

NORME
INTERNATIONALE

ISO
537

Deuxième édition
1989-12-01

Plastiques — Essai au pendule de torsion

Plastics — Testing with the torsion pendulum



Numéro de référence
ISO 537 : 1989 (F)

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 projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour approbation, avant leur acceptation comme Normes internationales par le Conseil de l'ISO. Les Normes internationales sont approuvées conformément aux procédures de l'ISO qui requièrent l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La Norme internationale ISO 537 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 61, *Plastiques*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 537 : 1980), dont elle constitue une révision technique.

Les annexes A et B de la présente Norme internationale sont données uniquement à titre d'information.

© ISO 1989

Droits de reproduction réservés. 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'éditeur.

Organisation internationale de normalisation
Case postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Suisse

Imprimé en Suisse

Plastiques — Essai au pendule de torsion

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale prescrit des méthodes pour la détermination des caractéristiques mécaniques dynamiques (module de cisaillement et amortissement mécanique) des plastiques dans la gamme des petites déformations, en fonction de la température, dans la gamme de fréquences allant de 0,1 Hz à 10 Hz. Le module de cisaillement et l'amortissement mécanique déterminés par les méthodes A et B ne sont pas en accord l'un avec l'autre. La dépendance de ces grandeurs vis-à-vis de la température dans une gamme de températures suffisamment large (par exemple de -50 °C à $+150\text{ °C}$ pour la majorité des polymères du commerce) détermine les zones de transition (par exemple état «vitreux-élastomérique»), du polymère. Elle donne également des informations concernant le début du fluage. Les méthodes A et B prescrites dans la présente Norme internationale ne sont pas applicables à des laminés non symétriques (voir ISO 6721).

2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes des accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

ISO 291 : 1977, *Plastiques — Atmosphères normales de conditionnement et d'essai*.

ISO 293 : 1986, *Plastiques — Moulage par compression des éprouvettes en matières thermoplastiques*.

ISO 294 : 1975, *Matières plastiques — Moulage par injection des éprouvettes en matières thermoplastiques*.

ISO 472 : 1988, *Plastiques — Vocabulaire*.

ISO 2856 : 1981, *Elastomères — Spécifications générales pour essais dynamiques*.

ISO 4593 : 1979, *Plastiques — Film et feuille — Détermination de l'épaisseur par examen mécanique*.

ISO 6721 : 1983, *Plastiques — Détermination des propriétés d'amortissement et du module complexe, au moyen de vibration en flexion*.

3 Définitions

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les définitions données dans l'ISO 472, l'ISO 2856 et l'ISO 6721, ainsi que les suivantes s'appliquent.

3.1 module de cisaillement, G : Quotient de la contrainte de cisaillement en phase par la déformation angulaire (cisaillement) résultant de l'éprouvette, mesuré dans la zone des faibles déformations récupérables. Ceci est la partie réelle du module de cisaillement complexe. G est la mesure de la rigidité du matériau considéré.

3.2 décrétement logarithmique de l'amortissement, A : Logarithme népérien du rapport des amplitudes de deux oscillations successives. Il constitue une mesure de l'amortissement des oscillations libres de torsion du matériau considéré.

3.3 facteur de perte mécanique, d : Facteur donné avec une bonne approximation par l'équation suivante (voir annexe A):

$$d \approx \frac{A}{\pi} \quad \dots (1)$$

4 Principe

Une éprouvette de forme rectangulaire est fixée entre un mors fixe et un mors en rotation. Le mors tournant est relié à un disque d'entraînement à l'aide d'un axe. L'éprouvette est soumise ensemble avec le disque à des oscillations libres en torsion.

Le disque d'entraînement est positionné soit au-dessous de l'éprouvette (méthode A), soit au-dessus de l'éprouvette, l'ensemble étant supporté par un contrepoids à l'aide d'un câble (méthode B). Dans ce dernier cas, le câble est aussi un élément du système.

