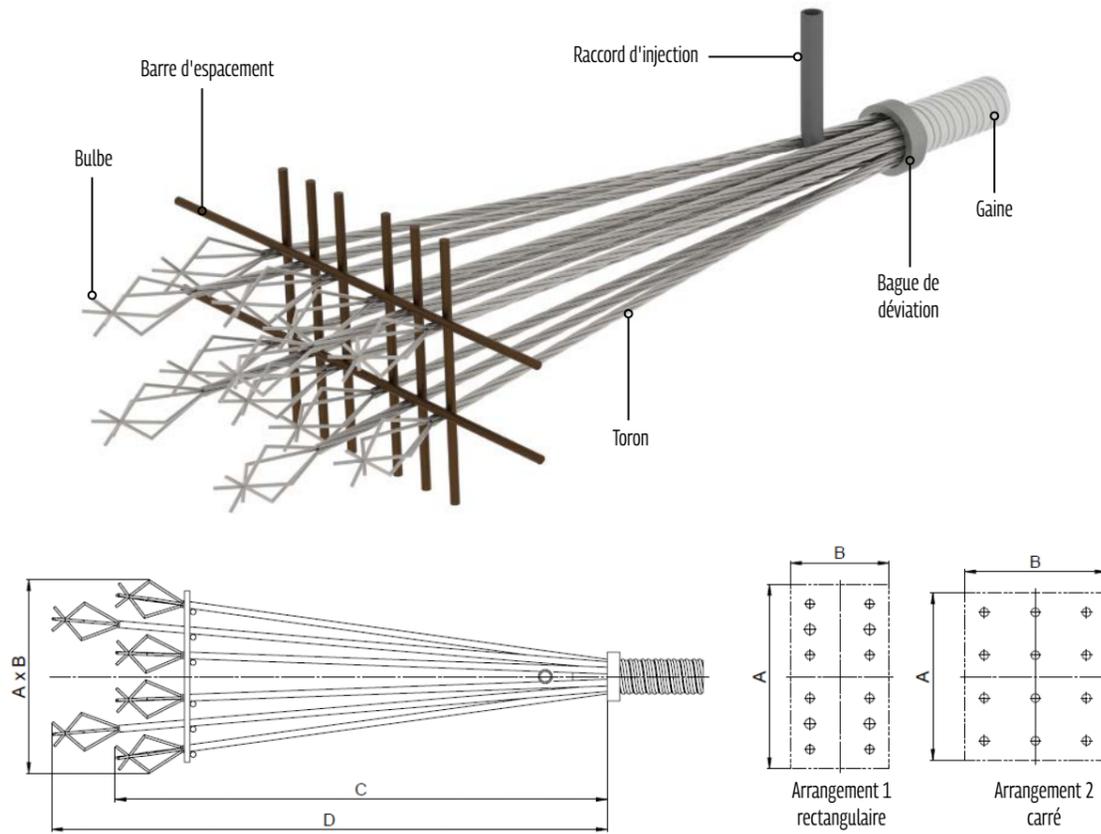
(1) n = nombre de tours de spirale, y compris le premier et le dernier tour. Le premier tour de spirale (plaque d'ancrage) est relié au tour adjacent

(2) l = longueur de la zone d'ancrage locale confinée par la spirale

(3) $V_{max} \geq V \geq V_{min}$; V_{min} est l'enrobage spécifique du projet. Si V_{min} est supérieur à V_{max} , contacter VSL

(4) X = Entraxe minimum entre les ancrages

Système de précontrainte avec adhérence ANCRAGE FIXE H



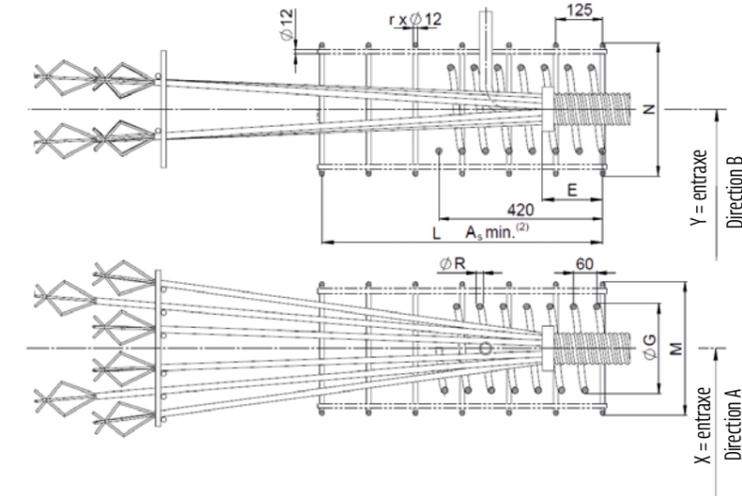
Unités	Arrangement	A	B	C	D
6-1	1	90	90	-	1350
6-2	1	190	90	-	1350
6-3	1	290	90	-	1350
6-4	1	390	90	-	1350
	2	190	210	-	1350
6-7	1	450	90	1150	1300
	2	210	230	1150	1300
6-12	1	430	230	1150	1300
	2	390	330	1150	-
6-15	1	450	230	1150	1300
	2	370	370	1150	1300
6-19	1	570	230	1150	1300
	2	390	470	1150	1300
6-22	1	690	230	1450	1600
	2	490	470	1250	1400
6-27	1	690	260	1500	1650
	2	530	510	1450	1600
6-31	1	810	260	1750	1900
	2	570	510	1550	1700
6-37	1	1050	370	2400	2550
	2	690	510	1850	2000

NOTES

Toutes les dimensions sont en [mm]

L'arrangement des torons (bulbes) peut être rectangulaire (Arr.1) ou carré (Arr.2)

Système de précontrainte avec adhérence ANCRAGE FIXE H / RENFORCEMENT DE ZONE LOCALE



H 30, pour un béton C 30/37

 $f_{c, \min}(t) = 28 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_0 = 0,75 P_{pk}$

Unités	Arrangement	E	ØG	ØR	L	M ⁽¹⁾	N ⁽¹⁾	r
6-1	1	-	-	-	-	-	-	-
6-2	1	-	-	-	-	-	-	-
6-3	1	-	-	-	-	-	-	-
6-4	1	-	-	-	625	220	150	-
	2	-	-	-	-	-	-	-
6-7	1	155	200	16	750	280	280	7
	2	155	200	16	-	-	-	-
6-12	1	155	230	16	750	310	310	7
	2	155	230	16	625	310	310	6
6-15	1	155	300	16	750	380	380	7
	2	155	300	16	750	380	380	7
6-19	1	155	300	16	750	380	380	7
	2	155	300	16	750	380	380	7
6-22	1	155	350	16	875	430	430	8
	2	155	350	16	750	430	430	7
6-27	1	155	350	20	875	430	430	8
	2	155	350	20	875	430	430	8
6-31	1	165	400	20	1000	510	480	9
	2	165	400	20	1000	480	480	9
6-37	1	175	400	20	1375	670	480	12
	2	175	400	20	1125	480	480	10

NOTES

Toutes les dimensions sont en [mm]

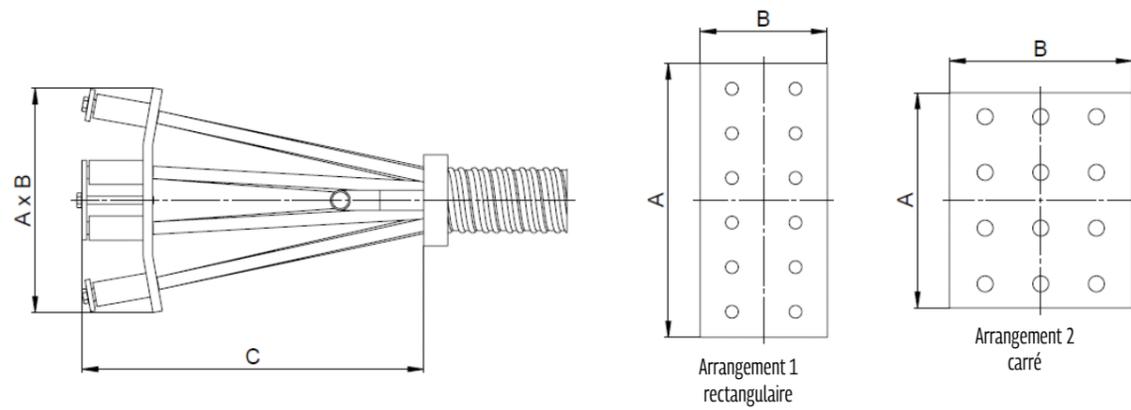
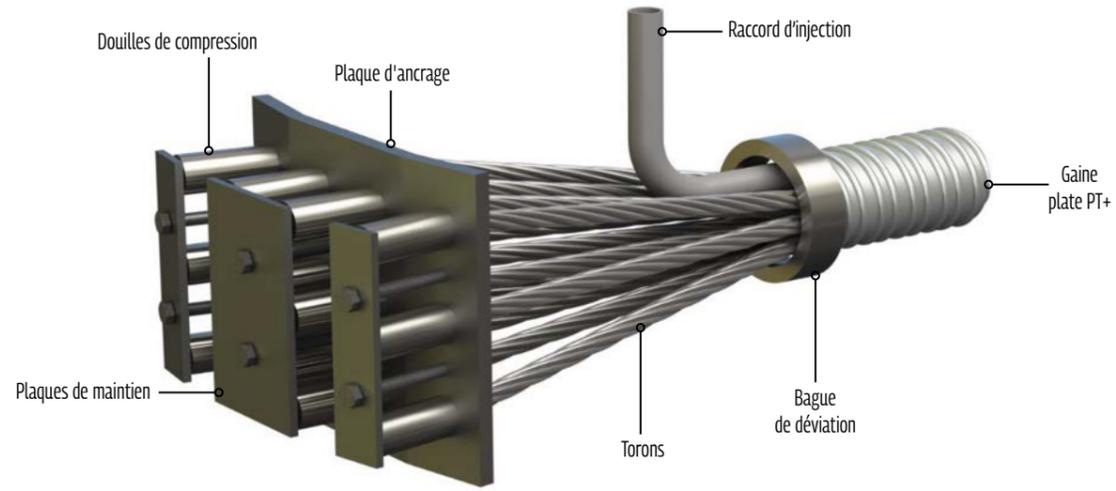
Limite d'élasticité minimale pour le renforcement de zone locale $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$ X/Y : entraxe min. entre les ancrages = Max (entraxe minimum de l'ancrage mobile; dimension A respectivement B de l'ancrage H + 20mm)

