



COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

# TIRANTS D'ANCRAGE TA 2020

**RÈGLES PROFESSIONNELLES**  
relatives à la conception, au calcul, à l'exécution,  
au contrôle et à la surveillance

## **CORRIGENDUM décembre 2020**

### **OBJET :**

Le présent document est destiné à corriger quelques coquilles  
ou améliorer la présentation de certaines figures,  
commentaires qui sont ressortis de la pratique du texte diffusé en février 2020.

## 1. DOMAINE D'APPLICATION

Le présent guide s'applique pleinement aux tirants d'ancrage répondant aux caractéristiques suivantes (commentaire 1) :

- Ils sont constitués d'une armature métallique, en acier ordinaire, en acier pour béton armé, en acier à haute limite élastique, ou en acier de précontrainte (voir note 1 et commentaire 2) ;
- Ils sont scellés dans le terrain traditionnellement par remplissage (« injection gravitaire »), puis par injection (globale et unique, ou répétitive et sélective) (voir commentaires 3 et 4) ;
- Ils comportent une partie libre, parce qu'un dispositif constitue une séparation physique entre le tirant et le terrain encaissant (commentaire 5) ;
- Ils sont précontraints ou non ;
- ils font l'objet d'un essai de réception systématique ;
- Ils ne fonctionnent pas de façon maillée, même si, le cas échéant, on doit tenir compte d'un effet de groupe (voir note 2).

**Commentaire 1** : concernant les tirants à éléments de compression (dans lesquels l'effort est transféré par l'intermédiaire d'une armature non adhérente jusqu'au fond du forage et, de là, jusque dans le terrain par l'intermédiaire d'un élément de compression et du coulis), la plupart des dispositions du présent document sont applicables éventuellement au prix d'un nombre limité d'adaptations, SAUF les clauses relatives au dimensionnement géotechnique qui ne peuvent être utilisées qu'avec des essais préalables.

**Commentaire 2** : d'autres types de tirants sont commercialisés (avec armature en matériaux composite, par exemple). Il est recommandé d'utiliser les clauses de dimensionnement géotechnique (paragraphe 5.3.3 et 5.4.2), d'essai et de surveillance (paragraphe 7.5.6 et 8) pour ces tirants spéciaux. Les dispositions relatives aux restrictions d'emploi, aux modalités d'utilisation, à la protection contre la corrosion et à la durabilité, et au calcul structural doivent être spécifiées par le fournisseur, dans un cahier des charges et/ou sous forme d'ATE ou d'ETE<sup>2</sup>.

**Commentaire 3** : les tirants à scellements étagés ne sont pas décrits dans le présent document. Ils doivent faire l'objet d'un cahier des charges spécifique.

**Commentaire 4** : les tirants d'ancrage qui sont réalisés sans

injection (au sens décrit dans le paragraphe 7.3) ne peuvent être acceptés qu'avec des essais préalables paragraphe 8.3.

**Commentaire 5** : l'annexe K donne des recommandations pour les tirants dont la longueur libre n'est pas matérialisée par une séparation physique.

**Note 1** : les aciers du domaine d'application sont décrits au paragraphe 4.1.2.1

**Note 2** : l'effet de groupe est envisagé au paragraphe 5.3.3.1 ; l'annexe G rappelle la méthode du TA 95 pour des tirants de radier.

L'annexe A fournit quelques exemples d'utilisation.

Ce guide s'applique aussi bien aux scellements dans les sols que dans les terrains rocheux. Pour les terrains rocheux, certaines dispositions du présent document peuvent être adaptées.

**Commentaire** : les adaptations dans le rocher doivent être analysées chantier par chantier ; on peut citer les exemples suivants :

- D'autres phénomènes de rupture (comme ceux liés à des discontinuités du massif rocheux) peuvent être ajoutés ;
- Le fluage des terrains est rarement un sujet pour les roches : le déroulement et l'interprétation des essais à la rupture peuvent être modifiés ;
- Les sollicitations des armatures peuvent être sensiblement différentes de la traction simple et requérir des vérifications supplémentaires ;
- Les questions de stabilité d'ensemble peuvent présenter des traitements différents : la partie libre peut alors être réduite.

Les procédés de clouage, les pieux en traction, les tirants d'ancrage vissés, les ancrages mécaniques, les ancrages à corps-morts, les ancrages à corps expansifs n'entrent pas dans le champ d'application du présent document.

**Commentaire** : il existe différents types d'ouvrages géotechniques qui travaillent en traction : tous ne sont pas des tirants d'ancrage. Le tableau ci-après expose les principales différences pour des ouvrages géotechniques qui travaillent tous principalement en traction et ne sont pas des tirants d'ancrage :

	Caractéristiques notables	Norme d'exécution <sup>a</sup>	Norme de justification <sup>a</sup>
<b>Pieu en traction</b>	Interaction sol-structure sur toute sa hauteur	NF EN 12699 ou NF EN 1536 ou NF EN 14199	NF P 94-262
<b>Ancrage par corps mort</b>	Le corps mort est généralement un ouvrage géotechnique	Variable selon l'ouvrage géotechnique	
	L'armature est une structure métallique		NF EN 1993-5
<b>Clous et massifs en sol renforcés</b>	Conception en renforcement de sol	NF EN 14490 ou NF EN 14475	NF P 94 270
<b>Clous au rocher et boulons</b>	Le terrain concerné par l'ouvrage relève de la Mécanique des Roches		NF EN 1997-1 <sup>b</sup>
<sup>a</sup> Seule la norme jugée la plus représentative est donnée en exemple <sup>b</sup> La version de 2004 donne peu d'indications sur la Mécanique des Roches			

