

les tirants d'ancrage

par

Louis Logeais

Directeur du Bureau Securitas

et

Michel Bustamante

Section Fondations
du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

LES TIRANTS D'ANCRAGE LA NOUVELLE EDITION DES RECOMMANDATIONS

Les « Recommandations concernant la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle des tirants d'ancrage », établies par le Bureau Securitas, datent de 1972. L'expérience acquise a entraîné la refonte de ces Recommandations dont une nouvelle édition est prévue en 1977.

Les chapitres qui ont subi le plus de modifications ont pour objet le processus de mise en tension des tirants et les essais préalables. Ils sont présentés ici par deux membres du « groupe de travail » qui a procédé à la révision du texte de 1972.

ANCHOR TIE-BARS THE NEW EDITION OF THE RECOMMENDATIONS

The « Recommendations concerning the design, the calculation, the execution and the control of anchor tie-bars » prepared by the Securitas Bureau, date back to 1972. The experience acquired has led to a recasting of these Recommendations, of which a new edition is planned for 1977.

The chapters which have been most modified deal with the process of subjecting the tie-bars to stress and with the preparatory tests. They are presented here by two members of the « working group » which has undertaken the revision of the 1972 text.



les tirants d'ancrage

la nouvelle édition des recommandations (*)

par Louis LOGEAIS et Michel BUSTAMANTE

ALLOCUTION DU PRÉSIDENT

La révision des « Recommandations concernant la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle des tirants d'ancrage », établies par le Bureau Securitas, a commencé presque dès la parution de la première édition. Ce n'est pas d'ailleurs sous l'effet des critiques reçues, dans l'ensemble peu nombreuses, mais sous l'effet d'une pression interne au Groupe d'Etude initial et dès novembre 1972 l'un des membres suggérait des modifications. La première réunion de travail eu lieu en mai 1973 ; je rappelle que la rédaction de TA 72 avait duré deux ans : la révision se sera donc étendue sur une période deux fois plus longue. Il faut dire aussi que de graves retards se sont produits par suite de la longue maladie, puis de la disparition de notre ami Daniel GRAUX, qui, avec M. LOGEAIS, avait présenté les « Recommandations » ici même, avec toute l'ardeur que nous lui connaissions (**). Notre Groupe de Travail avait déjà connu un autre deuil en 1973, en la personne de M. P. LEBELLE, qui avait été, avec M. BRENIER, l'inspirateur des premières « Recommandations », puis de leur révision.

J'ai dit dans cette salle, il y a quelques années, pourquoi les « Recommandations » de 1972 étaient indispensables (**). De fait, l'accueil réservé au livre, en France comme à l'étranger, a été très bon et son impact technologique a été excellent. Nous avons eu, par exemple, le plaisir de voir, en 1975, la Fédération Internationale de la Précontrainte, dans un de ses « Guides du béton précontraint », y faire de larges emprunts et les critiques que nous avons pu recevoir ont été, en général, très modérées et le plus souvent constructives. La structure de la nouvelle édition a été cependant assez profondément modifiée, et deux parties ont été spécialement révisées pour tenir compte des connaissances acquises entre temps, en particulier par les Ponts et Chaussées, ce qui nous a permis d'élargir le Groupe de Travail aux chercheurs du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Je pense plus particulièrement à la « mise en tension des tirants » et à l'interprétation des essais préalables ; MM. LOGEAIS et BUSTAMANTE en parleront tout à l'heure, car il nous a semblé à propos de limiter la présentation de ce soir à ces deux seuls points, d'ailleurs fondamentaux.

Je voudrais cependant présenter l'ordonnancement de la prochaine édition, qu'on peut déjà appeler TA 77. Il s'agit, bien entendu, des tirants constitués d'armatures ordinaires, scellés dans les sols, que j'appellerais « tirants passifs » et des tirants précontraints utilisant des câbles ou des barres d'acier à haute résistance appelés, par opposition « tirants actifs ».

Les « Recommandations » ont voulu conserver un caractère évolutif, même si nous n'avons pas intégré les dernières idées, les dernières données, car nous nous attendons à de nouveaux progrès dans le domaine des tirants d'ancrage.

Après le préambule et les définitions, un chapitre entier est consacré aux spécifications concernant les matériaux : spécifications des aciers (pour lesquels la traction admissible est définie) et des ciments de scellement (ce qui nécessite, d'une part, une classification de l'agressivité des terrains et, d'autre part, l'examen de la compatibilité des armatures et des ciments, y compris leurs adjuvants), enfin, spécification des résines de scellement ou de protection.

Le chapitre suivant est entièrement consacré à la protection contre la corrosion : choix de la protection, mise en œuvre de la protection, avant ou après la mise en tension, en fonction des nombreuses technologies distinctes qui existent actuellement sur le marché.

Un autre chapitre est réservé à la mise en œuvre des tirants avec leur mise en tension, les critères de réception et les épreuves des tirants dans les différents sols.

Enfin, les deux derniers chapitres présentent la recherche et la définition de la traction de service à partir des résultats des essais préalables, ainsi que le contrôle périodique de la tension. Tout ce qui a trait à la vérification de la stabilité des parois des murs ou rideaux ancrés a été rejeté en annexe : après de longues discussions, nous avons été moins ambitieux que lors de la première rédaction et, en particulier, nous avons supprimé certains modes d'examen de la stabilité d'une paroi soutenue par plusieurs nappes de tirants, dont la rigueur ne paraissait pas actuellement suffisante.

Après cette trop longue introduction, il me reste à présenter les deux conférenciers, et cela sera d'autant plus bref que vous les connaissez déjà fort bien l'un et l'autre. M. LOGEAIS, par exemple, a présenté ici même, en novembre 1972, les premières « Recommandations ». Je dirai simplement que depuis cette date, il est devenu directeur du Bureau Securitas. M. BUSTAMANTE a lui aussi déjà parlé dans cette enceinte. Je rappelle qu'il est entré en 1968 au LCPC dans la section des Fondations ; il est Maître de Conférence à l'Ecole nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts, et son dynamisme nous apportera l'expérience des essais faits dans le cadre des travaux de l'Équipement pour l'étude des tirants d'ancrage.

(*) Conférence prononcée à l'ITBTP, le 7 décembre 1976.

(**) Voir Annales de l'ITBTP, série SF/102, décembre 1973.

EXPOSE de Louis LOGEAIS

Avant d'aborder la pièce maîtresse de mon exposé, à savoir le processus de mise en tension de chaque tirant, je voudrais rappeler quelques notions de base qui serviront par la suite aussi bien à M. Bustamante qu'à moi-même.

PREMIERE PARTIE

RAPPEL DE QUELQUES NOTIONS

Les définitions qui suivent concernent les tirants précontraints, c'est-à-dire ceux qui sont constitués par des armatures de précontrainte ancrées dans le terrain par une injection de scellement et mises en tension en prenant appui sur l'ouvrage d'une part et sur l'ancrage d'autre part.

1.1. Les diverses parties constitutives d'un tirant précontraint

Les tirants précontraints appartiennent à deux grandes familles :

- ceux dont l'armature est scellée directement dans le terrain ;

- ceux dont l'armature est scellée dans une gaine d'ancrage elle-même scellée dans le terrain.

1.1.1. Tirants dont l'armature est scellée directement dans le terrain

Ils sont représentés sur la figure 1 ; on voit que, dans ce cas, l'injection du bulbe d'ancrage est effectuée directement autour de l'armature, un dispositif appelé « bouchon » ou « obturateur » étant destiné (en principe) à empêcher que, lors de l'injection du scellement, le coulis de scellement ne remonte au-delà du bulbe d'ancrage.

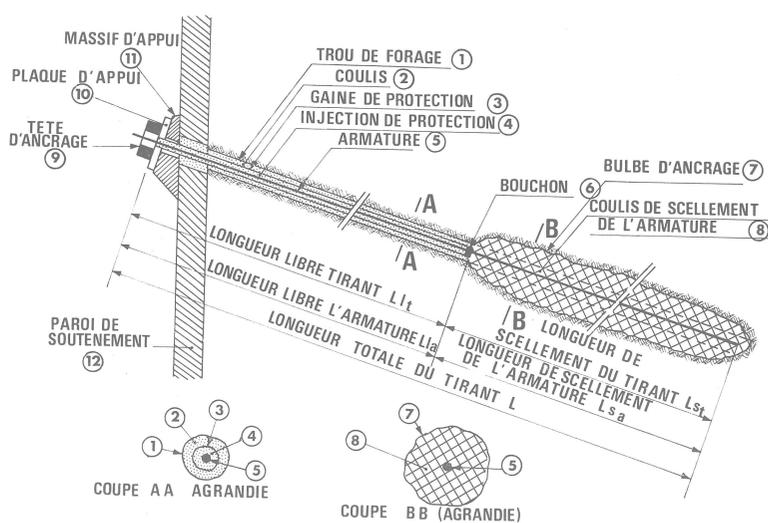


Fig. 1. — Tirant dont l'armature est scellée directement dans le terrain.

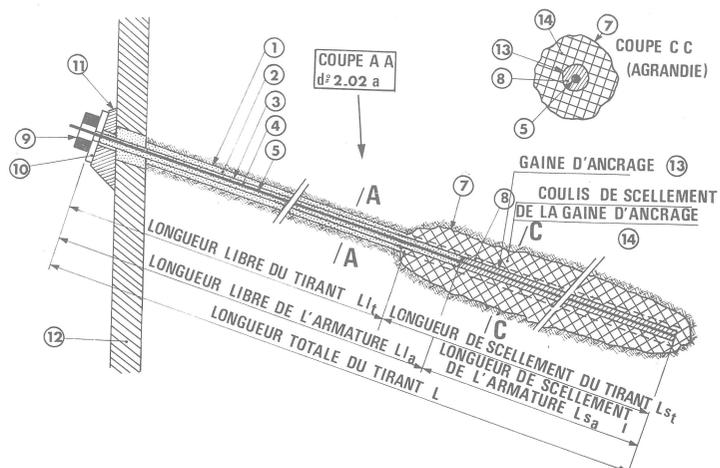


Fig. 2. — Tirant dont l'armature est scellée dans une gaine.

La position du bouchon permet donc de définir :

- 1) la longueur de scellement de l'armature (qui est la même que la longueur de scellement du tirant), qui correspond donc à la longueur utile théorique du bulbe d'ancrage ;
- 2) la longueur libre théorique de l'armature, qui est mesurée entre le bouchon et la face externe de la plaque d'appui.

1.12. Tirants dont l'armature est scellée dans une gaine

Ils sont représentés sur la figure 2. On voit que, dans ce cas, l'armature du tirant est scellée dans une gaine métallique, laquelle est scellée préalablement au terrain.

De ce fait, la longueur de scellement de l'armature à l'intérieur de sa gaine n'est pas forcément la même que la longueur de scellement de la gaine dans le sol.

Il en résulte également qu'il n'y a pas identité entre la longueur libre théorique du tirant et celle de son armature.

1.13. Longueur libre apparente de l'armature

Celle-ci est désignée, sur la figure 3, par le symbole L_a .