(1) M direction A, N direction B

(2) $A_s \text{ min.}$ = Section d'acier de l'armature additionnelle. Ces barres peuvent être omises s'il y a au moins $10 \text{ cm}^2/\text{m}$ sur chaque côté du bloc d'ancrage

Le renforcement, la distance aux bords et l'entraxe des ancrages peuvent être modifiés, contacter VSL

Système de précontrainte avec adhérence
ANCRAGE FIXE P



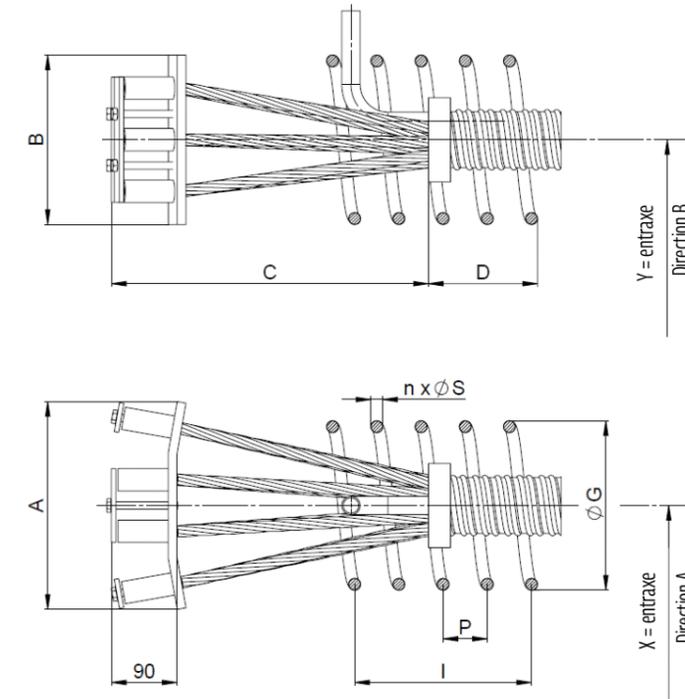
Unités	Arrangement	A	B	C
6-2	1	180	60	280
6-3	1	230	70	330
6-4	1	260	90	430
6-4	2	150	150	380
6-7	1	270	140	430
6-12	1	280	230	430
6-19	1	370	270	630
6-22	1	420	270	730
6-31	1	600	270	980
6-31	2	480	340	780
6-37	1	720	270	1180
6-37	2	560	340	980
6-43	1	800	270	1280
6-43	2	650	340	1080
6-55	1	1000	270	1780
6-55	2	800	340	1280

NOTES

Toutes les dimensions sont en [mm]

L'arrangement de la plaque d'ancrage et des douilles de compression peut être soit rectangulaire (Arr. 1) soit carré (Arr. 2)

Système de précontrainte avec adhérence
ANCRAGE FIXE P / RENFORCEMENT DE ZONE LOCALE



E 30, pour un béton C 30/37

$f_{c,min}(t) = 28 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_0 = 0,75 P_{pk}$

Unités	Arrangement 1 rectangulaire					Arrangement 2 carré					l	D	ØG	ØS	P	n
	A	B	C	X ⁽¹⁾	Y ⁽¹⁾	A	B	C	X ⁽¹⁾	Y ⁽¹⁾						
6-2	180	60	280	200	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6-3	230	70	330	250	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6-4	260	90	430	280	200	150	150	380	215	215	-	-	-	-	-	-
6-7	270	140	430	360	220	-	-	-	-	-	300	140	200	16	60	5
6-12	280	230	430	500	270	-	-	-	-	-	300	140	230	16	60	5
6-19	370	270	630	550	390	-	-	-	-	-	300	140	300	16	60	5
6-22	420	270	730	650	380	-	-	-	-	-	300	140	350	16	60	5
6-31	600	270	980	810	430	480	340	780	660	530	360	170	400	20	60	6
6-37	720	270	1180	960	430	560	340	980	780	530	360	170	400	20	60	6

NOTES

Toutes les dimensions sont en [mm]

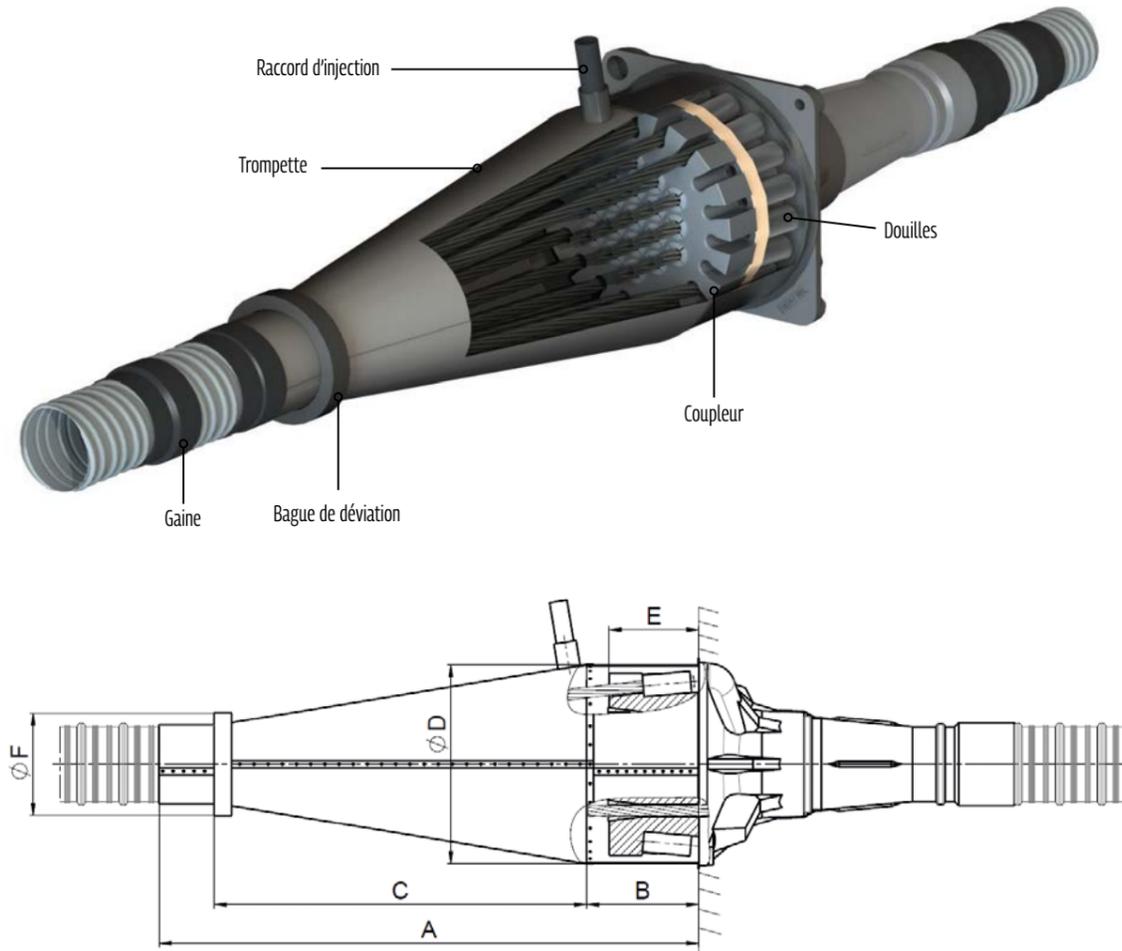
Limite d'élasticité minimale pour le renforcement de zone locale $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$

(1) X/Y = entraxe minimal entre les ancrages. Distance minimale aux bords : X/2 resp Y/2 + enrobage des armatures

La distance au bord minimale doit être déterminée en fonction de l'ancrage mobile correspondant

Le renforcement, la distance aux bords et l'entraxe des ancrages peuvent être modifiés, contacter VSL