Tableau 1.1 : liste des ouvrages géotechniques travaillant en traction

<sup>2</sup> les abréviations sont explicitées en 3.2.2

### 3.2.4 LETTRES LATINES

$A_s$	section d'acier (à fond de filet le cas échéant), éventuellement minorée d'une épaisseur sacrificielle.
$E$	module d'élasticité longitudinale de l'armature
$E_d$	valeur de calcul de l'effet des actions à l'ELU à laquelle le tirant doit résister (STR ou GEO)
$f_{p0,1;k}$	valeur caractéristique de la limite élastique conventionnelle à 0.1%, d'un acier de précontrainte
	<b>Note</b> : la NF EN ISO 22477-5 utilise la notation $f_{t0,1;k}$
$f_{t;k}$	valeur caractéristique de la résistance à la rupture de l'acier
	<b>Note</b> : la norme NF EN 1993-5 utilise la notation $f_{u;a}$ ; la norme NF EN ISO 22477-5 utilise la notation $f_{u;k}$ et la norme NF EN 1992 utilise la notation $f_{p;k}$
$f_{y;k}$	valeur caractéristique de la limite élastique d'un acier de construction ou pour trempe et revenu, et conventionnelle à 0.2% d'un acier pour béton armé
	<b>Note</b> : la NF EN ISO 22477-5 utilise la notation $f_{t0,2;k}$
$F_d$	valeur de calcul de la force nécessaire pour éviter tout état limite ultime dans la structure supportée
$F_k$	valeur caractéristique de la force maximale de l'ancrage, incluant l'effet de la charge de blocage et suffisante pour éviter un ELS dans la structure supportée ; c'est donc la valeur de calcul de la traction appliquée au tirant en condition de service (voir figure 5.1)
$L_e$	longueur de la partie du tirant comprise entre le point d'application de l'effort et la base de la tête d'ancrage (voir figure 7.12)
$L_L$	longueur libre théorique du tirant (mesurée depuis la face externe du dispositif d'appui) (voir figure 7.12)
$L_S$	longueur théorique du scellement (voir figure 7.12).
$n$	nombre minimal d'essais à la rupture et de contrôle pour satisfaire à NF EN 1997-1/A1 8.5.2 (1)
$N$	nombre minimal d'essais à la rupture pour une série de tirants répondant simultanément à des conditions de sol et de technologie d'exécution similaires (v).
$P_0$	traction de (fin de) blocage, traction résiduelle (généralement estimée) présente dans l'armature au niveau de la tête d'ancrage immédiatement après l'opération de mise en tension (voir figure 5.1)
$P_a$	traction de première lecture ou traction de référence : effort de traction préparatoire à un essai.
$P_b$	traction de (début de) blocage, traction mesurée à laquelle le tirant est soumis au moment du blocage lors de la mise en service du tirant (voir figure 5.1)
$P_i$	traction initiale (qu'on appelle aussi précontrainte) minimale définie par le calcul, qui doit exister dans le tirant pour assurer la stabilité de l'ouvrage dans les phases de sa construction et/ou de service (voir figure 5.1)
$P_p$	traction d'épreuve, traction maximale à laquelle un tirant est soumis au cours d'un essai (voir un exemple sur la figure 5.1)
$R_{cr;d}$	valeur de calcul de la résistance critique de fluage du scellement
$R_d$	valeur de calcul de la résistance à l'arrachement du scellement
$R_{ELS;m}$	valeur mesurée de la résistance critique de fluage du scellement, résultant d'essai à la rupture de tirants d'ancrage

**Note** :  $(R_{ELS;m})_{\min}$  est la valeur minimale de  $R_{ELS;m}$  constatée lors d'une série d'essais

$R_{ELU;m}$  valeur mesurée de la résistance à l'arrachement d'un scellement, résultant d'essai à la rupture de tirants d'ancrage

**Note :**  $(R_{ELU;m})_{\min}$  est la valeur minimale de  $R_{ELU;m}$  constatée lors d'une série d'essais

$R_k$  valeur caractéristique de la résistance d'un scellement à l'état limite ultime

$R_{\max}$  résistance conventionnelle limite de l'armature

**Commentaire :** c'est la valeur maximale de la traction dans l'armature lors d'un essai ; c'est une limitation de  $P_p$

$R_{t;d}$  valeur de calcul à l'état limite ultime de la résistance à la traction de l'armature du tirant

$t_0$  temps à partir duquel la traction d'épreuve est déclarée atteinte (début du palier d'épreuve)

Catégorie d'armature	Référentiel	Désignation courante	Caractéristique retenue	Critère d'acceptation
Acier de précontrainte	ASQPE n°CSP AP Rc1 <sup>a</sup>	Toron	$f_{p;0,1,k} \geq 1670$ MPa $f_{t;k} \geq 1860$ MPa <sup>b</sup>	Toron certifié ASQPE <sup>f</sup>
		Barre (de précontrainte)	$f_{p;0,1,k} \geq 800$ MPa	Barre certifiée ASQPE <sup>f</sup>
Acier soudable pour béton armé	NF EN 10080	Barre vissable toute longueur laminée à chaud	$f_{y;k}$ compris entre 400 et 500 MPa <sup>c</sup>	Certificat <sup>g</sup> et programme d'essais avec leurs tête d'ancrage (voir paragraphe 4.1.3) et coupleurs (voir paragraphe 4.1.4) <sup>h</sup>
		Acier HA pour béton armé <sup>d</sup>		
Acier de construction	NF EN 10025	Barre vissable toute longueur laminée à chaud	$f_{y;k}$ compris entre 500 et 800 MPa	
		Autres aciers	$f_{y;k} \leq 460$ MPa	
		Aciers HLE	$f_{y;k} \geq 460$ MPa	
Acier pour trempé et revenu	NF EN 10083	Barre creuse fileté par roulage à froid	$f_{y;k} \leq 700$ MPa <sup>e</sup>	

<sup>a</sup> dans l'attente de la norme NF EN 10138 (en France, l'ISO 6934 n'est pas applicable).  
<sup>b</sup> la norme prEN 10138 cite aussi les aciers 1570/1770 qui ne sont pratiquement plus utilisés.  
<sup>c</sup> la valeur maximale peut être portée à 600 MPa en cas de protection contre la corrosion (ce qui est réputé conforme à la norme NF EN 1992-1-1 NA 3.2.2 (3)).  
<sup>d</sup> filetage réalisé par roulage à froid.  
<sup>e</sup> la norme NF EN 10083 envisage des résistances supérieures ; en l'état des connaissances, il est recommandé de ne les utiliser qu'au travers d'un ATE ou d'une ETE, ou après programme d'essais.  
<sup>f</sup> c'est-à-dire avoir fait l'objet d'une attestation de conformité aux spécifications techniques ASQPE pour les armatures de précontrainte.  
<sup>g</sup> certificat matière 3.1 au sens de la norme NF EN 10204.  
<sup>h</sup> le programme d'essai :

- concerne le système d'ancrage dans son ensemble,
- comporte les essais décrits dans l'annexe D,
- fait l'objet d'un rapport validé par un laboratoire agréé.

