

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

RECOMMANDATIONS CONCERNANT LES TIRANTS D'ANCRAGE
RECOMMENDATIONS FOR PRESTRESSED SOIL ANCHORS
РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ АНКЕРОВ

BUREAU SECURITAS, Paris (France)

RESUME. La construction d'immeubles et de parkings comportant un grand nombre de sous-sols a conduit à un développement spectaculaire de la technique des parois moulées et corrélativement de celle des tirants d'ancrage. De tels tirants permettent d'assurer la stabilité des parois des fouilles profondes soit en phase provisoire, soit à titre définitif ; ils permettent également l'ancrage de radiers soumis à des sous-pressions hydrostatiques importantes. En l'absence de texte réglementaire sur ces tirants, il est apparu nécessaire au BUREAU SECURITAS d'établir des "RECOMMANDATIONS CONCERNANT LA CONCEPTION, LE CALCUL, L'EXECUTION ET LE CONTROLE DES TIRANTS D'ANCRAGE (1)". Ces "Recommandations" ont essentiellement un caractère évolutif ; elles se sont fixé un double objectif : ne pas figer la technique et promouvoir des essais susceptibles de faire progresser nos connaissances. Les principales dispositions du texte qui vient d'être élaboré sont analysées dans la présente communication.

PREAMBULE

La technique des parois moulées a connu au cours de ces dernières années un développement spectaculaire. Il en a été de même pour les tirants d'ancrage dont le rôle est de maintenir ces parois, soit provisoirement, soit définitivement (fig. 1). Le BUREAU SECURITAS s'est donc fixé pour tâche d'établir des Recommandations sur ce sujet, dans le double but suivant :

- faciliter la tâche de ceux qui établissent ou contrôlent des projets de tirants d'ancrage,
- fixer pour les entreprises, une "règle du jeu" commune.

Ces Recommandations sont une oeuvre collective. Elles ont été élaborées par un groupe de travail réunissant, sous la présidence de M. HABIB, des Membres Délégués de la Commission des Fondations du BUREAU SECURITAS (MM. MAYER et GRAUX), des Ingénieurs des Entreprises françaises spécialisées : BACHY (MM. DUPEUBLE et CLEMENT), INTRAPOR-COPOR (M. NOTTE), SOLETANCHE (MM. CARON, CHADEISSON, JORGE), de la SOCOTEC (MM. DESPEYROUX, CAZEU-NEUVE, MARTIN) et du BUREAU SECURITAS (MM. LEBELLE, BRENIER, BLEVOT et M. LOGEAIS qui a assumé la tâche de rapporteur).

Ces Recommandations s'appliquent à tous les types de tirants d'ancrage, mais elles concernent plus spécialement les tirants scellés

dans le terrain par injection et mis en tension en prenant appui sur l'ouvrage.

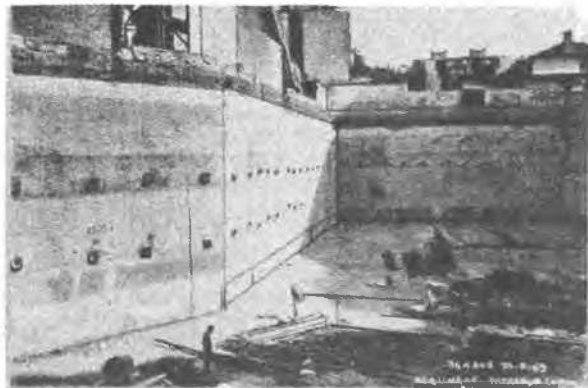


FIG. 1. PAROI MOULEE MAINTENUE PAR DES TIRANTS

Les techniques concernant ces tirants étant actuellement en pleine évolution, il importait de ne pas les figer par des règles trop strictes : les Recommandations ont donc pour but de définir les principes, et de fixer les objectifs à atteindre. C'est pourquoi, bien que des procédés-types soient indiqués dans le texte, il est précisé que toute autre

méthode peut être utilisée à condition d'en justifier.

