

2.4 Les Aciers Précontraints

2.4.1 Les Formes

On trouve les armatures de précontrainte sous trois formes :

- Les Fils
- Les Barres
- Les Torons

2.4.1.1 Les Fils

Par convention, les fils ont un diamètre inférieur ou égal à 12,2 mm, ce qui permet de les livrer en couronnes. Ils peuvent être soit ronds et lisses (pour la post-tension) soit au contraire nervurés, ou crantés, ou ondulés afin d'améliorer leur adhérence au béton (pré-tension). Les fils les plus couramment utilisés ont des diamètres de 5 mm, 7 mm ou 8 mm.

2.4.1.2 Les Barres

De diamètre supérieur ou égal à 12,5 mm, elles ne sont livrées que rectilignes (et sous longueur maximale de l'ordre de 12 m). Elles peuvent être soit lisses, soit nervurées, les nervurations faisant alors office de filetage grossier (cas des barres Dywidag). Les diamètres les plus courants sont 26 mm, 32 mm et 36 mm. Mais il existe des barres plus grosses (Macalloy 40, 50 et même 75 mm). De telles armatures ne sont employées qu'en post-tension.

2.4.1.3 Les Torons

Ce sont des ensembles de fils enroulés hélicoïdalement les uns sur les autres (cas des torsades à trois fils) ou autour d'un fil central en une ou plusieurs couches. Les torons les plus courants sont à 7 fils et sont désignés par leur diamètre nominal (diamètre du cercle circonscrit aux fils dans une section droite). Les diamètres les plus utilisés sont les suivants : 12,5 mm (fréquemment désigné par T13) 12,9 mm (T13S) 15,2 mm (T15) 15,7 mm (T15S) Ces armatures sont employées aussi bien en prétension (dans les pièces importantes) qu'en post-tension. Enfin, par le passé, certains procédés de précontrainte (PCB notamment) ont utilisé des torons à plusieurs couches de fils périphériques (torons à 37 ou 61 fils)

2.4.2 Les torons de précontrainte

On destingue deux type de torons

2.4.2.1 Les torons clairs

Chaque toron se définit par une codification de ses principales caractéristiques. On retrouve ainsi dans la dénomination d'un toron les paramètres suivants :

- le terme toron (T);
- le diamètre nominal du toron en mm (12.5, 12.9, 15.2 ou 15.7);
- la classe de résistance en MPa (1770, 1820 ou 1860);
- la classe de relaxation (TBR);
- la sous-classe relative aux aptitudes particulières à la fatigue et à la traction déviée (A normal ou B particulier);
- le code identifiant le producteur du toron (TU pour exemple);
- le code du site de fabrication du toron (SC pour exemple).



FIGURE 2.1 – Types de torons : Clairs ou Protégés

2.4.2.2 Les torons protégés

Les torons protégés sont des torons clairs munis d'une protection complémentaire (graisse, cire, revêtement de zinc ou d'alliage zinc-aluminium, gainage polyéthylène haute densité extrudé (PEHD) de couleur noire ou autres, phosphatation, époxy et combinaisons possibles) destinés à la précontrainte intérieure ou extérieure au béton.

Les trois types de torons protégés les plus couramment utilisés sont, par ordre décroissant d'utilisation :

- les torons gainés graissés dénommés TGG;
- les torons gainés cirés dénommés TGC;
- les torons revêtus (zinc ou alliage zinc-aluminium) dénommés TZ (zinc) ou TZA (alliage zinc-aluminium).

On retrouve les mêmes identifiants dans la dénomination d'un toron protégé ou d'un toron clair :

- le terme toron protégé (TGG, TGC, TZ ou TZA);
- le diamètre nominal du toron en mm (12.5, 12.9, 15.2 ou 15.7);

- la classe de résistance en MPa (1770 ou 1860);
- la classe de relaxation (TBR);
- la sous-classe relative aux aptitudes particulières à la fatigue et à la traction déviée (A normal ou B particulier);
- le code identifiant le producteur du toron (TU pour exemple);
- le code du site de fabrication du toron (SC pour exemple).