Système de précontrainte avec adhérence COUPLEUR K

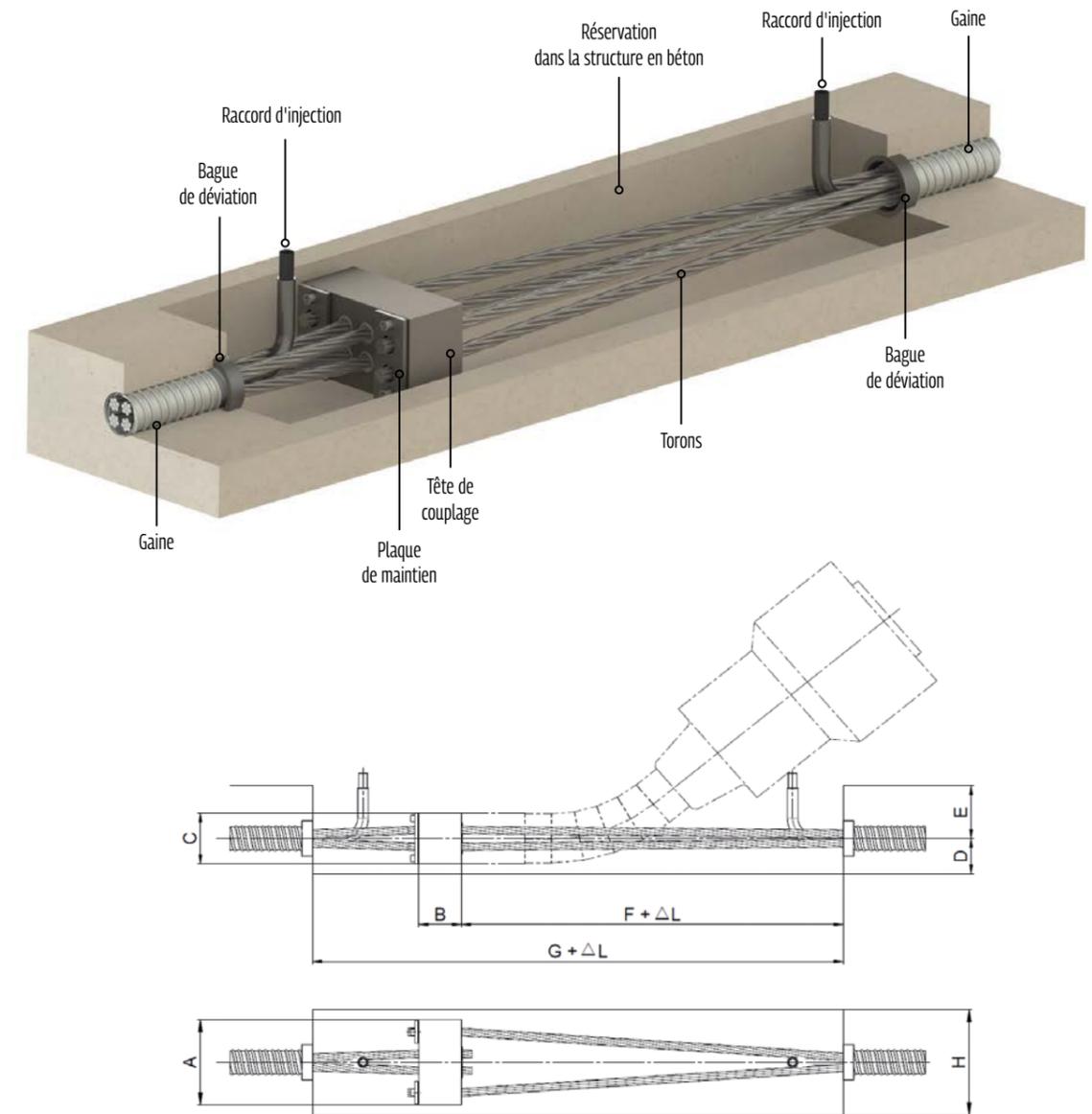


Unités	A	B	C	ØD	ØF	E
6-3	430	160	210	150	76	118
6-4	440	160	220	160	83	118
6-7	560	160	320	190	95	128
6-12	660	160	420	240	121	128
6-15	770	160	530	270	133	128
6-19	770	160	530	280	146	128
6-22	910	160	630	310	159	128
6-27	980	180	690	350	168	150
6-31	970	180	660	360	178	150
6-37	1200	200	870	400	203	168

NOTES

Toutes les dimensions sont en [mm]
Le système peut être utilisé avec les ancrages type GC, CS ou E

Système de précontrainte avec adhérence ANCRAGE INTERMÉDIAIRE Z



Unités	A	B	C	D	F	G	H
6-2	140	70	90	65	450	620	180
6-4	170	80	100	70	900	1180	210
6-6	210	100	140	90	1000	1400	250
6-8	210	125	160	100	1100	1600	250
6-10	260	140	160	100	1100	1690	300
6-12	300	160	160	100	1350	1960	340
6-18	380	180	200	120	1450	2280	420
6-22	400	180	250	145	1500	2380	440

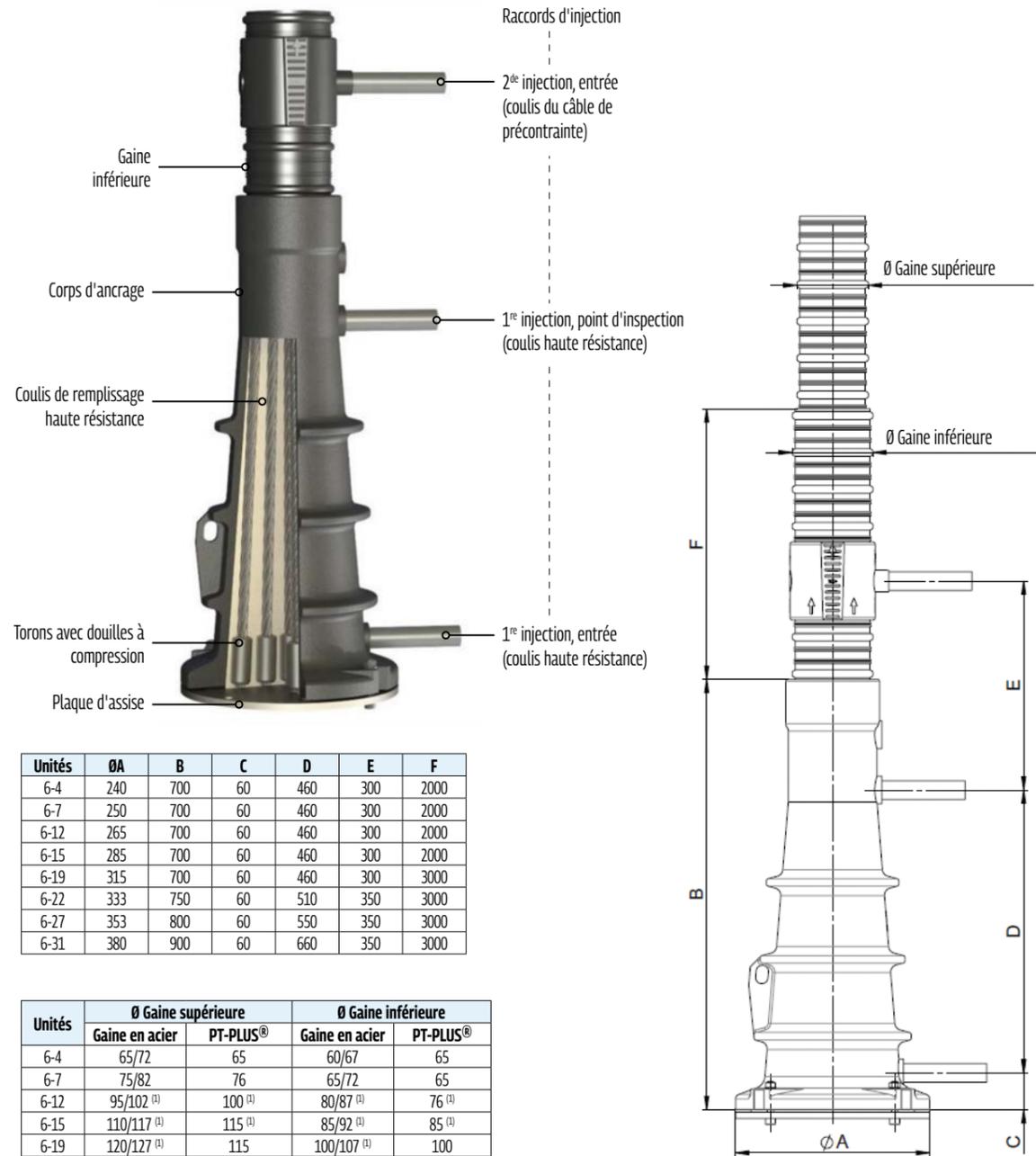
NOTES

Toutes les dimensions sont en [mm]

ΔL = Distance nécessaire au mouvement de la tête de couplage dû à l'élongation du câble

$E = 0.5 C + \text{diamètre des armatures extérieures} + \text{enrobage des armatures dans la réservation}$

Système de précontrainte avec adhérence ANCRAGE FIXE AF



Unités	ØA	B	C	D	E	F
6-4	240	700	60	460	300	2000
6-7	250	700	60	460	300	2000
6-12	265	700	60	460	300	2000
6-15	285	700	60	460	300	2000
6-19	315	700	60	460	300	3000
6-22	333	750	60	510	350	3000
6-27	353	800	60	550	350	3000
6-31	380	900	60	660	350	3000