CONCEPTION

Comme indiqué dans le résumé, les tirants peuvent jouer deux rôles différents : disposés horizontalement ou avec une inclinaison relativement faible sur l'horizontale, ils permettent d'assurer la stabilité de parois de fouilles profondes, soit en phase provisoire, soit à titre définitif ; disposés verticalement ou sensiblement verticalement, ils permettent l'ancrage de radiers soumis à des sous-pressions hydrostatiques élevées. Les structures stabilisées par des tirants sont donc classées en deux catégories : les soutènements et les radiers.

La méthode de calcul ou de vérification comporte trois étapes :

- la détermination de la résistance propre du tirant,
- la détermination de la position et des dimensions géométriques des ancrages,
- la vérification de la stabilité d'ensemble.

La résistance propre du tirant est définie :

- en fonction des caractères mécaniques de l'armature du tirant : la "traction admissible en service" est limitée à $0,75 T_G$ pour les tirants provisoires et à $0,60 T_G$ pour les tirants définitifs, T_G désignant la traction correspondant à la limite d'élasticité à $0,1 \%$ de l'armature du tirant ;
- en fonction des résultats éventuels des essais préalables de tirants. Cette notion sera précisée plus loin.

En ce qui concerne les dimensions géométriques de l'ancrage, on définit la longueur neutre et la longueur utile, cette dernière ne pouvant être inférieure à 5 mètres.

La stabilité d'ensemble des soutènements est étudiée par une méthode pratique qui rejoint celle proposée par RANKE et OSTERMAYER (2) à partir des travaux de KRANZ, et basée sur l'analyse d'une "rupture par renversement" (3).

La méthode est d'abord exposée dans le cas d'un massif homogène associé à une nappe de tirants unique. La surface de rupture classique assimilée à un cercle, passant par le "point de base" de la structure et le milieu de la longueur active de l'ancrage, est remplacée par une surface composite voisine, constituée de portions de plans. Le massif ainsi limité est soumis à son poids propre, à la poussée active des terres sur sa face arrière, à la réaction de l'écran sur le massif, à la réaction d'appui sur la face inférieure et à l'effort d'ancrage A. Ce dernier effort représente la valeur minimale de la traction nécessaire pour assurer la stabilité d'une tranche unitaire de la structure.

Le tracé du "dynamique" permet de déterminer l'effort maximal d'ancrage A' compa-

tible avec la sécurité du massif. On doit vérifier que A' est au moins égal au produit de A par un coefficient de sécurité pris, en général, égal à 1,5.

La méthode proposée fait donc intervenir un coefficient de sécurité global ; les Membres du groupe de travail, dans leur majorité, ont en effet pensé que, dans l'état actuel de nos connaissances, il était difficile de présenter des méthodes de "calcul aux états limites" quel que puisse être l'intérêt théorique de semblables méthodes.

La stabilité d'ensemble des radiers est étudiée selon un processus dérivé de la méthode de JELINEK et OSTERMAYER (4) ; elle fait intervenir un volume de terrain associé à chaque tirant ; ce volume, en forme de cône, est réduit éventuellement dans le cas de tirants rapprochés pour tenir compte de l'interpénétration des volumes associés à des tirants voisins.

La vérification de la stabilité d'ensemble, nous l'avons dit, a été effectuée dans le cas particulier d'une seule nappe d'ancrages scellée dans un terrain homogène, mais deux extensions à la méthode sont indiquées dans les Recommandations :

- la première concerne l'étude de la stabilité d'ensemble dans le cas de systèmes à nappes d'ancrages multiples ; la méthode proposée est une généralisation de celle exposée pour les massifs stabilisés par une nappe unique de tirants ;

- la seconde traite de l'application de la méthode aux massifs non homogènes, elle définit les règles pratiques à utiliser dans le cas de massifs stratifiés constitués de couches de terrains de caractéristiques physiques et mécaniques différentes.

Enfin, bien que cela sorte du cadre des Recommandations, il a paru utile au groupe de travail de donner des indications sur le calcul des poussées :

- a) la poussée sur la face arrière du massif est évaluée en faisant intervenir le coefficient de "poussée au repos",
- b) la poussée sur le soutènement est calculée
 - dans le cas de soutènements souples, par les méthodes classiques (5), au moyen du coefficient de poussée active,
 - dans le cas de soutènements rigides, et notamment dans celui des parois moulées, au moyen des diagrammes de poussée sur les blindages de TERZAGHI et PECK (6) pour les sols pulvérulents, et de TSCHEBOTARIOFF (7) pour les sols cohérents.