2.4.3 Les barres de précontrainte (les fils)

Les barres peuvent être filetées ou nervurées sur toute leur longueur, ou bien lisses en partie courante et filetées aux extrémités. Elles sont généralement livrées sans protection, mais pour certaines utilisations, elles peuvent être munies d'une protection particulière (protection maritime, graisse, cire, résine époxy, gainage PEHD, zingage, galvanisation, inox, etc.).

Chaque barre se définit par une codification de ses principales caractéristiques. On retrouve ainsi dans la dénomination d'une barre les paramètres suivants :

- le terme barre (B);
- le diamètre nominal de la barre en mm (26, 32, 36, 40 ou 50);
- la classe de résistance en MPa (1030 ou 1230);
- la désignation de l'état de surface (lisse L, nervurée N ou filetée NL);
- le code identifiant le producteur des barres (AN pour exemple);
- le code du site de fabrication des barres (H pour exemple).

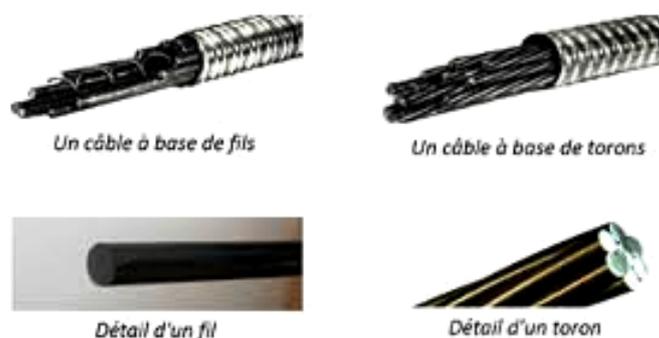


FIGURE 2.2 – Types de cables

2.4.4 Les conduits de précontrainte

Différents types de conduits et natures de matériaux peuvent être rencontrés en fonction du procédé et du choix de la précontrainte, intérieure (I) ou extérieure (E) au béton, adhérente (A) ou non adhérente (NA). Les conduits doivent être mécaniquement résistants, présenter une continuité de

forme et assurer une continuité d'étanchéité sur toute leur longueur. Ils doivent convenir aux exigences d'adhérence du projet et ne causer aucune agression chimique. La nature, l'épaisseur, le diamètre et les rayons de courbure sont choisis pour :

- éviter les risques d'ovalisation pendant le transport et la manutention ;
- permettre le respect des valeurs du frottement et la poussée au vide prises au projet pour le ;
- assurer un remplissage correct par le produit d'injection.

2.4.5 Les ancrages

l'ancrage est un dispositif mécanique, comprenant en général plusieurs composants, conçu pour retenir la force de précontrainte de l'armature tendue et la transmettre à l'ouvrage.

Selon leur fonction, on distingue plusieurs catégories d'ancrages :



FIGURE 2.3 – Les ancrages

1. **Les ancrages actifs**, désignés par A, sont des dispositifs mécaniques, constitués de différents composants tels que la tête d'ancrage, la plaque d'appui, les clavettes, la trompette, les manchons, etc. Ils permettent le blocage du câble à l'extrémité par laquelle s'effectue la mise en tension.
2. **Les ancrages passifs** sont des dispositifs mécaniques ou sont formés par l'adhérence des armatures de précontrainte au béton. On désigne par A' ou F les ancrages extérieurs fixes (les plus fréquents en ouvrages d'art), par N les ancrages noyés dans le béton.
3. **Les coupleurs**. Ce sont des dispositifs utilisés pour raccorder les sections adjacentes des armatures de précontrainte.