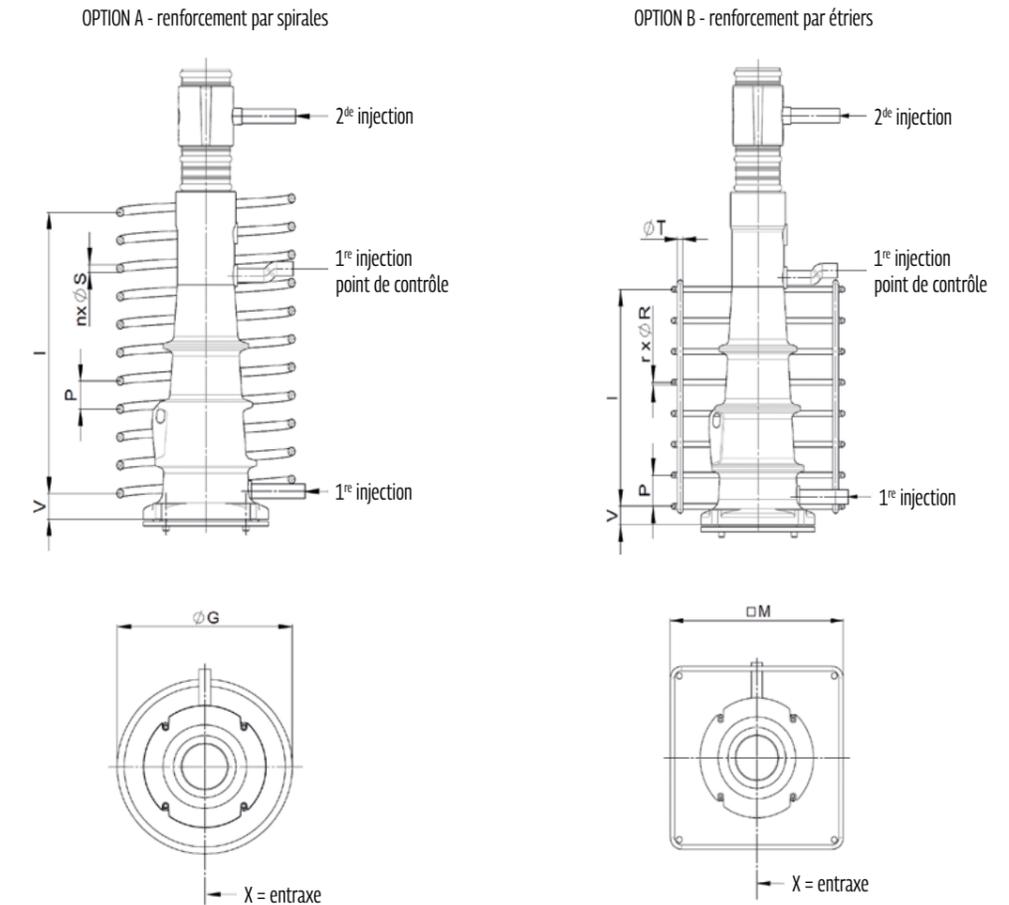
Unités	Ø Gaine supérieure		Ø Gaine inférieure	
	Gaine en acier	PT-PLUS®	Gaine en acier	PT-PLUS®
6-4	65/72	65	60/67	65
6-7	75/82	76	65/72	65
6-12	95/102 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾	80/87 ⁽¹⁾	76 ⁽¹⁾
6-15	110/117 ⁽¹⁾	115 ⁽¹⁾	85/92 ⁽¹⁾	85 ⁽¹⁾
6-19	120/127 ⁽¹⁾	115	100/107 ⁽¹⁾	100
6-22	130/137 ⁽¹⁾	130 ⁽¹⁾	110/117 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾
6-27	140/147 ⁽¹⁾	130	120/127 ⁽¹⁾	115
6-31	150/157 ⁽¹⁾	150	130/137 ⁽¹⁾	130

NOTES

Toutes les dimensions sont en [mm]
Système applicable aux torons avec A = 140 mm² ou A = 150 mm²

(1) Un tube de transition entre la gaine inférieure et supérieure est requis. Pour plus de détails, contacter VSL
Résistance minimale du coulis de remplissage haute résistance au moment de la mise en tension $f_{c, cube} = 100 \text{ N/mm}^2$

Système de précontrainte avec adhérence ANCRAGE FIXE AF/ RENFORCEMENT DE ZONE LOCALE



AF 30, pour un béton C 30/37

$f_{c, min}(t) = 28 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_0 = 0,75 P_{pk}$

Unités	OPTION A - renforcement par spirales							OPTION B - renforcement par étriers							
	V	I	P	ØS	ØG	n ⁽¹⁾	X ⁽³⁾	V	I	P	ØR	ØM	r ⁽²⁾	X ⁽³⁾	ØT
6-4	60	450	50	12	240	10	260	45	400	50	12	240	9	260	10
6-7	60	420	70	16	305	7	325	45	400	50	16	305	9	325	12
6-12	60	440	40	16	390	12	410	45	400	50	20	390	9	410	16
6-15	60	440	55	20	435	9	455	45	455	65	25	435	8	455	20
6-19	60	500	50	20	485	11	505	45	480	60	25	485	9	505	20
6-22	70	500	50	20	520	11	540	45	495	55	25	520	10	540	20
6-27	70	540	45	20	575	13	595	45	550	50	25	575	12	595	20
6-31	70	660	55	20	615	13	635	45	605	55	25	615	12	635	20

NOTES

Toutes les dimensions sont en [mm]

Limite d'élasticité minimale pour le renforcement de zone locale $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$

Pour la force de tension maximale et la surtension temporaire, se référer aux sections C.1.1 et C.1.2.8

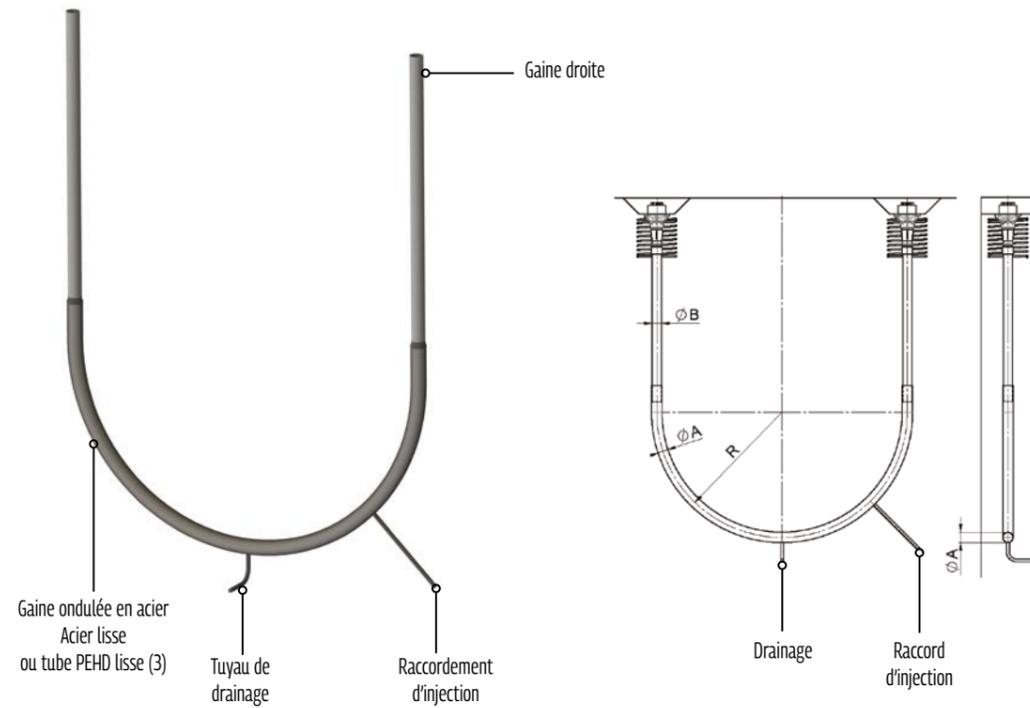
Le renforcement, la distance aux bords et l'entraxe des ancrages peuvent être modifiés, contacter VSL

(1) n = nombre de tours de spirale

(2) r = nombre d'étriers

(3) X = Entraxe minimum entre les ancrages

Système de précontrainte avec adhérence ANCRAGE FIXE L



Unités	Ø A ⁽¹⁾ intérieur/extérieur	Ø B ⁽²⁾ intérieur/extérieur	R _{min}
6-2	50/55	45/50	600
6-3	50/55	45/50	600
6-4	55/60	50/55	650
6-7	75/82	60/67	850
6-12	90/97	80/87	1100
6-15	100/107	85/92	1250
6-19	110/117	95/102	1400
6-22	120/127	110/117	1500