Un tableau récapitulatif joint au texte permet au projeteur de choisir la méthode de vérification applicable, en fonction des divers cas possibles.

MISE EN OEUVRE

Les opérations successives de mise en oeuvre des tirants d'ancrage sont :

- le forage du trou dans lequel sera disposé le tirant,
- la mise en place de l'armature,
- l'accrochage du tirant au sol,
- la mise en tension du tirant,
- la protection du tirant contre la corrosion.

L'accrochage du tirant au sol fait l'objet de prescriptions détaillées dans le cas où sont utilisés des coulis ou mortiers de scellement. Des indications concernant le choix des ciments sont données en fonction de l'agressivité du terrain vis-à-vis du ciment et de celle du ciment vis-à-vis de l'armature du tirant. Une liste jointe en annexe et mise à jour annuellement indique les ciments utilisables.

Préalablement à la mise en tension définitive, tous les tirants sont soumis à une "tension d'épreuve" égale à 1,20 fois la tension de service pour les tirants provisoires, et à 1,30 fois la tension de service pour les tirants définitifs. Pour ces derniers, en outre, une mise en tension à 1,50 fois la tension de service peut être demandée sur 5 % d'entre eux.

La protection des tirants contre la corrosion fait l'objet de prescriptions très complètes, notamment lorsque sont utilisées des armatures de précontrainte fortement sollicitées. Les précautions imposées dépendent :

- de la durée de vie des tirants ; ceux-ci sont répartis en 3 catégories :
 - 1) tirants provisoires de durée de service inférieure à 9 mois,
 - 2) tirants provisoires de durée de service inférieure à 18 mois,
 - 3) tirants provisoires de durée de service supérieure à 18 mois, et tirants définitifs,
- de la nature du milieu ambiant : on distingue les terrains non agressifs, moyennement agressifs et très agressifs. Des exemples sont donnés pour chacune de ces catégories de terrains.

La protection peut être réalisée antérieurement ou postérieurement à la mise en tension.

Suivant leur importance et leur durabilité, les protections sont réparties en 3 classes : un tableau à double entrée indique la classe minimale de la protection requise en fonction de la durée de vie du tirant et du degré d'agressivité du terrain.

Le texte des Recommandations s'attache à préciser quelles sont les qualités requises

pour chacune des classes de protection ainsi définies ; il mentionne dans quelle classe se rangent les protections actuellement utilisées qui peuvent être liquides (eau silicatée), souples (brai époxy) ou rigides (coulis de ciment).

Les prescriptions correspondantes ont été établies en accord avec les représentants des trois entreprises participant au groupe de travail et avec les Ingénieurs de la SOCOTEC spécialistes des travaux de béton précontraint. Les dispositions particulières à chaque système figureront sur des fiches d'agrément qui seront établies ultérieurement.

ESSAIS PREALABLES (fig. 2)



FIG. 2. ESSAIS PREALABLES DE 3 TIRANTS DE 175 tonnes chacun

De tels essais sont obligatoires en cas de scellement dans des terrains susceptibles de fluer. Dans les autres terrains, l'Entreprise pourra se dispenser d'essais préalables si elle peut justifier son expérience du système proposé dans des terrains et des conditions d'emploi analogues.

Les essais préalables ont pour objet :

- soit de vérifier un coefficient de sécurité fixé a priori,
- soit de déterminer la tension limite du scellement.

Ils doivent être poursuivis, dans la mesure du possible, jusqu'à la rupture de l'ancrage.

Les Recommandations fixent le nombre de tirants sur lesquels des essais préalables doivent être effectués, en fonction du nombre total de tirants d'une même catégorie ; il est spécifié qu'il n'est pas possible d'interpréter valablement les résultats d'essais effectués sur un tirant unique ;

on doit donc faire au minimum deux essais préalables, si l'on en fait.

