

---

---

**Plastiques — Détermination de la ténacité  
à la rupture ( $G_{IC}$  et  $K_{IC}$ ) — Application  
de la mécanique linéaire élastique de  
la rupture (LEFM)**

*Plastics — Determination of fracture toughness ( $G_{IC}$  and  $K_{IC}$ ) — Linear  
elastic fracture mechanics (LEFM) approach*

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

[ISO 13586:2000](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/879847ba-4093-4e98-b8b6-b3f4acc7dd1a/iso-13586-2000)

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/879847ba-4093-4e98-b8b6-  
b3f4acc7dd1a/iso-13586-2000](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/879847ba-4093-4e98-b8b6-b3f4acc7dd1a/iso-13586-2000)



**PDF – Exonération de responsabilité**

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 13586:2000

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/879847ba-4093-4e98-b8b6-b3f4acc7dd1a/iso-13586-2000>

© ISO 2000

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, 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 et les microfilms, sans l'accord écrit de l'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20  
Tel. + 41 22 749 01 11  
Fax. + 41 22 734 10 79  
E-mail [copyright@iso.ch](mailto:copyright@iso.ch)  
Web [www.iso.ch](http://www.iso.ch)

Imprimé en Suisse

**Sommaire**

Page

Avant-propos.....	iv
1 <b>Domaine d'application</b> .....	1
2 <b>Références normatives</b> .....	1
3 <b>Termes et définitions</b> .....	2
4 <b>Éprouvettes</b> .....	4
5 <b>Essais</b> .....	5
6 <b>Expression des résultats</b> .....	6
7 <b>Fidélité</b> .....	9
8 <b>Rapport d'essai</b> .....	10
<b>Annexe A (normative) Facteurs d'étalonnage</b> .....	15
<b>Bibliographie</b> .....	17

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 13586:2000

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/879847ba-4093-4e98-b8b6-b3f4acc7dd1a/iso-13586-2000>

## 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 (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 3.

Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale 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.

La Norme internationale ISO 13586 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 61, *Plastiques*, sous-comité SC 2, *Propriétés mécaniques*.

L'annexe A constitue un élément normatif de la présente Norme internationale.

[ISO 13586:2000](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/879847ba-4093-4e98-b8b6-b3f4acc7dd1a/iso-13586-2000)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/879847ba-4093-4e98-b8b6-b3f4acc7dd1a/iso-13586-2000>

# Plastiques — Détermination de la ténacité à la rupture ( $G_{IC}$ et $K_{IC}$ ) — Application de la mécanique linéaire élastique de la rupture (LEFM)

## 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale établit les principes qui permettent de déterminer la ténacité à la rupture des plastiques suivant le mode d'ouverture de la fissure (Mode I), dans des conditions données. Deux méthodes d'essai utilisant des éprouvettes entaillées sont définies, à savoir les essais de flexion trois points et les essais de traction sur éprouvette compacte, adaptées à différents types d'appareillages disponibles ou de matériaux.

Ces méthodes ont été choisies de manière à pouvoir être utilisées avec l'éventail suivant de matériaux:

- matériaux thermoplastiques rigides et semi-rigides, pour moulage, extrusion et coulage;
- matériaux thermodurcissables rigides et semi-rigides, pour moulage et coulage.

Certaines limitations portant sur la linéarité du diagramme charge-déplacement, sur la largeur et l'épaisseur de l'éprouvette s'imposent pour garantir la validité des résultats (voir 6.4) puisque la méthode utilisée est basée sur l'hypothèse selon laquelle le matériau entaillé présente un comportement linéaire élastique, avec déformation plane à la pointe de la fissure. Il faut que la fissure soit suffisamment aiguë pour que les valeurs qu'elle permet d'obtenir pour les propriétés mesurées ne soient pas sensiblement plus élevées que celles que l'on obtiendrait avec une fissure encore plus aiguë.

## 2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de l'ISO et de la CEI possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

ISO 291:1997, *Plastiques — Atmosphères normales de conditionnement et d'essai*.

ISO 527-1:1993, *Plastiques — Détermination des propriétés en traction — Partie 1: Principes généraux*.

ISO 604:1993, *Plastiques — Détermination des propriétés en compression*.

ISO 2818:1994, *Plastiques — Préparation des éprouvettes par usinage*.

