

Troisième édition
2019-02

Version corrigée
2019-10

Aciers pour l'armature et la précontrainte du béton — Méthodes d'essai —

Partie 3: Aciers de précontrainte

*Steel for the reinforcement and prestressing of concrete — Test
methods —*

Part 3: Prestressing steel

ITeH STANDARDS PREVIEW
(standards.iteh.ai)
Full standard:
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sis/4892-bc86-ab5a61666a4e/iso-15630-3-2019>



Numéro de référence
ISO 15630-3:2019(F)

© ISO 2019

ITeH STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)
Full standard:
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8fbc7a6a-4dc7-4892-bc86-ab5a61666a4e/iso-15630-3-2019>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2019

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Genève
Tél.: +41 22 749 01 11
Fax: +41 22 749 09 47
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos.....	v
Introduction.....	vi
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes, définitions et symboles	1
4 Dispositions générales concernant les éprouvettes	4
5 Essai de traction	4
5.1 Éprouvette.....	4
5.2 Matériel d'essai.....	4
5.3 Mode opératoire d'essai.....	4
5.3.1 Généralités.....	4
5.3.2 Détermination du module d'élasticité.....	6
6 Essai de pliage	6
6.1 Éprouvette.....	6
6.2 Matériel d'essai.....	6
6.3 Mode opératoire d'essai.....	7
6.4 Interprétation des résultats d'essai.....	7
7 Essai de pliage alterné	7
7.1 Éprouvette.....	7
7.2 Matériel d'essai.....	7
7.3 Mode opératoire d'essai.....	8
8 Essai d'enroulement	8
8.1 Éprouvette.....	8
8.2 Matériel d'essai.....	9
8.3 Mode opératoire d'essai.....	9
9 Essai de relaxation isotherme	9
9.1 Principe de l'essai.....	9
9.2 Éprouvette.....	9
9.3 Matériel d'essai.....	10
9.3.1 Bâti.....	10
9.3.2 Dispositif de mesure de la force.....	10
9.3.3 Dispositif de mesure de longueur (extensomètre).....	10
9.3.4 Dispositif d'ancrage.....	10
9.3.5 Dispositif de chargement.....	10
9.4 Mode opératoire d'essai.....	10
9.4.1 Dispositions concernant l'éprouvette.....	10
9.4.2 Application de la force.....	11
9.4.3 Force initiale.....	11
9.4.4 Force pendant l'essai.....	12
9.4.5 Maintien de la déformation.....	12
9.4.6 Température.....	12
9.4.7 Fréquence d'enregistrement de la force.....	12
9.4.8 Fréquence d'enregistrement de la déformation.....	12
9.4.9 Durée de l'essai.....	12
10 Essai de fatigue par force axiale	13
10.1 Principe de l'essai.....	13
10.2 Éprouvette.....	13
10.3 Matériel d'essai.....	13
10.4 Mode opératoire d'essai.....	14
10.4.1 Dispositions concernant l'éprouvette.....	14

10.4.2	Stabilité de la force et de la fréquence	14
10.4.3	Comptage des cycles de force	14
10.4.4	Fréquence	14
10.4.5	Température	14
10.4.6	Validité de l'essai	14
11	Essai de corrosion sous contrainte dans une solution de thiocyanate	14
11.1	Principe de l'essai	14
11.2	Échantillon et éprouvette	14
11.3	Matériel d'essai	15
11.3.1	Bâti	15
11.3.2	Dispositif de mesure de force	15
11.3.3	Dispositif de mesure de temps	15
11.3.4	Cellule d'essai contenant la solution d'essai	15
11.3.5	Solution d'essai	16
11.4	Mode opératoire d'essai	16
11.4.1	Dispositions relatives aux éprouvettes	16
11.4.2	Application et maintien de la force	16
11.4.3	Remplissage de la cellule d'essai	16
11.4.4	Température pendant l'essai	17
11.4.5	Fin de l'essai	17
11.4.6	Détermination de la valeur médiane de la durée de vie jusqu'à rupture	17
12	Essai de traction déviée	17
12.1	Principe de l'essai	17
12.2	Échantillon et éprouvettes	17
12.3	Matériel d'essai	17
12.3.1	Description générale	17
12.3.2	Dimensions	18
12.3.3	Ancrages	18
12.3.4	Mandrin	19
12.3.5	Dispositif de mise en charge	20
12.4	Mode opératoire d'essai	20
13	Analyse chimique	21
14	Mesures des caractéristiques géométriques	21
14.1	Éprouvette	21
14.2	Matériel d'essai	21
14.3	Modes opératoires d'essai	21
14.3.1	Mesures relatives aux verrous	21
14.3.2	Mesures des empreintes	22
14.3.3	Pas de toronnage (P)	23
14.3.4	Rectitude	23
15	Détermination de la surface relative des verrous (f_R)	23
15.1	Généralités	23
15.2	Calcul de f_R	24
15.2.1	Surface relative des verrous	24
15.2.2	Formules simplifiées	24
15.2.3	Formule utilisée pour le calcul de f_R	25
16	Détermination de l'écart par rapport à la masse linéique nominale	25
16.1	Éprouvette	25
16.2	Exactitude des mesures	26
16.3	Mode opératoire d'essai	26
17	Rapport d'essai	26
Annexe A (informative) Options pouvant faire l'objet d'un accord entre les parties concernées		27
Bibliographie		28