NOTES

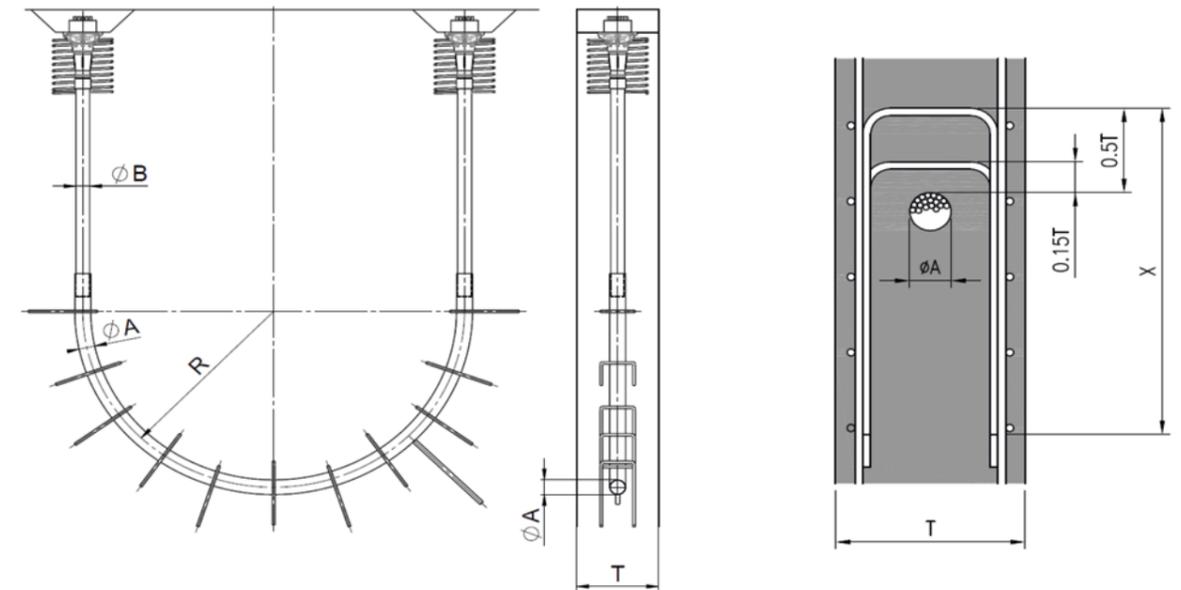
Toutes les dimensions sont en [mm]

(1) Dimensions pour gaine ondulée en acier. Pour la gaine PT-PLUS®, contacter VSL

(2) Dimensionen für gewelltes Stahlrohr. Für PT-PLUS® Hüllrohre, wenden Sie sich an VSL

Pour des unités plus grandes, contacter VSL

Système de précontrainte avec adhérence ANCRAGE FIXE L / RENFORCEMENT DE LA ZONE LOCALE



Les étriers radiaux qui sont nécessaires pour contrôler la fissuration en raison de la déformation derrière la boucle servent également d'attaches pour l'introduction des efforts devant la boucle.

La surface nécessaire de la section transversale des barres en épingle à cheveux correspond à $\frac{1}{4}$ de P_0/r à 250 N/mm² (SLS):

$$A_s \cdot n = P_0 \cdot \pi$$

A_s [mm²] surface de la section transversale d'un étrier radial s

n [-] nombre d'étriers radiaux

P_0 [kN] force de précontrainte dans le câble

$\varnothing A_{ext}$ [mm] diamètre extérieur de la gaine

T [mm] épaisseur du béton

X [mm] longueur d'ancrage requise selon la norme en vigueur

f_y [N/mm²] limite élastique des étriers radiaux : min. 500 N/mm²

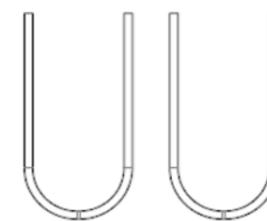
L 25, pour le béton C 25/30

$f_{cmin}(t) = 22$ N/mm² (cylindre) et mise en tension à $P_u = 0.75 P_{pk}$

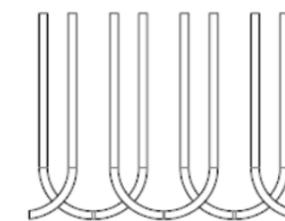
Pour $T > 40A$, contacter VSL pour les détails d'armatures

Le recouvrement de béton des gaines ne doit pas être inférieur au diamètre extérieur des gaines.

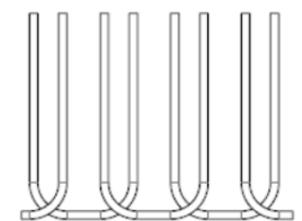
Disposition de plusieurs ancrages en L en fonction de l'épaisseur du béton disponible



$$T \geq 3 \cdot \varnothing A_{ext}$$



$$T \geq 4 \cdot \varnothing A_{ext}$$

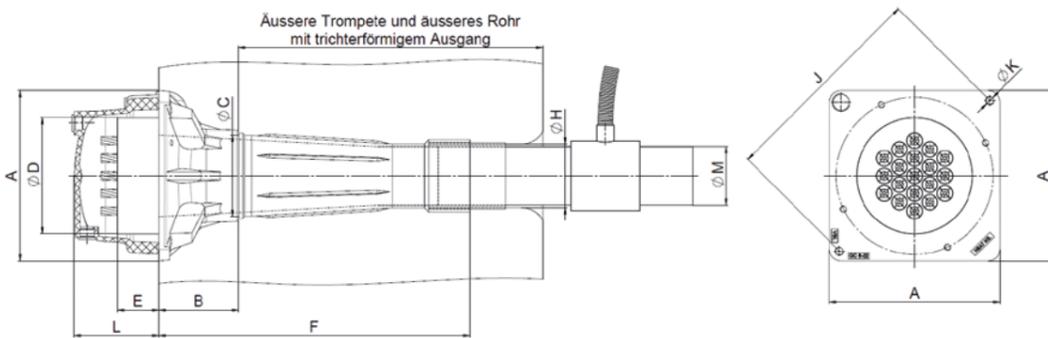
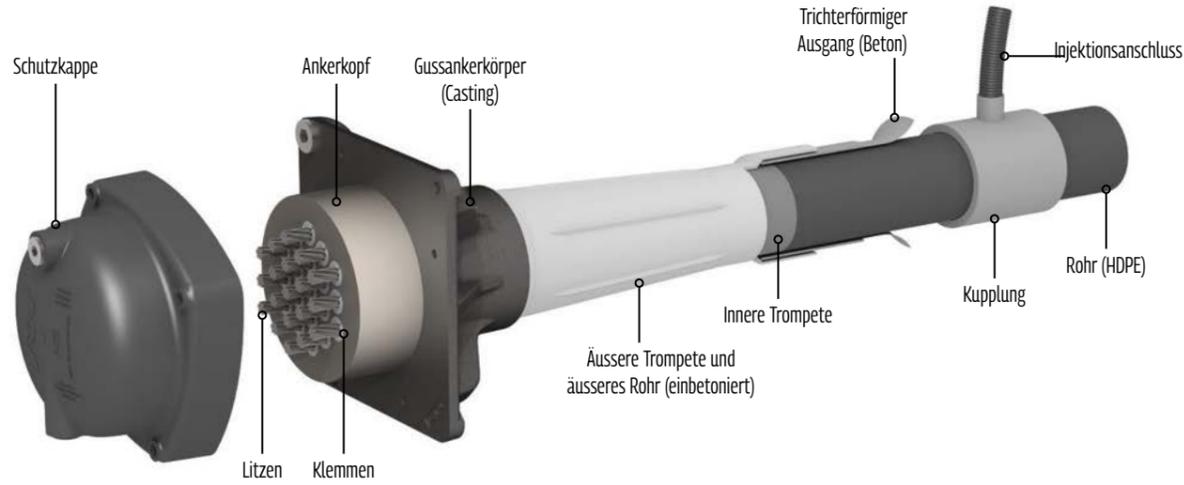


$$T \geq 4 \cdot \varnothing A_{ext}$$

Câbles multitorons externes

Ancrage [-]	Type de fiche technique [-]	Fiche technique No. VSLJ-BDA	Page
GC externe	Géométrie	224	86
GC externe	Renforcement de la zone locale	225	87

Système de précontrainte extérieure avec coulis ANCRAGE MOBILE GC



Unités	A	B	ØC	ØD	E	F	ØH (2)	J (1)	K	L	ØM (3)
6-3	180	135	76	116	55	500	66	210	M12	120	50
6-4	180	135	76	116	55	500	66	210	M12	120	50
6-7	230	220	92	148	62	500	81	264	M16	135	75
6-12	260	240	113	186	68	500	99	316	M16	145	90
6-15	290	150	131	196	73	480	117	354	M16	155	110
6-19	320	150	153	218	78	605	117	400	M16	160	110
6-22	350	170	164	236	85	600	131	430	M16	170	125
6-27	375	170	173	248	90	580	131	470	M16	180	125
6-31	410	170	196	276	98	705	150	524	M16	200	140
6-37	470	180	230	316	105	935	150	420	M20	215	140
6-43	520	180	240	326	118	935	169	452	M20	230	160

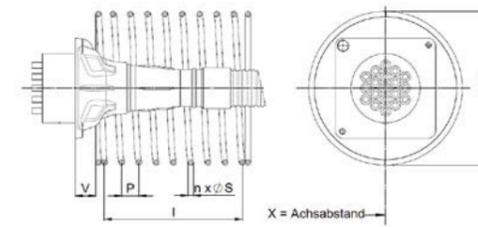
NOTES

Toutes les dimensions sont en [mm]