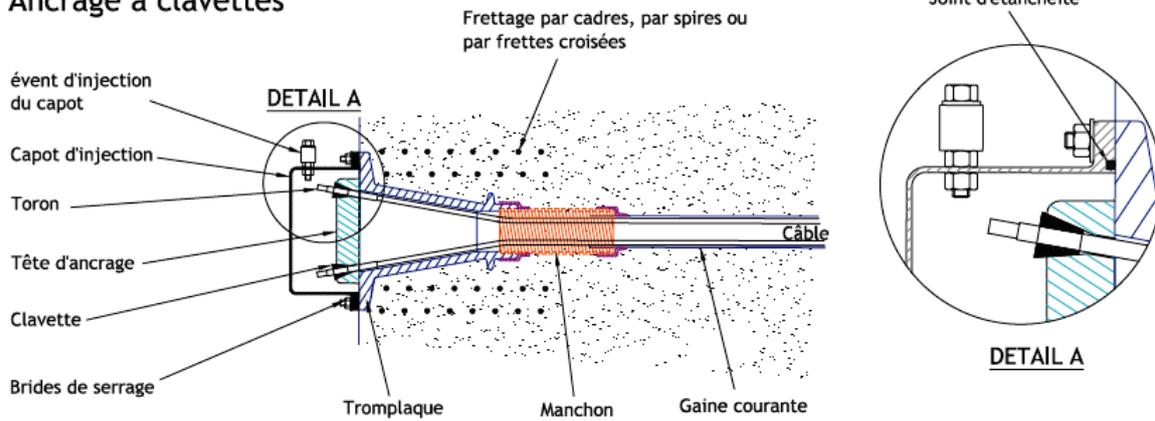
2.4.5.1 Définitions des composants de l'ancrage

- **Bloc d'ancrage / tête d'ancrage** : pièce maintenant une ou plusieurs armatures de précontrainte par des clavettes, manchons, écrous et transférant la force de précontrainte à la plaque

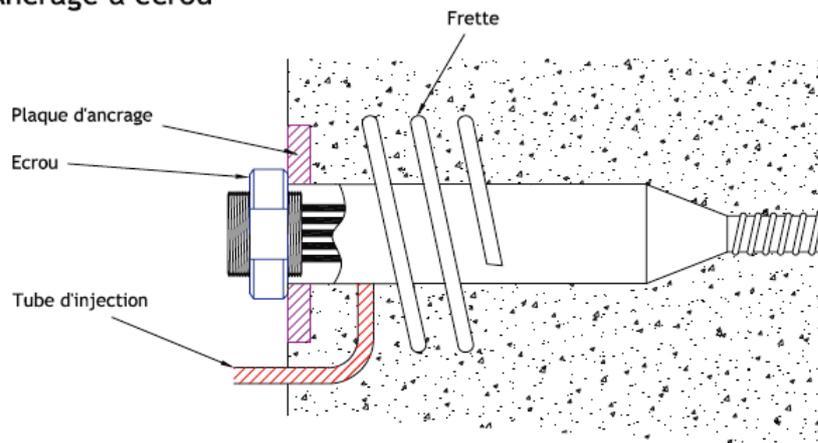
d'appui ou directement à la trompette.

- **Capot d'ancrage** : capot en acier ou en plastique, placé à l'extrémité des armatures de précontrainte pour rendre l'ancrage étanche, soit provisoirement pour permettre l'injection, il est alors démonté lorsque le coulis a durci, soit définitivement, le capot étant laissé en place après l'injection pour renforcer la protection.
- **Clavettes** : mors métalliques (brins) constitués de deux ou trois éléments servant à bloquer les torons dans la tête d'ancrage percée de "n" trous tronconiques.
- **Coupleurs** : ils permettent dans le cas d'ouvrages construits en plusieurs phases, de réaliser la continuité de deux tronçons de câble. On distingue les coupleurs mobiles (raccordement de sections adjacentes des armatures de précontrainte tendues au même moment), les coupleurs fixes (raccordement entre la première section des armatures de précontrainte installées et tendues initialement à une deuxième section installée et tendue ultérieurement).
- **Écrous** : bombés ou plats, utilisés dans les procédés de mise en tension par barres de précontrainte, permettent le maintien en tension en s'appuyant obligatoirement sur la rondelle correspondante (bombée ou plate) et la plaque d'ancrage avec trou lisse.
- **Manchon filé** : cylindre métallique percé d'un trou central pour le passage du toron et muni intérieurement d'un ressort à spires jointives ou constitué de deux demi-coquilles striées pour l'adhérence sur le toron et dans le manchon. Il repose sur la tête d'ancrage percée de trous cylindriques. Plaque d'appui : pièce assurant le transfert de la force de précontrainte dans le béton, généralement en acier oxycoupé ou forgé.
- **Trompette** : pièce située derrière la plaque d'ancrage qui a pour fonction le raccordement des conduits à l'ancrage et permet l'épanouissement des torons entre le conduit et la tête d'ancrage. La trompette est en acier, fonte ou matière plastique.
- **Tromplaque** : pièce moulée de l'ancrage assurant les fonctions à la fois de la plaque et de la trompette. Les ancrages sont définis dans les notices techniques des procédés de précontrainte agréés.