Tableau 4.1 : aciers utilisables dans les tirants d'ancrage

### 5.1.1 PRINCIPES GÉNÉRAUX

Il est rappelé que l'étude de l'ouvrage doit précéder l'étude des tirants proprement dits. Il est souhaitable en outre que des essais préalables précèdent l'étude des tirants.

Les tirants provisoires ont des règles de justification différentes des tirants permanents.

L'étude des tirants (par exemple dans le cadre d'une mission de conception de la norme NF P 94 500) doit tenir compte des résultats de la campagne de reconnaissance géologique et géotechnique et des essais sur tirants disponibles. Cette étude peut aussi s'appuyer sur la connaissance du terrain, résultant de réalisations antérieures.

En outre, dans les terrains cohérents susceptibles de fluer dont le comportement, à terme, est mal connu malgré les nombreux essais réalisés depuis la première édition des Recommandations TA, il est indispensable d'effectuer des essais à la rupture dès le stade de la conception (« essais préalables »).

**Note** : les terrains cohérents susceptibles de fluer sont ceux dont l'indice de plasticité  $I_p$  est supérieur ou égal à 20, notamment : les argiles, les limons, les argiles marneuses et certaines marnes (dont la teneur en  $\text{CaCO}_3$  est inférieure à 30%).

L'attention est attirée sur le fait que, dans tous les cas, il convient de respecter les différentes étapes et phases de la norme NF P 94 500.

	En acier de précontrainte	En acier de béton armé	En acier de construction	En acier pour trempé et revenu
<b>Tirant permanent</b>	$0.6 f_{p0,1;k}$	$0.65 f_{y;k}$	$0.75 f_{y;k}$	$0.75 f_{y;k}^a$
<b>Tirant provisoire</b>	$0.75 f_{p0,1;k}$	$0.75 f_{y;k}$		
<sup>a</sup> : sous réserve de prouver la protection de la partie scellée en cas de tirant précontraint				

Tableau 5.1 : taux de travail des aciers

### 5.3.2.2 CAS DE L'ARMATURE EN ACIER DE PRÉCONTRAINT

La valeur de calcul de la résistance à la traction de l'armature  $R_{t;d}$  en acier de précontrainte est déterminée à partir de la formule suivante :

$$R_{t;d} = f_{p0,1;k} \cdot A_s / \gamma_s$$

**Note** : en situations de projet durables et transitoires  $\gamma_s = 1,15$

### 5.3.2.6 RÉSISTANCE CONVENTIONNELLE LIMITE

La résistance conventionnelle limite  $R_{max}$  est déterminée comme la plus petite des valeurs entre 95% de la traction « élastique maximale » et 80% de la traction « à la rupture »

- pour un acier de précontrainte  $R_{max} = A_s \cdot \text{MIN} (0,95 \cdot f_{p0,1;k} ; 0,8 \cdot f_{t;k})$
- pour un acier de béton armé  $R_{max} = A_s \cdot \text{MIN} (0,95 \cdot f_{y;k} ; 0,8 \cdot f_{t;k})$
- pour un acier de construction ou un acier pour trempé et revenu  $R_{max} = \text{MIN} (0,95 \cdot R_{t;d} ; 0,8 \cdot f_{t;k} \cdot A_s)$

**Commentaire** : cette grandeur intervient comme une limite imposée pour la charge d'essai  $P_p : P_p \leq R_{max}$

### 5.3.3.1 LIMITES DE LA MÉTHODE

La justification du tirant décrite dans ce paragraphe est basée sur l'hypothèse que le tirant est isolé.

On rappelle que la justification GEO doit également traiter la stabilité du massif de sol qui n'est pas développée ici (on peut se reporter aux annexes F et G).

**Note** : un tirant est considéré comme isolé lorsque la plus courte distance entre sa partie scellée et celle de son voisin est supérieure à 1.5 m (d'axe à axe) pour des diamètres de forage inférieurs à 200 mm.

Il est recommandé de privilégier les solutions qui éloignent les longueurs de scellement des tirants les unes des autres.

**Note** : par exemple, on peut incliner différemment les forages ou les azimuter pour écarter les zones de scellement. Une autre option consiste à définir des longueurs libres différentes.

Ces dispositions ne dispensent pas de garder un œil critique vis-à-vis d'un éventuel effet de groupe.

**Note** : la norme NF P 94 262 expose dans son paragraphe 10.3 une méthode de prise en compte de l'effet de groupe ; l'annexe G rappelle la méthode du TA 95 pour des tirants sous un radier.

	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	possible	su	su		
Cire et graisse	Possible	interdit	su	possible	su
Revêtement métallique <sup>a</sup>	interdit			possible	possible
Peinture				possible	possible
Épaisseur 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 : 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

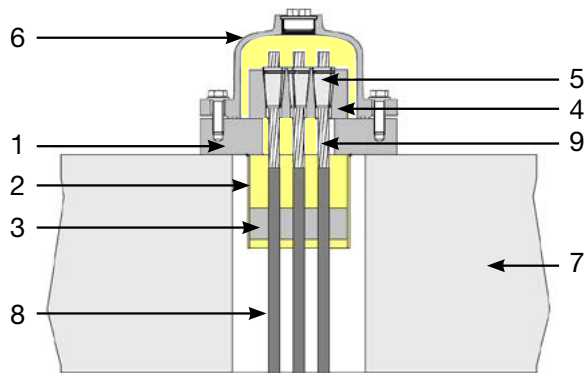


Figure 6.1 : exemple de protection de type T pour tirant à torons  
(exemple d'un appui coulé en place)

