

# SUIVI ET EXPLOITATION SUR VINGT ANS DES ESSAIS DE CONTRÔLES DE TIRANTS D'ANCRAGES

## TWENTY-YEAR MONITORING AND OPERATION OF CONTROL TESTS OF SUPPORT WALL ANCHORAGE RODS

Philippe LAHEURTE<sup>1</sup>, Stéphane MOULIGNE<sup>2</sup>, Didier VIRELY<sup>3</sup>

<sup>1 2 3</sup> Cerema, Toulouse, France

**RÉSUMÉ** – La route métropolitaine M980 de l'ouest toulousain est construite partiellement en déblai. Des panneaux en béton, ancrés par tirants, retiennent les terrains amont. Ces tirants d'ancrage sont contrôlés périodiquement par le site toulousain du Cerema depuis une vingtaine d'années. Cet article présente les dispositifs de contrôle utilisés et l'exploitation des essais de contrôle de chargement statique.

**ABSTRACT** – Metropolitan road M980 in the western part of Toulouse is built partly in excavation. Concrete panels, anchored by anchors, retain the upstream ground. These anchors have been periodically controlled by the Toulouse site of Cerema for about twenty years. This article presents the control devices used and the operation of static loading control tests.

### 1. Introduction

Les tirants concernés par cet article sont des ouvrages géotechniques qui travaillent en traction, comportant une partie libre, et précontraints, avec une classe de protection P2. Ils sont partie intégrante d'écrans de soutènement en béton armé. Leur exécution a eu lieu en 1995 et en 1996.

Ces tirants ont été dimensionnés et mis en tension selon les recommandations *TA 86* (Bureau Sécurité, 1986). La tension  $T_r$  résultante dans le tirant, égale à la tension de blocage  $T_B$  moins des pertes de natures diverses, doit être ainsi supérieure à la tension de service  $T_a$  qui est celle adoptée dans les calculs de stabilité.

Les tirants d'ancrage de la route M980 ont été contrôlés par lots, lors de campagnes périodiques, afin de mesurer leur traction.

Après avoir rappelé brièvement le cadre technique des études puis des travaux et du suivi, nous présenterons le matériel et l'automatisation développés au Cerema Toulouse dans les années 1990 pour réaliser les essais sur les dispositifs actifs ou passifs, dont les essais de contrôle. Enfin, l'exploitation des mesures en force sera décrite pour le site de la route M980.

### 2. Corpus réglementaire

Aujourd'hui, le corpus réglementaire du cadre technique des études, des travaux et du suivi des tirants d'ancrage est le suivant :

- *NF EN 1997-1/A1* (Afnor, 2013), qui décrit les exigences de conception;
- *NF EN 1537* (Afnor, 2013), qui définit l'exécution;
- *NF EN ISO 224477-5* (Afnor, 2018), qui établit les spécifications relatives à l'exécution des essais de chargement devant être réalisées.

La norme *NF P 94-282* (Afnor, 2013) a pour objet la justification des écrans de soutènement par la calcul.

Les recommandations *TA 2020* (Comité français de mécanique des sols, 2020) remplace les recommandations *TA 95* (Comité français de la mécanique des sols et des travaux de fondation, 1995), qui avaient succédé à celles du *TA 86*. Elles abordent tous

les aspects de la réalisation des tirants d'ancrage (dimensionnement, exécution, contrôle et maintenance) en s'appuyant sur les normes en vigueur. La pratique est de reconnaître aux recommandations TA une valeur réglementaire et d'inclure ce document comme pièce contractuelle dans les marchés visant à la réalisation de tirants.

### 3. Matériel développé au Cerema Toulouse

#### 3.1. Historique de la démarche

Dès 1977, les premières recommandations pour tirants d'ancrage énonçaient que le contrôle de la traction des tirants permanents est obligatoire; un certain nombre d'entre eux devant être mesurés. Dans cette optique et afin de répondre aux besoins des maîtres d'ouvrage, le laboratoire régional des ponts et chaussées de Toulouse (ex LRPC, maintenant Cerema Occitanie) a développé dans les années 1990 un banc d'essai automatisé destiné aux dispositifs actifs et passifs, notamment pour des essais d'arrachage et de contrôle à destination des tirants, clous et boulons.