Ancrage à clavettes



Ancrage à écrou



Ancrage à plaque Freyssinet

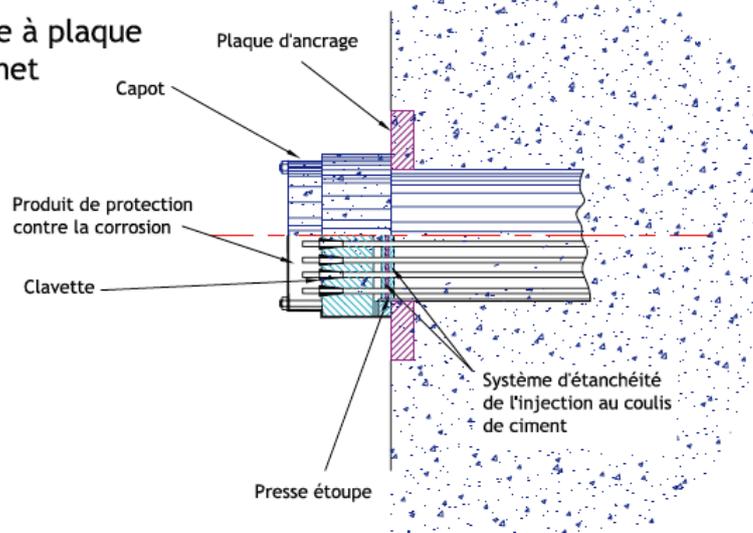


FIGURE 2.4 – Les ancrages

2.4.6 Mise en oeuvre de la précontrainte

Les étapes essentielles de la mise en oeuvre de la précontrainte sont

1. Mise en oeuvre des conduits de précontrainte avant bétonnage (précontrainte intérieure) ou après bétonnage (précontrainte extérieure).
2. Enfilage et mise en tension des armatures de précontrainte
3. La mise en oeuvre des produits de protection et des cachetages : L'injection des conduits et des ancrages a pour but de remplir les vides des conduits, de protéger les armatures contre les agents corrosifs et de passiver l'acier utilisé.

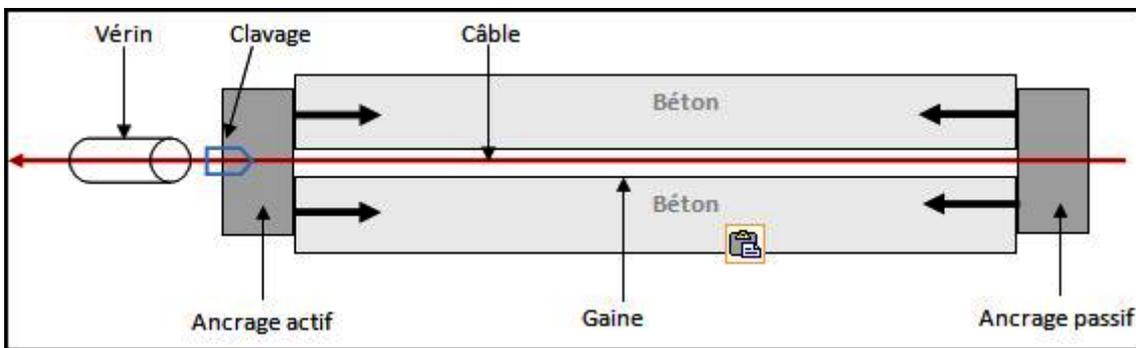


FIGURE 2.5 – Principe de la précontrainte

2.4.7 Types de Torons couramment utilisés

Nature	Classe (MPa)	ϕ (mm)	A (mm ²)	f_{pk} (kN)
T13	1860	12,5	93	154
T13S	1860	12,9	100	166
T15	1770	15,2	139	220
T15S	1770	15,7	150	236
T15S	1860 (*)	15,7	150	279
Fil ϕ 7mm	1670	7	38,5	57

Caractéristiques de certains fils et torons

(*) Le T15S 1860 MPa est le plus utilisé à l'heure actuelle en post-tension.

FIGURE 2.6 – Types de cables