Légende :

1. Plaque d'appui
2. Tube trompette (soudé étanche sous la plaque, rempli de produit anticorrosion)
3. Barrière facultative
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. Toron nu

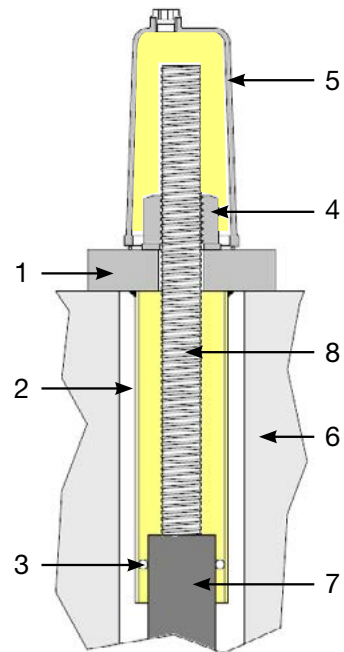
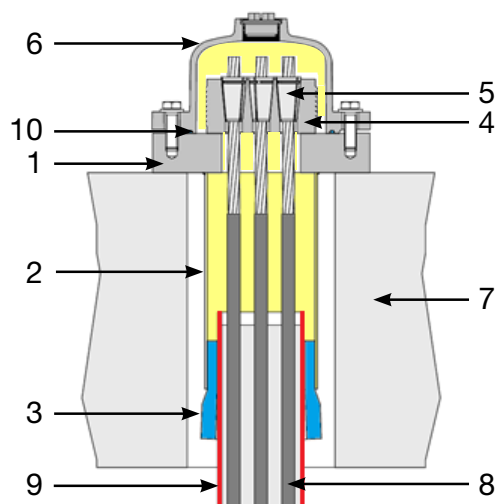


Figure 6.2 : exemple de protection de type T pour tirant à barre  
(exemple d'un appui coulé en place)

Légende :

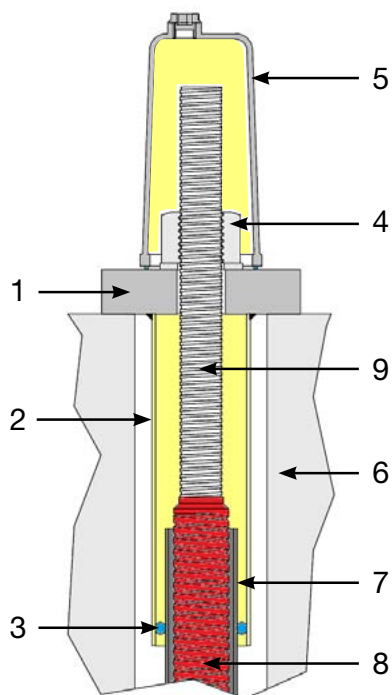
1. Plaque d'appui
2. Tube trompette (soudé étanche sous la plaque, rempli de produit anticorrosion)
3. Barrière facultative
4. Ecrou
5. Capot de protection (rempli de produit anticorrosion, fixé sur la plaque d'appui)
6. Appui
7. Gaine de la longueur libre
8. Barre nue



Légende :

1. Plaque 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 retensionable)
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

Figure 6.3 : exemple de protection de type P pour tirant à torons (exemple d'un appui coulé en place)



Légende :

1. Plaque d'appui
2. Tube trompette (soudé étanche sous la plaque, rempli de produit anticorrosion)
3. Joint de tube trompette (étanche)
4. Ecrou
5. Capot de protection (rempli de produit anticorrosion, fixé sur la plaque d'appui)
6. Appui
7. Gaine de la longueur libre
8. Gaine de protection de l'armature
9. Barre nue

Figure 6.4 : exemple de protection de type P pour tirant à barre (exemple d'un appui coulé en place)





