

TA 95 vs. TA 2020

Protection contre la  
corrosion des tirants



**Basile LECONTE**



**Philippe MERCIER**



/ fondations



**1. LES MATERIAUX ET PRODUITS**

**2. DEGRE DE PROTECTION**

**3. SYSTEMES DE PROTECTION**



## MATERIAUX ET PRODUITS



Le TA 2020 conserve la même philosophie mais intègre le contexte normatif actuel

- ⇒ De nombreuses références à l'EN 1537
- ⇒ De nombreux détails pratiques

Les ciments :

- Conformes à l'EN 197-1
- Agressivité de l'environnement selon l'EN 206 => choix des ciment selon Fascicule FD P 18-011
- Coulis de ciment conformes à l'EN 447 pour les aciers de précontrainte

Milieu	Classe d'exposition	choix du ciment
Milieu contenant des sulfates (solutions) à l'exclusion de l'eau de mer	XA1	pas de recommandations particulières
	XA2	(au dessous de 1500 mg/l) <ul style="list-style-type: none"> <li>• ciments SR conformes à la norme NF EN 197-1 et aux exigences complémentaires données en 6.3</li> <li>• ciments conformes à la norme NF P 15-317 (PM) ou NF P 15-319 (ES)</li> </ul>
		(au dessus de 1500 mg/l) <ul style="list-style-type: none"> <li>• ciments SR conformes à la norme NF EN 197-1 et aux exigences complémentaires données en 6.3</li> <li>• ciments conformes à la norme NF P 15-319 (ES)</li> </ul>
	XA3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ciments SR conformes à la norme NF EN 197-1 et aux exigences complémentaires données en 6.3</li> <li>• ciments conformes à la norme NF P 15-319 (ES)</li> </ul>
Milieu contenant des sulfates (sols)	XA1	pas de recommandations particulières
	XA2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ciments SR conformes à la norme NF EN 197-1 et aux exigences complémentaires données en 6.3</li> <li>• ciments conformes à la norme NF P 15-317 (PM) ou NF P 15-319 (ES)</li> </ul>
	XA3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ciments SR conformes à la norme NF EN 197-1 et aux exigences complémentaires données en 6.3</li> <li>• ciments conformes à la norme NF P 15-319 (ES)</li> </ul>

FA141910

ISSN 0335-3931

**norme européenne**

**NF EN 447**

Décembre 2007

norme française

Indice de classement : P 18-140

ICS : 91.100.30

Coulis pour câble de précontrainte

**Prescriptions pour les coulis courants**

## Les gaines de protection :

### - Gaines et tubes plastiques

L'épaisseur minimale de paroi d'un tube externe crénelé, commun à une ou plusieurs armatures, doit être de :

- 1,0 mm pour un diamètre interne  $\leq 80$  mm ;
- 1,2 mm pour un diamètre interne  $> 80$  mm mais  $\leq 120$  mm ;
- 1,5 mm pour un diamètre interne  $> 120$  mm.

L'épaisseur minimale de paroi d'une gaine ou d'un tube externe lisse commun doit être supérieure de 1,0 mm à celle prescrite pour les tubes crénelés, ou cette gaine doit être armée.

Lorsqu'un tube crénelé utilisé pour l'injection du coulis sous pression est considéré comme une barrière de protection, il convient de démontrer que, après l'injection du coulis, l'eau ne peut pas pénétrer par les clapets d'injection.

L'épaisseur d'un tel tube ne doit pas être inférieure à 3,0 mm et la hauteur et la fréquence des crénelures doivent permettre la transmission des efforts, ceci devant être prouvé par des études appropriées sur les composants pertinents (voir paragraphe 6.1.1 de la norme NF EN 1537).

### - Gaines et tubes métalliques

La compatibilité entre les gaines ou tubes métalliques et les autres composants du tirant doit être assurée afin de ne pas provoquer d'effet de pile.