5 Appareillage

5.1 Pendule de torsion

Deux types de pendule de torsion sont prescrits dans la présente Norme internationale, à savoir :

- l'éprouvette supporte le disque d'entraînement; la partie inférieure de l'éprouvette est mobile (méthode A, figure 1);
- l'éprouvette est supportée par le disque (à l'aide d'un câble et d'un contrepoids); la partie supérieure de l'éprouvette est mobile (méthode B, figure 2).

Dans les deux cas, le pendule de torsion est constitué d'un disque d'entraînement, de deux mors pour fixer l'éprouvette (dont l'un relié au disque par un axe est en rotation libre sur le disque) et d'une chambre thermostatée entourant l'éprouvette et les mors. Pour la méthode B en plus, un contrepoids supportant le disque à l'aide d'un câble est nécessaire.

5.1.1 Disque d'entraînement

5.1.1.1 Pour la méthode A (voir figure 1)

La masse totale du disque (réalisé en aluminium par exemple), le mors inférieur, et l'axe reliant les deux doivent être tels que la contrainte de traction sur l'éprouvette ne dépasse pas 0,1 MPa. Le moment d'inertie I du disque doit être ajusté en fonction de la rigidité de l'éprouvette, ainsi que la masse totale du disque, du mors et de l'axe de telle façon que la fréquence naturelle du système, fonction de la température, soit située entre 0,1 Hz et 10 Hz.

Pour les éprouvettes normalisées (voir 6.2) une valeur de I d'environ $3 \times 10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ est recommandée. Si, cependant, une fréquence à peu près constante dans une large gamme de températures est souhaitée, plusieurs disques avec différentes valeurs de I peuvent être utilisés, pourvu que la contrainte de traction sur l'éprouvette n'atteigne pas des valeurs trop élevées (voir ci-dessus).

NOTE — Pour certains matériaux, par exemple des polymères contenant des charges, des polymères semi-cristallins, une valeur de I d'environ $5 \times 10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$ peut être nécessaire.

5.1.1.2 Pour la méthode B (voir figure 2)

Le poids total du disque, du mors supérieur et de l'axe doit être compensé à l'aide d'un contrepoids convenable de façon que la contrainte de traction sur l'éprouvette ne dépasse pas 0,1 MPa. À d'autres égards, selon le but de l'essai, des disques présentant une large gamme de moments d'inertie peuvent être utilisés. Dans le cas de la méthode B, le câble supporte donc en plus l'éprouvette, le mors supérieur, l'axe et le disque, ces éléments appartenant au système oscillant.

5.1.2 Mors

Les mors doivent être conçus de façon à empêcher tout glissement des parties fixées des éprouvettes; ils doivent être auto-alignants afin de maintenir l'axe de l'éprouvette en coïncidence avec l'axe de rotation et doivent pouvoir maintenir solidement l'éprouvette sur toute la gamme de températures d'intérêt sans distorsion, permettant ainsi de connaître la longueur libre avec précision.

Le mors à l'extrémité libre de l'éprouvette doit être léger et avoir un moment d'inertie négligeable. Si cela n'est pas le cas, le moment d'inertie de l'ensemble du système comportant ce mors, le disque et l'axe reliant les deux, doit être déterminé expérimentalement.

Dans le but d'empêcher la conduction de la chaleur entre l'éprouvette et l'espace extérieur, l'enceinte thermostatée, l'axe reliant le mors à l'extrémité libre de l'éprouvette avec le disque doit être réalisé dans un matériau suffisamment isolant thermique.

5.1.3 Enceinte thermostatée

L'éprouvette et le mors doivent être enfermés dans une enceinte thermostatée. Suivant le but de l'essai, l'enceinte thermostatée doit être remplie d'air ou d'un gaz inerte. Lorsqu'on utilise un gaz inerte comme agent d'environnement, il doit être sous faible pression, c'est-à-dire que le courant gazeux doit circuler à un débit d'environ 1 200 ml/h.

L'axe reliant le disque avec le mors inférieur ou supérieur ne doit pas être en contact avec la paroi de l'enceinte; mais la distance entre l'axe et celle-ci doit être juste suffisante pour permettre une libre rotation du système oscillant.