CHANTIER BLANC MESNIL - LA MOREE

Date de mise en tension 18/03/2009

Tirant N° T06

Numéro 3883  
Opérateur : .....  
Pour tirants N° : 0

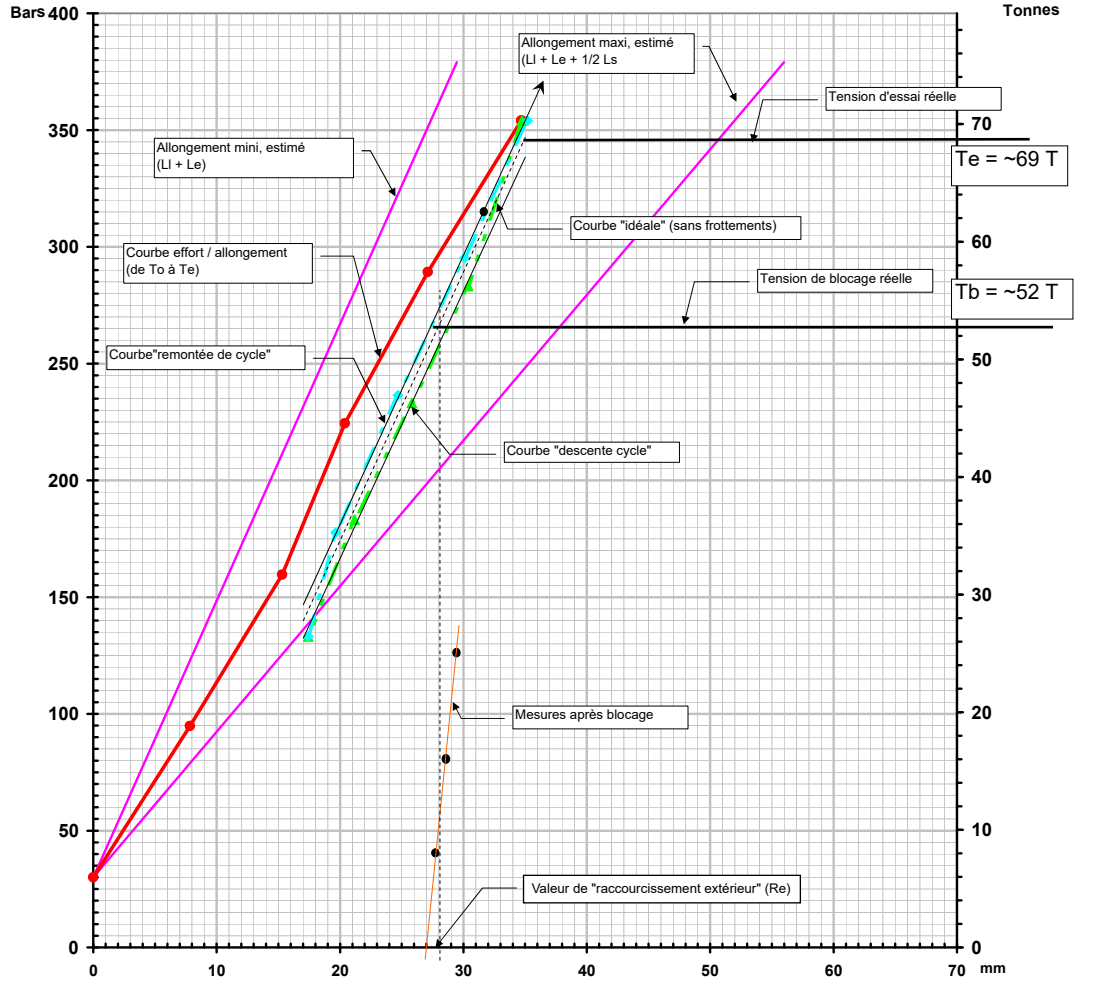
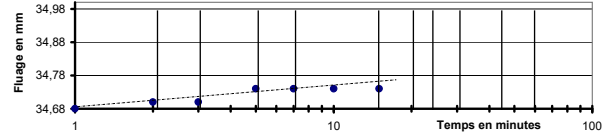
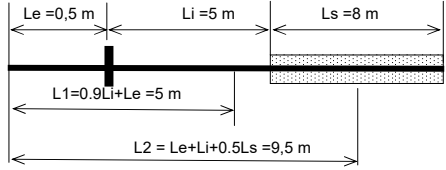
Tension d'essai.....: 68 Tonnes  
Tension de service.....: 54 Tonnes  
Tension initiale.....: 50 Tonnes

Armature  
4 T15,7

Vérin type : TENSA M4 Section: 194,78 cm<sup>2</sup> Fluage maximum: d(15' - 3') = 1,5 mm Blocage

	30	95	160	224	289	354	354	283	233	183	133	178	236	295	354	0	mors	30	315	125	80	40
Pression	0,00	7,84	15,31	20,40	27,12	34,68	34,70	34,74	30,39	25,83	21,18	17,43	19,64	24,68	30,08	35,20		en	154,00	150,00	148,00	146,00
Allongement	0,00	7,84	15,31	20,40	27,12	34,68	34,70	34,74	30,39	25,83	21,18	17,43	19,64	24,68	30,08	35,20	place	0,00	-4,00	-6,00	-8,00	

Temps	1	2	3	5	7	10	15	20	25	30	45	60
Fluage	34,68	34,70	34,70	34,74	34,74	34,74	34,74					



Tension ( t ) = 0,1986 x Pression ( b )      Re = 2,1 mm      Bloc filté : OUI      Cale ; OUI      N° .....  
22/01/2010      NON      NON      Charge .....

Photo 7.18 : exemple de fiche de mise en tension (© Soletanche Bachy)

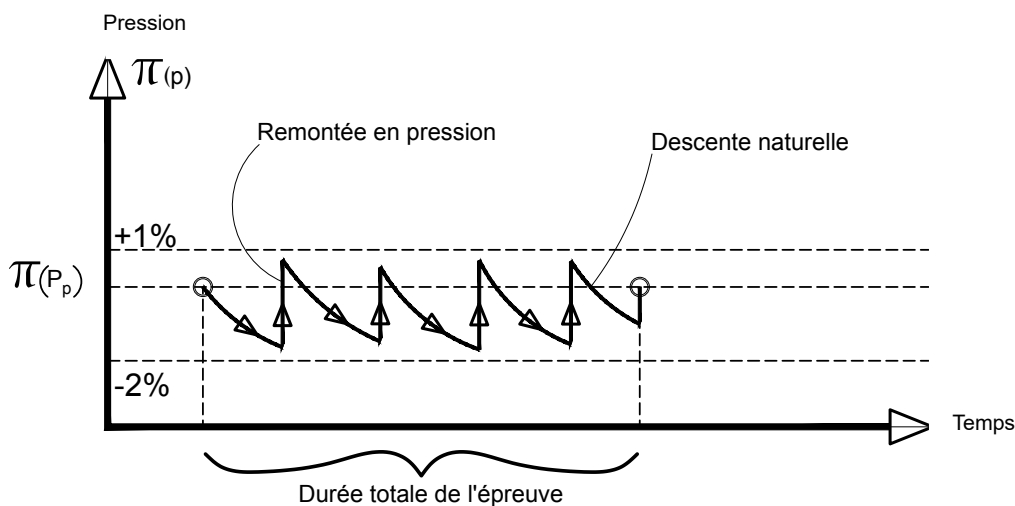


Figure 7.8 : détail du maintien de la traction d'épreuve lors d'un essai de réception

#### 7.4.7.1 CRITÈRES DE RÉCEPTION-PRINCIPES

Pour qu'un tirant soit accepté, il faut vérifier que le tracé de la courbe pressions/déplacements lors de la montée en pression et le déplacement du scellement en cours d'épreuve sont satisfaisants.

**Note** : il est rappelé que le déplacement de la tête d'ancrage cumule plusieurs phénomènes : l'allongement élastique de l'armature et le déplacement mesuré éventuel du scellement.

Il peut être intéressant de calculer la longueur libre équivalente mais le calcul ne constitue pas un critère de réception.

**Commentaire 1** : le déplacement du scellement est supposé être celui du repère lié à l'armature, éventuellement diminué de l'allongement dû au fluage de l'acier, d'autant plus important que la contrainte sollicitant celui-ci et la longueur libre du tirant sont grandes.