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier, de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir www.iso.org/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 17, *Acier*, sous-comité SC 16, *Aciers pour le renforcement et la précontrainte du béton*.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition (ISO 15630-3:2010) qui a fait l'objet d'une révision technique. Les changements ont été introduits dans l'introduction, les [Articles 1, 2, 5.3.1, 5.3.2](#), 9.3, 9.4.4, 10.4.3, 11.4 (aujourd'hui [10.3, 10.4.4, 11.4.3, 12.4](#)) et la [Figure 8](#). La bibliographie a été mise à jour et les références datées ont été remplacées par des références non datées. Un nouvel [Article 8](#) a été ajouté pour l'essai d'enroulement.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 15630 se trouve sur le site Web de l'ISO.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse www.iso.org/fr/members.html.

La présente version corrigée de l'ISO 15630-3:2019 inclut les corrections suivantes:

- en [Figure 8](#), $60^\circ \pm 12^\circ$ a été corrigé à $60^\circ \pm 12'$.

Introduction

Le but de l'ISO 15630 (toutes les parties) est de rassembler toutes les méthodes d'essai applicables aux aciers pour béton armé et aux aciers de précontrainte dans une seule série de normes.

Le présent document couvre les méthodes d'essai usuelles et les méthodes d'essai spéciales qui ne sont pas communément utilisées pour les essais de contrôle courant et qu'il convient de considérer lorsque cela est applicable (ou spécifié) dans la norme de produit applicable.

Il est fait référence aux Normes internationales relatives aux essais des métaux, en général, lorsqu'elles sont applicables. Des dispositions complémentaires ont été données si nécessaire.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)
Full standard:
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/8fbc7a6a-4dc7-4892-bc86-ab5a61666a4e/iso-15630-3-2019>

Aciers pour l'armature et la précontrainte du béton — Méthodes d'essai —

Partie 3: Aciers de précontrainte

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les méthodes d'essai applicables aux aciers de précontrainte (barres, fils ou torons) pour le béton.

Le présent document ne couvre pas les conditions d'échantillonnage qui sont spécifiées dans les normes de produit.

Une liste d'options en vue d'un accord entre les parties concernées figure à l'[Annexe A](#).

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 4957, *Aciers à outils*

ISO 4965-1, *Matériaux métalliques — Étalonnage de la force dynamique uniaxiale pour les essais de fatigue — Partie 1: Systèmes d'essai*

ISO 4965-2, *Matériaux métalliques — Étalonnage de la force dynamique uniaxiale pour les essais de fatigue — Partie 2: Instrumentation pour équipement d'étalonnage dynamique*

ISO 6508-1, *Matériaux métalliques — Essai de dureté Rockwell — Partie 1: Méthode d'essai*

ISO 6892-1, *Matériaux métalliques — Essai de traction — Partie 1: Méthode d'essai à température ambiante*

ISO 7500-1, *Matériaux métalliques — Étalonnage et vérification des machines pour essais statiques uniaxiaux — Partie 1: Machines d'essai de traction/compression — Étalonnage et vérification du système de mesure de force*

ISO 7801, *Matériaux métalliques — Fils — Essai de pliage alterné*

ISO 7802, *Matériaux métalliques — Fils — Essai d'enroulement*

ISO 9513, *Matériaux métalliques — Étalonnage des chaînes extensométriques utilisées lors d'essais uniaxiaux*

ISO 16020, *Aciers pour l'armature et la précontrainte du béton — Vocabulaire*

3 Termes, définitions et symboles

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de l'ISO 16020 s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>

Pour les besoins du présent document, les symboles suivants s'appliquent.