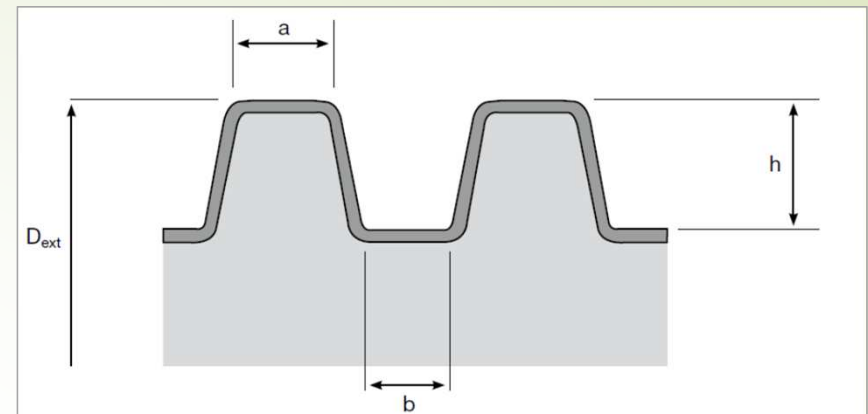


Figure 4.1 : géométrie d'un tube plastique crénelé

	a	b	h
D <sub>int</sub> ≤ 80	3,0 à 6,0	1,5 à 5,0	2,0 à 6,0
80 < D <sub>int</sub> ≤ 120	3,5 à 7,0	2,0 à 7,0	3,0 à 8,0
D <sub>int</sub> > 120	5,0 à 12,0	4,0 à 9,0	5,0 à 12,0

Note 1 : les notations sont explicitées sur la figure 4.1  
Note 2 : toutes les cotes sont en mm

Tableau 4.2 : caractéristiques de la crénelure d'un tube plastique

En particulier, les gaines ou tubes métalliques doivent être continus, étanches à l'eau, et suffisamment robustes pour ne pas être détériorés pendant leur stockage, leur transport et leur mise en place.

Pour les tirants d'ancrage de type à tube à manchettes, il convient que l'épaisseur du tube ne soit pas inférieure à 3,0 mm.

**Note :** les tubes d'épaisseur inférieure ne participent pas à la barrière contre la corrosion.

## Divers :

### 4.3.8 CAPOT DE PROTECTION

L'épaisseur minimale de paroi des capots en acier pour les tirants d'ancrage doit être de 3,0 mm.

Les capots en plastique armé doivent avoir une bride d'épaisseur minimale de 10,0 mm et une paroi d'épaisseur minimale de 5,0 mm.

### 4.3.2 MANCHON THERMO-RETRACTABLE

Lorsqu'il s'agit de recouvrir la surface d'un élément en acier, il est possible d'utiliser des manchons thermo-rétractables s'ils sont associés à des produits anticorrosion.

**Note** : du fait du produit anticorrosion il n'est a priori pas possible de les utiliser sur la longueur de scellement.

Le chauffage de la gaine thermo-rétractable doit être réalisé de telle manière que les autres éléments du système de protection contre la corrosion demeurent conformes aux exigences de la norme, c'est-à-dire ne soient ni déformés, ni brûlés lors du chauffage, ni endommagés d'autres manières avec pour conséquence une diminution de leur capacité de bon fonctionnement.

La fiche technique du produit, qui spécifie en particulier le diamètre après rétreint (qui doit être en adéquation avec l'élément à protéger) et les conditions d'utilisation, doit être respectée.

L'épaisseur de paroi des manchons après rétreint ne doit pas être inférieure à 1,0 mm.

Le chevauchement minimal entre deux manchons ne doit pas être inférieur à 50 mm.

### 4.3.6 REVÊTEMENTS MÉTALLIQUES DE PROTECTION

Les revêtements métalliques de protection ne doivent pas être appliqués sur les armatures précontraintes ou en acier de précontrainte.

Les revêtements métalliques de protection peuvent être utilisés sur d'autres éléments en acier tels que les plaques d'appui, et les capots.

Il ne faut pas utiliser de revêtement métallique conduisant à la formation d'un élément galvanique susceptible de nuire aux armatures.