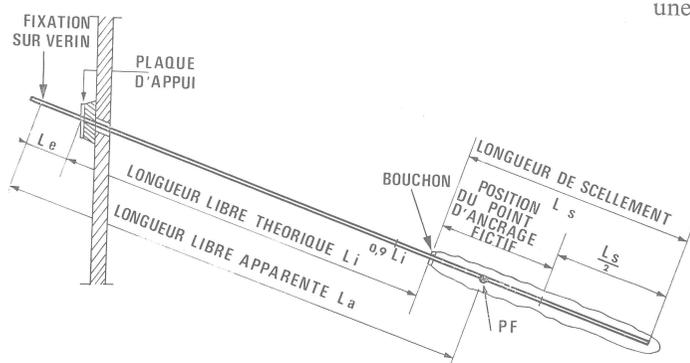


Fig. 3. — Longueur libre apparente dans le cas où le repère lié à l'armature est situé en arrière des mors du vérin.

dans laquelle Ω représente la section et E le module d'élasticité apparent de l'armature du tirant (E est de l'ordre de $2 \cdot 10^5$ MPa).

Tout se passe donc comme si l'armature était ancrée ponctuellement à ses deux extrémités : côté tête d'ancrage, en un point qui correspond à la fixation sur le vérin ; côté scellement, en un point appelé point d'ancrage fictif.

Par définition, la longueur libre apparente est donc la longueur d'une armature de même constitution que le tirant, ancrée ponctuellement aux deux extrémités, et qui prendrait le même allongement sous la même traction.

1.2. Les phases successives de la vie d'un tirant précontraint

Ces phases sont indiquées sur la figure 4.

Les opérations préparatoires à la mise en tension sont schématisées sur la partie 0 — 1 du diagramme : elles comprennent le forage du trou, la mise en place de l'armature et l'accrochage du tirant au sol au moyen de l'injection de scellement.

La mise en tension, qui n'est effectuée qu'après un durcissement suffisant du bulbe d'ancrage, correspond à la partie 1 — 2 de la figure 4. Elle permet d'atteindre une traction T_e , dite « traction d'épreuve », qui ne sera

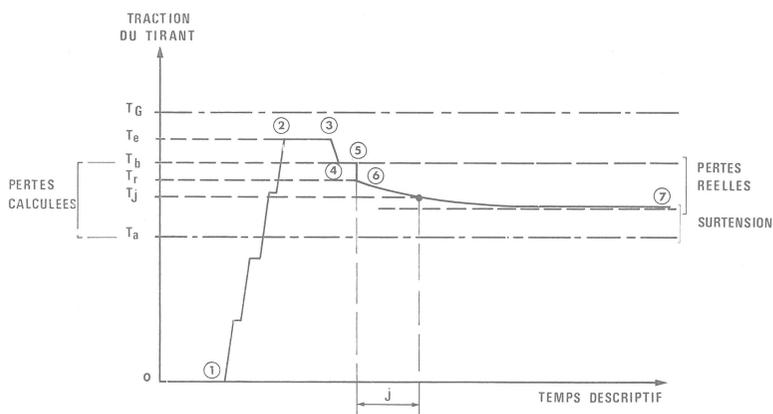


Fig. 4. — Phases successives de la vie d'un tirant précontraint.

Lorsque le tirant est soumis à une force de traction qui croît d'une valeur initiale T_o à une autre valeur T_e (T_e étant choisie de telle sorte que le domaine élastique de l'armature ne soit pas dépassé), il va s'allonger d'une certaine quantité Δl_o^e . Tout se passe donc comme si le tirant avait une longueur libre apparente L_a définie par la relation :

$$L_a = \frac{E \cdot \Omega \cdot \Delta l_o^e}{T_e - T_o}$$

plus jamais dépassée au cours de la mise en service du tirant. Cette traction est maintenue un certain temps, dont nous reparlerons plus loin. L'épreuve du tirant correspond à la partie 2 — 3 du diagramme. On laisse ensuite éventuellement descendre la tension jusqu'à une certaine valeur T_b , appelée « traction de début de blocage » (phase 3 — 4). Cette traction T_b est en général inférieure à la traction d'épreuve T_e (c'est le cas de la figure 4), mais elle peut parfois lui être égale ; ensuite, après la phase 4 — 5 correspondant à la préparation du blocage, intervient l'opération de blocage

(ou de calage) proprement dite ; cette opération, matérialisée par la partie 5—6 du diagramme 4, peut, suivant le système choisi, entraîner ou non une perte de traction (la figure 4 correspond au cas d'une perte). La tension T_r , qui subsiste alors dans le tirant est appelée traction réelle après blocage.

Les opérations de mise en tension sont achevées. On procède alors à la protection du tirant, à moins que celle-ci n'ait été effectuée antérieurement à la mise en tension.

Le tirant est mécaniquement terminé et subit un processus naturel de détente partielle dû aux pertes de toute nature : relaxation des armatures, fluage éventuel du scellement dans certains terrains... Cette phase correspond à la partie 6—7 du diagramme. Les pertes doivent être calculées avec le maximum de précision, de façon que le processus naturel de détente conduise à une valeur aussi proche que possible de la traction de service T_a , toute surtension par rapport à la traction contractuelle T_a étant inutile, voire nuisible.

1.3. Distinction entre les terrains susceptibles de fluer et les terrains non susceptibles de fluer

La nature du terrain dans lequel est scellé le bulbe d'ancrage conditionne un certain nombre de facteurs, parmi lesquels :

- a) la durée de l'épreuve des tirants, dont nous reparlerons ci-dessous ;
- b) l'opportunité de procéder à des essais préalables, qui sera développée dans l'exposé de M. Bustamante.

C'est la raison pour laquelle les Recommandations TA 77 distinguent deux catégories de terrains, suivant qu'ils sont susceptibles ou non de fluer.

Par définition, un terrain est réputé susceptible de fluer dès que son indice de plasticité I_p atteint ou dépasse 20 ($I_p \geq 20$).

DEUXIEME PARTIE

LA MISE EN TENSION DES TIRANTS PRECONTRAINTS

La mise en tension constitue l'article 5.5 des Recommandations TA 77. Cet article a été considérablement étoffé, puisque son importance a plus que quadruplé par rapport au texte de 1972.

2.1. Les caractéristiques mesurables

Le contrôle du bon déroulement des opérations de mise en tension nécessite d'effectuer un certain nombre de mesures.

Il serait éminemment souhaitable de pouvoir connaître, avec le maximum de précision, l'allongement réel de l'armature et sa traction réelle. Malheureusement, les dispositions habituelles ne permettent pas d'évaluer ces deux grandeurs ; en effet, les caractéristiques mesurables sont (fig. 5) :

1) Le déplacement relatif de deux repères :

- l'un lié à l'armature ou, à défaut, à la partie mobile du vérin ;
- l'autre, constitué par un point fixe ou, à défaut, par un point lié à la structure à ancrer.

2) Une traction fictive, obtenue en multipliant la section utile du vérin par la pression du fluide de remplissage. Cette évaluation introduit un certain nombre d'erreurs, parmi lesquelles l'imprécision du manomètre et les frottements de toutes sortes (frottements dans les vérins, frottements dans les organes d'ancrage). Ces frottements nécessitent des corrections. Il est nécessaire de les connaître avec le maximum de précision. Certains sont connus en fonction du matériel utilisé, d'autres sont accidentels.



Fig. 5. — Port Autonome du Havre. Essai de mise en tension de l'un des tirants de la darse de l'Océan (1976).

Il serait trop long d'entrer dans le détail au cours de cet exposé. Nous en reparlerons cependant un peu plus loin.

Il n'empêche que la précision toute relative avec laquelle sont connus les frottements n'autorise pas à utiliser des appareils de mesure peu fiables. Il importe au contraire que l'appareillage de mesure soit en parfait état et aussi précis que possible. C'est ainsi que la mesure des pressions nécessite trois appareillages différents :

- un manomètre de chantier** qui doit être choisi de telle sorte que son échelle de graduation corresponde à la plage nécessaire pour l'épreuve du tirant (ainsi, si la pression d'épreuve est de 300 bars (30 MPa), le manomètre à utiliser devra avoir une échelle de graduation dont la valeur maximale ne devrait pas dépasser normalement 450 bars ; exceptionnellement un manomètre gradué jusqu'à 600 bars pourrait être toléré). Ce manomètre de chantier doit être conservé en parfait état ; il doit être vérifié par comparaison avec :
- un manomètre de contrôle**, qui doit pouvoir se brancher rapidement en parallèle avec le manomètre de chantier, mais qui ne doit en aucun cas être laissé à demeure sur la pompe. Ce manomètre possède sa courbe d'étalonnage, et il est lui-même vérifié, au moins avant le commencement de chaque chantier, avec :
- un manomètre étalon** ou une balance de pression.

Quant aux mesures des déplacements des repères, elles ne pourront être interprétées que si les résultats ne sont pas faussés, soit par une déformation excessive de la plaque d'appui, soit par la circulation d'engins au voisinage immédiat du point fixe.

2.2. Première phase de la mise en tension : l'épreuve du tirant

Cette première phase consiste à porter le tirant, par un processus continu, jusqu'à une traction appelée la traction d'épreuve, en effectuant, au cours de cette montée en pression, plusieurs mesures des déplacements du repère lié à l'armature.

Le processus est différent selon que le vérin est à blocage commandé ou à tête autobloquante. Pour ne pas allonger inutilement l'exposé, nous n'envisagerons que le premier cas. Le TA 77 indique, bien sûr, les deux.

2.2.1. Première étape : la montée en pression

Le processus de mise en tension est résumé sur le diagramme de la figure 6. La première partie du dia-

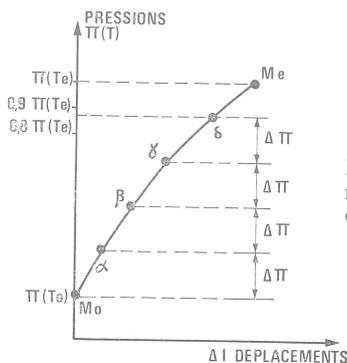


Fig. 6. — Diagramme résumant le processus de mise en tension.

gramme qui correspond à la mise en place du tirant et à la récupération des mous et des jeux (à gauche du point M_0 sur la figure) n'a aucun intérêt.

Il s'agit donc de fixer :

- la valeur de la traction d'épreuve T_e ;
- la valeur de la traction correspondant à la première mesure T_0 ;
- le nombre et les valeurs des tractions intermédiaires pour lesquelles on effectue la mesure des allongements.

2.2.1. Détermination de la traction d'épreuve T_e

Pour les tirants provisoires, si la traction de début de blocage T_b est inférieure à la traction de service T_a majorée de 20 % ($T_b \leq 1,20 T_a$), on choisit comme traction d'épreuve $T_e = 1,2 T_a$; dans le cas contraire ($T_b > 1,2 T_a$), on prend $T_e = T_b$.

Pour les tirants définitifs, la traction d'épreuve est égale aux 130/100 de la traction de service : $T_e = 1,3 T_a$.

Il faut toutefois vérifier que cette traction d'épreuve ne provoque pas, dans l'armature, de contraintes dépassant les 9/10 de la limite d'élasticité de l'acier.

Cette condition est toujours vérifiée pour les tirants définitifs, puisque la contrainte admissible dans l'armature n'est que les 60/100 de la limite élastique ; mais pour les tirants provisoires, elle peut conduire à minorer la traction de service.