Symbole	Unité	Description	Référence(s)
a_m	mm	Hauteur des verrous en leur milieu	14.3 , 15.2
a_{max}	mm	Hauteur maximale des verrous ou profondeur maximale des empreintes	14.3
$a_{s,i}$	mm	Hauteur moyenne d'une portion i d'un verrou subdivisé en p parties de longueur Δl	15.2
$a_{1/4}$	mm	Hauteur des verrous au quart de leur longueur	14.3 , 15.2
$a_{3/4}$	mm	Hauteur des verrous aux trois quarts de leur longueur	14.3 , 15.2
A	%	Pourcentage d'allongement après rupture	5.1 , 5.3
A_{gt}	%	Pourcentage d'extension totale à la force maximale	Article 5
A_r	%	Pourcentage d'allongement uniforme après rupture	5.3
b	mm	Largeur des verrous en leur milieu	14.3.1.6
c	mm	Espacement des verrous ou des empreintes	14.3
C	mm	Largeur de la gorge au diamètre nominal, d_a , du mandrin utilisé pour l'essai de traction déviée	12.3.4
d	mm	Diamètre nominal de la barre, du fil ou du toron	5.3.1 , 7.2 , Table 3 , 10.4.6 , Table 4
d_a	mm	Diamètre nominal du mandrin utilisé pour l'essai de traction déviée	12.3.4
d_b	mm	Diamètre à obtenir après avoir placé deux calibres cylindriques dans la gorge du mandrin utilisé pour l'essai de traction déviée	12.3.4
d_e	mm	Diamètre du calibre cylindrique utilisé pour l'essai de traction déviée	12.3.4
d_g	mm	Diamètre du trou de guidage	7.2
d_i	mm	Diamètre intérieur de la gorge du mandrin utilisé pour l'essai de traction déviée	12.3.4
D	%	Coefficient moyen de réduction de la force maximale pour l'essai de traction déviée	12.2 , 12.4
D_c	mm	Diamètre intérieur de la cellule d'essai pour l'essai de corrosion sous contrainte	11.3.4
D_i	%	Valeur individuelle du pourcentage de réduction de la force maximale pour l'essai de traction déviée	12.4
D_m	mm	Diamètre du mandrin du dispositif de pliage pour l'essai de pliage	Figure 2
e	mm	Espace moyen entre deux rangées contiguës de verrous ou d'empreintes	14.3.1.4 , 14.3.2.5
E	MPa	Module d'élasticité	5.2 , 5.3
f	Hz	Fréquence des cycles de force pour l'essai de fatigue par force axiale	10.1 , 10.4.2
f_R	—	Surface relative des verrous	Article 15
$F_{a,i}$	N	Force de rupture individuelle pour l'essai de traction déviée	12.4
F_m	N	Force maximale	5.3
\bar{F}_m	N	Valeur moyenne de la force maximale	9.2 , 11.2 , 12.2 , 12.4
$F_{p0,1}$	N	Force à la limite conventionnelle d'élasticité à 0,1 % d'extension plastique	5.2 , 5.3

NOTE 1 MPa = 1 N/mm².