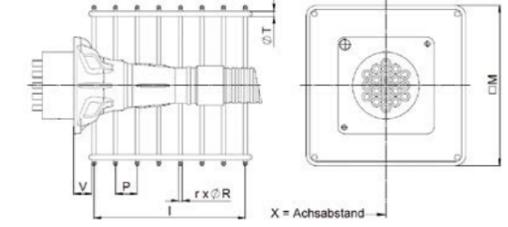
- (1) J - espacement des boulons pour la fixation au coffrage
- (2) ØH - Diamètre intérieur de la gaine extérieure
- (3) ØM - Diamètre extérieur de la gaine

Système de précontrainte extérieure avec coulis ANCRAGE MOBILE GC / RENFORCEMENT DE ZONE LOCALE

OPTION A - renforcement par spirales



OPTION B - renforcement par étriers



GC 25, pour un béton C 25/30

$f_{c,min}(t) = 25 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_{ti}=0.75 P_{pk}$

Unités	Option A - renforcement par spirales						Option B - renforcement par étriers					
	I	P	eS	eG	n (1)	Vmax (2) X (4)	I	P	eR	M	r (2)	Vmax (2) 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
6-43	720	60	25	730	14	50 750	700	70	32	730	11	50 750

GC 28, pour un béton C 28/35

$f_{c,min}(t) = 28 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_{ti}=0.75 P_{pk}$

Unités	Option A - renforcement par spirales						Option B - renforcement par étriers					
	I	P	eS	eG	n (1)	Vmax (2) X (4)	I	P	eR	M	r (2)	Vmax (2) X (4)
6-3	210	70	10	200	5	45 220	280	70	12	210	5	45 230
6-4	260	65	12	210	6	45 230	350	70	16	220	6	45 240
6-7	280	40	12	265	9	50 285	250	50	16	265	6	50 285
6-12	400	50	16	350	10	50 370	330	55	20	350	7	50 370
6-15	400	40	16	395	12	50 415	360	45	20	395	9	50 415
6-19	440	40	16	445	13	50 465	420	70	25	445	7	50 465
6-22	495	55	20	480	11	50 500	480	60	25	480	9	50 500
6-27	540	45	20	530	14	50 550	500	50	25	530	11	50 550
6-31	550	50	20	575	13	50 595	550	55	25	575	11	50 595
6-37	630	45	20	625	16	50 645	640	80	32	625	9	50 645
6-43	660	60	25	675	13	50 695	630	70	32	675	10	50 695

GC 32, pour un béton C 32/40

$f_{c,min}(t) = 32 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_{ti}=0.75 P_{pk}$

Unités	Option A - renforcement par spirales						Option B - renforcement par étriers					
	I	P	eS	eG	n (1)	Vmax (2) X (4)	I	P	eR	M	r (2)	Vmax (2) X (4)
6-3	210	70	8	200	5	45 220	280	70	10	200	5	45 220
6-4	210	70	12	210	5	45 230	350	70	16	220	6	45 240
6-7	270	45	12	260	8	55 280	390	65	16	270	7	50 290
6-12	350	50	16	325	9	50 345	330	55	20	325	7	50 345
6-15	400	40	16	370	12	50 390	390	65	25	370	7	50 390
6-19	420	60	20	415	9	50 435	390	65	25	415	7	50 435
6-22	495	55	20	450	11	50 470	420	60	25	450	8	50 470
6-27	495	45	20	495	13	50 515	450	50	25	495	10	50 515
6-31	540	45	20	535	14	50 555	500	50	25	535	11	50 555
6-37	630	70	25	585	11	50 605	600	75	32	585	9	50 605
6-43	660	55	25	635	14	50 655	585	65	32	635	10	50 655

GC 35, pour un béton C 35/45

$f_{c,min}(t) = 35 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_{ti}=0.75 P_{pk}$

Unités	Option A - renforcement par spirales						Option B - renforcement par étriers					
	I	P	eS	eG	n (1)	Vmax (2) X (4)	I	P	eR	M	r (2)	Vmax (2) X (4)
6-3	210	70	8	200	5	45 220	280	70	8	200	5	45 220
6-4	220	55	10	200	6	45 220	325	65	12	210	6	45 230
6-7	275	55	12	260	7	55 280	350	70	16	270	6	50 290
6-12	350	50	16	310	9	50 330	330	55	20	310	7	50 330
6-15	360	40	16	350	11	55 370	325	65	25	350	6	50 370
6-19	400	40	16	395	12	50 415	390	65	25	395	7	50 415
6-22	440	55	20	425	10	55 445	420	60	25	425	8	50 445
6-27	495	45	20	470	13	55 490	450	50	25	470	10	50 490
6-31	495	45	20	505	13	55 525	500	50	25	505	11	50 525
6-37	585	65	25	550	11	55 570	525	75	32	550	8	50 570
6-43	605	55	25	600	13	55 620	585	65	32	600	10	50 620

GC 40, pour un béton C 40/50

$f_{c,min}(t) = 40 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_{ti}=0.75 P_{pk}$

Unités	Option A - renforcement par spirales						Option B - renforcement par étriers					
	I	P	eS	eG	n (1)	Vmax (2) X (4)	I	P	eR	M	r (2)	Vmax (2) X (4)
6-3	210	70	8	200	5	45 220	280	70	8	200	5	45 220
6-4	260	65	10	200	6	45 220	275	55	10	210	6	45 230
6-7	300	60	12	260	7	55 280	350	50	12	270	8	50 290
6-12	350	50	16	295	9	55 315	385	55	20	300	8	50 320
6-15	360	40	16	330	11	55 350	420	60	25	340	8	50 360
6-19	400	40	16	375	12	55 395	390	65	25	375	7	50 395
6-22	440	55	20	405	10	55 425	420	60	25	405	8	50 425
6-27	450	45	20	445	12	55 465	480	80	32	445	7	50 465
6-31	495	45	20	480	13	55 500	450	50	25	480	10	50 500
6-37	560	70	25	525	10	60 545	630	70	32	540	10	50 560
6-43	605	55	25	570	13	60 590	675	75	32	590	10	50 610

GC 50, pour un béton C 50/60

$f_{c,min}(t) = 50 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_{ti}=0.75 P_{pk}$

Unités	Option A - renforcement par spirales						Option B - renforcement par étriers					
	I	P	eS	eG	n (1)	Vmax (2) X (4)	I	P	eR	M	r (2)	Vmax (2) 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	55 270	375	75	12	260	6	50 280
6-12	300	60	16	300	7	55 320	390	65	20	300	7	50 320
6-15	325	65	20	330	7	55 350	450	75	25	340	7	50 360
6-19	360	60	20	360	8	60 380	490	70	25	370	8	50 390
6-22	385	55	20	390	9	60 410	480	60	25	400	9	50 420
6-27	420	70	25	430	8	55 450	560	80	32	440	8	50 460
6-31	490	70	25	460	9	60 480	595	85	32	480	8	50 500
6-37	490	70	25	520	9	60 540	595	85	32	540	8	50 560
6-43	600	75	25	570	10	60 590	680	85	32	590	9	50 610

NOTES

Toutes les dimensions sont en [mm]

Limite d'élasticité minimale pour le renforcement de la zone locale $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$

(1) n = nombre de tours de spirale, y compris le premier et le dernier tour. Le premier tour de spirale (plaque d'ancrage) est relié au tour adjacent.

(2) r = nombre d'étriers

(3) $V_{max} \geq V \geq V_{min}$; V_{min} est un recouvrement spécifique au projet. Si V_{min} est supérieur à V_{max} , contacter VSL

(4) X = entraxe minimum entre les ancrages

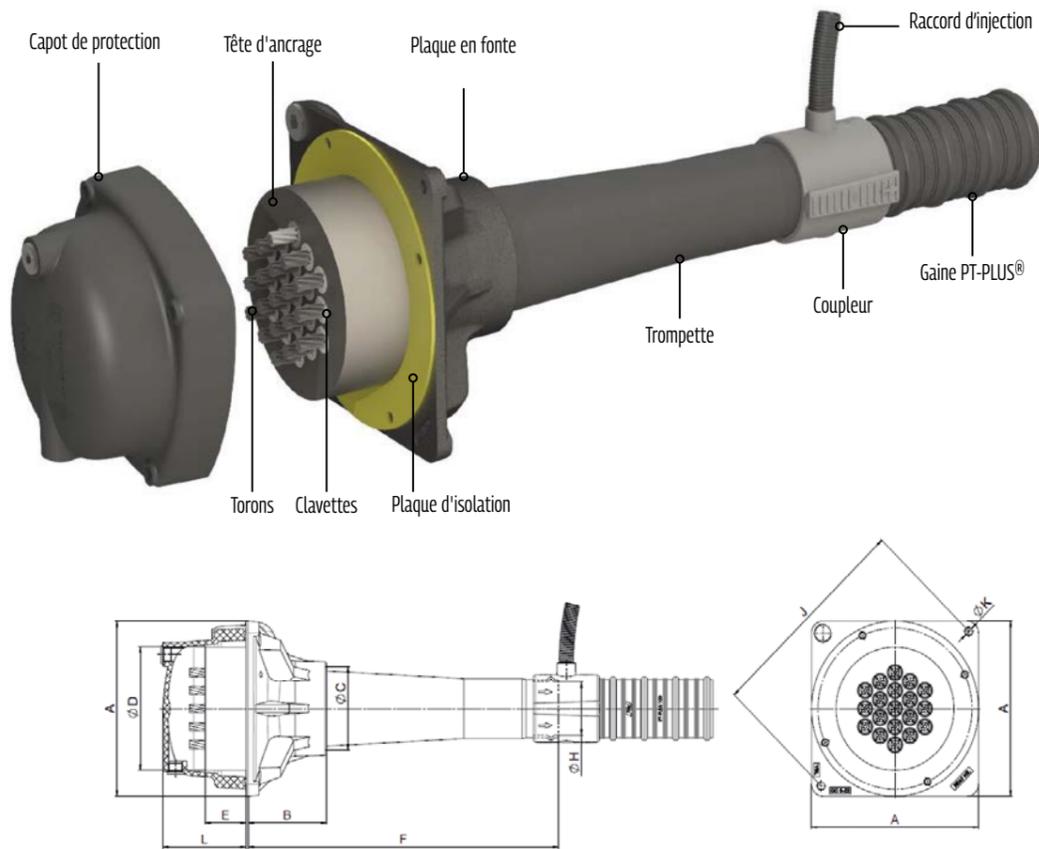
Pour le calcul de la distance au bord minimale, se référer à la section C.1.4.1