2.2.1.2. Détermination de la traction T_0 correspondant à la première mesure

La traction T_0 (point M_0 de la figure 6) n'est pas indifférente : trop basse, elle ne correspondrait pas sans doute à la totale récupération des mous et des jeux ; trop haute, elle ne permettrait pas d'avoir suffisamment de points de mesure intermédiaires. On s'arrange, en général, pour que la pression $\Pi(T_0)$ dans le vérin correspondant à cette traction T_0 ne soit pas trop éloignée du dixième de la pression $\Pi(T_e)$ correspondant à la traction d'épreuve :

$$\Pi(T_0) \approx \frac{1}{10} \Pi(T_e)$$

Rappelons que la traction T dans l'armature et la pression $\Pi(T)$ nécessaire dans le vérin pour obtenir cette traction T sont liées par l'une des deux relations ci-après, dans laquelle Ψ représente les frottements existant pour cette traction T , et S la section du vérin :

$$\Pi(T) = \frac{T + \Psi}{S} \quad \text{si les mesures sont faites au cours d'une montée en pression ;}$$

$$\Pi(T) = \frac{T - \Psi}{S} \quad \text{si les mesures sont faites au cours d'une détente.}$$

2.2.1.3. Mesures intermédiaires

Les mesures intermédiaires doivent au moins être au nombre de quatre : points $\alpha, \beta, \gamma, \delta$. Elles sont réparties à intervalles égaux, sauf la dernière, qui doit être située entre 0,8 et 0,9 $\Pi(T_e)$. On s'arrange pour que les valeurs lues au manomètre pour la pression $\Pi(T_0)$ et les pressions intermédiaires correspondent à des graduations principales du manomètre. Le TA 77 donne des exemples pour guider le choix des constructeurs. Le tableau ci-après, extrait du futur document, fournit des indications pour trois valeurs de la pression d'épreuve :

Pression d'épreuve $\Pi(T_e)$ (bars)	Pression de première lecture $\Pi(T_o)$ (bars)	Pressions intermédiaires (bars)
170	25	50 - 75 - 100 - 125 - 150
270	40	80 - 120 - 160 - 200 - 240
540	50	150 - 250 - 350 - 450

Nota : Les valeurs sont indiquées en bars, qui correspondent à la graduation courante des manomètres. Il est rappelé que l'unité légale de pression du système SI est le pascal (Pa) :

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 0.1 \text{ MPa.}$$

2.22. Deuxième étape : le maintien de la traction d'épreuve

Une fois atteinte la traction d'épreuve T_e , celle-ci est maintenue un certain temps, qui est différent suivant la nature du terrain et suivant les valeurs des déplacements mesurés comme nous le verrons ci-dessous.

En fait, il n'est jamais possible, dans ce laps de temps, de maintenir une traction rigoureusement constante, par suite des pertes de toutes sortes. On observe donc le manomètre, et on remonte la pression (fig. 7) avant qu'elle n'ait baissé de 2 % et sans qu'elle dépasse la pression d'épreuve de plus de 1 %.

Pendant cette épreuve, on mesure le déplacement du repère lié à l'armature.

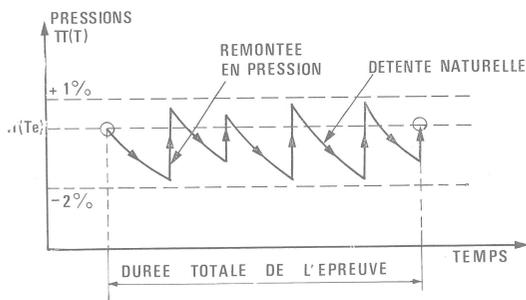


Fig. 7. — Variation de la pression pendant le « maintien » de la traction d'épreuve.

2.23. Interprétation des résultats. Critères de réception

Les Recommandations TA 77 ont retenu deux critères de réception, qui doivent être satisfaits en même temps : le déplacement du scellement, la longueur libre apparente du tirant.

2.231. Premier critère de réception : le déplacement du scellement

Une remarque préalable : 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. Ce dernier est d'autant plus important que la longueur libre du tirant et la contrainte d'épreuve sont grandes. Il peut parfois être nécessaire d'effectuer une correction pour en tenir compte.

Même dans les cas, qui seront indiqués par M. Bustamante dans son exposé, où des essais préalables sont effectués, on doit mesurer systématiquement les déplacements car, d'une part, le sol peut être hétérogène

et les tirants d'essai insuffisants en nombre et mal implantés, d'autre part, un tirant peut être de mauvaise qualité.

Le déplacement du scellement à l'issue de l'épreuve est représenté, sur le diagramme de mise en tension (fig. 8), par le segment $M_e M'_e$. Il est appelé Δe .

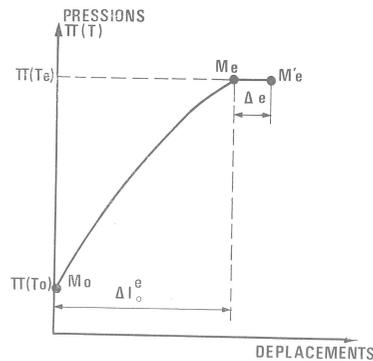


Fig. 8. — Diagramme des déplacements lors de la mise en tension.

Mais, autant que la valeur absolue d'un déplacement donné, la vitesse de ce déplacement intervient dans la réception du tirant ; c'est pourquoi la durée de l'épreuve du tirant dépend de deux facteurs :

- la nature du terrain dans lequel est effectué le scellement ;
- la première valeur mesurée pour le déplacement (laquelle peut, le cas échéant, entraîner une prolongation de l'épreuve).

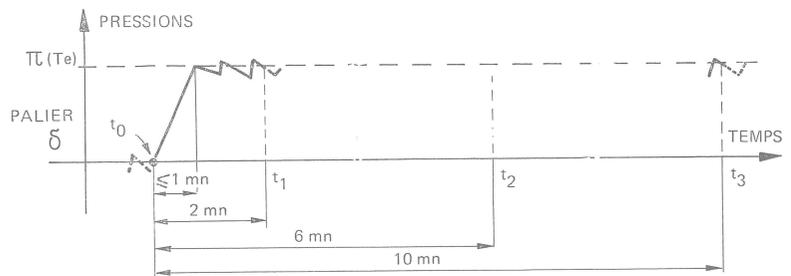


Fig. 9. — Détermination du moment où doit se faire la prise des mesures du déplacement dans le cas d'un terrain réputé non susceptible de fluer.

Premier cas : terrains réputés non susceptibles de fluer

Rappelons que ce sont ceux pour lesquels l'indice de plasticité I_p est inférieur à 20. Pour ces terrains (fig. 9), l'origine des mesures est fixée par rapport à un temps de référence t_o , qui correspond au moment où l'on commence à augmenter la traction du tirant, après la mesure des déplacements correspondant à la charge précédente. Le vérin doit être choisi de telle sorte que cette montée s'effectue en moins d'une minute.

Toutes les mesures sont effectuées à intervalles égaux de 4 min à compter du temps $t_1 = t_o + 2 \text{ min}$.

Pour les terrains non susceptibles de fluer, deux mesures sont effectuées, l'une au temps t_1 , l'autre au temps $t_2 = t_1 + 4 \text{ min}$, ou, si l'on préfère, au temps $t_o + 6 \text{ min}$.

Si Δe_{1-2} représente le déplacement du repère entre les temps t_1 et t_2 , l'épreuve est réputée satisfaisante si $\Delta e_{1-2} \leq 2 \text{ mm}$.

S'il n'en est pas ainsi, on poursuit l'épreuve pendant 4 min, jusqu'au temps $t_3 = t_0 + 10$ min. Le déplacement Δe_{2-3} entre les temps t_2 et t_3 ne doit pas alors dépasser 1 mm; s'il en est ainsi, l'épreuve est réputée satisfaisante; dans le cas contraire, l'épreuve est poursuivie jusqu'au temps $t_n = t_0 + 58$ min. Si le déplacement entre t_2 et t_n , soit Δe_{2-n} , ne dépasse pas 4 mm, l'épreuve est considérée comme satisfaisante. Dans le cas contraire, le tirant est réputé non valable pour son usage.

On peut alors décider :

- 1) d'effectuer des essais complémentaires avec chargements cycliques permettant d'apprécier l'évolution du tirant (au moins une vingtaine de cycles dont les charges extrêmes sont comprises entre environ $0.9 T_a$ et $1.2 T_a$, frottements exclus);
- 2) d'utiliser ce tirant à une charge inférieure;
- 3) de le charger et de suivre son évolution;
- 4) de le conforter si cela est possible;
- 5) de le refaire.

Deuxième cas : terrains réputés susceptibles de fluer ($I_p \geq 20$)

La durée minimale de l'épreuve est fixée à :

- 58 min au-delà de t_0 , pour les premiers tirants, à concurrence de 10 % du total de ces tirants et avec un minimum de trois tirants;
- 14 min au-delà de t_0 , pour le reste des tirants.

Donc, pour les premiers tirants, si Δe_{2-n} désigne la valeur du déplacement entre les temps $t_2 = t_0 + 6$ min et $t_n = t_0 + 58$ min, l'épreuve est considérée comme satisfaisante si, à la fois :

- $\Delta e_{2-n} < 4$ mm;
- la courbe représentative du fluage en fonction du temps (courbe présentée ci-après par M. Bustamante dans son exposé, et qui est rappelée sur la figure 10), n'a pas sa concavité tournée vers le haut, c'est-à-dire si, à la limite, elle est une droite.

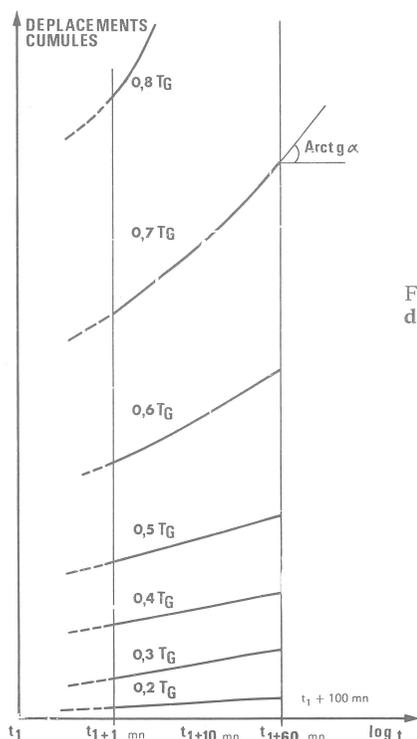


Fig. 10. — Courbes de fluage.

Pour les tirants suivants, le déplacement est mesuré entre les temps $t_2 = t_0 + 6$ min et $t_4 = t_0 + 14$ min. L'épreuve est satisfaisante si Δe_{2-4} ne dépasse pas 1.5 mm. Dans le cas contraire, l'épreuve est poursuivie jusqu'au temps $t_0 + 58$ min. Les deux conditions indiquées précédemment s'appliquent. Si elles sont toutes les deux vérifiées, et sous réserve de satisfaction au deuxième critère ci-après, le tirant est accepté. Sinon, il est réputé non valable pour son usage. La conduite à tenir est alors la même que celle qui a été indiquée dans le cas des terrains non susceptibles de fluer.

2.232. Deuxième critère de réception : la longueur libre apparente

Elle a été définie précédemment (voir fig. 3). Elle permet de déterminer un point d'ancrage fictif P_f dont il convient de vérifier que la position n'est pas aberrante.

En général, on vérifie, pour les terrains non susceptibles de fluer, que le point d'ancrage fictif se trouve entre le bouchon et le milieu de la longueur du scellement. Cette vérification peut se faire graphiquement, en traçant deux diagrammes linéaires de tension (fig. 11). Le point M_e doit se trouver à l'intérieur du secteur ainsi défini.

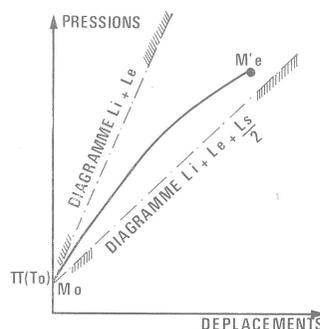


Fig. 11. — Vérification de la position du point d'ancrage fictif dans le cas des terrains non susceptibles de fluer.