ISO 5893:1993, *Appareils d'essai du caoutchouc et des plastiques — Types pour traction, flexion et compression (vitesse de translation constante) — Description*.

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les termes et définitions suivants s'appliquent.

#### 3.1 taux de restitution d'énergie

$G$

variation du travail des forces extérieures  $\delta U_{\text{ext}}$  et de l'énergie de déformation  $\delta U_S$  d'un corps déformé, sous l'effet de l'accroissement de la surface de la fracture  $\delta A$

$$G = \frac{\delta U_{\text{ext}}}{\delta A} - \frac{\delta U_S}{\delta A} \quad (1)$$

Ce taux est exprimé en joules par mètre carré, J/m<sup>2</sup>.

#### 3.2 taux de restitution d'énergie critique

$G_{IC}$

valeur du taux de restitution d'énergie  $G$  pour une éprouvette préentaillée, dans des conditions de mise en charge induisant une déformation plane, lorsque la fissure commence à se propager

Ce taux est exprimé en joules par mètre carré, J/m<sup>2</sup>.

#### 3.3 facteur d'intensité de contrainte

$K$

valeur limite du produit de la contrainte  $\sigma(r)$  appliquée perpendiculairement à la surface de la fissure à une distance  $r$  de la pointe de la fissure, par la racine carrée de  $2\pi r$  et pour de faibles valeurs de  $r$

$$K = \lim_{r \rightarrow 0} \sigma(r) \times \sqrt{2\pi r} \quad (2)$$

Ce facteur est exprimé en pascals mètres à la puissance un demi, Pa·√m.

Le terme facteur est utilisé ici car il est d'usage courant, même s'il a des dimensions.

#### 3.4 facteur d'intensité de contrainte critique

$K_{IC}$

valeur du facteur d'intensité de contrainte lorsque la fissure soumise à la charge commence à s'accroître dans des conditions de mise en charge induisant un état de déformations planes au voisinage de la pointe de la fissure

Ce facteur est exprimé en pascals mètres à la puissance un demi, Pa·√m.

Le facteur d'intensité de contrainte critique  $K_{IC}$  qui caractérise un matériau donné est lié à son taux de restitution d'énergie critique  $G_{IC}$  par l'équation

$$G_{IC} = \frac{K_{IC}^2}{E} \quad (3)$$

où  $E$  est le module d'élasticité, déterminé dans des conditions de temps (jusqu'à l'apparition de la fissure) et de température similaires.

Dans des conditions entraînant un état de déformations planes:

$$E = \frac{E_t}{1 - \mu^2} \quad (4)$$

où

$E_t$  est le module de traction (voir ISO 527-1);

$\mu$  est le coefficient de Poisson (voir ISO 527-1).

### 3.5 déplacement

$s_a$   
déplacement du dispositif de mise en charge, corrigé comme spécifié en 5.4

Le déplacement est exprimé en mètres, m.

### 3.6 rigidité

$S$   
pente initiale de la courbe force-déplacement

$$S = \left( \frac{dF}{ds} \right)_{s \rightarrow 0}$$

La rigidité est exprimée en newtons par mètre, N/m.

### 3.7 force

$F_Q$   
charge appliquée au début de la propagation de la fissure (amorçage)

La force est exprimée en newtons, N.

[ISO 13586:2000](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/879847ba-4093-4e98-b8b6-b3f4acc7dd1a/iso-13586-2000)

Voir aussi 6.1.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/879847ba-4093-4e98-b8b6-b3f4acc7dd1a/iso-13586-2000>

### 3.8 énergie

$W_B$   
énergie d'amorçage au moment où la fissure commence à se propager

L'énergie est exprimée en joules, J.

$W_B$  est fondée sur la courbe charge-déplacement corrigée

### 3.9 longueur de fissure

$a$   
longueur de la fissure jusqu'à la pointe de la fissure initiale, préparée comme spécifié en 4.3

Cette longueur est exprimée en mètres, m.

Pour les éprouvettes soumises aux essais de flexion trois points, la longueur de fissure est mesurée à partir de la face entaillée. Pour les éprouvettes compactes soumises aux essais de traction, la longueur de fissure est mesurée à partir de la droite de chargement, c'est-à-dire à partir du centre des orifices réservés aux broches de chargement (voir Figures 1 et 3).

La longueur de fissure  $a$  est normalisée par rapport à la largeur  $w$  de l'éprouvette ( $\alpha = a/w$ ).