Le mode opératoire des essais fait l'objet de prescriptions très complètes et détaillées car les auteurs des Recommandations ont cherché à envisager les différents cas possibles. Il a fallu distinguer notamment le cas où l'on est en présence d'un terrain connu et non susceptible de fluier et celui où le comportement du terrain est mal connu et où il y a risque de fluage. On peut être conduit à arrêter un essai soit parce que l'allongement de l'acier atteint des valeurs dangereuses pour le personnel, soit parce qu'il se produit une rupture de scellement.

Pour faciliter l'application du texte, des diagrammes types d'essais sont annexés ; ils visualisent les opérations successives de mise en tension en donnant tant pour les tirants provisoires que pour les tirants définitifs les différents paliers des valeurs des tensions et la durée d'application correspondante.

A titre d'exemple, nous donnons ci-après les diagrammes types correspondant à des tirants définitifs dans le cas où le terrain est connu (fig. 3) et dans celui où il est mal connu (fig. 4).

Le mode opératoire d'un essai dépend évidemment des résultats du ou des précédents.

Un tableau récapitulatif résume schématiquement les différents cas possibles de types d'essais avec renvoi au texte des Recommandations et aux diagrammes.

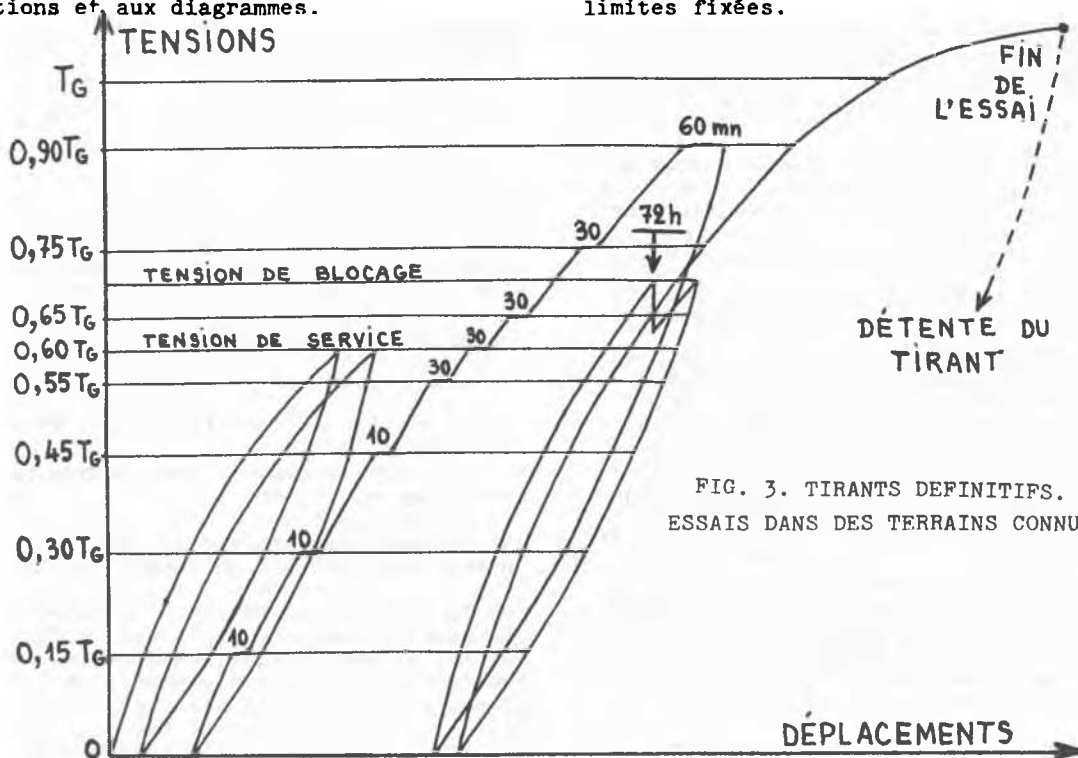


FIG. 3. TIRANTS DEFINITIFS.
ESSAIS DANS DES TERRAINS CONNUS

Lorsqu'il y a risque de fluage du terrain, il est recommandé et, dans certains cas, prescrit de procéder aux essais avec interposition de cales dynamométriques. Des mesures de déplacements de la tête de l'ancrage sont imposées après des blocages successifs d'une durée de 72 heures. Des valeurs limites des déplacements ont été forfaitairement fixées, il est bien évident qu'elles pourront être révisées lorsque des essais en nombre suffisant nous auront permis de préciser nos connaissances en la matière.