Pour la force de tension maximale et la surtension temporaire, se référer aux sections C.1.1 et C.1.2.8

Câbles isolés électriquement (EIT)

Ancrage [-]	Type de fiche technique [-]	Fiche technique No. VSLJ-BDA	Page
GC EIT	Géométrie	226	90
GC EIT	Renforcement de la zone locale	227	91
CS 2000 Super EIT	Géométrie	228	92
CS 2000 Super EIT	Renforcement de la zone locale	229	93

Litzenvorspannsystem Interne Spannglieder mit Verbund EIT (Elektrisch isoliertes Spannglied) BEWEGLICHE VERANKERUNG TYP GC



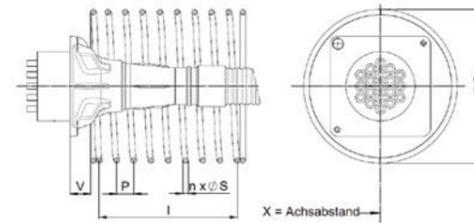
Unités	ØA	B	ØC	ØD	E	F	ØH ⁽²⁾	J ⁽¹⁾	K	L
6-3	180	135	76	116	55	245	58	210	M12	120
6-4	180	135	76	116	55	245	58	210	M12	120
6-7	230	220	92	156	62	370	58	264	M16	135
6-12	260	240	113	186	68	400	76	316	M16	145
6-15	290	150	131	198	73	475	85	354	M16	155
6-19	320	150	153	226	78	595	100	400	M16	160
6-22	350	170	164	246	85	595	100	430	M16	170
6-27	375	170	173	258	90	575	115	470	M16	180
6-31	410	170	196	286	98	800	130	524	M16	200
6-37	470	180	230	326	105	1035	130	420	M20	215
6-43	520	180	240	336	118	1035	150	452	M20	230

NOTES

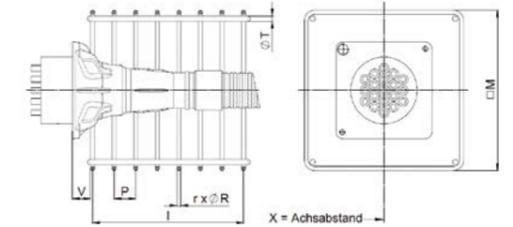
Toutes les dimensions sont en [mm]
 (1) Distance J entre les vis pour le montage sur le coffrage
 (2) ØH diamètre intérieur de la trompette
 Les raccords électriques ne sont pas représentés

Litzenvorspannsystem Interne Spannglieder mit Verbund EIT (Elektrisch isoliertes Spannglied) BEWEGLICHE VERANKERUNG TYP GC / BEWEHRUNG DER VERANKERUNGSZONE

OPTION A - renforcement par spirales



OPTION B - renforcement par étriers



GC 25, pour un béton C 25/30

$f_{c,min}(t) = 25 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_u=0.75 P_{pk}$

Unités	Option A - renforcement par spirales						Option B - renforcement par étriers							
	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
6-43	720	60	25	730	14	50	750	700	70	32	730	11	50	750

GC 28, pour un béton C 28/35

$f_{c,min}(t) = 28 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_u=0.75 P_{pk}$

Unités	Option A - renforcement par spirales						Option B - renforcement par étriers							
	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	10	200	5	45	220	280	70	12	210	5	45	230
6-4	260	65	12	210	6	45	230	350	70	16	220	6	45	240
6-7	280	40	12	265	9	50	285	250	50	16	265	6	50	285
6-12	400	50	16	350	10	50	370	330	55	20	350	7	50	370
6-15	400	40	16	395	12	50	415	360	45	20	395	9	50	415
6-19	440	40	16	445	13	50	465	420	70	25	445	7	50	465
6-22	495	55	20	480	11	50	500	480	60	25	480	9	50	500
6-27	540	45	20	530	14	50	550	500	50	25	530	11	50	550
6-31	550	50	20	575	13	50	595	550	55	25	575	11	50	595
6-37	630	45	20	625	16	50	645	640	80	32	625	9	50	645
6-43	660	60	25	675	13	50	695	630	70	32	675	10	50	695

GC 32, pour un béton C 32/40

$f_{c,min}(t) = 32 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_u=0.75 P_{pk}$

Unités	Option A - renforcement par spirales						Option B - renforcement par étriers							
	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	10	200	5	45	220
6-4	210	70	12	210	5	45	230	350	70	16	220	6	45	240
6-7	270	45	12	260	8	55	280	390	65	16	270	7	50	290
6-12	350	50	16	325	9	50	345	330	55	20	325	7	50	345
6-15	400	40	16	370	12	50	390	390	65	25	370	7	50	390
6-19	420	60	20	415	9	50	435	390	65	25	415	7	50	435
6-22	495	55	20	450	11	50	470	420	60	25	450	8	50	470
6-27	495	45	20	495	13	50	515	450	50	25	495	10	50	515
6-31	540	45	20	535	14	50	555	500	50	25	535	11	50	555
6-37	630	70	25	585	11	50	605	600	75	32	585	9	50	605
6-43	660	55	25	635	14	50	655	585	65	32	635	10	50	655

GC 35, pour un béton C 35/45

$f_{c,min}(t) = 35 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_u=0.75 P_{pk}$

Unités	Option A - renforcement par spirales						Option B - renforcement par étriers							
	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	10	200	5	45	220
6-4	210	70	12	210	5	45	230	350	70	16	220	6	45	240
6-7	270	45	12	260	8	55	280	390	65	16	270	7	50	290
6-12	350	50	16	325	9	50	345	330	55	20	325	7	50	345
6-15	400	40	16	370	12	50	390	390	65	25	370	7	50	390
6-19	420	60	20	415	9	50	435	390	65	25	415	7	50	435
6-22	495	55	20	450	11	50	470	420	60	25	450	8	50	470
6-27	495	45	20	495	13	50	515	450	50	25	495	10	50	515
6-31	540	45	20	535	14	50	555	500	50	25	535	11	50	555
6-37	630	70	25	585	11	50	605	600	75	32	585	9	50	605
6-43	660	55	25	635	14	50	655	585	65	32	635	10	50	655

GC 40, pour un béton C 40/50

$f_{c,min}(t) = 40 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_u=0.75 P_{pk}$

Unités	Option A - renforcement par spirales						Option B - renforcement par étriers							
	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	260	65	10	200	6	45	220	275	55	10	210	6	45	230
6-7	300	60	12	260	7	55	280	350	50	12	270	8	50	290
6-12	350	50	16	295	9	55	315	385	55	20	300	8	50	320
6-15	360	40	16	330	11	55	350	420	60	25	340	8	50	360
6-19	400	40	16	375	12	55	395	390	65	25	375	7	50	395
6-22	440	55	20	405	10	55	425	420	60	25	405	8	50	425
6-27	450	45	20	445	12	55	465	480	80	32	445	7	50	465
6-31	495	45	20	480	13	55	500	450	50	25	480	10	50	500
6-37	560	70	25	525	10	60	545	630	70	32	540	10	50	560
6-43	605	55	25	570	13	60	590	675	75	32	590	10	50	610

GC 50, pour un béton C 50/60

$f_{c,min}(t) = 50 \text{ N/mm}^2$ (cylindre) et mise en tension à $P_u=0.75 P_{pk}$