**3.10**  
**facteur d'étalonnage du taux de restitution d'énergie**

$\phi$

$$\phi(a/w) = -S \left( \frac{dS}{d\alpha} \right)^{-1} \quad (5)$$

où

$S$  est la rigidité de l'éprouvette;

$\alpha = a/w$  est la longueur de fissure normalisée (voir 3.9).

Les valeurs de  $\phi(a/w)$  sont données dans l'annexe A pour les deux types d'éprouvettes.

**3.11**  
**facteur d'étalonnage lié à la géométrie**

$f$

Les valeurs de  $f(a/w)$  sont données dans l'annexe A pour les deux types d'éprouvettes.

**3.12**  
**longueur caractéristique**

$\bar{r}$   
dimensions de la zone de déformation plastique au voisinage de la pointe de la fissure

Cette longueur est nécessaire pour vérifier que les critères dimensionnels sont satisfaits (voir 6.4).

**4 Éprouvettes**

ISO 13586:2000  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/879847ba-4093-4e98-b8b6-b3f4acc7dd1a/iso-13586-2000>

**4.1 Forme et dimensions**

Les éprouvettes soumises aux essais de flexion trois points [également appelées éprouvettes de flexion à entaille latérale (SENB)] et les éprouvettes compactes soumises aux essais de traction (CT) doivent être préparées conformément aux Figures 1 et 3, respectivement. Il s'avère généralement utile que l'épaisseur  $h$  des éprouvettes soit égale à l'épaisseur d'un échantillon de la plaque et que leur largeur  $w$  soit égale à  $2h$ . Il convient que la longueur de la fissure  $a$  se situe de préférence à l'intérieur des limites données par  $0,45 \leq a/w \leq 0,55$ .

**4.2 Préparation**

Les éprouvettes doivent être préparées conformément à la Norme internationale relative au matériau soumis à l'essai, et conformément à l'ISO 2818. Dans le cas d'éprouvettes anisotropes, veiller à indiquer la direction de référence sur chaque éprouvette.

**4.3 Réalisation de l'entaille**

Les méthodes a), b) et c) peuvent être utilisées pour réaliser l'entaille:

- a) Usiner une entaille aiguë dans l'éprouvette, puis réaliser une fissure naturelle en tapant légèrement sur une lame de rasoir neuve placée dans l'entaille (il est essentiel de procéder ainsi puisque cette méthode permet d'obtenir une fissure naturelle avec des éprouvettes fragiles, cependant un certain savoir-faire est nécessaire pour éviter la formation d'une trop longue fissure ou d'une détérioration locale). L'augmentation de la longueur de la fissure ainsi obtenue doit être supérieure à quatre fois le rayon original de la pointe de l'entaille.

- b) Si l'on ne peut pas obtenir de fissure naturelle, comme dans le cas d'éprouvettes tenaces, l'entaille doit être effilée en faisant glisser une lame de rasoir à travers l'entaille. Utiliser une lame de rasoir neuve pour chaque éprouvette. L'augmentation de la longueur de la fissure ainsi obtenue doit être supérieure à quatre fois le rayon original de la pointe de l'entaille.
- c) Le refroidissement des éprouvettes tenaces, suivi de petits coups donnés sur la lame de rasoir, donne parfois de bons résultats.

Il est déconseillé de forcer la lame à entrer dans l'entaille en raison des contraintes résiduelles induites.

#### 4.4 Conditionnement

Conditionner les éprouvettes conformément aux spécifications de la Norme internationale relative au matériau soumis à l'essai. À défaut de spécifications, choisir le mode de conditionnement le plus approprié dans l'ISO 291, sauf si un accord différent a été conclu par les parties intéressées.

### 5 Essais

#### 5.1 Machine d'essai

La machine doit satisfaire aux conditions données dans l'ISO 5893. L'indicateur de charge doit indiquer la charge totale supportée par l'éprouvette. Ce dispositif doit être pratiquement exempt de tout effet d'inertie aux vitesses d'essai utilisées. Il doit indiquer la charge avec une exactitude d'au moins 1 % de la valeur réelle.

#### 5.2 Capteur de déplacement (standards.iteh.ai)

Le déplacement est enregistré pendant l'essai. Le capteur ne doit pratiquement pas subir d'effet d'inertie aux vitesses d'essai utilisées. Il doit mesurer le déplacement avec une exactitude d'au moins 2 % de la longueur appropriée. Il convient que les effets du capteur sur les valeurs de mesure de la charge soient négligeables (c'est-à-dire < 1 %); sinon, il faut les corriger.