**Commentaire 2** : il convient toujours de procéder systématiquement à ces mesures de déplacements afin de détecter les tirants au comportement anormal. Ces anomalies peuvent provenir :

- d'une hétérogénéité du sol, et aussi,
- de l'exécution défectueuse du tirant.

##### 7.4.7.3.1 CAS GÉNÉRAL

Le critère de réception est réputé satisfait si la valeur de  $\alpha$  est inférieure à 1,5.

Généralement, il est nécessaire d'avoir un palier de 30 minutes (voir note) ; Les valeurs de  $t_a$  et  $t_b$  pour l'évaluation de  $\alpha$  sont respectivement de 5 et 30 min.

**Note** : la norme NF EN ISO 22477-5 envisage des paliers de 15 minutes, mais cette durée de palier est rarement suffisante pour des terrains susceptibles de fluier.

Si ce critère n'est pas satisfait sur 30 minutes, le palier est poursuivi jusqu'à 60 minutes ; dans ce cas, on recalcule  $\alpha$  mais avec  $t_a$  et  $t_b$  respectivement à 30 et 60 min (le critère reste  $\alpha \leq 1,5$ ).

#### 7.4.8.4 DÉTERMINATION DE LA TRACTION DE FIN DE BLOCAGE

Une construction géométrique simple permet de déterminer la traction de fin de blocage  $P_0$  à partir du diagramme de détente (voir figure 7.11).

1. Sur la verticale du point  $M'_p$  et en dessous de ce point, on marque un point  $X'$  tel que :  $M'_p X' = \Psi_p = \Pi(\psi_p)/S$  (voir note 1)
2. Par ce point  $X'$ , on trace la droite  $X'Y'$  de pente :  $E/(L_e + L_L)$  (voir note 2)
3. Sur l'axe des déplacements, on marque le point  $S'$  à droite du point  $S$  tel que :  $SS' = (L_e \cdot F_k) / (E \cdot A_s)$  (voir note 3)
4. Par ce point  $S'$ , on trace une droite  $S'S''$  parallèle à l'axe des pressions
5. L'intersection des droites  $X'Y'$  et  $S'S''$  donne un point  $R$  dont l'ordonnée est égale à la pression utile dans le vérin (frottements déduits)  $\Pi(P_0)$

**Note 1** :  $\psi_p$  désigne les frottements (voir paragraphe 5.2.2.2) correspondants à  $P_p$ .

**Note 2** : Si le repère servant aux mesures des déplacements est choisi sur le tirant entre la structure et les mors du vérin, la longueur extérieure  $L_e$  est comptée entre la plaque d'appui et le repère. Dans le cas contraire, la longueur extérieure  $L_e$  est comptée entre la plaque d'appui et les mors du vérin (cas de la figure 7.12).

**Note 3** :  $SS'$  représente l'allongement théorique, sous la traction  $F_k$  prévue, d'un élément de tirant de longueur  $L_e$ , dont l'armature a une section  $A_s$  et un module d'élasticité apparent  $E$ .

#### 8.4.5 MODE OPÉRATOIRE

L'essai de conformité est d'abord conçu pour valider une conception fondée sur des essais préalables ou un pré-dimensionnement déduit d'abaques (voir paragraphe 5.3.3.3) et pour une traction d'épreuve  $P_p \geq R_k$

**Note** :  $P_p$  est compris usuellement entre  $R_k$  et  $1,5 \cdot R_k$

Chaque fois que cela est possible l'essai doit être poursuivi jusqu'à la rupture du scellement.

**Commentaire** : cela signifie que l'on retient la section d'armature maximale compatible avec les clauses du paragraphe 8.2.2, quelle que soit la valeur de  $P_p$  (sous réserve que  $R_{max} > P_p$ ).

**Note** : il est rappelé que les tirants destinés aux essais de conformité ne peuvent, en aucun cas, être réutilisés.

## 9.6 ESSAIS

En dépit du sérieux avec lequel l'étude géotechnique est conduite, des incertitudes affectent la connaissance des terrains dans lesquels les tirants d'ancrage sont implantés.

À ces incertitudes s'ajoutent celles imputables à la technologie même des tirants (voir paragraphe 9.3, ci-avant). Il importe donc que les Maîtres d'Ouvrage veillent à faire exécuter les essais de traction prévus par le présent guide.

**Note** : on rappelle en particulier l'utilité de faire réaliser en phase de conception, aussitôt que possible, un plot d'essais préalables.

L'application des méthodes de pré-dimensionnement (voir note) explicitées dans l'annexe H ne dispense, en aucun cas, l'entreprise des essais de traction prévus dans le présent guide.

**Note** : ces méthodes de pré-dimensionnement sont notamment très utiles pour apprécier rapidement le bien-fondé d'un avant-projet sommaire.

## ANNEXE B - COMPARAISON DES ESSAIS SELON LES RÉFÉRENTIELS

Le tableau B.1 ci-après indique en gras la dénomination recommandée par le Groupe de Travail

	Essai à la rupture sur des tirants d'essai (1)		Essai sur des tirants d'ouvrage (2)	
<b>TA 95 et présent guide</b>	<b>Essai préalable</b>	<b>Essai de conformité</b>	<b>Essai de contrôle</b>	<b>Essai de réception (3)</b>
NF EN 1537	Essai préalable		Essai de contrôle	Essai de réception
NF EN 1997-1 : 2005	Essai préalable		Essai de contrôle	Essai de réception
NF EN 1997-1/A1 : 2014	Essai préalable	Essai de contrôle (4)		Essai de réception
NF EN 1997-1-NA : 2018	<b>Essai préalable</b>	<b>Essai de conformité</b>	<b>Essai de contrôle</b>	<b>Essai de réception</b>
NF P 94-282	Essai préalable		Essai de contrôle	(5)
NF P 94-153	Essai à la rupture		Essai de contrôle	(5)
NF EN ISO 22477-5	Essai à la rupture		Essai de contrôle	Essai de réception

Tableau B.1 : comparaison des essais selon certains référentiels

1. Le présent guide retient la dénomination « tirant d'essai » (voir paragraphe 3.1.1.7).
2. Le présent guide retient la dénomination « tirant d'ouvrage » (voir paragraphe 3.1.1.6).
3. Pour les tirants, l'essai de réception est systématique et il n'y a pas lieu d'envisager un essai de réception statistique (qui peut exister pour d'autres ouvrages géotechniques).
4. La clause 8.5.2 (1)P introduit « l'essai de contrôle » qui doit mesurer la résistance d'un ancrage à l'état limite ultime, ce qui constitue en fait un contrôle de dimensionnement, c'est-à-dire que c'est un essai de conformité.
5. Concept non décrit.