Les dispositifs de mesure qui équipaient généralement les tirants étaient des cales dynamométriques. Ces cales dynamométriques sont constituées d'une enceinte contenant un fluide dont la pression est mesurée afin de déduire la force appliquée. Le constat avait été fait localement que ces dispositifs pouvaient être très sensibles aux variations de température. Les variations de tension constatées entre deux mesures pouvaient alors plus refléter la différence de température entre les deux dates de relevés, qu'une éventuelle évolution de la traction régnant dans le tirant. Le coût de ces cales et des dispositifs annexes limitant leur quantité, le LRPC préférait recommander aux maîtres d'ouvrage la mise en place de tête d'ancrage fileté pour tous les tirants, offrant ainsi la possibilité que chacun puisse être contrôlé et procéder éventuellement à une remise en tension.

Ainsi, par exemple, pour un principe de vérification de 10% de tirants par an, la stabilité de la traction subsistant dans chaque tirant peut être vérifiée sur une période de 10 ans.

#### 3.2. Description du matériel

Le cœur du banc d'essai du Cerema est constitué par un groupe hydraulique et son système de commande, d'un poids de 120 kilogrammes environ, et monté sur roulettes (figure 1). Une partie du poids et du volume provient de la bûche du système qui avec une capacité de 30 litres, est très largement dimensionnée pour travailler avec toute sorte de vérins. Le groupe hydraulique avec capteur de pression est à faible débit et haute pression (0 à 50 Mpa). Un banc d'étalonnage spécifique permet de contrôler des vérins (figure 2).



Figure 1. Groupe hydraulique (à gauche) et banc d'étalonnage (à droite)



Figure 2. Exemple de plaque d'appui, chaise et vérin utilisés

Pour les essais de mesure de tension, le dispositif est complété par :

- un vérin à piston creux ;
- deux rehausses filetées en acier (chaises d'appui) pour s'adapter aux différents types de têtes de tirants ;
- une plaque de répartition en acier ;
- un capteur de déplacement, avec une sensibilité au 1/100ème de millimètre (qui prend appui sur la platine du tirant).

La figure 2 illustre une partie du dispositif utilisé.

### 3.3. Procédures de contrôles

Le dispositif est asservi pour réaliser des essais à vitesse de déformation contrôlée, à vitesse de montée en charge contrôlée, ou à force imposée durant une durée définie. Les forces sont maintenues constantes à  $\pm 0,3$  kN.

La température est mesurée par un capteur (thermo-sonde PT100) que l'on implante sur la platine du dispositif testé.

Le pilotage est réalisé par un ordinateur portable, en imposant :

- une vitesse de montée en pression (2 kN/s) ;
- une sécurité en déplacement (l'essai est arrêté automatiquement pour un déplacement de la tête du tirant prédéfini) ;
- une sécurité en force, l'essai est arrêté si la force est supérieure à un pourcentage renseigné.

## 4. Description du site d'étude

La route M980, communément appelé rocade arc-en-ciel, est une route métropolitaine de la banlieue de Toulouse. Située à l'ouest de la Garonne, elle est aménagée en  $2 \times 2$  voies sur 4,6 kilomètres, entre la route nationale RN 124 au nord (liaison Toulouse-Auch) et la route métropolitaine M23 au sud (figure 3).

Il s'agit initialement d'une route départementale mise en service en 1997, et passée sous compétence métropolitaine en 2017.