D'autres positions de P_f peuvent être tolérées :

- en avant du bouchon, si cela ne gêne pas la mise en place de la protection;
- au-delà du milieu du scellement, si l'on peut déterminer la raison de cette anomalie.

Pour les terrains fluants, le problème se complique par suite du fluage du scellement. On vérifie toutefois que la longueur libre apparente est supérieure à une valeur minimale, qui est celle que nous avons indiquée pour les terrains non susceptibles de fluer.

Si l'on s'en tient au programme minimal d'épreuve indiqué précédemment, on procède alors au blocage de l'armature, dont nous reparlerons ultérieurement. Il se peut toutefois qu'avant de procéder au blocage, on décide un programme complémentaire.

2.24. Programme complémentaire éventuel

A l'initiative de l'entreprise ou au vu de prescriptions figurant dans les « documents particuliers du marché », il peut être envisagé de compléter le programme minimal précédent par des dispositions particulières permettant éventuellement de vérifier la position du point M_e et la valeur des frottements pris en compte dans les calculs.

Pour ce faire, on procède, après l'épreuve, à un ou plusieurs cycles, partiels ou complets, de détente et de remontée en tension. La figure 12 représente l'un de ces cycles. La première détente $M'_e d_1$ est supérieure au double des frottements estimés. Le point bas M_c du cycle est choisi en dessous de la valeur de la traction réelle T_r en fin de blocage. On remonte ensuite en pression, jusqu'au point M''_e .

Si les opérations sont conduites avec assez de précision, on peut également définir un point X' intermédiaire (fig. 13), milieu de XM'_e , qui représente la traction réelle du câble sous la pression $\Pi(T_e)$. Le segment $X'M'_e$ représente alors la valeur réelle Ψ des frottements au niveau et au-dessus de la tête d'ancrage.

Ces cycles étant effectués, on procède alors au blocage de l'armature.

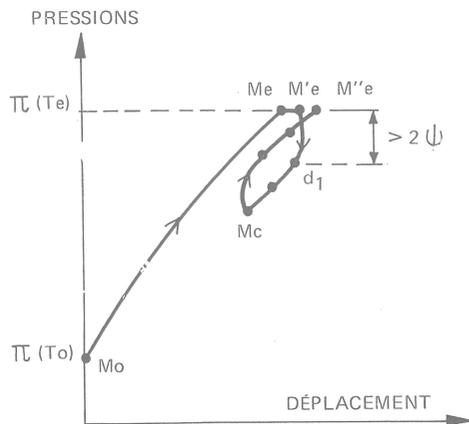


Fig. 12. — Diagramme « pressions-déplacements » dans le cas de cycles de détente et remontée en tension.

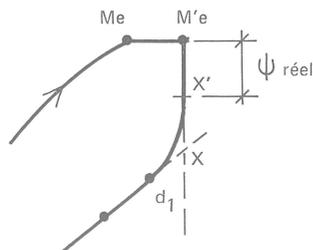


Fig. 13. — Détermination de la valeur réelle Ψ des frottements, sur le diagramme de la figure 12.

2.3. Deuxième phase de la mise en tension : le blocage de l'armature et la détente du vérin

Une fois l'épreuve terminée, y compris éventuellement ce programme complémentaire, on cale l'armature lorsque la pression correspond à la valeur T_b , traction de début de blocage, sans frottements.

On mesure alors le déplacement résiduel du repère lié à l'armature au point B correspondant à cette pression (fig. 14).

L'armature étant bloquée, l'on détend le vérin. Le repère lié à l'armature va se déplacer lors de cette détente, puisqu'il est situé en arrière de la partie bloquée. En mesurant son déplacement pour trois valeurs de la pression, par exemple celles qui correspondent à $0.5 T_e$, $0.25 T_e$ et $0.125 T_e$, on peut tracer la droite de détente Δd , qui coupe l'axe des abscisses en un point S.

Une construction géométrique simple, sur laquelle nous n'insisterons pas ici, mais qui figure dans le TA 77, permet de déterminer la traction réelle après blocage T_r (fig. 15) à partir du diagramme de détente.

Le tirant est ainsi prêt pour son usage ultérieur.

2.4. Phases ultérieures

Dans le cas des tirants provisoires, il ne faudra pas oublier de détendre obligatoirement l'armature.

Pour les tirants définitifs, et éventuellement pour certains tirants provisoires, il ne restera plus qu'à contrôler périodiquement leur traction dans le temps. Ce contrôle fait l'objet du chapitre 7 du document TA 77. Nous ne ferons aucun commentaire sur ce chapitre, car il n'y a aucune modification par rapport à l'édition précédente, si ce n'est pour insister sur la nécessité de ce contrôle.

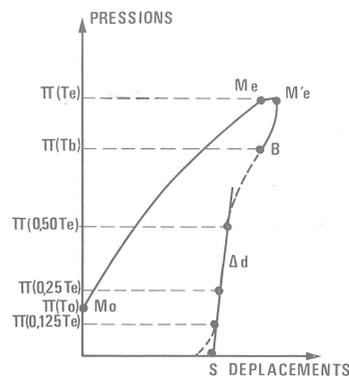


Fig. 14. — Diagramme « pressions-déplacements » lors de la détente du vérin.

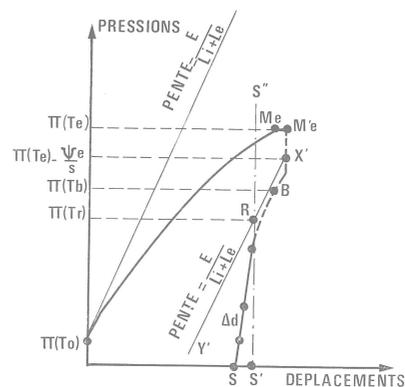


Fig. 15. — Détermination de la traction réelle T_r après blocage, à partir du diagramme de la figure 14.

L'ESSAI PRÉALABLE

1. PRESCRIPTIONS RELATIVES A LA PREPARATION DE L'ESSAI PRÉALABLE, COMMUNES A LA PREMIERE ET A LA NOUVELLE EDITIONS DES RECOMMANDATIONS

Avant de présenter les nouvelles dispositions relatives à la méthodologie de l'essai préalable, il convient de rappeler tout d'abord l'ensemble des articles concernant cet essai qui sont pratiquement restés inchangés. Il s'agit des articles 1 à 7 du chapitre 6 des nouvelles Recommandations dont nous présenterons ici l'essentiel.

1.1. Opportunité des essais préalables. Obligations des divers contractants

Un essai préalable devient obligatoire chaque fois que l'on envisage de sceller des tirants dans des terrains susceptibles de fluer (argiles ou marnes caractérisées par $I_p > 20$) ou dont le comportement est mal connu (craie altérée, éboulis, sables, etc.).

Pour des terrains non susceptibles de fluer, le « cahier des clauses particulières » peut rendre ces essais obligatoires chaque fois que l'on souhaitera :

- tester les performances d'un système nouveau de tirant ;
- apprécier le savoir-faire d'une entreprise ;
- établir (pour une traction de service T_A requise dans un terrain donné et une technologie de tirant donnée) les paramètres optimaux de l'injection (quantité de coulis, pression, nombre de passes, etc.) ;
- prendre la mesure des difficultés liées à l'exécution du forage dans une formation difficile (éboulis, sables sous nappe en charge, etc.) ou mal connue ;
- réaliser un ouvrage dont l'importance, le caractère exceptionnel ou novateur, justifient ces essais.

Lorsque l'exemption est possible, l'entrepreneur pourra en bénéficier sous sa propre responsabilité.

Si l'exécution matérielle des essais préalables, le dépouillement et l'interprétation des résultats incombent à l'entrepreneur, c'est le maître d'œuvre qui tranche au vu des conclusions.

1.2. Objet des essais préalables et réutilisation des tirants d'essais

On entreprend un essai préalable dans le but :

- de vérifier la valeur d'un coefficient de sécurité fixé *a priori* ;
- ou de déterminer la traction de service compte tenu d'un coefficient de sécurité.

Dans les deux cas, on s'efforcera de mener l'essai jusqu'à la rupture du scellement, c'est-à-dire jusqu'au déchaussement du bulbe d'ancrage s'il s'agit d'un tirant scellé par injection.

Ceci conduit évidemment à ne plus pouvoir intégrer ces tirants à l'ouvrage futur.

1.3. Nombre de tirants d'essai à prévoir

Il y aura autant de séries d'essais qu'il y a de catégories différentes de tirants. On rangera dans une même catégorie l'ensemble des tirants assumant la même fonction dans la stabilité d'un ouvrage. On distinguera également autant de séries qu'il y a de natures différentes de terrains intéressés par les scellements.

Comme en matière de tirant, il est impossible de se prononcer sur la base d'un essai unique, le nombre minimal de tirants d'essai a été fixé à deux par catégorie. On proposera ainsi pour chaque catégorie et pour un nombre n de tirants prévus au projet, le nombre N de tirants d'essai.

n	N	n	N
1 à 200	2	2 001 à 4 000	6
201 à 500	3	4 001 à 8 000	7
501 à 1 000	4	8 001 à 16 000	8
1 001 à 2 000	5	16 001 à 32 000	9

Ces dispositions conduisent à prévoir, pour chacun des cas de la figure 1, le nombre minimal de tirants d'essai indiqué sur celle-ci.

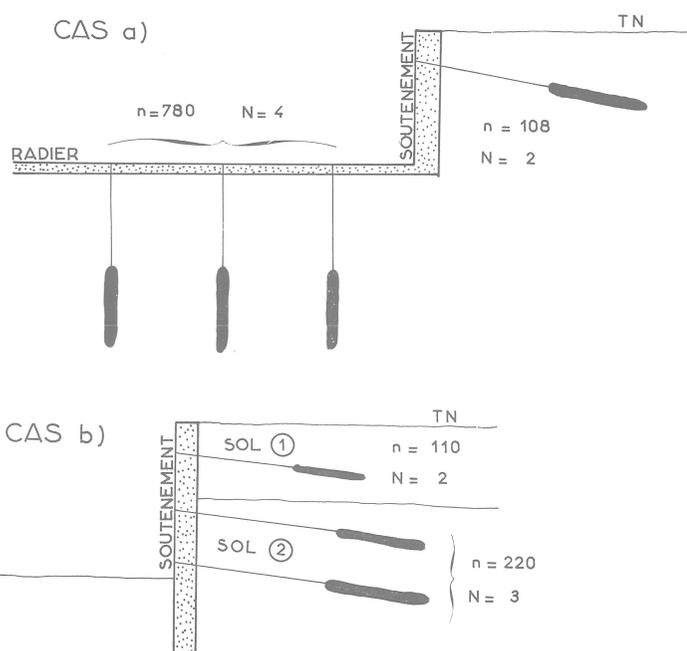


Fig. 1. — Détermination du nombre minimal de tirants d'essais préalables à partir du type d'ouvrage et des conditions de sol.

1.4. Date de réalisation des essais

La mise en œuvre des tirants, le durcissement des coulis de scellement et des bétons des massifs d'appui éventuels, la réalisation et l'interprétation des résultats de l'essai proprement dit, entraînent un délai total de l'ordre de trois semaines à un mois.

La réalisation des tirants du projet ne pourra débuter qu'après que le maître d'œuvre, au vu des conclusions des essais, ait donné son accord.

1.5. Emplacement des tirants d'essai

Les plots d'essais sont implantés sur le terrain au droit ou à proximité immédiate de l'ouvrage, de façon à ce que les zones de scellement soient aussi représentatives que possible de la catégorie à laquelle appartient le tirant. Toutefois, quelques libertés peuvent être prises avec l'inclinaison des tirants d'essais : suivant les cas, des différences de 5 à 10 degrés peuvent être tolérées.