Caractéristique chimique	Méthode d'essai de référence	XA1	XA2	XA3
<b>Eaux de surfaces et souterraines</b>				
SO <sup>2-</sup> <sub>4</sub> en mg/l	EN 196-2	> 200 et < 600	> 600 et < 3000	> 3000 et < 6000
pH	ISO 4316	< 6,5 et > 5,5	< 5,5 et > 4,5	< 4,5 et > 4,0
CO <sub>2</sub> agressif, en mg/l	prEN 13577:1999	> 15 et < 40	> 40 et < 100	> 100 jusqu'à saturation
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , en mg/l	ISO 7150-1 ou 7150-2	> 15 et < 30	> 30 et < 160	> 60 et < 100
Mg <sup>2+</sup> , en mg/l	ISO 7980	> 300 et < 1000	> 1000 et < 3000	> 3000 jusqu'à saturation
<b>Sol</b>				
SO <sup>2-</sup> <sub>4</sub> en mg/kg <sup>a)</sup> total	EN 196-2 <sup>b)</sup>	> 2000 et < 3000 <sup>c)</sup>	< 3000 <sup>c)</sup> et < 12000	> 12000 et < 24000
Acidité ml/kg	DIN 4030-2	> 200 Baumann Gully	N'est pas rencontré dans la pratique	
<p>a) Les sols argileux dont la perméabilité est inférieure à 10<sup>-5</sup> m/s peuvent être classés dans une classe inférieure.</p> <p>b) La méthode d'essai prescrit l'extraction du SO<sup>2-</sup><sub>4</sub> à l'acide chlorhydrique ; alternativement il est possible de procéder à cette extraction à l'eau si c'est l'usage sur le lieu d'utilisation du béton.</p> <p>c) La limite doit être ramenée de 3000 mg/kg, en cas de risque d'accumulation d'ions sulfate dans le béton due à l'alternance de périodes sèches et de périodes humides, ou par remontée capillaire.</p>				

Tableau E2 : valeurs limites pour les classes d'exposition correspondant aux attaques chimiques des sols naturels et eaux souterraines

### G.3.1 FORME RÉELLE

Le volume réellement associé à un tirant a sans doute une forme grossièrement cylindrique, terminée dans la zone de scellement par un volume conique dont le sommet se situe à l'extrémité basse du scellement (voir figure G.1 a).

Dans des sols dont le frottement interne gouverne principalement le comportement, on substitue au volume figuré ci-dessus un volume conique de demi-angle au sommet  $\beta$  (voir figure G.1 b).

Et, lorsque ces sols sont surmontés d'un sol purement frottant mais ayant un fort contraste de résistance avec celui du dessous, le volume associé dans ces formations est réduit à un cylindre prenant appui sur la base du cône (voir figure G.1 c).

Dans des sols dont la cohésion gouverne principalement le comportement, on substitue au volume figuré en G.1 un volume cylindrique qui se raccorde à la mi-hauteur du scellement ( $r = L_s / 2$ ) à un volume conique de 45° de demi-angle au sommet (voir figure G.2).

**Commentaire :** le volume d'influence est un procédé de calcul et ne correspond pas physiquement au volume de terrain déplacé au moment de l'arrachage d'un tirant.

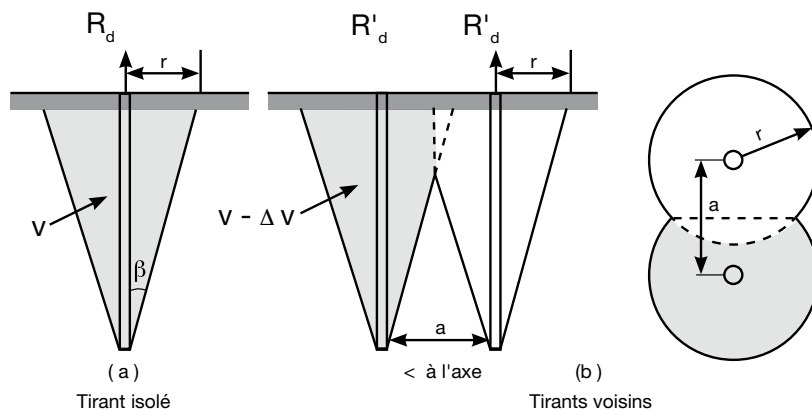


Figure G.6 : réduction du volume d'influence (cas du cône)

## H.2 CONDITIONS D'UTILISATION DES ABAQUES

Les abaques résultent de l'exploitation d'une base de données (Bulletin de liaison du LCPC n°140 de nov-déc 1985) dont les préalables sont les conditions d'exécution ci-après :

- l'utilisation d'un matériel adapté (tubes à manchettes, obturateurs, pompes d'injection, etc.) ayant fait l'objet de contrôles conduisant à l'élaboration de rapports ;
- le suivi par des enregistrements en continu des différents paramètres de forage et d'injection.
- le bon fonctionnement des différents appareils et l'enregistrement en continu des différents paramètres de forage qui sont essentiels pour satisfaire les exigences précisées dans le tableau H.1 notamment en termes de pression d'injection.

**Note** : un fonctionnement inadapté des différents appareils nécessite des justifications qui, si elles ne sont pas produites, peuvent conduire à remettre en question le pré-dimensionnement du tirant.

**Commentaire** : par rapport à l'époque de rédaction des documents cités, les normes régissant les reconnaissances SPT (voir note) et CPT ont évolué ; ceci a conduit à recaler les axes des abscisses mais il n'y a eu ni enrichissement de la base de données, ni réinterprétation de cette base d'essais.