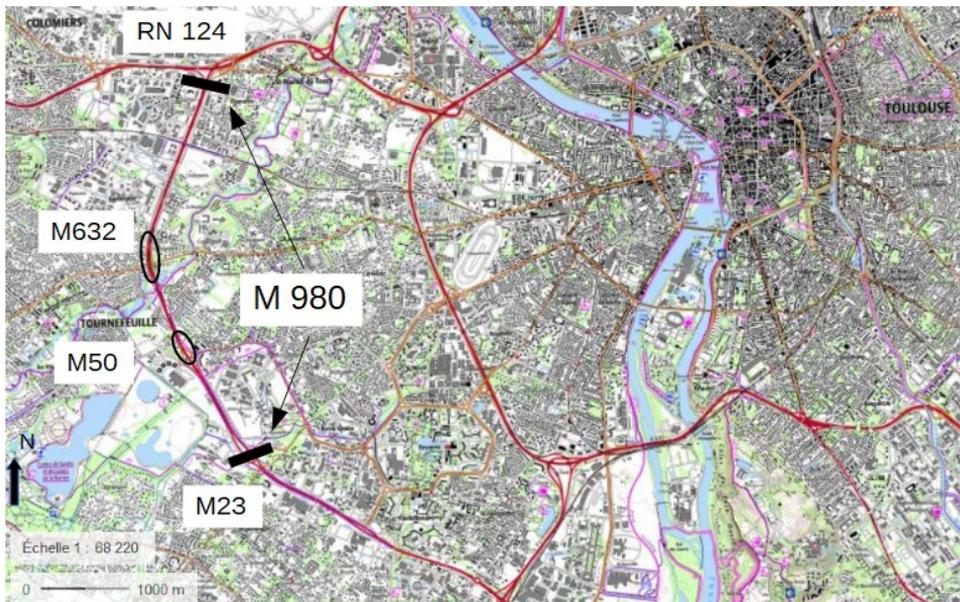


Figure 3. Localisation de la M980 et des sections tirantées

#### 4.1. Localisation des écrans de soutènement

La route M980 comporte deux sections en déblai, afin de permettre le rétablissement de deux voiries : les tranchées de la RM 632 et de la RM 50 (figure 3). Des ouvrages de soutènement tirantés permettent le maintien des terrains de part et d'autre de la M980.

Ces ouvrages de soutènement sont revêtus de parements phoniques absorbants, fixés sur une ossature métallique elle-même fixée aux écrans.

#### 4.2. Contexte géologique et hydrologique

Le tracé de la route M980 est positionné sur la basse terrasse de la Garonne, recouverte d'alluvions du Quaternaire, selon la séquence générique suivante : limons argileux d'inondations – sables à lits irréguliers – cailloux roulés. L'épaisseur de l'ensemble varie de 2 à 12 m. Les alluvions recouvrent le substratum molassique tertiaire, formé de roches tendres (argiles et silts carbonatés, grès, calcaires). Entre les routes M632 et M50, la rivière Le Touch entaille la basse terrasse et a déposé des limons argileux au fond de sa vallée. Ces formations alluviales et molasses présentent de fortes hétérogénéités lithologiques et géométriques.

Sous les fins de surface (0,5 à 2 m), le niveau aquifère des alluvions est constitué par les graves. La perméabilité varie de  $10^{-3}$  à  $10^{-5}$  m.s<sup>-1</sup>.

La création de la route M980 a nécessité la réalisation de vingt-cinq siphons afin de rétablir le niveau de la nappe phréatique de part et d'autre des deux zones en déblai.

#### 4.3. Description des parois tirantées

Les ouvrages de soutènement sont des parois préfabriquées tirantées. Les parois mesurent 30 à 35 cm d'épaisseur pour une largeur de 3 m, et une hauteur comprise entre 9,75 m et 12,75 m. Elles ont été mises en œuvre dans une excavation réalisée au coulis en 60 cm d'épaisseur, et sont fichées d'au moins 1 m dans la molasse.

La réalisation des tirants a débuté en 1995 et s'est terminée en 1996 (tranche ferme, puis conditionnelle). Deux lots sont distingués : le lot 27 (tranchée M632 au nord du Touch) et le lot 23 (tranchée M 50 au sud du Touch), chacun de ces lots comprenant une zone de murs ouest et est.