### 4.3.5 PRODUITS DE PROTECTION ANTICORROSION À BASE DE PÉTROLE, DE CIRES ET DE GRAISSES

Les produits de protection anticorrosion à base de pétrole, de cires et de graisses sont couramment utilisés.

Des règles générales concernant les critères de réception des produits visqueux anticorrosion et des exemples de méthodes d'essais pour mesurer les propriétés de ces produits sont donnés dans l'annexe B de la norme NF EN 1537.

Les propriétés des produits de protection contre la corrosion doivent notamment inclure la stabilité à l'oxydation et la résistance aux attaques bactériennes et microbiologiques.

Les produits de protection contre la corrosion utilisés comme barrières permanentes doivent être confinés dans une gaine robuste étanche à l'humidité, un tube ou un capot qui est lui-même résistant à la corrosion.

**Note** : dans ces conditions, de tels produits agissent aussi comme lubrifiants et comme matières de remplissage qui empêchent l'intrusion de gaz ou d'eau.

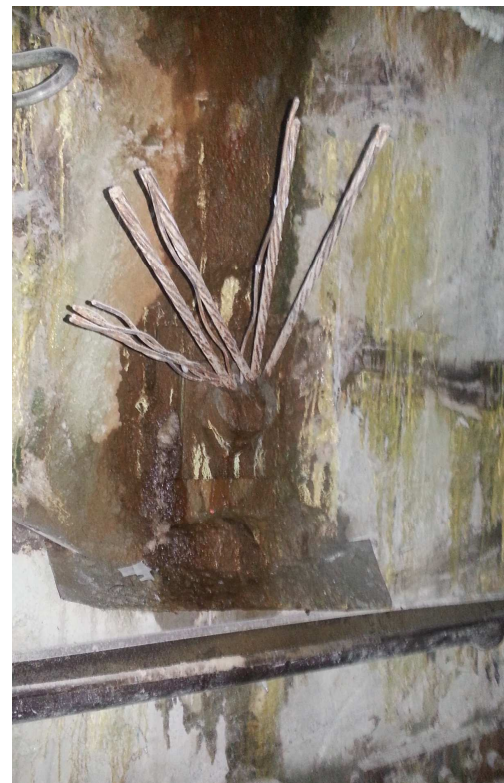
Les produits anticorrosion non confinés peuvent être utilisés comme barrières de protection temporaires, à condition d'être appliqués comme un enduit.

Les bandes imprégnées de produits anticorrosion ne peuvent être utilisées que comme protection temporaire dans un environnement non agressif.

**Note** : cela est dû au risque de détérioration sous l'effet de l'air ou de l'eau



## DEGRE DE PROTECTION



## Finis les P0, P1 et P2 ...

L'importance de la protection est déterminée en fonction de deux paramètres :

- la durée de l'utilisation du tirant,
- la nature du terrain qui l'enrobe ou, d'une façon plus générale, le milieu ambiant.

## ... Place aux T et P !

Tirant T = Provisoire = durée de vie < 2 ans

Tirant P = Permanent = durée de vie > 2 ans

Le niveau de protection du tirant d'ancrage contre la corrosion dépend notamment de :

- la durée de vie du tirant (à compter de sa mise en service), voir commentaires 1 et 2 ;
- l'agressivité des terrains et ambiances dans lesquelles il est réalisé, voir commentaire 3 ;
- des exigences du maître d'ouvrage.

**Commentaire 3** : L'agressivité des sols est jugée selon la norme NF EN 14490 et celle des ambiances dans lesquelles la tête du tirant est exposée selon la norme NF EN ISO 12944-2 (dont des extraits sont fournis en annexe E).