**Note** : le calage des SPT n'a été effectué que pour les sables et graviers, puisque l'Eurocode 7 (NF EN 1997-2 § 4.6) ne cite le SPT que pour les sols grenus pulvérulents.

Les abaques ne sont fournis que pour des tirants dits IGU et IRS selon les définitions suivantes :

- Dans tous les cas, le forage est équipé d'armatures et d'un système d'injection qui est un tube à manchettes mis en place dans un coulis de gaine. Si l'armature est un tube métallique, ce tube peut être équipé de manchettes et tenir lieu de système d'injection.
- Après prise du coulis de gaine et claquage du coulis de gaine,
  - soit, l'injection est faite de manière globale et unitaire (IGU) à une pression d'injection supérieure ou égale à la moitié de la pression limite du sol mais au moins égale à 1 MPa.<sup>3</sup>
  - soit, on procède à l'injection à l'obturateur simple ou double d'un coulis ou mortier de scellement manchette par manchette à une pression d'injection supérieure ou égale à la pression limite du sol sans toutefois dépasser 4 MPa. L'injection est répétitive et sélective (IRS).
- au sens de la norme NF EN 1537, les deux types sont obtenus par une injection répétitive (voir note 1) via un tube à manchettes ou de tubes post-injection :
  - IGU en une seule passe et/ou en plusieurs étapes et une seule phase,
  - IRS en plusieurs étapes et plusieurs phases (voir note 2).

**Note 1** : les étapes d'injection sous pression répétée ne sont comptées qu'après durcissement du coulis préalablement mis en place (coulis de gaine).

**Note 2** : sous réserve d'obtention de la pression minimale fixée par le Marché lors de l'injection sous pression. L'IRS peut être validée après une unique étape d'injection sous pression.

**Note 3** : les abaques NE SONT PAS APPROPRIÉS pour les tirants sans injection sous pression.

<sup>3</sup> Cette définition historique de l'IGU est différente de celle utilisée en 7.3.3.2 qui reflète la pratique depuis le TA86

Sols	Coefficient $\alpha_s$		Conditions indicatives d'application
	IRS (1)	IGU (1)	Quantité usuelle de coulis (2) à injecter $V_i$ (3)
Graves	1,8	1,3 à 1,4	1,5 $V_s$
Graves sableuses	1,6 à 1,8	1,2 à 1,4	1,5 $V_s$
Sables graveleux	1,5 à 1,6	1,2 à 1,3	1,5 $V_s$
Sables grossiers	1,4 à 1,5	1,1 à 1,2	1,5 $V_s$
Sables moyens			1,5 $V_s$
Sables fins			1,5 $V_s$
Sables limoneux			1,5 à 2 $V_s$ pour IRS -1,5 $V_s$ pour IGU
Limons	1,4 à 1,6	1,1 à 1,2	2 $V_s$ pour IRS -1,5 $V_s$ pour IGU
Argiles	1,8 à 2,0	1,2	2,5 à 3 $V_s$ pour IRS -1,5 à 2 $V_s$ pour IGU
Marnes	1,8	1,1 à 1,2	1,5 à 2 $V_s$ pour couche compacte
Marnocalcaires			2 à 6 $V_s$ ou plus si couche fracturée
Craie altérée ou fragmentée			1,1 à 1,5 $V_s$ si couche finement fracturée
Rocher altéré ou fragmenté	1,2	1,1	2 $V_s$ ou plus si couche fracturée

(1) selon les définitions précisées ci-avant.

(2) le dosage du coulis correspond à un E/C compris entre 0.4 et 0.6.

(3)  $V_s$  est le volume du bulbe de scellement associé à  $\alpha_s \emptyset$ , où  $\emptyset$  est le diamètre de forage.  
 $V_i$  comprend le volume du coulis de gaine additionné de celui post-injecté.

Tableau H.1 : caractéristiques de volume injecté et de pression d'injection associées aux abaques

## J.1 PRÉAMBULE

La procédure décrite ici est conforme à la norme NF EN ISO 22477-5.

### J.4.1 COLLECTE DES DONNÉES

Le programme de chargement est représenté sur la figure J.1.

Les incréments pour les paliers de chargement sont donnés dans le tableau J.1 ci-après :

Paliers	Réf. (1)	1	2	3	4	5	6	7	8
Traction	$P_a$	$0,25.P_p$	$0,40.P_p$	$0,50.P_p$	$0,60.P_p$	$0,70.P_p$	$0,80.P_p$	$0,90.P_p$	$P_p$
Durée (en min)	0	60 (2)	60 (2)	60	60	60	60	60	60

(1) la traction  $P_a$  correspondant à la première lecture est fixée conventionnellement à une valeur voisine du dixième de la traction d'épreuve, sans toutefois correspondre à une traction inférieure à 50 kN.

(2) le raccourcissement à 30 minutes des premiers paliers n'est envisageable que si le déplacement de la tête de l'armature est inférieur ou égal à 0,03 mm entre 15 et 30 min, ce qui correspond à  $\alpha$  égal à 0,1 mm.

Tableau J.1: programme de chargement d'un essai à la rupture

**Commentaire 1** : lorsque la rupture du scellement n'est pas observée sur la durée de l'essai, il est recommandé de poursuivre le chargement au-delà de  $P_p$ , avec des paliers d'incrément  $10\% \times P_p$  par exemple, sous réserve que la traction reste inférieure ou égale à  $R_{max}$ .

**Commentaire 2** : l'essai peut s'arrêter avant le dernier palier si

- La valeur de  $\Delta l_{es}$  (telle que définie en I.5.2) est atteinte, ou
- La pente  $\alpha$  dépasse la valeur de  $\alpha_3$  (dernière note de l'AN2 de NF EN 1997-1/NA)

**Note 1** : on rappelle que  $\alpha_3$ , valeur limite de  $\alpha$  selon la méthode d'essai 3 de la norme NF EN ISO 22477-5, vaut 5 mm pour un essai à la rupture.

**Note 2** : l'expérience montre que le 2<sup>ème</sup> critère n'est quasiment jamais atteint.