L'enceinte thermostatée doit être conçue pour une gamme de températures suffisante selon le matériau à essayer et le but de l'essai (par exemple de $-100 \text{ }^\circ\text{C}$ ou $-60 \text{ }^\circ\text{C}$ à $300 \text{ }^\circ\text{C}$). Il est recommandé que la chambre soit pourvue d'un équipement pour la programmation de la température pendant l'essai.

La température au voisinage de l'éprouvette doit rester constante à $\pm 1 \text{ K}$ sur toute la longueur de l'éprouvette. Si le mode opératoire à température constante est utilisé (voir 7.3.1), la température ne doit pas varier de plus de $\pm 1 \text{ K}$ pendant l'essai. Lorsqu'une élévation (ou diminution) constante de température est demandée (voir 7.3.2), la progression ne doit pas dépasser 120 K/h et la température à proximité immédiate de l'éprouvette ne doit pas varier de plus de $\pm 0,25 \text{ K}$ au moment d'un mesurage individuel (série d'oscillations libres après un tour d'impulsion).

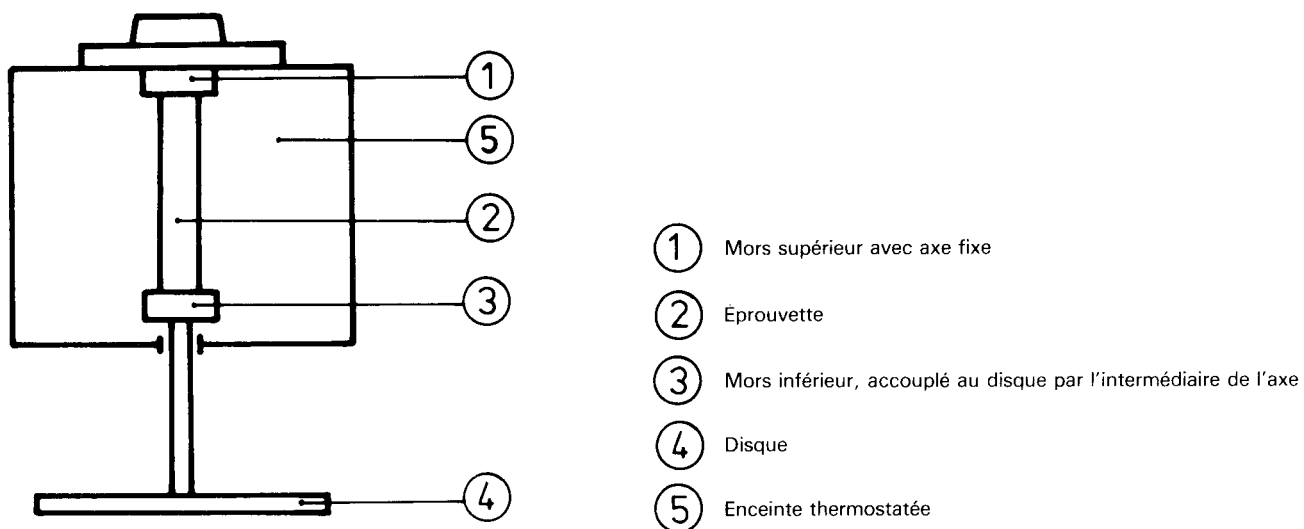


Figure 1 — Appareillage pour la méthode A

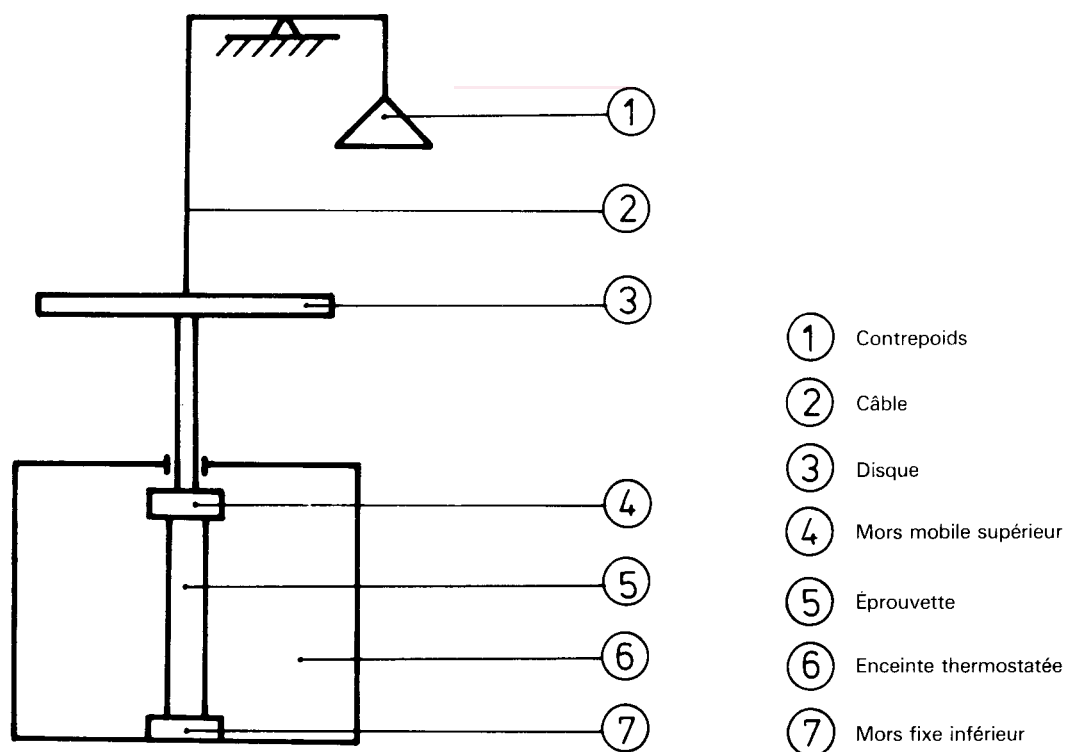


Figure 2 — Appareillage pour la méthode B

5.2 Dispositif pour démarrer l'oscillation

Le dispositif pour démarrer l'oscillation doit pouvoir appliquer une impulsion simple par torsion au système oscillant avec un angle de torsion ne dépassant pas $1,5^\circ$ dans l'une ou l'autre direction.