#### 5.3 Montages de mise en charge

Pour les essais de flexion trois points (SENB), on utilise un montage comportant des rouleaux mobiles, comme représenté à la Figure 2. La pénétration dans l'éprouvette est réduite au minimum par l'utilisation de rouleaux d'un fort diamètre ( $> w/2$ ). Le déplacement doit être mesuré au centre de la portée  $L$  (voir Figure 2).

En ce qui concerne l'essai de traction avec éprouvette compacte, l'éprouvette est chargée par l'intermédiaire de deux axes placés dans les orifices pratiqués dans l'éprouvette. On mesure le déplacement des points d'application de la charge pendant l'essai, au moyen, par exemple, d'un extensomètre à lames monté au voisinage des appuis (voir 5.2).

#### 5.4 Correction due au déplacement

La valeur de mesure du déplacement  $s_a$  doit être corrigée du fait de la pénétration des rouleaux de chargement, de la compression de l'éprouvette et de la complaisance de la machine pour parvenir à une détermination correcte de la rigidité  $S$  de l'éprouvette et de l'énergie  $W_B$  au début de la propagation de la fissure. L'étalonnage du système d'essai doit être réalisé de la manière suivante.

La courbe de correction charge-déplacement (voir Figure 4) est obtenue comme pour l'essai de rupture en utilisant, cependant, des éprouvettes non entaillées, conformément aux indications portées sur les Figures 5 et 6. Les rouleaux du montage de flexion trois points sont conjointement mis en mouvement pour réduire davantage l'infime flexion de l'éprouvette non entaillée soumise à la charge. La correction sur la mesure du déplacement doit être réalisée pour chaque matériau et à chaque température ou vitesse d'essai, puisque les polymères sont généralement sensibles à la température et à la vitesse. Le degré de pénétration de la broche de chargement et la

compression de l'échantillon peuvent varier en fonction des variations de ces paramètres. Les essais de pénétration doivent être réalisés avec des durées de chargement identiques à celles mises en œuvre lors des essais de rupture. Ceci implique l'adoption de vitesses d'essai inférieures pour atteindre la même charge dans le même laps de temps, c'est-à-dire approximativement, une vitesse inférieure de moitié.

Concrètement, on obtient en général une courbe de correction linéaire jusqu'aux charges supérieures à la charge de rupture des éprouvettes entaillées (voir Figure 4). On observe au début une non-linéarité due à la pénétration des broches de chargement dans l'éprouvette pendant l'essai d'étalonnage et l'essai de rupture réel. C'est pourquoi l'on applique la méthode proposée ci-après pour corriger cette non-linéarité initiale:

Aux charges appropriées, on soustrait le déplacement  $s_j$  relevé sur la courbe de correction, du déplacement  $s_a$  observé lors de l'essai de rupture réel avec une éprouvette entaillée. On obtient ainsi la courbe corrigée charge-déplacement à partir de laquelle on déduit la rigidité  $S$  et l'énergie  $W_B$  au début de la propagation de la fissure (voir Figure 7). Les corrections  $s_j$  sur les déplacements représentent généralement moins de 20 % du déplacement mesuré  $s_a$ .

## 5.5 Atmosphère d'essai

Effectuer l'essai dans la même atmosphère que celle utilisée pour le conditionnement des éprouvettes, sauf si un accord différent a été conclu entre les parties intéressées, par exemple pour les essais à basses ou hautes températures.

## 5.6 Épaisseur, largeur et longueur de fissure des éprouvettes

Mesurer l'épaisseur  $h$  et la largeur  $w$  de chaque éprouvette à 0,02 mm près. Noter une valeur approximative de la longueur de fissure  $a$ , laquelle sera corrigée au terme de l'essai. En général, des lignes à la pointe de la fissure sont visibles sur les deux surfaces de rupture. Calculer la valeur moyenne des cinq longueurs de fissure relevées le long du front de fissure original, sur les bords, au centre et à mi-distance entre les deux. La longueur de fissure ne doit pas différer de plus de 10 % sur tout le front de fissure. Si l'on observe des différences supérieures à 10 %, rejeter l'essai. S'assurer que l'on observe véritablement la pointe de la fissure originale étant donné qu'une propagation lente peut se produire.