Le lot 23 comprend 128 tirants côté est, et 124 tirants côté ouest ; le lot 27 compte 116 tirants côté ouest et 176 tirants côté est.

La plupart des tirants se situent à 3,80 m de hauteur par rapport à la chaussée.

La figure 4 présente un profil en travers type pour le lot 23, issu des documents d'exécution. La figure 5 présente le contexte de travail des opérations de pesage avec le démontage préalable des panneaux acoustiques.

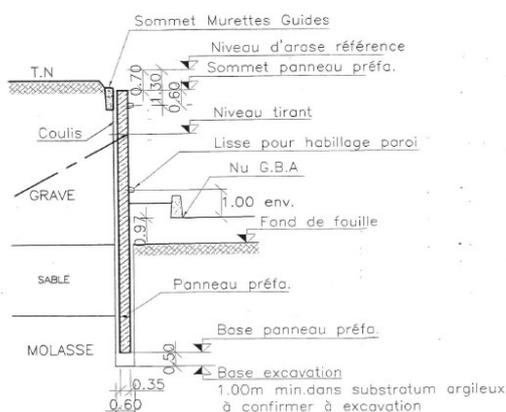


Figure 4. Coupe type pour le lot n°23

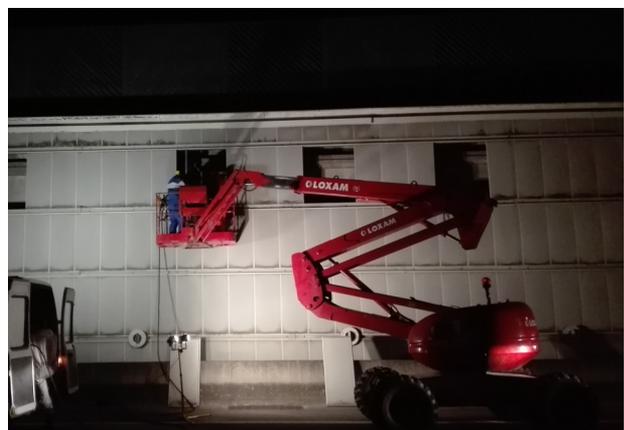


Figure 5. Contexte de travail

Les figures 6 et 7 indiquent le positionnement des murs tirantés respectivement pour les lots n°27 et n°23.

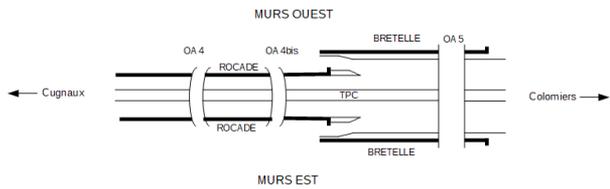


Figure 6. Lot n°27 (tranchée M632)

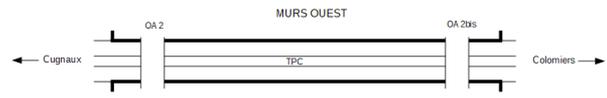


Figure 7. Lot n°23 (tranchée M50)

#### 4.4. Description des tirants

Les ancrages sont des tirants à armature protégée par un tube métallique scellé dans le sol (système TMD SIF BACHY), l'injection de scellement a été effectuée par passes. Ils sont disposés sur une seule ligne, et inclinés de 25 à 40 degrés par rapport à l'horizontale, selon leur implantation.

Sur la longueur de scellement, chaque forage a été équipé avec des tubes métalliques de 2,5 pouces en 3 m de longueur, à anneaux refoulés et comprenant des clapets d'injection espacés de 1 m. Un séparateur gonflable placé autour du tube TMD isole la zone d'ancrage de la partie libre, tubée lisse en acier. Le scellement du tube au terrain a été réalisé au moyen d'injections IRS avec un ciment CLK 45 dosé C/E de 0,5 (première injection de 40 l/ml, refus de 200 kPa et reprise d'injection jusqu'au refus de 200 kPa).