Le niveau de protection de l'ensemble du tirant est choisi comme le plus défavorable résultant des tableaux suivants :

Nature de l'ambiance \ Durée d'utilisation du tirant	Moins de 9 mois	9 à 18 mois	Plus de 18 mois
Non agressive	P0	P1	P2
Moyennement agressive	P1	P2	P2
Très agressive	P2	P2	P2

Agressivité des sols			Durée de vie	
Caractéristiques des sols	Classe	Indice	≤ 2 ans	>2 ans
Fortement corrosif	I	≥ 13	P	P
Corrosif	II	9 à 12	P	P
Moyennement corrosif	III	5 à 8	T	P
Peu corrosif	IV	1 à 4	T	P

Tableau 6.1 niveau de protection en fonction du sol (voir tableaux E.4 et E.5 de l'annexe E)

Agressivité des ambiances		Durée de vie	
Classification	Catégorie	≤ 2 ans	>2 ans
Corrosivité très élevée	C5 I et M	P	P
Corrosivité élevée	C4	P	P
Corrosivité moyenne	C3	T	P
Corrosivité faible et très faible	C1 et 2	T	P

Tableau 6.2 niveau de protection en fonction de l'ambiance (voir tableau E.6 de l'annexe E)





## SYSTEMES DE PROTECTION



## Les tirants T ... précontraints

	Longueur libre	Longueur scellée	Coupleur	Tête d'ancrage	Système d'appui
Gaine et tube plastique	possible	su	possible	NA	
Manchons et gaine thermo-rétractables	possible	interdit	possible		
Gaine et tube métalliques	possible	su	possible		
Cire et graisse	possible	interdit	possible	possible	su
Revêtement métallique <sup>a</sup>	interdit			possible	possible
Peinture				possible	possible
Épaisseur sacrificielle				interdit	Possible <sup>b</sup>
Enrobage par uniquement le coulis de scellement	possible	Usité voir paragraphe 6.2.2	possible	su	su
Enrobage de coulis dans une gaine	su	su	su	possible	su
Cachetage en béton	NA			su	su
Capot de protection				Usité voir paragraphe 6.2.4	NA
NA : cela n'existe pas et/ou est impossible su : sans utilité					
<sup>a</sup> galvanisation ou métallisation <sup>b</sup> voir paragraphe 6.4.3					

Tableau 6.3 : produits et dispositions de protection pour tirants précontraints de type T

## Les tirants T ... passifs

	Longueur libre	Longueur scellée	Coupleur	Tête d'ancrage	Système d'appui
Gaine et tube plastique	possible	su	su	NA	
Manchons et gaine thermo-rétractables	possible	su	su		
Gaine et tube métalliques	possibilité	su	su		
Cire et graisse	Possible	interdit	su	possible	su
Revêtement métallique <sup>a</sup>	interdit			possible	possible
Peinture				possible	possible
Epaisseur sacrificielle	Possible <sup>b,c</sup>	Possible <sup>b,c</sup>	Possible <sup>b,c</sup>	Possible <sup>b,c</sup>	Possible <sup>c</sup>
Enrobage par uniquement le coulis de scellement	possible	Usité voir paragraphe 6.2.2	possible	su	su
Enrobage de coulis dans une gaine	su	su	su	possible	su
Cachetage en béton	NA			su	su
Capot de protection				possible	NA
NA : cela n'existe pas et/ou est impossible su : n sans utilité					
<sup>a</sup> galvanisation ou métallisation <sup>b</sup> seulement pour les aciers de limite élastique inférieure ou égale à 500 MPa (interdit au-delà), sauf disposition contraire d'un ATE ou d'une ETE <sup>c</sup> voir paragraphe 6.4.3					

Tableau 6.4 : produits et dispositions de protection pour tirants passifs de type T

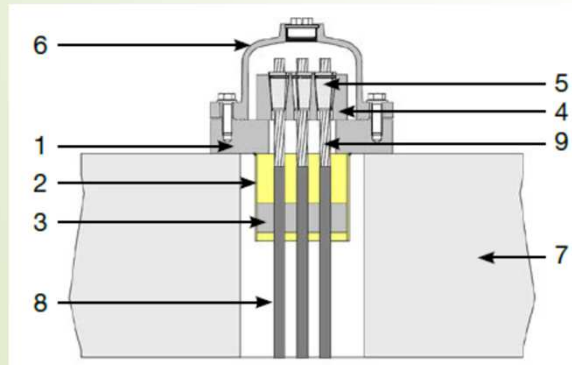
## Les tirants T ... quelques précisions

### 6.2.2 PROTECTION DE LA LONGUEUR DE SCELLEMENT

La distance de l'armature à la paroi de forage n'est pas inférieure à 10 mm en tout point du forage.