1.6. Exécution des tirants d'essai et des massifs

Les tirants destinés à être soumis aux essais pré-alables doivent être conformes à ceux du projet.

Cette prescription concerne :

- la méthode de perforation
- la longueur et la cote de la zone scellée ;
- la construction et les techniques de mise en œuvre et de scellement du tirant ;
- le dosage des coulis de scellement ;
- les paramètres de l'injection (pression, quantités, nombre de passes).

Le but de l'essai restant la rupture du scellement, cela nécessite de surdimensionner la section d'armatures, ce qui, parfois, peut conduire à augmenter le diamètre du forage. On tolérera une augmentation maximale de 20 % par rapport au diamètre des tirants du projet.

Dans le cas où l'on recherche la rupture, la section de l'acier est choisie de telle façon que :

$$0.9 T_G \geq 1.5 T$$

Ainsi, pour une traction limite calculée T , égale à 1 000 kN ; la limite élastique T_G valant 1 670 kN, on

adoptera pour un tirant à torons : onze torons de \varnothing 13 mm.

Dans les cas où l'on ne vérifie que la valeur d'un coefficient de sécurité fixée *a priori*, sans chercher à atteindre la rupture du scellement, on dimensionnera les aciers de façon à satisfaire :

$$0.9 T_G \geq F_t \cdot T_a$$

où F_t est le coefficient de sécurité propre au tirant.

La structure d'appui (paroi moulée, radier, massif de réaction) est conçue de façon à ne subir que de très faibles déplacements ou rotations sous l'action de l'effort maximal développé lors de l'essai.

En cours d'essai, il y a lieu de suivre les mouvements de la structure d'appui. Il faut souligner que des déplacements importants de cette dernière, dus à des poinçonnements ou des rotations, peuvent réduire à néant les conclusions de l'essai.

1.7. Remarques générales relatives à la conduite des essais

Les essais sont effectués par un personnel qualifié sous la direction d'un ingénieur expérimenté.

En raison des risques que présentent les montées en traction au voisinage de la limite d'élasticité des aciers T_G , le personnel chargé de l'essai doit faire preuve d'un maximum de prudence et prendre toutes précautions pour se prémunir contre tout incident lié directement à l'exécution de l'essai (rupture des aciers, projection de fragments de clavettes, éclatement des circuits d'alimentation des vérins) et, d'une manière générale, au travail sur chantier.

Les nouvelles Recommandations conçoivent l'essai préalable comme un véritable essai de mécanique des sols ; elles définissent par conséquent :

- 1) l'appareillage spécifique d'essai ainsi que ses caractéristiques requises (précision, sensibilité, etc.) ;
- 2) le programme d'application de l'effort avec les grandeurs essentielles à mesurer ;
- 3) la méthode d'interprétation des résultats obtenus.

D'une manière générale, l'accent est mis sur la fiabilité du matériel, la précision des mesures et le respect des programmes d'application de l'effort.

L'ensemble de ces trois points est développé aux articles 8 et 9 du chapitre 6.

2. MODES OPERATOIRES ET INTERPRETATION DE L'ESSAI PREALABLE

2.1. Matériel et appareillage d'essai

Celui-ci doit être conçu de façon à permettre la mesure des déplacements absolus de l'extrémité de l'ancrage au cours de paliers de chargement de valeurs croissantes.

Mesure des déplacements

Le déplacement de la tête de l'armature est mesuré par rapport à un point rigoureusement fixe avec une précision de 1/10 de mm au moins. Ce point fixe doit rester en dehors de la zone intéressée par les mouvements dus au tirant et demeurer insensible à toute déformation propre (fig. 2).

Il y a lieu d'interdire toute circulation d'engin dans le voisinage immédiat du point fixe.

Mesure des tractions

Celle-ci est effectuée par l'intermédiaire d'un peson préalablement étalonné et dont la précision est de l'ordre de 1 % de la traction maximale. Ce peson est intercalé entre le vérin et la structure d'appui (fig. 3).

Appareillage de mise en tension

Afin de pouvoir appliquer et maintenir avec précision les différents paliers de traction, la pompe doit être équipée d'un dispositif de réglage du débit suffisamment fin.

D'une manière générale, on choisira des vérins en bon état, ne présentant pas de fuites et dont la course excède les déformations élastiques estimées du tirant, de plusieurs centimètres.

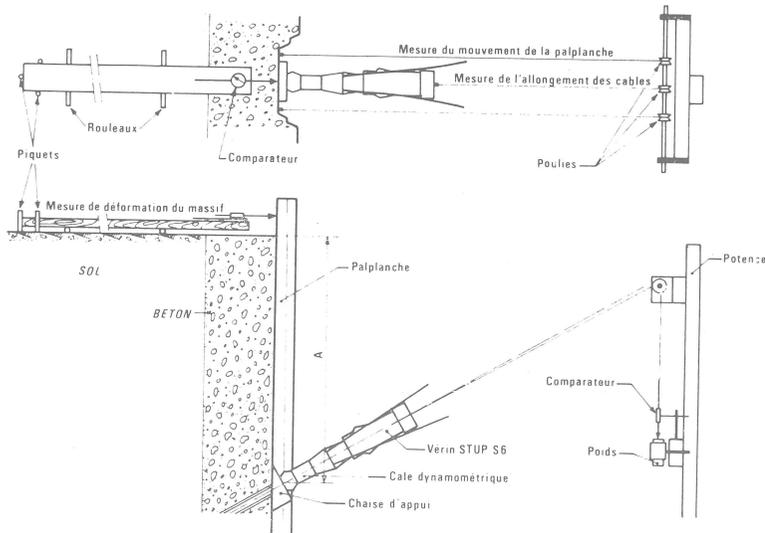
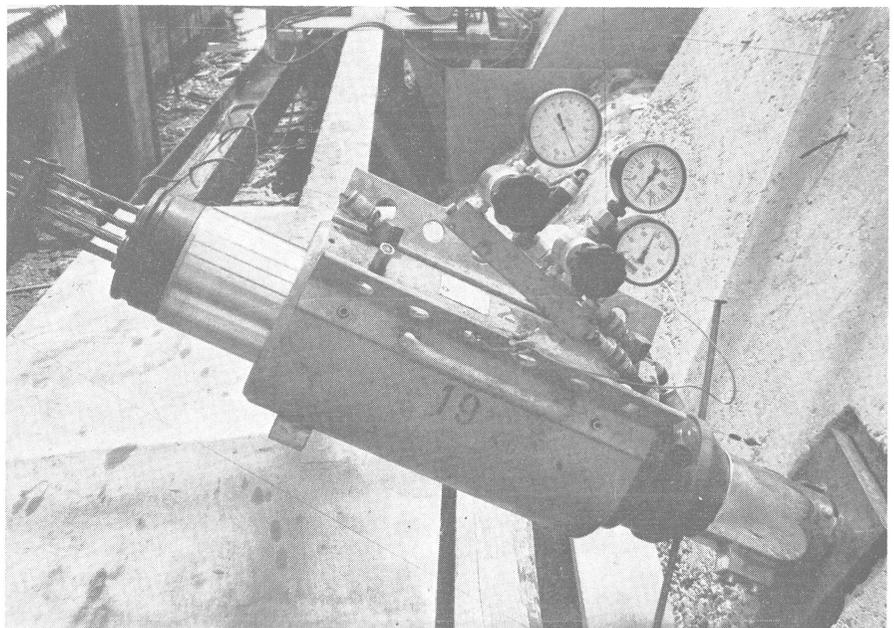


Fig. 2. — Principe de mesure des déplacements de la tête de l'armature d'un tirant. Vue en plan et en élévation de l'ensemble des différents dispositifs adoptés. Pont d'Asnières 1974.

Fig. 3. — Exécution d'un essai préalable avec utilisation d'un vérin annulaire. On remarque, entre l'appui et le vérin, le peson de mesure des efforts. Pont de Sèvres 1974.



2.2. Modes opératoires des essais préalables et interprétation des résultats

Pour un terrain donné et un type de tirant choisi, le nombre d'essais préalables est toujours au moins égal à deux.

Le processus général de l'essai va consister :

- 1) à obtenir, pour le premier tirant, la traction critique de fluage T_C ou la traction limite de scellement T à partir de relations expérimentales établies pour chaque palier de traction maintenu une heure ;
- 2) à déterminer pour le deuxième tirant, à partir des tractions limite T ou critique T_C résultant du premier essai, la valeur des paliers de chargement et du palier de fluage que l'on se propose de mesurer pendant soixante-douze heures ;
- 3) après analyse et comparaison des résultats obtenus sur les deux tirants, déduire une charge de service T_a pour les tirants de l'ouvrage.

2.2.1. Mode opératoire d'essai du premier tirant

La valeur des paliers est définie par rapport à la limite élastique de l'armature T_G . La mise en tension

est effectuée par paliers successifs dont la valeur croît de $0.10 T_G$ en $0.10 T_G$, le premier palier débutant à $0.2 T_G$, le dernier à $0.9 T_G$. Chaque palier est maintenu une heure (fig. 4).

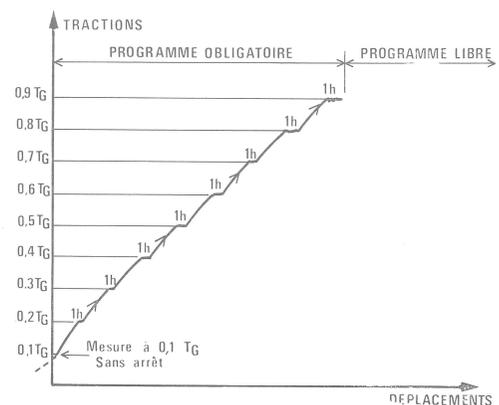


Fig. 4. — Programme de chargement du premier tirant.

A chaque palier de chargement, on mesure :

- l'effort de traction au moyen d'une cale dynamométrique (peson étalonné) ;
- les allongements de l'extrémité de l'armature à 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 45 et 60 mn à partir de l'instant t_0 correspondant à la stabilisation de l'effort de traction appliqué (fig. 5).

Au fur et à mesure que ces résultats affluent, on établit sur papier semi-logarithmique la relation $\Delta l / \log t$ correspondant à chaque palier de traction. Par convention, la pente α de la tangente à chacune de ces relations constitue la mesure du fluage (fig. 6).