Les armatures sont des câbles de précontrainte constitués de torons T15 S ( $\phi$  15,7 mm) de classe 1 860 MPa et de limite élastique égale à 248 kN. Elles ont été scellées à basse pression avec un ciment CPA 55R (dosage C/E de 0,5). Les têtes d'ancrage FUC E5/7 sont filetées extérieurement, les torons sont bloqués par des clavettes (procédé SEEE FUC de GTM). Selon les parois, le nombre de torons varie entre 3 et 7.

Les torons sont contenus dans cerclage adhésif toilé. Ils sont gainés et graissés pour la partie libre, et nus non graissés pour la partie scellée. Leur mise en tension a eu lieu 8 jours après l'injection ; des protections sur les têtes de tirants consistent en des capots complétés de graisse.

Suivant les recommandations du TA 86, les armatures sont prévues de travailler à 60 % de leur traction limite élastique  $T_G$ , soit 151,6 kN par toron. Des essais préalables avaient été menées. Le tableau 1 présente les données utilisées pour la détermination du scellement des tirants du lot n°27.

Tableau 1. Paramètres de dimensionnement selon le TA 86, lot n°27

	Pression limite nette pressiométrique retenue $p_i^*$ (MPa)	Coefficient majorateur $\alpha$	Diamètre moyen du bulbe de scellement (mm)	Frottement latéral unitaire limite $q_s$ (kPa)	Traction limite unitaire (kN/ml)	Traction limite unitaire retenue pour le scellement bicouche (kN/ml)
Graves	1,75	1,8	239,4	240	90	100
Molasses	3,5	1,8	239,4	350	130	

#### 5. Campagnes de mesures des tensions

Des essais de contrôle de la traction de service avaient été réalisés une première fois par le LRPC de Toulouse en 1955 et 1996, puis des essais de pesage ont eu lieu périodiquement. Les années concernées sont listées ci-dessous :

- lot n°27 ouest : 2008, 2017, 2018 et 2019 ; lot n°27 est : 2010, 2018 et 2019 ;
- lot n°23 ouest : 2005, 2014, 2015, et 2021 ; lot n°23 est : 2007, 2014, 2015 et 2021.

Nous présentons par lots les analyses en force, soit par rapport aux tractions initiales  $T_r$  (lot n°27), soit par rapport à la traction admissible  $T_a$  (lot n°23). La figure 8 représente une tête de tirant une fois son capot de protection retirée, la figure 9 l'équipement mis en œuvre pour le pesage de ce tirant d'ancrage et la figure 10 le procès-verbal de l'essai.



Figure 8. Tête filetée de tirant de la M980



Figure 9. Matériel de pesage mis en place

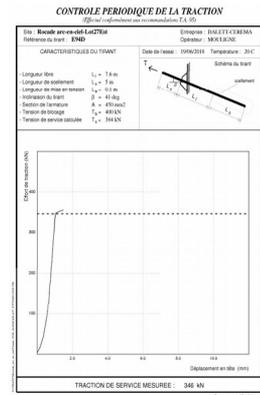


Figure 10. Procès-verbal de contrôle

### 5.1. Analyses pour le lot n° 27 ouest

Sur les 116 tirants de ce lot, seuls 76 peuvent être testés : 37 sont inaccessibles en raison de l'ossature métallique destinée aux panneaux phoniques et 3 têtes d'ancrage connaissent des défauts de filetage. La figure 11 illustre en fréquence les rapports de tractions mesurées lors de la campagne considérée, par rapport aux tractions initiales.