Symbole	Unité	Description	Référence(s)
$F_{p0,2}$	N	Force à la limite conventionnelle d'élasticité à 0,2 % d'extension plastique	5.2 , 5.3
F_r	N	Étendue de variation de force pour l'essai de fatigue par force axiale	Figure 6 , 10.3 , 10.4.2
F_{rt}	N	Force résiduelle dans l'éprouvette au temps t pour l'essai de relaxation isotherme	9.1
ΔF_{rt}	N	Perte de force dans l'éprouvette au temps t pour l'essai de relaxation isotherme	9.1
F_R	mm ²	Surface d'une section longitudinale d'un verrou	15.2
F_{up}	N	Force supérieure pour l'essai de fatigue par force axiale	Figure 6 , 10.3 , 10.4.2
F_0	N	Force initiale pour l'essai de relaxation isotherme et l'essai de corrosion sous contrainte	9.1 , 9.2 , 9.3 , 9.4 , 11.1 , 11.2 , 11.4.2
G	mm	Profondeur de la gorge du mandrin utilisé pour l'essai de traction déviée	12.3.4
h	mm	Distance entre le plan supérieur tangent aux appuis cylindriques et la face inférieure du guide	7.2
h_b	mm	Flèche dans le plan de la courbure	14.3.4
l	mm	Longueur des empreintes	14.3.2.4
L_t	mm	Longueur de l'éprouvette pour l'essai de corrosion sous contrainte	11.2
L_0	mm	Longueur de base (sans force sur l'éprouvette) pour l'essai de relaxation isotherme Longueur de l'éprouvette en contact avec la solution pour l'essai de corrosion sous contrainte	9.1 , 9.3 , 9.4 11.2 , 11.3.4 , 11.4.1 , 11.4.3 , 11.4.5
L_1	mm	Longueur du côté passif pour l'essai de traction déviée	12.3.2
L_2	mm	Longueur du côté actif pour l'essai de traction déviée	12.3.2
m, n	—	Coefficients ou nombres	9.4.9 , 14.3 , 15.2
P	mm	Pas de toronnage	14.3.3
r	mm	Rayon des appuis cylindriques	7.2
r_1	mm	Distance entre les mors et la longueur de base pour le mesurage manuel de A_{gt}	5.3
r_2	mm	Distance entre la rupture et la longueur de base pour le mesurage manuel de A_{gt}	5.3
R	mm	Rayon à la base du mandrin utilisé pour l'essai de traction déviée	12.3.4
R_a	µm	Rugosité de surface du mandrin utilisé pour l'essai de traction déviée	12.3.4
S_n	mm ²	Aire nominale de la section transversale de l'éprouvette	5.3.2
t_a	h	Temps limite convenu pour l'essai de corrosion sous contrainte	11.4.5
$t_{f,i}$	h	Valeur individuelle de la durée de vie jusqu'à rupture pour l'essai de corrosion sous contrainte	11.4.5
$t_{f,m}$	h	Valeur médiane de la durée de vie jusqu'à rupture pour l'essai de corrosion sous contrainte	11.4.6
t_0	s	Temps au commencement de l'essai de relaxation isotherme et de l'essai de corrosion sous contrainte	9.4.2 , 11.4
y	mm	Distance d'un plan, défini par les axes des supports cylindriques, au point de contact le plus proche de l'éprouvette	Figure 3
V_0	mm ³	Volume de la solution d'essai pour remplir la cellule d'essai pour l'essai de corrosion sous contrainte	11.4.3
Z	%	Coefficient de striction	5.3.1
α	°	Angle de déviation pour l'essai de traction déviée	12.3.2
β	°	Angle des verrous ou empreintes par rapport à l'axe de la barre ou du fil	14.3

NOTE 1 MPa = 1 N/mm².

Symbole	Unité	Description	Référence(s)
$\epsilon_{x F_m}$	—	Valeur de la déformation pour une force égale à $x F_m$	5.3.2
ρ	%	Relaxation	9.4.9
$\sum e_i$	mm	Partie de la circonférence sans empreinte ou verrou	14.3.1.4 , 14.3.2.5 , 15.2
NOTE 1 MPa = 1 N/mm ² .			

4 Dispositions générales concernant les éprouvettes

Sauf accord contraire ou spécification contraire dans la norme de produit, les échantillons doivent être prélevés dans le produit fini avant conditionnement.

Il convient d'être particulièrement soigneux lorsque les échantillons sont prélevés dans un produit conditionné (par exemple couronne ou fardeau), de façon à éviter une déformation plastique qui pourrait modifier les caractéristiques des échantillons destinés à fournir les éprouvettes.

Des dispositions complémentaires particulières concernant les éprouvettes sont indiquées dans les articles du présent document, le cas échéant.

5 Essai de traction

5.1 Éprouvette

En complément des dispositions générales indiquées à l'Article 4, la longueur libre de l'éprouvette doit être suffisante pour la détermination du pourcentage d'extension totale à la force maximale (A_{gt}) conformément au [5.3.1](#).

Si le pourcentage d'allongement après rupture (A) est déterminé de manière manuelle, l'éprouvette doit être marquée conformément à l'ISO 6892-1.

Si le pourcentage d'extension totale à la force maximale (A_{gt}) est déterminé par la méthode manuelle pour une barre et un fil, des marques équidistantes doivent être faites sur la longueur libre de l'éprouvette (voir ISO 6892-1). La distance entre les marques doit être de 20 mm, 10 mm ou 5 mm, en fonction du diamètre de l'éprouvette.

5.2 Matériel d'essai

La machine d'essai doit être vérifiée et étalonnée conformément à l'ISO 7500-1 et doit être au moins de classe 1.

Lorsqu'un extensomètre est utilisé, il doit être de classe 1 (voir ISO 9513) pour la détermination de E , $F_{p0,1}$ ou $F_{p0,2}$; pour la détermination de A_{gt} , un extensomètre de classe 2 (voir ISO 9513) peut être utilisé.