## 5.7 Conditions d'essai

Il est recommandé d'utiliser des conditions d'essai de base de 23 °C et une vitesse d'essai de 10 mm/min. Dans tous les cas, la durée de mise en charge et la température d'essai doivent être déterminées. De préférence, il convient d'éviter d'utiliser des vitesses supérieures à 0,1 m/s ou des durées de mise en charge inférieures à 10 ms en raison des erreurs qui peuvent résulter des effets dynamiques.

Réaliser au moins trois essais pour chaque ensemble de conditions. S'il est impossible de garantir la validité des résultats à 23 °C (voir 6.4), il est souvent possible de l'obtenir en réduisant la température. En général, une réduction de la température d'essai n'entraîne aucune variation importante de  $K_{IC}$ , mais augmente la contrainte au seuil d'écoulement du polymère, d'où des ruptures plus fragiles. En cas de réduction de la température d'essai, consigner dans le rapport d'essai à la fois la température et la durée de mise en charge utilisées.

# 6 Expression des résultats

## 6.1 Détermination de $F_Q$

Dans le cas d'un matériau idéal, la courbe charge-déplacement est un diagramme linéaire comportant une chute brutale de la charge au moment où la fissure commence à se propager. Dans ce type de cas plutôt rares,  $F_Q$  peut être identifié à la charge maximale.

Dans la plupart des cas, on constate sur le diagramme une certaine non-linéarité qui peut être due à la déformation plastique au niveau de la pointe de la fissure, à une élasticité nonlinéaire, à la viscoélasticité générale et à une

propagation stable de la fissure après amorçage mais avant que survienne l'instabilité. Les trois premiers effets vont à l'encontre du principe de la LEFM et le quatrième signifie que la véritable charge d'amorçage n'est pas définie par le maximum. Pour ne pas aboutir à une définition discutable de l'amorçage, on applique ici une règle arbitraire. En effet, on trace la tangente au point zéro sur le diagramme de la Figure 7 pour déterminer la rigidité initiale  $S$ . On réduit cette rigidité de 5 % et l'on trace une deuxième droite en conséquence. Si le maximum de la courbe charge-déplacement se situe entre ces deux droites,  $F_{\max}$  doit être appelé  $F_Q$  (la charge au début de la propagation de la fissure). Si la deuxième droite coupe la courbe en  $F_5$  avant le maximum,  $F_5$  doit être appelé  $F_Q$ . En se reportant à la Figure 7, les conditions de LEFM sont supposées être satisfaites si

$$\frac{F_{\max}}{F_5} < 1,1$$

Si la non-linéarité est supérieure à 10 %, l'essai doit être rejeté.

## 6.2 Résultat provisoire, $G_Q$

Calculer le taux de restitution d'énergie critique à partir de l'énergie  $W_B$  jusqu'au moment où la fissure commence à se propager, la charge étant  $F_Q$  et la longueur de fissure originale étant  $a$ :

$$G_Q = \frac{W_B}{h \times w \times \phi(a/w)} \quad (6)$$

où

$W_B$  est l'énergie à la rupture;

$h$  est l'épaisseur de l'éprouvette;

$w$  est la largeur de l'éprouvette;

$\phi(a/w)$  est le facteur d'étalonnage du taux de restitution d'énergie, fonction de la longueur de la fissure  $a$ .

Calculer  $\phi$  conformément à l'annexe A. Les tableaux donnant les valeurs de  $\phi(a/w)$  pour les deux éprouvettes figurent également dans l'annexe A.

## 6.3 Résultat provisoire, $K_Q$

Calculer le facteur d'intensité de contrainte critique  $K_Q$  à partir de la charge  $F_Q$  au début de la propagation de la fissure, et de la longueur de la fissure originale  $a$ :

$$K_Q = f(a/w) \frac{F_Q}{h \sqrt{w}} \quad (7)$$

où

$F_Q$  est la charge au début de la propagation de la fissure;

$h$  est l'épaisseur de l'éprouvette;

$w$  est la largeur de l'éprouvette;

$f(a/w)$  est le facteur d'étalonnage lié à la géométrie, fonction de la longueur de la fissure  $a$ .

Calculer  $f$  conformément à l'annexe A. Les tableaux donnant les valeurs de  $f(a/w)$  pour les deux éprouvettes figurent également dans l'annexe A.