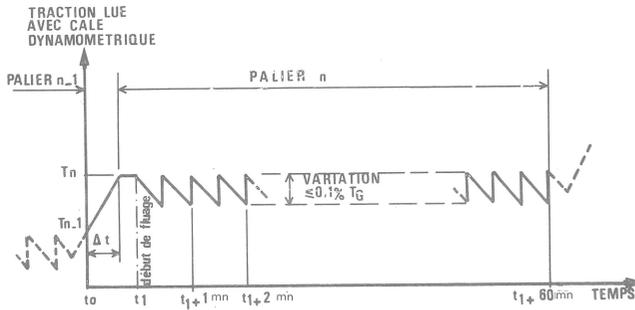
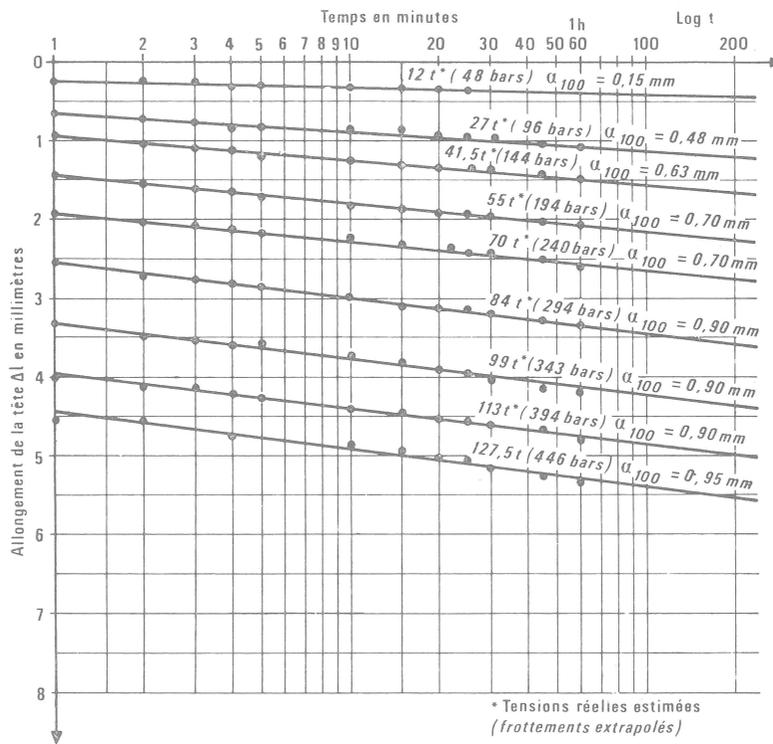


Fig. 5. — Intervalles de mesures des déplacements au cours d'un palier.

Fig. 6. — Relations $\Delta l / \log t$ correspondant à chaque palier. Pont d'Asnières 1974.



Corrélativement aux mesures sur le tirant, on mesure également les déplacements de l'appui.

A l'issue du dernier palier, il est laissé toute latitude à l'entreprise pour poursuivre l'essai sur le premier tirant selon le processus de son choix. Il est alors permis d'envisager :

- des cycles partiels de déchargement-charge ment ;
- un palier de fluage de longue durée ;
- la poursuite de l'essai jusqu'à la rupture du scellement ;

- un déchargement par paliers avec mesure des déformations des armatures, etc.

Il est toutefois prescrit d'arrêter l'essai avant la rupture des aciers, c'est-à-dire avant que l'allongement relatif de l'acier atteigne les 150/100 de l'allongement correspondant à la limite d'élasticité conventionnelle à 0.1 % (fig. 7).

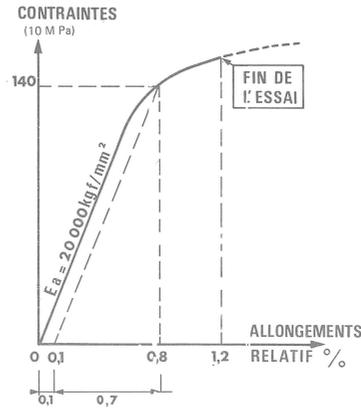


Fig. 7. — Diagramme « contraintes - allongements » d'un acier de précontrainte.

2.22. Interprétation des résultats de l'essai du premier tirant

Plusieurs cas peuvent se présenter :

Premier cas : la rupture du scellement s'est produite à T_1 avant que l'on atteigne $0.9 T_G$, c'est cette valeur qui va servir de référence pour le deuxième tirant.

Deuxième cas : $0.9 T_G$ a été atteint sans qu'il y ait eu rupture du scellement. Deux possibilités peuvent s'offrir :

- a) aucune des relations $\Delta l / \log t$ ne s'écarte de la ligne droite et on considère alors que la rupture du scellement n'a pas été atteinte (cas de la fig. 6) ;
- b) au-delà d'une certaine valeur de la traction, la pente d'une même relation $\Delta l / \log t$ croît rapidement avec le temps. On considère alors que l'on est entré dans la phase de rupture du scellement (fig. 8).

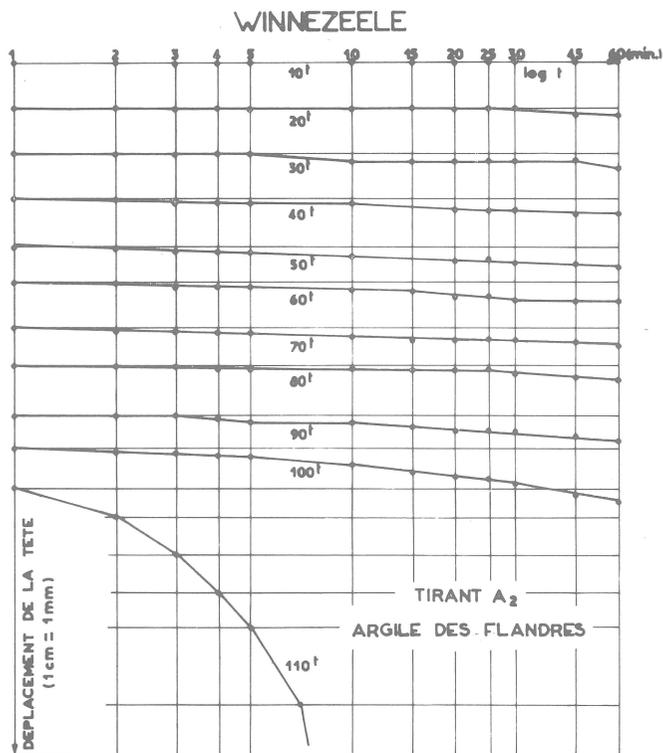


Fig. 8. — Relations $\Delta l / \log t$ d'un tirant scellé dans l'argile plastique. Winnezele 1976.

2.23. Recherche de la traction critique de fluage T_C

La valeur de cette traction T_C , qui constitue un seuil critique au-delà duquel les déformations croissent rapidement dans le temps, s'obtient par construction graphique.

On reporte dans un système de coordonnées arithmétiques :

- en abscisse, les valeurs de la traction correspondant à chaque palier ;
- en ordonnée, la pente α de la relation $\Delta l / \log t$.

La traction critique de fluage T_C est la valeur correspondant à la fin du segment de droite du graphique « α -traction » passant par l'origine (fig. 9).

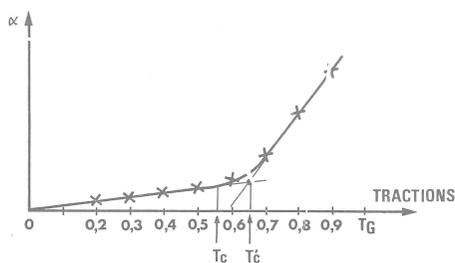


Fig. 9. — Détermination graphique de la traction de fluage.

Le point T_C , qui est parfois difficile à définir, est souvent remplacé par le point T'_C de rencontre du segment de droite passant par l'origine et du second segment de droite conduisant à la rupture.

On admet alors : $T_C = 0.9 T'_C$.

Le diagramme « α -traction » peut également présenter une anomalie (fig. 10). Il conviendra d'en expliquer la raison. S'il se présente une difficulté d'interprétation, on peut être amené à réaliser un tirant d'essai supplémentaire.

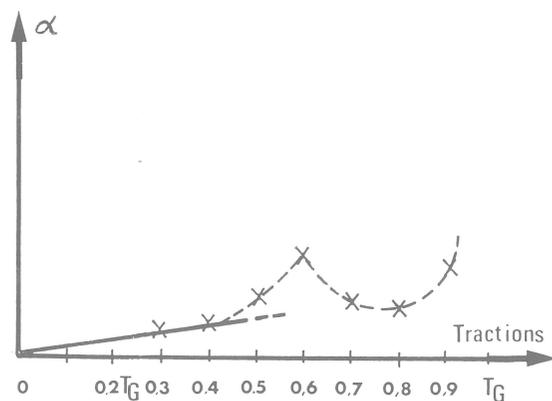


Fig. 10. — Diagramme « α -tractions » présentant une anomalie. Pont de Sèvres 1974.

2.24. Mode opératoire d'essai du deuxième tirant

Comme pour le premier tirant, l'essai va consister à soumettre ce tirant à une succession de paliers croissants de une heure, mais en y intercalant un palier de longue durée (minimum quarante-huit à soixante-douze heures) au cours duquel on observe le fluage (fig. 11).

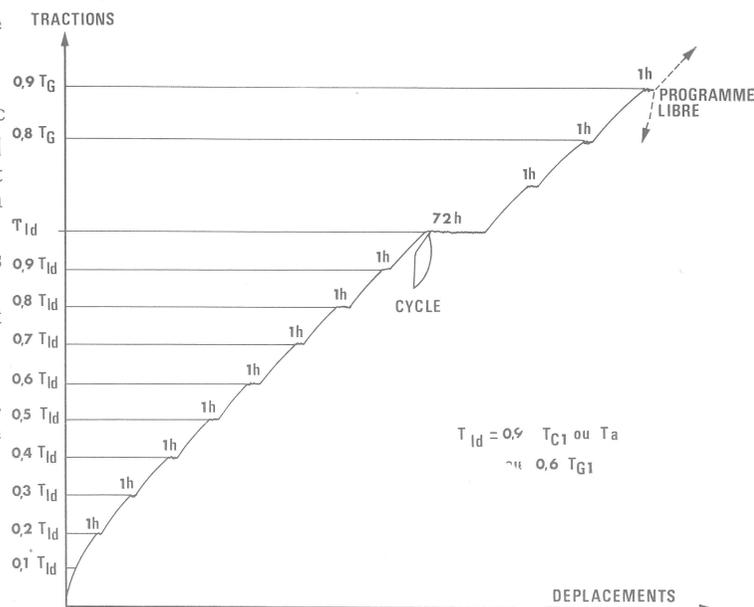


Fig. 11. — Programme de chargement du deuxième tirant.

Suivant les résultats obtenus sur le premier tirant, on prendra la traction du palier de longue durée T_{ld} égale à :

- a) $0.9 T_{C1}$ ou $0.8 T'_{C1}$, lorsque la traction critique de fluage a été déterminée ;

b) $\frac{2}{3} \times 0.9 T_{G1}$, soit $0.6 T_{G1}$, dans le cas où tous les points du diagramme « α -tractions » sont alignés sur une même droite ;

c) T_a , lorsqu'il s'agit de vérifier une traction de service fixée *a priori* et dont la valeur est inférieure à $0.9 T_{C1}$. On adoptera dans le cas contraire $0.8 T'_{C1}$.

Les paliers de chargement de une heure sont effectués par valeurs croissantes de $0.10 T_{ld}$, le premier palier ayant lieu à $0.20 T_{ld}$ et le dernier à $0.9 T_{ld}$.

A la suite du palier de $0.9 T_{ld}$, une nouvelle montée en traction est effectuée jusqu'à la valeur T_{ld} , puis il est procédé à un cycle de déchargement partiel, suivi d'un nouveau chargement jusqu'à la valeur T_{ld} .

La traction T_{ld} est alors maintenue pendant soixante-douze heures au moins, durant lesquelles on effectue les mesures des déplacements :

- pendant la première heure, comme indiqué pour le premier tirant ;
- puis aux 2^e, 4^e, 8^e, 16^e, 24^e, 48^e, et 72^e heures.

Au-delà de soixante-douze heures, la rupture n'ayant pas été atteinte, l'essai peut être poursuivi par paliers de une heure, espacés de $0.10 T_G$ jusqu'à $0.9 T_G$ ou la rupture du scellement.

Si la rupture n'est toujours pas atteinte, l'essai est terminé selon un processus laissé à l'initiative de l'entreprise.

On établit pour le deuxième tirant les mêmes relations que celles qui ont été fixées pour le premier tirant.