Des mors adaptés doivent être utilisés pour éviter les ruptures dans les mors ou à proximité de ceux-ci.

5.3 Mode opératoire d'essai

5.3.1 Généralités

L'essai de traction pour la détermination du module d'élasticité (E), des forces à la limite conventionnelle d'élasticité à 0,1 % et à 0,2 % ($F_{p0,1}$ et $F_{p0,2}$), de pourcentage d'extension totale à la force maximale (A_{gt}) et/ou du pourcentage d'allongement après rupture (A) et du coefficient de striction (Z) doit être réalisé conformément à l'ISO 6892-1.

Un extensomètre doit être utilisé pour la détermination du module d'élasticité (E), des forces à la limite conventionnelle d'élasticité à 0,1 % et à 0,2 % ($F_{p0,1}$ et $F_{p0,2}$) et du pourcentage d'extension totale à la force maximale (A_{gt}). La longueur de base de l'extensomètre doit être telle qu'indiquée dans la norme de produit applicable.

Des valeurs précises d' A_{gt} ne peuvent être obtenues qu'au moyen d'un extensomètre. S'il n'est pas possible de laisser l'extensomètre sur l'éprouvette jusqu'à rupture ou jusqu'à ce que la force maximale ait été dépassée, l'extension peut être mesurée de la manière suivante:

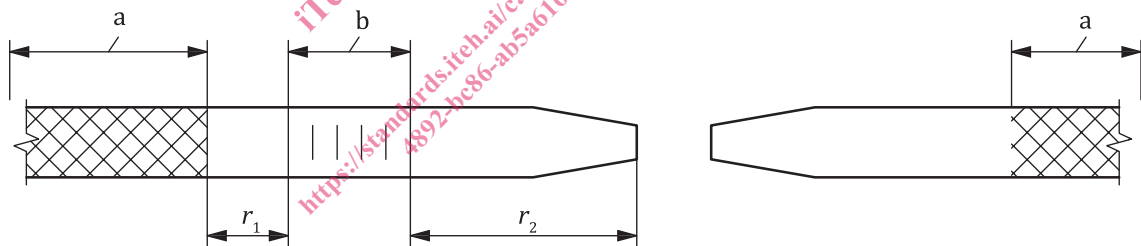
- poursuivre le chargement jusqu'à ce que l'extensomètre enregistre une extension juste supérieure à l'extension correspondant à $F_{p0,2}$, enlever alors l'extensomètre et noter la distance entre les têtes de la machine d'essai. Le chargement est poursuivi jusqu'à rupture. La distance ultime entre les têtes est notée.
- la différence entre les mesures relatives aux têtes est calculée sous forme de pourcentage de la longueur initiale d'essai entre les têtes et cette valeur est ajoutée au pourcentage obtenu par l'extensomètre.

Pour les fils et les barres, il est également permis de déterminer A_{gt} par la méthode manuelle. Si A_{gt} est déterminé par la méthode manuelle après rupture, A_{gt} doit être calculé à partir de la [Formule \(1\)](#):

$$A_{gt} = A_r + R_m / 2\ 000 \quad (1)$$

où A_r est le pourcentage d'allongement non proportionnel à la force maximale

La mesure de A_r comme pour la mesure de A (voir ISO 6892-1) doit être réalisée sur la plus longue des deux parties rompues de l'éprouvette sur une longueur entre repères de 100 mm aussi près que possible de la rupture mais à une distance de la rupture, r_2 , d'au moins 50 mm ou $2d$ (celle qui est la plus grande). Cette mesure peut être considérée comme non valable si la distance, r_1 , entre les mâchoires et la longueur entre repères est inférieure à 20 mm ou à d (celle qui est la plus grande). Voir [Figure 1](#)



Légende

- a Longueur prise dans les mâchoires.
- b Longueur entre repères de 100 mm.

Figure 1 — Mesure de A_{gt} par la méthode manuelle

Il est préférable d'appliquer une force préliminaire à l'éprouvette, par exemple environ égale à 10 % de la force maximale escomptée, avant de mettre en place l'extensomètre.

Si A_{gt} n'est pas complètement déterminé au moyen d'un extensomètre, cela doit être indiqué dans le rapport d'essai.

Pour les essais de contrôle courant réalisés par les producteurs d'aciers de précontrainte, il convient que les informations relatives aux essais soient contenues dans la documentation interne

Les caractéristiques de traction ($F_{p0,1}$, $F_{p0,2}$, F_m) sont enregistrées en unités de force.