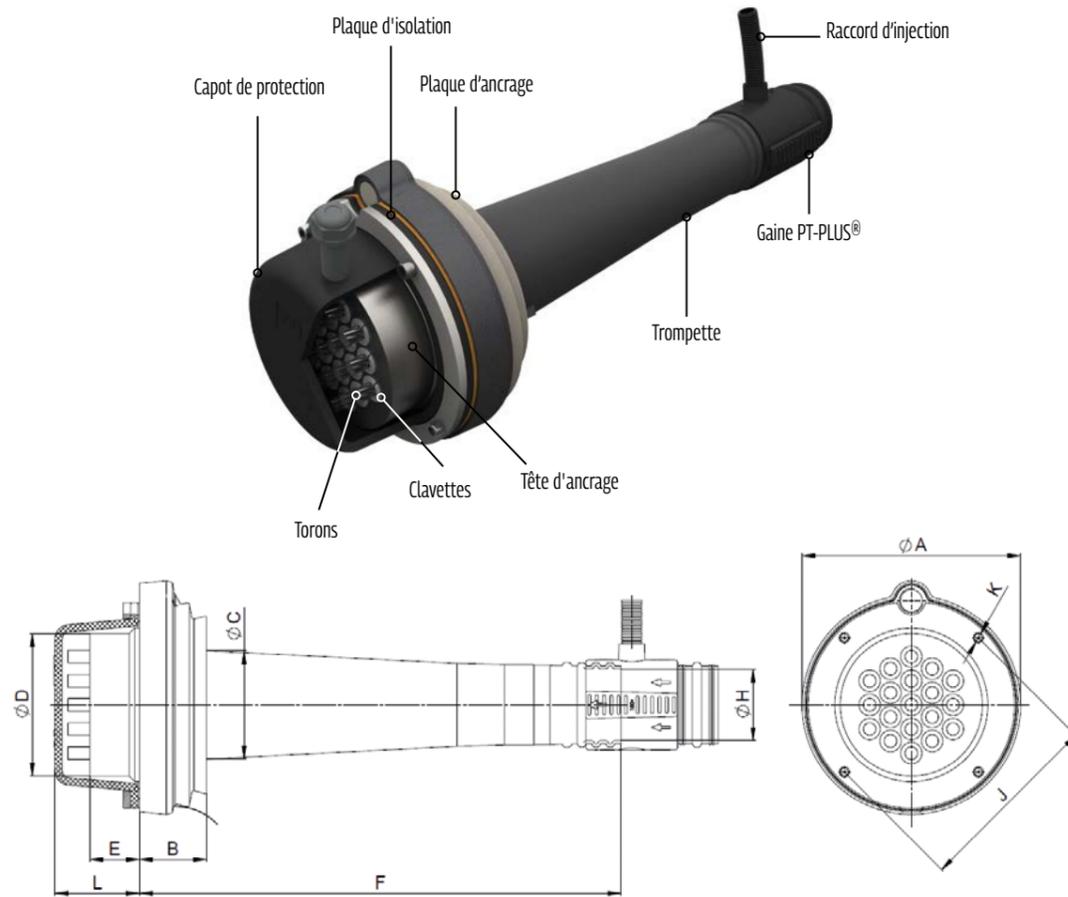
Unités	Option A - renforcement par spirales						Option B - renforcement par étriers							
	I	P	øS	øG	n ⁽¹⁾	V _{max} ⁽³⁾ X ⁽⁴⁾	I	P	øR	M	r ⁽²⁾	V _{max} ⁽³⁾ X ⁽⁴⁾		
6-3	210	70	8	200	5	45	220	280	70	8	200	5	45	220
6-4	210	70	8	200	5	45	220	275	55	8	200	6	45	220
6-7	300	60	10	250	7	55	270	375	75	12	260	6	50	280
6-12	300	60	16	300	7	55	320	390	65	20	300	7	50	320
6-15	325	65	20	330	7	55	350	450	75	25	340	7	50	360
6-19	360	60	20	360	8	60	380	490	70	25	370	8	50	390
6-22	385	55	20	390	9	60	410	480	60	25	400	9	50	420
6-27	420	70	25	430	8	55	450	560	80	32	440	8	50	460
6-31	490	70	25	460	9	60	480	595	85	32	480	8	50	500
6-37	490	70	25	520	9	60	540	595	85	32	540	8	50	560
6-43	600	75	25	570	10	60	590	680	85	32	590	9	50	610

NOTES

Toutes les dimensions sont en [mm]
 Limite d'élasticité minimale pour le renforcement local de la zone $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$
 (1) n = nombre de tours de spirale, y compris le premier et le dernier nécessaires comme longueur d'ancrage. Premier tour en spirale (plaque d'appui) attachée à l'une des plaques adjacentes
 (2) r = nombre d'étriers

(3) $V_{max} \geq V \geq V_{min}$; V_{min} est un recouvrement de béton spécifique au projet. Si V_{min} est supérieur à V_{max} , contacter VSL
 (4) X = entre-axe min. entre les ancrages
 Pour le calcul de la distance minimale aux bords, voir C.4.4.1 p.101
 Pour la force de tension maximale et la surtension temporaire, voir C.4.1 p.96 et C.4.2 p.99 ou C.4.2.8 p.99 resp.

Système de précontrainte interne Câbles isolés électriquement EIT ANCRAGE MOBILE CS 2000



Unités	ØA	B	ØC	ØD	E	F	ØH ⁽²⁾	J ⁽¹⁾	K	L
6-7	222	60	85	143	50	360	57	188	M12	112
6-12	258	80	117	178	60	530	74	220	M12	113
6-19	300	90	148	210	70	660	98	260	M12	114
6-22	320	100	165	228	70	740	100	274	M12	115
6-27	360	110	181	256	69	810	111	310	M16	140
6-31	390	122	188	274	69	740	126	330	M16	150
6-37	420	130	211	300	82	925	126	357	M16	160

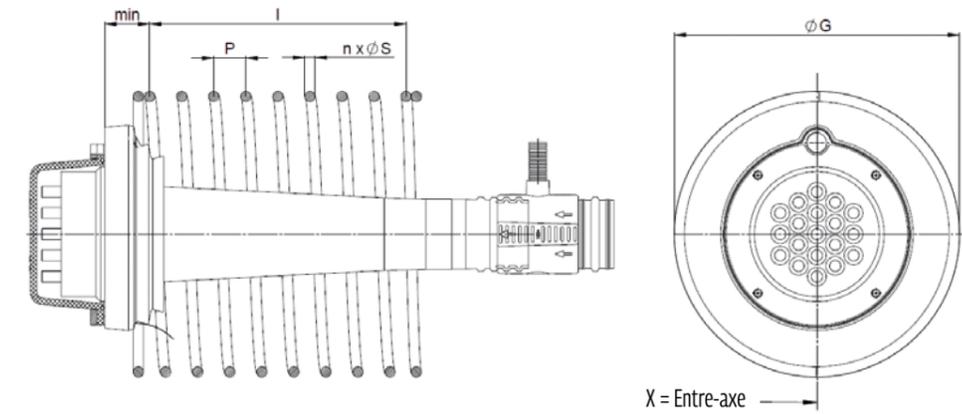
ANMERKUNGEN

Alle Dimensionen in [mm]

(1) J - Abstand der Schrauben zur Befestigung an der Schalung

(2) ØH - Innerer Durchmesser der Trompette

Système de précontrainte interne Câbles isolés électriquement EIT ANCRAGE MOBILE CS 2000/RENFORCEMENT DE ZONE LOCALE



CS 2000-30, für Normal-Betonklasse C 30/37

$f_{c,min}(t) = 28 \text{ N/mm}^2$ (Zylinder) beim Spannen auf $P_t=0.75 P_{pk}$

Unités	Wendel					X ⁽³⁾
	ØS	n ⁽¹⁾	P	ØG	l ⁽²⁾	
6-7	16	6	65	290	260	310
6-12	18	8	60	390	360	410
6-19	20	11	55	495	495	515
6-22	22	10	60	530	480	550
6-27	22	12	55	590	550	610
6-31	22	13	55	635	605	655
6-37	26	12	65	695	650	715

CS 2000-40, für Normal-Betonklasse C 40/50

$f_{c,min}(t) = 36 \text{ N/mm}^2$ (Zylinder) beim Spannen auf $P_t=0.75 P_{pk}$

Unités	Wendel					X ⁽³⁾
	ØS	n ⁽¹⁾	P	ØG	l ⁽²⁾	
6-7	16	6	65	270	260	290
6-12	18	8	55	355	330	375
6-19	20	10	55	455	440	475
6-22	22	10	60	490	480	510
6-27	22	11	55	545	495	565
6-31	22	12	55	590	550	610
6-37	26	11	65	645	585	665

ANMERKUNGEN

Alle Dimensionen in [mm]

Min. Streckgrenze der Wendel für die Bewehrung der Verankerungszone $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$

Für die Berechnung der minimalen Randabstände siehe Abschnitt C.1.4.1

Für die maximale Spannkraft und das temporäre Überspannen siehe Abschnitt C.1.1 und C.1.2.8

Bewehrung, Randabstand, Achsabstand können geändert werden, wenden Sie sich an VSL

(1) n=Anzahl der Windungen,einschliesslich der ersten und letzten Windung,die zur Verankerung der Wendel dienen. Erste Windung ist mit der nächsten verbunden.

(2) l deckt den erforderlichen Bereich der statisch wirksamen Umschnüpfung ab (Wendel)

(3) X = Min. Achsabstände zwischen den Verankerungen.

Entreprise spécialisée, VSL, filiale de Bouygues Construction, s'appuie sur les méthodes et technologies de construction les plus avancées pour concevoir, construire et préserver des structures complexes. VSL crée des solutions innovantes et sur-mesure de l'ingénierie initiale à l'exécution des projets, pour relever les défis de ses clients.



Restez en contact avec VSL sur [vsl.com](https://www.vsl.com) et [in](#) VSL International Ltd.