2.25. Interprétation des résultats des essais du deuxième tirant

L'essai préalable du deuxième tirant peut conduire à deux conclusions (fig. 12) :

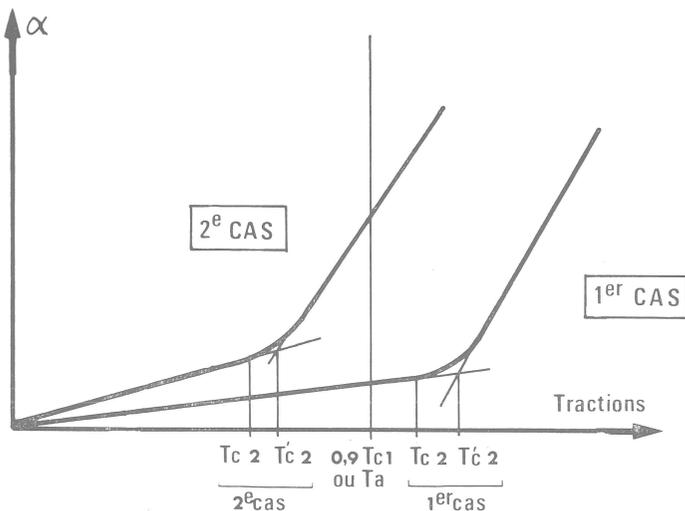


Fig. 12. — Résultats du deuxième tirant.

$$0.9 T_{C1} < T_{C2},$$

$$\text{ou } 0.9 T_{C1} > T_{C2}.$$

S'il y a un troisième tirant de la même série, il sera essayé selon un processus identique à celui utilisé pour le deuxième tirant, mais avec un palier de longue durée effectué à la plus petite des deux valeurs $0.9 T_{C1}$ ou $0.8 T'_{C2}$ en éliminant tout essai aberrant.

2.26. Recherche de la traction de service T_a

La relation $\Delta l / \log t$, correspondant à soixante-douze heures établie pour la charge T_{C2} , $0.9 T_{C1}$ ou T_a , est comparée à la même relation obtenue au cours des paliers de une heure pour le premier tirant.

Si la courbe de fluage du deuxième tirant est linéaire et indique simultanément (fig. 13) :

- 1) une bonne concordance avec celle obtenue pour la même valeur de traction lors de l'essai du premier tirant ;
 - 2) des déplacements absolus de l'extrémité de l'armature, au plus égaux à $2/10000$ de la longueur libre du tirant L_i entre la 60^e et la 72^e heure ;
- on adoptera comme traction de service T_a la plus faible des valeurs ci-après :

$$0.9 T_{C1} ; 0.8 T'_{C2} ; T_a ; \frac{2}{3} T_1 ; \frac{2}{3} T_2$$

(avec T_1 et T_2 représentant les tractions de rupture du scellement pour chaque tirant).

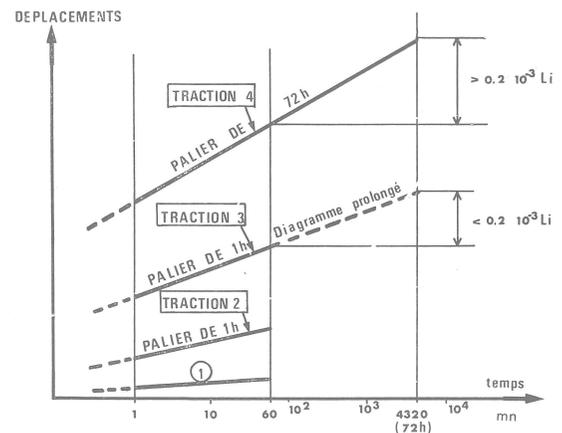


Fig. 13. — Comparaison des fluages du premier et du deuxième tirant.

Si une seule des deux conditions énoncées n'est pas satisfaite, on peut être conduit à réduire la traction de service T_a .

Si la courbe de fluage du deuxième tirant présente une concavité tournée vers le haut, et à moins que l'on ne puisse démontrer qu'il s'agit d'un résultat aberrant, le tirant sera refusé.

3. RESISTANCE DES TIRANTS AUX EFFORTS ALTERNES

Remarquons que si l'essai préalable ainsi conçu présente des avantages certains, il n'en reste pas moins onéreux lorsque l'on est obligé de l'envisager pour un ouvrage n'intégrant qu'un faible nombre de tirants.

Cette constatation a tout naturellement incité les praticiens à tenter de définir un nouvel essai, à réaliser préalablement à la mise en tension et au blocage du tirant, et dont l'interprétation permettrait de se pro-

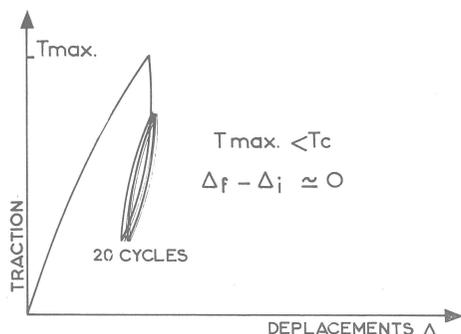


Fig. 14. — Cycles de charges n'amenant pas le glissement du scellement réalisé dans les graves compactes.

noncer comme le permet aujourd'hui l'essai préalable sur le fluage du scellement.

A ce jour, les tentatives effectuées dans ce domaine, ont consisté à soumettre les tirants à un certain nombre de cycles de chargements et de déchargements partiels de plus ou moins grande amplitude.

Les résultats semblent indiquer qu'en deçà d'un seuil critique, qui pourrait être d'ailleurs la charge de fluage T_c telle que nous l'avons définie plus haut, les efforts alternés n'amènent pas le glissement du scellement. D'autre part, le diagramme « traction-dépla-

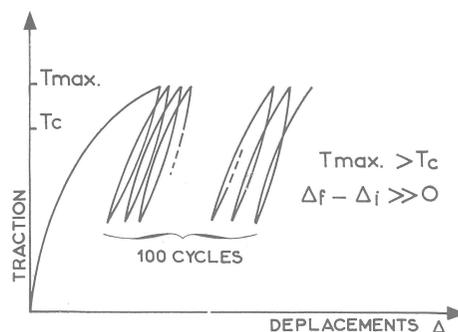


Fig. 15. — Cycles de charge conduisant au glissement d'un scellement de tirant réalisé dans des sables compactes.

cement » correspondant présente une succession de boucles « d'hystérésis » pratiquement superposées (fig. 14).

Par contre, au-delà de ce même seuil T_c , l'application de charges répétées conduit au glissement du scellement, ce qui se traduit au niveau du diagramme « traction-déplacement » par la non superposition des boucles « d'hystérésis » (fig. 15).

En dépit de son intérêt et parce qu'il relève encore, semble-t-il, du domaine expérimental, cet essai n'a pas été retenu par les nouvelles Recommandations.

DISCUSSION

M. le PRESIDENT. — Mes chers collègues, ces deux exposés étaient un peu arides parce qu'ils contenaient de nombreuses précisions. Ces précisions seront bien sûr dans le texte écrit de cette conférence et elles seront aussi dans la deuxième édition des Recommandations. Je souhaite néanmoins que des questions soient posées dès maintenant pour profiter de la présence de MM. Bustamante et Logeais, et éventuellement pour apporter quelques compléments. Qui demande la parole ?...

M. DUFFAUT. — Je ne suis pas tout à fait au courant de l'objectif visé par le document présenté. La méthode recommandée me paraît un excellent modèle de ce qu'il y a lieu de faire mais je me demande s'il s'agit d'un code de bonne conduite ou d'un règlement à suivre exactement ?

M. le PRESIDENT. — Je crois qu'on peut répondre de façon très simple : le titre est très clair, il s'agit de Recommandations. Mais elles ont été mises à l'épreuve pendant quatre années et, pendant ces quatre années, un certain nombre d'expériences ont été faites qui ont permis de vérifier et de corriger les valeurs proposées dès 1972. L'ensemble des règles a été discuté d'une façon très serrée et on a apporté quelques modifications et quelques précisions aux premières Recommandations. En fait, on n'a pas changé grand chose aux valeurs qui avaient été adoptées en 1972 à partir d'une intuition collective mais, il faut bien le dire, sans l'appui d'une grande expérimentation.

Nous avons maintenant un document un peu plus affiné. Reste à savoir s'il doit devenir règlement. Nous

le laisserons vivre et grandir en espérant que les autorités de tutelle adoptent les Recommandations proposées par le Bureau Securitas comme un outil de travail éventuellement pour lui donner la forme d'un document plus contraignant.

De la même façon, j'ai dit que nous avons souhaité un texte évolutif. Eh bien, M. Bustamante vient d'en montrer un exemple avec les essais de chargement cyclique : il est bien clair que les limites inférieures et supérieures des cycles, que le nombre de cycles, que la dérive acceptable, restent encore complètement à définir.

M. HURTADO. — Je voudrais demander à M. Logeais quelques précisions sur le point d'ancrage fictif car il m'a semblé qu'il a prononcé la phrase suivante : « on ne voit pas comment un tirant pourrait tenir si son point d'ancrage fictif se trouve au-delà du bulbe d'ancrage ». Je ne suis pas tout à fait d'accord sur cette affirmation, parce que dans la longueur dont se déplace la tête des fils il y a le raccourcissement du terrain ; le tirant est précontraint : cette précontrainte, c'est le terrain qui la subit et se déforme en conséquence.

Si on regarde les ordres de grandeur, on peut estimer un déplacement du bulbe d'ancrage à l'intérieur de la masse de terrain de l'ordre de 1 à 3 cm. Si on utilise des armatures avec de fortes contraintes, les allongements sont de l'ordre de 5 ou 6 mm par mètre.

Donc, pour un tirant de 10 m, on aura un allongement de 5 ou 6 cm. Si on ajoute les 3 cm de déplacement du bulbe, on peut très bien avoir un point d'ancrage fictif au-delà du bulbe.

Vous disiez que le point d'ancrage fictif doit être entre le bouchon et la moitié du bulbe : c'est une précaution importante, ne l'est-elle pas trop ?

M. LOGEAIS. — Vous avez parfaitement raison, Monsieur Hurtado, et ce que j'ai dit tout à l'heure, concernant la position du point d'ancrage fictif, ne s'appliquait en fait qu'à un seul des deux cas possibles : celui des terrains non susceptibles de fluer. Je n'ai donc mentionné, par oubli, que le cas de ces derniers terrains, et cela est dû au fait que j'ai improvisé au lieu de suivre, au mot à mot, le texte que j'avais préparé (*).

Je reprends donc les deux cas possibles :

- en ce qui concerne les terrains non susceptibles, a priori, de fluer, il faut en effet que le point d'ancrage fictif soit compris entre les 9/10 de la longueur libre et le milieu du scellement ;
- par contre, pour les terrains fluants, et vous avez eu parfaitement raison de le souligner, cette prescription ne signifie plus rien, le point d'ancrage fictif pouvant en effet, par suite du fluage du terrain, sembler se situer au-delà du bulbe d'ancrage. La seule condition que nous avons conservée est celle de la longueur libre apparente minimale, c'est-à-dire que le point d'ancrage fictif ne doit pas se situer normalement entre la tête d'ancrage et le bouchon : on peut, à la limite, tolérer une position en aval du bouchon (à condition de ne pas dépasser le 1/10 de la longueur libre théorique) si l'on peut justifier que la mise en place de la protection ne risque pas d'être gênée.