L'expérience acquise relative à la faible ouverture des fissures affectant le scellement, conjuguée au pH élevé régnant au voisinage immédiat de l'armature, permet de considérer la protection assurée par le seul coulis de scellement comme suffisante au sens de la norme NF EN 1537, pour autant que les modalités suivantes de mise en œuvre soient respectées :

- Mise en place de l'armature du tirant, équipée de centreurs, dans un forage rempli au préalable (voir paragraphe 7.4.2) de coulis de ciment sur la hauteur du scellement, de façon à garantir la continuité de l'enrobage ; et
- Injection du scellement sous une pression qui n'est pas inférieure à 1 MPa



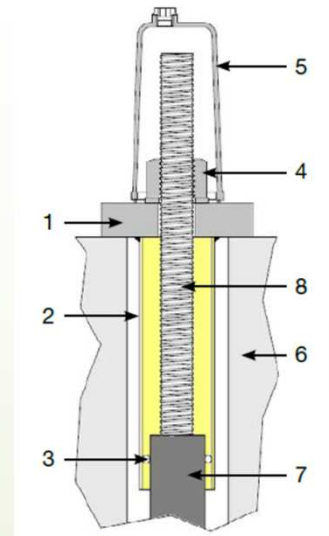
### 6.2.3 PROTECTION DE LA PARTIE LIBRE

Il convient que le système de protection présente de faibles propriétés de frottement et permette le libre déplacement de l'armature dans le forage.

Ceci peut être obtenu avec l'un des systèmes suivants :

- a. Une gaine en plastique entourant chaque armature et cachetée à son extrémité contre les entrées d'eau ;
- b. Une gaine en plastique entourant chaque armature entièrement rempli d'un produit de protection anticorrosion ;
- c. Une gaine ou un tube en plastique ou en acier, commun à toutes les armatures et cachetés à son extrémité contre les entrées d'eau
- d. Une gaine ou un tube en plastique ou en acier, commun à toutes les armatures, entièrement remplis d'un produit anticorrosion

b et c sont appropriés dans le cas d'utilisation en conditions de terrains agressifs



### 6.2.4 PROTECTION DU RACCORDEMENT ENTRE LA PARTIE LIBRE ET LA TÊTE D'ANCRAGE

Cette interface est relative à la partie du tirant correspondant à l'épaisseur du système d'appui.

Le but de la protection de la partie interne de la tête d'ancrage est de chevaucher la protection de la partie libre afin de protéger la courte longueur d'armature située sous le dispositif d'appui et passant au travers de celui-ci.

Cette protection est usuellement obtenue par un tube trompette dont la liaison avec la plaque d'appui reste étanche sous les sollicitations de celle-ci, avec un chevauchement de 30 cm de la protection de la partie libre ou avec un dispositif permettant de garantir la protection de l'armature dans sa partie dénudée.

### 6.2.5 PROTECTION DE LA TÊTE D'ANCRAGE

Lorsque la tête d'ancrage est accessible pour des vérifications, il est recommandé d'équiper la tête d'un capot étanche (sans protection supplémentaire).

Les protections suivantes sont également acceptables :

- Un enduit anticorrosion non fluide ;
- Une combinaison d'un produit anticorrosion et d'une bande imprégnée d'un produit anticorrosion.