Lors de l'essai de matériaux à bas module (semblables aux élastomères), l'angle de torsion ne doit pas dépasser 3° dans l'une ou l'autre direction.

5.3 Appareils d'enregistrement des oscillations, pour le mesurage des fréquences et du décrétement logarithmique

Des dispositifs enregistreurs optiques, électriques ou autres peuvent être utilisés, s'ils n'exercent aucun effet d'amortissement supplémentaire. Si l'on utilise des enregistreurs, la vitesse de la bande enregistreuse ne doit pas varier de plus de $\pm 1\%$. Tout l'équipement pour le mesurage de la fréquence et du décrétement logarithmique doit rendre possible la mesure de ces quantités à $\pm 1\%$ (avec la zone transitoire à $\pm 5\%$).

5.4 Dispositifs de mesurage des dimensions des éprouvettes

Le dispositif utilisé pour le mesurage de l'épaisseur de l'éprouvette doit pouvoir mesurer celle-ci à $\pm 0,003$ mm (voir ISO 4593).

Le dispositif pour le mesurage de la largeur et de la longueur de l'éprouvette doit pouvoir mesurer ces quantités respectivement à $\pm 0,05$ mm et à $\pm 0,1$ mm.

5.5 Dispositif de mesurage de la température

Le dispositif de mesurage de la température au voisinage de l'éprouvette doit pouvoir mesurer la température à $\pm 0,1$ K. L'emploi d'un thermomètre électronique avec un élément sensible à faible inertie est recommandé.