Si les valeurs des déplacements obtenus sont supérieures aux valeurs limites fixées, il pourra être nécessaire de recommencer de nouveaux essais.

Si les essais sont réputés satisfaisants en fonction des critères fixés dans le texte, on en déterminera la tension admissible en service T_a .

Dans le cas de terrains connus et non susceptibles de fluier, s'il n'y a pas eu rupture de scellement, on adopte les valeurs indiquées plus haut ($0,75 T_g$ ou $0,60 T_g$), s'il y a eu rupture du scellement T_a est pris égal aux deux tiers de la tension limite la plus faible enregistrée au cours des essais pour les tirants provisoires, et à la moitié de cette même tension pour les tirants définitifs.

Dans le cas des terrains susceptibles de fluier, on fait en plus intervenir une tension critique de fluage T_f : c'est la tension à partir de laquelle les déplacements de la tête d'ancrage mesurés au cours d'essais successifs dépassent les valeurs forfaitaires limites fixées.

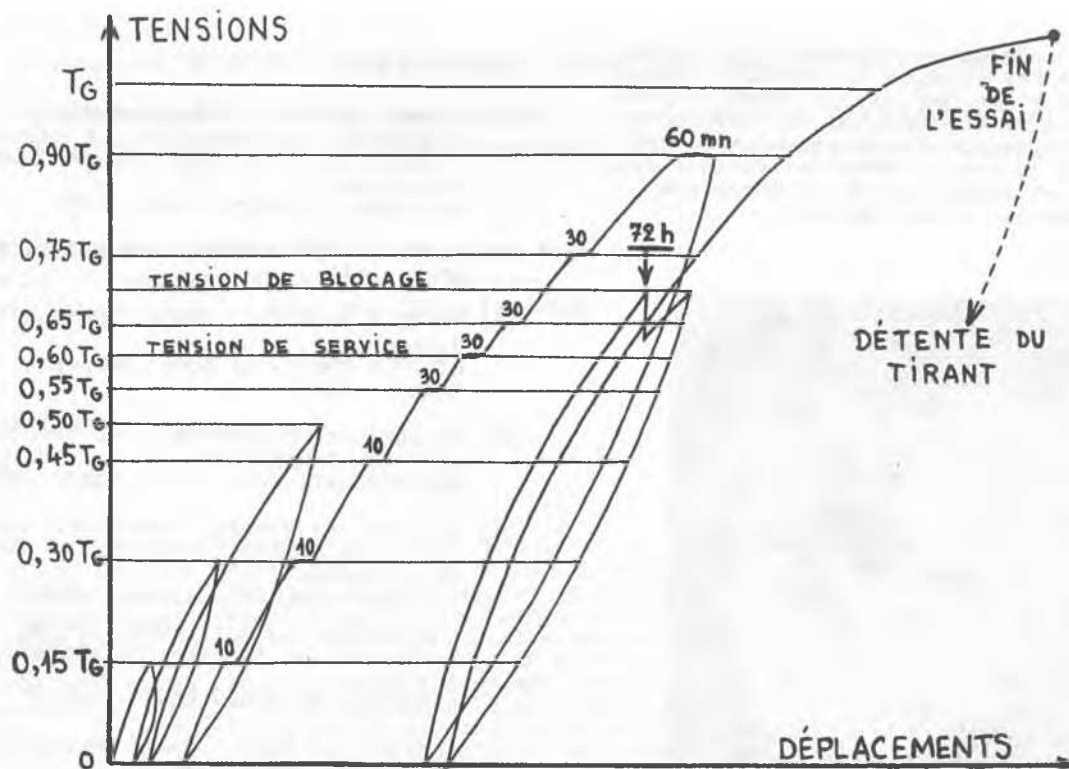


FIG. 4. TIRANTS DÉFINITIFS. ESSAIS DANS DES TERRAINS
DONT LE COMPORTEMENT EST MAL CONNU

Pour les tirants provisoires, on prend $T_f - T_a$; pour les tirants définitifs, on prend $T_f = 1,2 T_a$.