Nota : Les figures du TA 2020 présentent des exemples de solutions conformes aux prescriptions de la norme NF EN 1537 (annexe C)

=> Cela permet d'éviter les essais de système de protection in situ ou en labo recommandé par l'article 6.7 et l'annexe A de l'EN 1537

## Les tirants P ... précontraints

	Longueur libre	Longueur scellée	Coupleur	Tête d'ancrage	Système d'appui
Gaine et tube plastique	Possible	possible	possible	NA	
Manchons et gaine thermo-rétractables	Possible	interdit	possible		
Gaine et tube métalliques	Possible	possible	possible		
Cire et graisse	Possible	interdit	possible	possible	su
Revêtement métallique <sup>a</sup>	interdit			possible	possible
Peinture				possible	possible
Epaisseur sacrificielle				interdit	Possible <sup>b</sup>
Enrobage par uniquement le coulis de scellement	interdit	interdit	interdit	su	su
Enrobage de coulis dans une gaine	possible	obligatoire	obligatoire	possible	su
Cachetage en béton	NA			possible	possible
Capot de protection				possible	NA
NA : cela n'existe pas et/ou est impossible su : sans utilité					
<sup>a</sup> galvanisation ou métallisation					
<sup>b</sup> voir paragraphe 6.4.3					

Tableau 6.5 : produits et dispositifs de protection pour tirants précontraints de type P

## Les tirants P ... passifs

	Longueur libre	Longueur scellée	Coupleur	Tête d'ancrage	Système d'appui
Gaine et tube plastique	Possible	possible	possible	NA	
Manchons et gaine thermo-rétractables	Possible	interdit	possible		
Gaine et tube métalliques	Possible	possible	possible		
Cire et graisse	Possible	interdit	possible	possible	su
Revêtement métallique <sup>a</sup>	interdit			possible	possible
Peinture				possible	possible
Épaisseur sacrificielle	interdit <sup>b</sup>	interdit <sup>b</sup>	interdit <sup>b</sup>	interdit <sup>b</sup>	Possible <sup>c</sup>
Enrobage par uniquement le coulis de scellement	interdit	interdit	interdit	su	su
Enrobage de coulis dans une gaine	possible	obligatoire	obligatoire	possible	su
Cachetage en béton	NA			interdit <sup>b</sup>	possible
Capot de protection				possible	NA
NA : cela n'existe pas et/ou est impossible su : sans utilité					
<sup>a</sup> galvanisation ou métallisation					
<sup>b</sup> admis seulement si la traction n'apparaît que sous les sollicitations accidentelles ou sismiques					
<sup>c</sup> voir paragraphe 6.4.3					

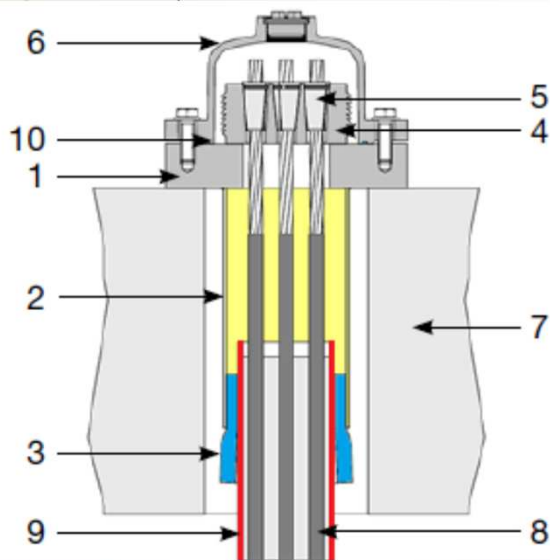
Tableau 6.6 : produits et dispositifs de protection pour tirants passifs de type P

## Les tirants P ... quelques précisions

### 6.3.2 PROTECTION DE LA LONGUEUR DE SCCELLEMENT

L'armature doit être contenue dans une gaine nervurée étanche (voir paragraphe 4.3.1.3). Un enrobage de 5 mm doit être garanti par l'utilisation d'un système de centrage.

Pour les tirants d'ancrage de type tube à manchettes, il convient que l'épaisseur du tube métallique ou du tube en plastique crénelé ne soit pas inférieure à 3 mm avec un enrobage minimal de 20 mm par un coulis injecté sous une pression minimale de 500 kPa.