6 Éprouvettes

Les quantités mesurées à l'aide de cette méthode (fréquence et amplitude) sont sensibles à l'uniformité dimensionnelle de l'éprouvette et à son état physique (par exemple degré de cristallinité, tensions internes) ainsi qu'à sa température. Ces faits doivent être considérés, lors du choix, par exemple, des dimensions et des tolérances, de la méthode de préparation, du procédé de conditionnement, pour un matériau en particulier.

6.1 Préparation

Selon le but de l'essai, c'est-à-dire l'examen des propriétés du matériau ou d'un produit fini donné, les éprouvettes doivent être usinées à partir de plaques moulées par compression (voir ISO 293) ou dans le produit fini. Exceptionnellement, les éprouvettes peuvent être moulées par injection (voir ISO 294) si cela a fait l'objet d'un accord particulier entre les parties intéressées.

6.2 Forme et dimensions

Il est recommandé d'utiliser des éprouvettes rectangulaires ayant les dimensions suivantes :

- longueur libre (distance entre mors), L : 40 mm à 120 mm, de préférence 50 mm;
- largeur, b : 5 mm à 11 mm, de préférence 10 mm;
- épaisseur, h : 0,15 mm à 2 mm, de préférence 1 mm.

Les éprouvettes à section transversale rectangulaire dont la variation d'épaisseur ou de largeur est supérieure à 3 % de la valeur moyenne arithmétique doivent être exclues de l'essai. Dans le but de comparer des éprouvettes en provenance de différents matériaux, les dimensions doivent être identiques. Dans le cas d'éprouvettes dont les dimensions diffèrent de celles préférentielles indiquées ci-dessus, celles-ci doivent être si possible dans le même rapport L/b et b/h que celles préférentielles.

D'autres formes d'éprouvettes peuvent être utilisées (par exemple cylindrique ou tubulaire); dans ce cas, les dimensions et les tolérances doivent faire l'objet d'un accord particulier entre les parties intéressées.

Des éprouvettes ayant une épaisseur inférieure à 0,15 mm (jusqu'à 0,05 mm) peuvent également être utilisées, pourvu que l'amortissement du système de mesure sans éprouvette puisse être négligé ou calculé.

6.3 Nombre

Une éprouvette est suffisante dans le cas d'un contrôle de qualité. Dans les autres cas, deux éprouvettes doivent être essayées.

6.4 Conditionnement

Avant le mesurage de leurs dimensions, les éprouvettes doivent être conditionnées conformément aux spécifications du matériau à soumettre à l'essai ou conformément à l'accord entre les parties intéressées.

6.4.1 Pour le conditionnement environnemental, la condition la plus appropriée de l'ISO 291 doit être choisie, de préférence $23^\circ\text{C}/50\%$ d'humidité relative durant 16 h.

6.4.2 Pour le conditionnement mécanique, s'il est souhaité, les éprouvettes ne doivent pas être soumises à une torsion de moins de 5° et de plus de 90° dans les deux directions et elles doivent être remises dans leur position normale.

7 Mode opératoire

7.1 Mesurage de la section droite de l'éprouvette rectangulaire

Mesurer, avant l'essai, l'épaisseur et la largeur de l'éprouvette en au moins cinq endroits répartis sur sa longueur. Toute éprouvette présentant des irrégularités visibles, ou une variation de l'épaisseur et ou de la largeur supérieure à 3 % de la moyenne arithmétique, doit être exclue de l'essai.

Les méthodes de mesurage des dimensions d'éprouvettes ayant d'autres formes doivent être définies par un accord particulier entre les parties intéressées.

7.2 Fixation et montage de l'éprouvette

Fixer l'éprouvette entre les mors inférieur et supérieur. Son axe longitudinal doit coïncider avec l'axe de rotation du système oscillant. Toute excentration serait cause d'oscillations latérales et fausserait le processus normal d'oscillation.

Après fixation de l'éprouvette, mesurer la distance entre mors (la longueur libre) à $\pm 0,1$ mm. L'éprouvette ne doit pas être soumise à des contraintes lors du montage du système mobile dans l'enceinte.

Après contrôle du montage central du système oscillant, mettre en marche le chauffage (ou le refroidissement) (voir 7.3).