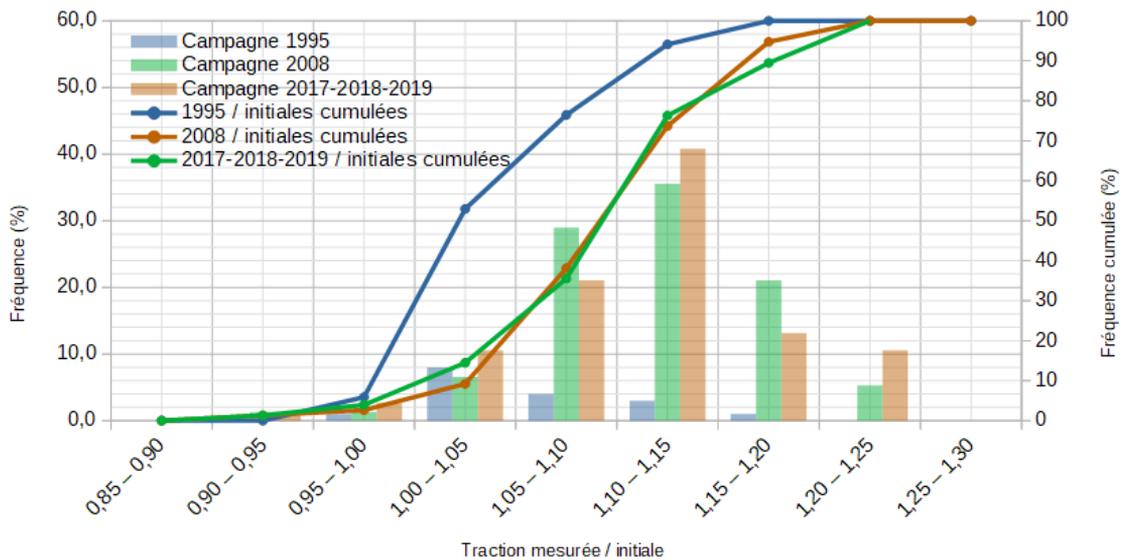


Figure 11. Lot n°27 ouest - comparaison des tractions mesurées aux tractions initiales

Nous constatons que les tractions mesurées lors des deux dernières campagnes (76 tirants) sont très proches. Elles sont globalement supérieures aux 17 tractions mesurées en 1995 ainsi qu'aux tractions initiales.

### 5.2. Analyses pour le lot n° 27 est

107 tirants sur 124 sont accessibles. Comme pour les murs ouest, l'analyse en fréquence (figure 12) permet de visualiser l'évolution dans le temps des efforts régnants dans les

107 tirants contrôlés (11 en 1995). La plupart des ratios sont compris entre 0,8 et 1,1. Les mesures des deux dernières campagnes sont très voisines.