M. le PRESIDENT. — Il y a d'ailleurs, pour la détermination de ce point d'ancrage fictif, une inconnue non négligeable : le module d'élasticité de l'acier. Il vaut environ 200 GPa (20 000 kg/mm²) pour les éprouvettes de laboratoire ; mais quand on a affaire à des fils qui sont plus ou moins droits, et sur des câbles de 10 m, on peut avoir des surprises très importantes, avec des écarts de 10, 15 et même de 20 %. De sorte que ce calcul, même avec la formule de M. Logeais, présente parfois un petit côté folklorique qui nous a gênés à un moment de la rédaction et qui a fait partie des discussions de révision dont je parlais à l'instant en réponse à M. Duffaut.

M. PHILIPPONNAT. — Je voudrais poser une question d'ordre différent. Je suis un peu étonné, bien que ce ne soit pas l'objet de la conférence, que personne ne s'intéresse, apparemment tout au moins, à l'évaluation de la force portante des tirants avant toute réalisation de travaux, c'est-à-dire au niveau des études de sols.

Les essais de tirants au moment de la réalisation des travaux, c'est un peu comme la tenue des carnets de battage quand on fait des pieux battus. Je pense que dans le cas du tirant il est quand même indispensable d'avoir, au moment de l'étude, une idée de la force portante du tirant, de façon à voir si le projet que l'on envisage est viable ou non et d'évaluer son coût.

Il semble que la mise au point de méthodes de calcul des tirants, à partir d'essais in situ ou en laboratoire, est un peu laissée de côté. Je voudrais savoir si cette question a été abordée.

M. le PRESIDENT. — Vous sortez un petit peu des soucis qui ont été les nôtres, mais cette question se trouve à l'« amont » de nos problèmes, si l'on peut dire.

Vous savez que, dans de nombreux pays, on récuse purement et simplement l'emploi des formules de mécanique des sols pour la force portante des pieux. Le problème du tirant est certainement plus complexe encore et je crois qu'à l'heure actuelle il faudrait vraiment beaucoup d'audace pour tenter de calculer un tirant d'ancrage à partir de la connaissance des seules caractéristiques mécaniques des sols (caractéristiques de rupture et caractéristiques d'élasticité), et sans connaître la

technologie propre de la réalisation de ce tirant. Il suffit de voir, lorsqu'on déchausse le scellement de quelques tirants, les formes très différentes que les bulbes de scellement peuvent prendre, pour se rendre compte qu'il est pratiquement impossible de proposer une formule unique sans l'associer à la technologie propre de la mise en place des tirants, pressions d'injection et quantités injectées.

Finalement, c'est à cause de ce vide théorique sur lequel on butait de toutes parts, qu'on est arrivé à la nécessité des essais préalables et à celle d'une épreuve normalisée de réception des tirants permettant de déterminer si on est en présence d'un objet sain. Je pense que toutes les entreprises qui ont réalisé des tirants en France ces dernières années confirmeront cette insuffisance actuelle de la prévision.

Je ne sais pas si j'ai parfaitement répondu ; mais si vous avez une bonne solution à ce problème, nous serions très heureux de pouvoir jeter au feu les éditions successives des Recommandations pour les tirants d'ancrage.

M. PHILIPPONNAT. — Je suis tout à fait conscient de la difficulté du problème ; de même, tout le monde est conscient de la difficulté du dimensionnement des pieux à partir d'essais in situ ; ce n'est pas parce que c'est difficile qu'il ne faut pas poser la question. Je crois que personne ne se la pose actuellement.

M. BUSTAMANTE. — La plupart des entreprises se la posent et on se la pose aussi dans l'Administration. Mais, comme vous le savez, le problème n'est pas facile. Peut-être dans un an ou deux, serons-nous en mesure d'apporter les premiers éléments de réponse. Il existe les formules basées sur l'essai pressiométrique...

M. PHILIPPONNAT. — Pour les pieux ou pour les tirants ?

M. BUSTAMANTE. — Pour les pieux travaillant à la traction mais mis en place par refoulement du sol. Pour le dimensionnement des tirants injectés il n'existe effectivement pas de formules, et les entreprises qui réalisent des tirants ne se fient qu'à leur expérience.

Il existe quelques études de synthèse faites à ce sujet. D'autre part, les gens qui réalisent des tirants savent généralement où ils vont, même s'ils préfèrent toujours vérifier par des essais préalables ou de mise en tension la résistance de leurs tirants.

M. PHILIPPONNAT. — Il est bien certain que les entreprises spécialisées peuvent définir pour chaque catégorie de sol, a priori et compte tenu de leur expérience, une fourchette de résistances probables des tirants. Mais, à ma connaissance, il n'y a jamais rien eu de publié, même à partir de formules empiriques.

M. BUSTAMANTE. — Il existe quelques travaux relatifs à la tenue des tirants IRP, TUBFIX, TM, BBRV... Les spécialistes allemands proposent certains tableaux ou graphiques pour le dimensionnement du scellement ; Ostermayer par exemple a fait de telles propositions. Mais je reste convaincu que, pour l'instant, l'essai en vraie grandeur offre plus de garantie.

M. PHILIPPONNAT. — Je ne mets pas en cause la nécessité et l'intérêt des essais en vraie grandeur, mais il y a quelquefois des décisions à prendre avant de pouvoir les réaliser...

M. BUSTAMANTE. — De toute façon elles sont toujours prises avant et, par l'essai, on se propose de vérifier si l'on ne s'est pas trompé.

M. le PRESIDENT. — Il faut dire que les prévisions qui ont été faites comme cela, à partir de normes, car on ne peut pas dire qu'il y ait véritablement à l'heure actuelle des formules établies, ont conduit à un certain nombre de catastrophes. C'est la raison pour laquelle il est indispensable aujourd'hui de dire que nous n'avons pas de prévisions valables et d'insister sur le rôle de l'expérience acquise au cours de travaux dans des formations

(*) Note de M. Logeais : le texte qui est remis à l'impression rétablit les deux cas et diffère donc sur ce point de la conférence prononcée le 7 décembre 1976.

géologiques bien identifiées ou, en son absence, sur la nécessité des essais préalable. C'est la situation présente ; j'espère qu'elle changera et que demain quelqu'un pourra répondre à M. Philipponnat.

M. LOGEAIS. — Quand on extrait plusieurs bulbes, même scellés dans le même terrain, on constate qu'aucun n'a rigoureusement la même forme. On ne voit donc pas comment on pourrait faire des calculs donnant la résistance d'un scellement dont on ne connaît pas la forme exacte. Les résistances empiriques provenant des essais sont, finalement, du moins pour le moment, beaucoup plus fiables que celles que l'on obtiendrait à partir de formules faisant intervenir la surface du scellement au contact avec le terrain.

M. HOUY. — Comme c'est la fin de la séance, j'en profite pour poser une question un peu en dehors du sujet. Vous avez parlé à plusieurs reprises de traction de service, de traction admissible. J'aimerais bien avoir la définition précise de ces termes, en particulier dans le cadre des nouvelles conceptions selon lesquelles les valeurs à prendre en compte dépendent des combinaisons d'actions considérées. Or, vous savez que l'on trouve de plus en plus souvent ces combinaisons d'actions dans les cahiers des charges.

Il est souhaitable aujourd'hui que tout le monde parle le même langage et donc de définir ces tractions de service dans ce cadre général actuel.

M. LOGEAIS. — La science des tirants d'ancrage est encore trop récente pour qu'on puisse lui appliquer les théories semi-probabilistes qui caractérisent d'autres règlements actuels. Nous sommes donc pour notre part restés très vieux jeu, préférant en rester à un coefficient admissible par rapport à des tractions limites.

La seule analogie par rapport à d'autres règlements, par exemple celui du béton armé, est que, de même que dans ces règlements, on envisage plusieurs états-limites, il existe pour les tirants plusieurs tractions limites possibles ; il y en a en fait trois :

- celle qui correspond à la rupture de l'armature ;
- celle qui peut correspondre à la rupture du scellement ;
- celle, enfin, qui peut être imposée par les phénomènes de fluage du terrain : c'est cette traction critique dont vous a parlé tout à l'heure M. Bustamante, lequel vous a indiqué quels étaient les coefficients de sécurité que l'on prenait.

En outre, lorsque l'on prend un coefficient de sécurité par rapport à la rupture de l'armature, ce coefficient est encore différent suivant que l'armature est en acier de précontrainte ou en acier pour béton armé (ce dernier cas est celui des tirants passifs).

Pour les aciers de précontrainte, les tractions admissibles prévues dans le TA 77 sont les mêmes que celles qui figuraient dans le TA 72, à savoir que la contrainte sous traction de service ne doit pas dépasser :

- les 60/100 de la limite élastique pour les tirants définitifs ;
- les 75/100 de cette même valeur pour les tirants provisoires.

Quant aux armatures des tirants passifs, c'est-à-dire les aciers pour béton armé, étant donné que la plupart

du temps ces armatures ne sont pas protégées, on applique une contrainte admissible à une section fictive qui correspond à ce qui restera de l'acier après un certain nombre d'années, c'est-à-dire une section fictive obtenue en déduisant la rouille ; nous avons adopté les spécifications américaines, c'est-à-dire que nous avons supposé une perte de matière possible de 1 mm tous les trente ans. Et c'est donc à cette section fictive que l'on applique les règlements en vigueur, c'est-à-dire actuellement le CCBA 68.

M. HOUY. — Donc, c'est surtout la valeur de la traction pour la combinaison fondamentale, dans le jargon actuel, que vous indiquez. Est-ce bien cela ?

M. LOGEAIS. — Oui.

M. HOUY. — Et vous laissez en somme la liberté aux utilisateurs des Recommandations de modifier éventuellement les coefficients pour ces combinaisons d'actions exceptionnelles. Est-ce bien cela ?

M. BUSTAMANTE. — En ce qui concerne les différentes combinaisons de charge, c'est aux ingénieurs qui calculent les soutènements de les fixer. En ce qui nous concerne, nous nous prononçons sur la tenue du scellement ; mais en ce qui concerne l'évolution de la traction de service, nous nous en remettons aux spécialistes du calcul des soutènements.

M. HOUY. — C'est là le problème de la liaison entre ces deux disciplines.

M. BUSTAMANTE. — Oui, que chacun prenne ses responsabilités. Nous proposons des coefficients de sécurité qui nous engagent sur la tenue des scellements. Quant à la valeur de la traction de service et son évolution, c'est au projeteur de se prononcer.

M. LOGEAIS. — Peut-être qu'un jour on fera un T A E L (*), mais on n'en est pas encore là.

M. GILBERT. — Qu'en est-il des tirants au rocher ?

M. le PRESIDENT. — Les spécifications pour le tirant au rocher sont incluses dans les nouvelles Recommandations qui couvrent aussi bien les tirants dans les sols que les tirants au rocher. On peut tout de même dire pour ces derniers qu'il y a beaucoup moins de problèmes ; vous avez vu que les modifications des Recommandations portent essentiellement sur l'interprétation des essais, notamment pour le fluage : c'est en particulier l'exposé de M. Bustamante. Dans le rocher, c'est un souci qui se présente peu et le problème du scellement est beaucoup plus simple.

M. BUSTAMANTE. — Je crois que la méthode de l'essai préalable présente un caractère universel et qu'elle est donc applicable au cas du rocher. Je pense toutefois que pour le rocher, on a surtout des problèmes de résistance d'acier et non de fluage de scellement. Mais la méthode est valable et moi je l'appliquerai.

M. le PRESIDENT. — Explicitement, dès les premiers mots, les Recommandations couvrent les scellements au rocher.

Puisqu'il n'y a plus de questions, je remercie à nouveau les deux conférenciers et je lève la séance.

(*) T. A. E. L. : Règles de calcul des tirants d'ancrage aux états-limites ; allusion aux règles B. A. E. L. pour le calcul du béton armé aux états-limites.