7.3 Chauffage (ou refroidissement) pendant l'essai

Le mesurage peut être effectué à une température constante ou continuellement variable par accroissement (ou par décroissement). Dans le premier cas, les dépendances des propriétés mécaniques vis-à-vis de la température sont établies au moyen de déterminations à diverses températures.

7.3.1 Température constante (voir aussi 5.1.3)

Régler la température choisie et attendre l'équilibre thermique de tout le système avant de l'amener dans les conditions d'oscillations.

7.3.2 Température continuellement variable par accroissement (ou par décroissement) (voir aussi 5.1.3)

Régler la température de départ choisie. Attendre l'équilibre thermique de tout le système, puis régler le taux d'accroissement avant le début des oscillations. Le taux de variation de la température ne doit pas être supérieur à 120 K/h.

7.4 Essai d'oscillation en torsion

Suivant le type d'appareil (5.2), amener le système mobile dans les conditions d'oscillations libres, soit par torsion de l'extrémité inférieure de l'éprouvette (méthode A), soit par torsion du disque (méthode B). L'angle de torsion ne doit pas dépasser $1,5^\circ$ dans l'une ou l'autre direction.

L'amplitude de l'oscillation doit être enregistrée pendant l'essai. La fréquence de l'oscillation doit être déterminée à partir de cet enregistrement.

8 Expression des résultats

8.1 Symboles et facteurs de correction

b est la largeur, en mètres, de l'éprouvette rectangulaire;

h est l'épaisseur, en mètres, de l'éprouvette rectangulaire;

L est la longueur libre, en mètres, de l'éprouvette rectangulaire;

I est le moment d'inertie, en kilogrammes mètres carrés, du disque (si nécessaire, inclure le mors mobile et l'axe de liaison);

f_A est la fréquence naturelle, en hertz, du système oscillant selon la méthode A (éprouvette + disque d'entraînement + axe);

f_B est la fréquence naturelle, en hertz, du système oscillant selon la méthode B (éprouvette + disque d'entraînement + axe + câble);

f_o est la fréquence naturelle, en hertz, du système oscillant selon la méthode B (disque d'entraînement + axe + câble), mais sans éprouvette;

A est le décrément logarithmique du système comprenant l'éprouvette et le disque d'entraînement (incluant l'axe de liaison); l'amortissement du système est causé seulement par l'amortissement interne de l'éprouvette;

A_B est le décrément logarithmique du système selon la méthode B, comprenant l'éprouvette, le disque d'entraînement (incluant l'axe de liaison) et le câble (fréquence naturelle f_B);

A_o est le décrément logarithmique du système selon la méthode B, comprenant le disque d'entraînement (incluant l'axe de liaison) et le câble (sans éprouvette) (fréquence naturelle f_o);

F_g est le facteur géométrique, en mètres à la puissance moins trois, d'une éprouvette rectangulaire avec $b/h > 3$. Il est donné par l'équation

$$F_g = \frac{3L}{b \cdot h^3 \left(1 - 0,63 \frac{h}{b}\right)} = \frac{3L}{b \cdot h^3 \cdot C} \quad \dots (2)$$

$$\text{où } C = 1 - 0,63 \frac{h}{b}$$

F_{di} est le facteur de correction donné par l'équation

$$F_{di} = 1 + \frac{A_i^2}{4\pi^2} \quad \dots (3)$$

$$\text{où } A_i = A, A_B \text{ ou } A_o$$

k est le module de torsion, en kilogrammes mètres carrés par seconde, du câble (méthode B), donné par l'équation

$$k = 4\pi^2 I \cdot f_o^2 \quad \dots (4)$$

G est le module de cisaillement, en pascals, de l'éprouvette.

NOTE — Pour les raisons données dans l'annexe B, le terme de correction S_E qui avait été utilisé dans la première édition de la présente Norme internationale est négligé ici.