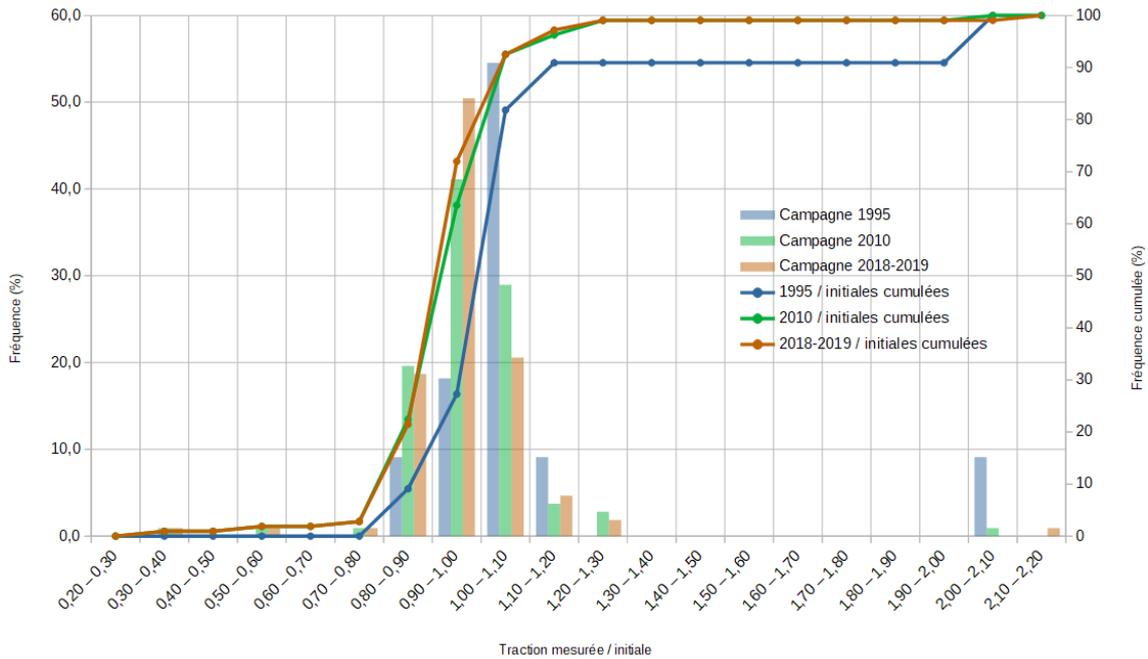


Figure 12. Lot n°27 est – comparaison des tractions mesurées à la traction de service

### 5.3. Analyses pour le lot n° 23 ouest

Les courbes de fréquence cumulée sont établies en comparaison de la traction de service.

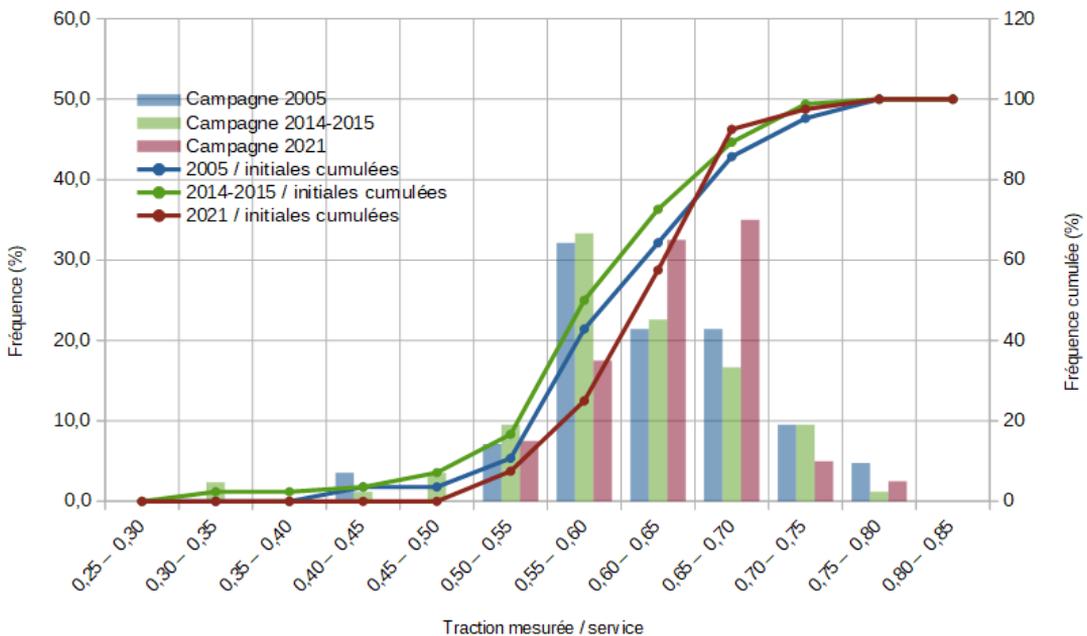


Figure 13. Lot n°23 ouest, comparaison des tractions mesurées à la traction de service

La figure 13 est basée sur le pesage de 84 tirants (campagnes 2005 et 2014/2015) et 40 tirants pour l'année 2021. L'ensemble des mesures conduit à des ratios compris entre 0,5 et 0,75.

#### 5.4. Analyses pour le lot n° 23 est

Comme pour le lot n°23 ouest, les comparaisons des mesures de traction sont basées sur la traction de service. 96 tirants sont comparés pour les deux premières campagnes, et 45 tirants ont été pesés en 2021. La majorité des ratios sont compris entre 0,55 et 0,95 (figure 14).