Légende :

1. Plaquette d'appui
2. Tube trompette (soudé étanche sous la plaque, rempli de produit anticorrosion)
3. Joint de tube trompette (étanche)
4. Bloc d'ancrage (lisse ou retensionnable)
5. Clavette
6. Capot de protection (rempli de produit anticorrosion, fixé sur la plaque d'appui)
7. Appui
8. Gaine de la longueur libre
9. Gaine de protection de l'armature
10. Joint de capot

### 6.3.3 PROTECTION DE LA PARTIE LIBRE

Le système de protection qui doit permettre le libre déplacement de l'armature dans le forage, peut être obtenu par l'un des systèmes suivants :

- Une gaine en plastique entourant chaque élément de l'armature et entièrement remplie d'un produit anticorrosion souple plus l'une des dispositions a, b, c ou d ci-dessous ;
- Une gaine en plastique entourant chaque élément de l'armature et entièrement remplie d'un coulis de ciment, plus les dispositions a ou b ci-dessous ;
- Une gaine en plastique commune à plusieurs éléments de l'armature et entièrement remplie d'un coulis de ciment, plus la disposition b ci-dessous.
  - a. Un tube commun ou une gaine commune en plastique remplis d'un produit de protection anticorrosion souple ;
  - b. Un tube commun ou une gaine commune cachetés à leurs extrémités contre les entrées d'eau ;
  - c. Un tube commun ou une gaine commune en plastique remplis d'un coulis de ciment ;
  - d. Un tube commun en acier rempli d'un coulis de ciment dense.

Pour permettre le libre mouvement de l'armature lors des mises en tension, les gaines, qu'elles soient individuelles ou communes, ne sont pas scellées à l'armature ou ont une surface de contact lubrifiée.

### 6.3.4 PROTECTION DU RACCORDEMENT ENTRE LA PARTIE LIBRE ET LA TÊTE D'ANCRAGE

Il n'existe pas de protection de type P où le tube trompette fasse moins de 30cm.

Il convient d'ajouter une continuité d'étanchéité entre le tube trompette et la gaine d'étanchéité de la partie libre.

### 6.3.5 PROTECTION DE LA TÊTE D'ANCRAGE

Dans tous les cas (bloc d'ancrage accessible et non accessible), le capot est obligatoire (voir figures 6.3 et 6.4).

Il convient que

- Une protection préalable soit appliquée ;
- la tête d'ancrage soit équipée d'un capot métallique (voir note) ou plastique rempli d'un produit anticorrosion.

**Note :** le capot lui-même est justifié vis-à-vis de la corrosion.

S'il y a une cellule de mesure à l'intérieur du capot, il convient de prévoir le passage du câble et un presse-étoupe (pour préserver l'étanchéité).

Ci-contre un exemple de protection P pour les tirants précontraints (équivalente à la protection P2 du TA95) considéré comme satisfaisant les principes de protection des tirants d'ancrage permanents énoncés à l'article 6.3.3 de l'EN1537

=> Idem pour les essais de système

## Épaisseur sacrificielle ... pour les tirants passifs avec armature en « acier ordinaire »

On désigne ici par « aciers ordinaires » les aciers de construction, les aciers pour trempé et revenu (de limite élastique inférieure ou égale à 500 MPa), les aciers d'armature pour béton armé (voir paragraphe 5.1).

On peut déterminer cette réduction à partir du tableau suivant, qui donne la perte d'épaisseur (en mm) à retenir en prenant l'hypothèse la plus défavorable entre la classe de sol et la catégorie d'ambiance (voir paragraphe 6.1.2)

Agressivité	Sols	Ambiance	2 ans	5 ans	25 ans	50 ans	75 ans	100 ans
très élevée	I	C5I et C5M	0,5	0,5	2,0	3,25	4,5	5,75
élevée	II	C4	0,2	0,2	1,0	1,75	2,5	3,25
moyenne	III	C3	0,0	0,15	0,75	1,5	2,25	3,0
faible	IV	C1 et C2	0,0	0,0	0,3	0,6	0,9	1,2

Tableau 6.7 : Perte d'épaisseur (en mm) en fonction de l'agressivité

Dans la partie scellée, une épaisseur sacrificielle est nécessaire si le niveau de protection ne satisfait pas aux critères définis pour les tirants T et P (gaine, enrobage).



**MERCI DE VOTRE ATTENTION !**