8.2 Décrément logarithmique

Le décrément logarithmique A (méthode A) ou A_B (méthode B) doit être calculé à l'aide des équations suivantes:

$$A \text{ (ou } A_B) = \ln \left(\frac{A_n}{A_{n+1}} \right) \quad \dots (5)$$

où A_n et A_{n+1} sont les amplitudes de deux oscillations successives dans la même direction.

Pour le calcul de λ (ou λ_B) à partir des amplitudes de deux oscillations, l'équation (6) doit être utilisée :

$$\lambda \text{ (ou } \lambda_B) = \frac{1}{n-m} \ln \left(\frac{A_m}{A_n} \right) \quad \dots (6)$$

où

A_m est la $m^{\text{ième}}$ amplitude;

A_n est la $n^{\text{ième}}$ amplitude;

$n > m$

NOTE — L'équation alternative suivante pour le calcul du décrement logarithmique λ (ou λ_B) peut être utilisée dans le cas où les amplitudes ne peuvent pas être enregistrées avec précision en rapport au centre de la courbe sinusoïdale amortie :

$$\lambda \text{ (ou } \lambda_B) = \ln \left(\frac{A_n^*}{A_{n+1}^*} \right) = \frac{1}{n-m} \ln \left(\frac{A_m^*}{A_n^*} \right) \quad \dots (7)$$

où A_n^* , A_{n+1}^* et A_m^* sont les distances successives entre les pics positifs et négatifs de l'oscillation.

8.2.1 Méthode A

Le décrement logarithmique λ de l'éprouvette résulte directement des équations (5) à (7).

8.2.2 Méthode B

Le décrement logarithmique λ de l'éprouvette résulte du décrement calculé à l'aide des équations (5) à (7) et (8) ou (9) :

$$\lambda = \frac{f_B \lambda_B - f_o \lambda_o}{\left[f_B^2 - f_o^2 + \frac{f_o \lambda_o}{2\pi^2} (f_B \lambda_B - f_o \lambda_o) \right]^{1/2}} \quad \dots (8)$$

Pourvu que $\lambda_o \approx 0$ (ce qui est pratiquement presque toujours le cas), alors

$$\lambda \approx \lambda_B \left(\frac{f_B^2}{f_B^2 - f_o^2} \right)^{1/2} \quad \dots (9)$$

8.3 Module de cisaillement, G

Le module de cisaillement pour une section droite perpendiculaire de l'éprouvette doit être calculé à l'aide de l'équation (10) ou (11), selon le cas.

8.3.1 Méthode A

$$G = 4\pi^2 I f_A^2 F_d F_g$$

Si $\lambda < 1$, alors $F_d \approx 1$ et

$$G \approx \frac{12\pi^2 I f_A^2 L}{b \cdot h^3 \cdot C} \quad \dots (10)$$

[voir équation (2)].

8.3.2 Méthode B

$$G = 4\pi^2 I (f_B^2 F_{dB} - f_o^2 F_{do}) F_g$$

Si $\lambda_o \ll 1$, alors $F_{do} \approx 1$

Si, en outre, $\lambda_B < 1$, alors $F_{dB} \approx 1$ et avec l'équation (2)

$$G \approx \frac{12\pi^2 I (f_B^2 - f_o^2) L}{b \cdot h^3 \cdot C} \quad \dots (11)$$

[voir équation (2)].

8.4 Facteur de perte mécanique, d

Le facteur de perte mécanique d peut être calculé à l'aide de l'équation (1) (voir 3.3) :

$$d \approx \frac{\lambda}{\pi} \quad \dots (1)$$

(voir aussi annexe A).

8.5 Angle de cisaillement maximal

Dans le but d'éviter un excès de l'angle de cisaillement permis, cet angle γ doit être calculé à l'aide de l'équation (12) :

$$\gamma = \alpha \frac{h}{L} \quad \dots (12)$$

où α est l'angle de torsion, en radians, entre les mors.