(le pourcentage de ces tirants par rapport au nombre total varie de 0,10 à 0,05).

Le dispositif de contrôle propre à chaque procédé doit être précisé lors de l'agrément de celui-ci.

Les mesures faites éventuellement à l'occasion de ce contrôle périodique des tirants devraient permettre de faire progresser nos connaissances sur certaines questions mal connues.

CONCLUSION

Les Recommandations concernant les tirants d'ancrage qui ont été élaborées combient une lacune puisqu'il n'existait, à notre connaissance, aucun texte réglementaire quelque peu complet sur cette technique en plein développement. En particulier, nous n'avons trouvé nulle part un exposé aussi détaillé sur les ciments à utiliser et sur la protection des tirants contre la corrosion.

Les Membres du groupe de travail considèrent que ces Recommandations ont un caractère essentiellement évolutif et que l'on pourra être conduit à les réviser dans un avenir relativement proche. Les essais préalables

4.53 CONTRÔLE PÉRIODIQUE DE LA TENSION

Bien que le système d'ancrages par tirants constitue un procédé qui a reçu la sanction de l'expérience et qui peut être considéré comme sûr, les Membres du groupe de travail, y compris les représentants des Entreprises, ont estimé utile de prévoir un dispositif de contrôle permettant de déceler à temps d'éventuelles défaillances (fig. 5). Les Recommandations imposent donc un contrôle périodique des tirants définitifs et en fixent les modalités. Jusqu'à la réception provisoire de l'ouvrage, ce contrôle est à la charge de l'entreprise ; au-delà de la réception, c'est le cahier des prescriptions particulières qui précise par qui sera effectué le contrôle et à la charge de qui il sera.

La durée du contrôle ne doit pas être inférieure à la période de garantie décennale, la fréquence de contrôle varie dans le temps : trimestriel au début, il devient annuel au-delà de la seconde année. Les Recommandations fixent le nombre minimal de tirants de chaque catégorie qui devront comporter un dispositif de contrôle

qui sont prévus dans certains cas, notamment dans les ancrages en terrains susceptibles de fluer, et les contrôles périodiques de la tension des tirants définitifs devraient fournir des renseignements précieux sur le comportement des tirants dans le temps et contribuer à améliorer nos connaissances en ces domaines.



FIG. 5. CONTROLE DE LA TENSION DANS LE TEMPS
CALE DE CONTROLE "RESPLAT" EN PLACE

BIBLIOGRAPHIE

- (1) BUREAU SECURITAS : Recommandations concernant la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle des tirants d'ancrage.
EYROLLES, Editeur. PARIS 1972
- (2) RANKE et OSTERMAYER : die BAUTECHNIK
N° 10-1968
- (3) KRANZ : Über die Verankerung von Spundwänden.
WILHELM ERNST und Sohn, Editeurs.
BERLIN 1953
- (4) JFLINEK et OSTERMAYER : Zur Tragfähigkeit von Zugpfählen
FELSMECHANIK VOL. II/1 WIEN 1964
- (5) Poussée des terres, Surcharges uniformes
CAQUOT et KERISSEL : Tables de poussée et de butée.
GAUTHIER-VILLARS, Editeurs. PARIS 1948
Surcharges non uniformes : GRAUX :
Fondations et Excavations profondes
Tome 1
EYROLLES, Editeur. PARIS 1967
- (6) TERZAGHI et PECK : Soils Mechanics in engineering practice.
JOHN WILEY and SONS, Editeurs.
NEW-YORK 1951
- (7) TSCHEBOTARIOFF : Soils Mechanics, Foundations and Earth Structures
NEW-YORK 1951.

REFERENCES DES ILLUSTRATIONS

- FIG. 1 : Document INTRAFOR-COPOR
FIG. 2 : Document SOLETANCHE
FIG. 5 : Document BACHY-S.I.F.