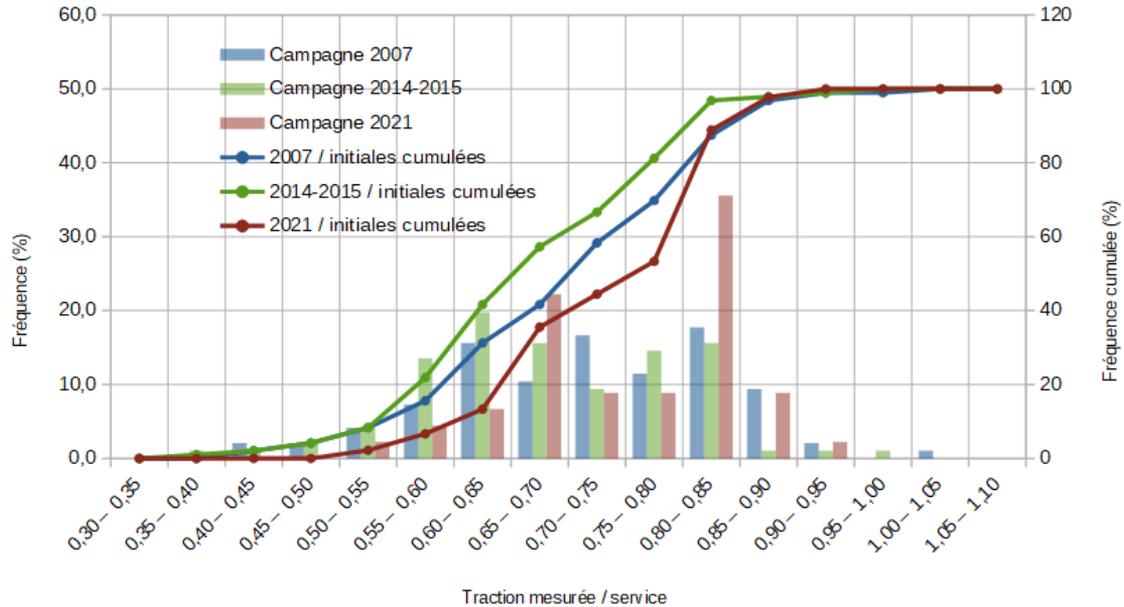


Figure 14. Lot n°23 est, comparaison des tractions mesurées à la traction de service

## 6. Conclusions

Les résultats présentés décrivent l'auscultation sur plusieurs dizaines d'années de tirants d'ancrage implantés dans des parois préfabriquées. Ils montrent une assez bonne stabilité dans le temps des valeurs mesurées. La répartition statistique des données montre tout l'intérêt d'une mesure de l'ensemble des tirants, permettant ainsi d'éviter qu'un dispositif de mesure, positionné de façon fixe, interroge sur le fonctionnement de l'ensemble d'une paroi. Le coût initial lié au filetage des têtes d'ancrage est compensé par la répartition homogène des contrôles sur l'ouvrage global ; en cas de défaillance d'un tirant, la répartition des charges sur les ancrages adjacents peut être évaluée. Les courbes efforts – déplacements et les modules en décollant (qui n'ont pas été exploitées dans le présent texte) permettent une compréhension plus fine du fonctionnement des ancrages. Les mesures qui suivront selon les recommandations *TA 2020*, permettront de prendre en compte les frottements dans les vérins en poursuivant l'acquisition des données lors du déchargement.

Le pesage des tirants d'ancrage d'un ouvrage permet de suivre l'évolution de celui-ci dans le temps, de tenir compte de l'évolution des charges. C'est un contrôle essentiel.

## 7. Références bibliographiques

- Bureau Sécurité (1986). Recommandations concernant la conception, le calcul, l'exécution et le contrôle des tirants d'ancrage (TA 86). Éditions Eyrolles, Paris.
- Comité Français de Mécanique des Sols (2020). Règles professionnelles relatives à la conception, au calcul, à l'exécution, au contrôle et à la surveillance des tirants d'ancrage (TA 2020 ). <https://www.cfms-sols.org>