9 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit contenir les indications suivantes :

- a) référence à la présente Norme internationale;
- b) description du matériau soumis à l'essai;
- c) méthode d'essai utilisée (A ou B);
- d) détails à propos de l'éprouvette :
 - 1) préparation,
 - 2) historique température-temps avant l'essai (conditionnement),
 - 3) forme, dimensions et tolérances,
 - 4) nombre (si plus d'une);
- e) détails à propos des appareils et du mode opératoire :
 - 1) description (en particulier le moment d'inertie et la masse) du disque d'entraînement,
 - 2) angle de cisaillement maximal,
 - 3) gamme de fréquences,
 - 4) air ou gaz inerte,
 - 5) programme de température (constante, montante ou tombante);
- f) valeurs individuelles ou graphes en fonction de la température
 - 1) de la fréquence,
 - 2) du module de cisaillement,
 - 3) du décrement logarithmique,
 - 4) du facteur de perte mécanique (s'il est demandé).

Si le module de cisaillement est présenté sous forme de graphe, ses valeurs doivent être reportées sur une échelle logarithmique.

Annexe A (informative)

Facteur de perte mécanique

Les rapports entre les grandeurs mesurées par l'essai au pendule de torsion décrit ici (module de cisaillement G et décrement logarithmique A) et celles mesurées par des vibrations forcées (partie réelle G' du module de cisaillement complexe G^* , valeur absolue $|G^*|$ de G et facteur de perte mécanique d) ne peuvent pas être exprimés exactement parce qu'il existe dans la littérature différents traitements mathématiques sur le pendule de torsion qui conduisent à des résultats différents :

NOTE -- NIELSEN [*Rev. Sci. Inst.* **22/9** (1951) p. 690] a publié les relations

$$|G^*| = G \quad \text{et} \quad d = \frac{A}{\pi \left[1 - \left(\frac{A}{2\pi} \right)^2 \right]}$$

tandis que STAVERMAN et SCHWARZL [Stuart (éditeur) : *Die Physik der Hochpolymeren*, Vol. 4, Springer Verlag, Berlin, Goettingen, Heidelberg (1956)] ont trouvé que

$$G' = G \quad \text{et} \quad d = \frac{A}{\pi \left[1 - \left(\frac{A}{2\pi} \right)^2 \right]}$$

Plus tard, STRUIK [*Rheol. Acta* **6** (1967) p. 119] montra que les deux équations données ci-dessus conduisent à des résultats erronés. Dans son papier, il quantifia ainsi l'erreur causée par les traitements de Nielsen et de Staverman et Schwarzl.

À cause de cette discussion en ce temps-là, seulement les relations approximatives suivantes pourraient être utilisées :

$$G \approx G' \approx |G^*| \quad \text{et} \quad d \approx \frac{A}{\pi}$$

Annexe B (informative)

Terme de correction, S_E

Le terme de correction

$$S_E = \frac{m_A \cdot g \cdot b}{4h^3 \cdot C} \text{ (méthode A)}$$

ou

$$S_E = \frac{m_B \cdot g \cdot b}{4h^3 \cdot C} \text{ (méthode B)}$$

où

m_A est la masse du disque d'entraînement (+ mors inférieur + axe);

m_B est la masse du contrepoids moins la masse du disque d'entraînement (+ mors supérieur + axe);

g est l'accélération due à la pesanteur ($9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$),

qui avait été utilisé dans la première édition de la présente Norme internationale, est contesté parce que ce terme ne con-

sidère pas le processus de déformation due à la structure du polymère dans la zone élastique du caoutchouc. Depuis, en plus, S_E influence le module de cisaillement calculé (voir 8.3) seulement très faiblement; il peut être négligé ici (voir la note de 8.1).

Ce dernier fait peut être prouvé par un simple calcul :

Si dans la méthode A

$$m_A = 0,03 \text{ kg}$$

$$b = 0,01 \text{ m}$$

$$h = 0,001 \text{ m et par conséquent}$$

$$h/b = 0,1$$

il s'ensuit que

$S_E = 0,785 \text{ MPa}$, valeur qui est négligeable eu égard aux valeurs usuelles de $G \approx 1\,000 \text{ MPa}$ pour les polymères dans l'état vitreux.