

NORME  
INTERNATIONALE

**ISO**  
**6721-3**

Première édition  
1994-11-01

---

---

**Plastiques — Détermination des propriétés  
mécaniques dynamiques —**

**Partie 3:**

**Vibration en flexion — Méthode en résonance  
(standards.iteh.ai)**

*Plastics — Determination of dynamic mechanical properties —  
Part 3: Flexural vibration — Resonance-curve method*



Numéro de référence  
ISO 6721-3:1994(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 vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

La Norme internationale ISO 6721-3 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 61, *Plastiques*, sous-comité SC 2, *Propriétés mécaniques*.

Conjointement avec l'ISO 6721-1, elle annule et remplace l'ISO 6721:1983, laquelle a fait l'objet d'une révision technique.

L'ISO 6721 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Plastiques — Détermination des propriétés mécaniques dynamiques*:

- *Partie 1: Principes généraux*
- *Partie 2: Méthode au pendule de torsion*
- *Partie 3: Vibration en flexion — Méthode en résonance*
- *Partie 4: Vibration en traction — Méthode hors résonance*
- *Partie 5: Vibration en flexion — Méthode hors résonance*
- *Partie 6: Vibration en cisaillement — Méthode hors résonance*
- *Partie 7: Vibration en torsion — Méthode hors résonance*

Les annexes A et B de la présente partie de l'ISO 6721 sont données uniquement à titre d'information.

© ISO 1994

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'éditeur.

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

Imprimé en Suisse

# Plastiques — Détermination des propriétés mécaniques dynamiques —

## Partie 3:

### Vibration en flexion — Méthode en résonance

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 6721 prescrit une méthode de vibration en flexion basée sur les courbes de résonance pour la détermination du module complexe en flexion  $E_f^*$  de plastiques homogènes et des propriétés d'amortissement de plastiques stratifiés spécialement destinés à l'isolation acoustique, par exemple des systèmes consistant en une feuille métallique revêtue d'une couche de plastique amortissant ou des systèmes en sandwichs consistant en deux feuilles métalliques avec une couche intermédiaire en plastique; pour beaucoup d'usages, il est utile de déterminer ces propriétés en fonction de la température et de la fréquence.

#### 2 Référence normative

La norme suivante contient des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de l'ISO 6721. Au moment de la publication, l'édition indiquée était en vigueur. Toute norme est sujette à révision et les parties prenantes des accords fondés sur la présente partie de l'ISO 6721 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer l'édition la plus récente de la norme indiquée ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

ISO 6721-1:1994, *Plastiques — Détermination des propriétés mécaniques dynamiques — Partie 1: Principes généraux.*

#### 3 Définitions

Voir ISO 6721-1:1994, article 3.

NOTE 1 Comme indiqué dans l'ISO 6721-1, les fréquences découlant des courbes de résonance basées sur les mesurages d'amplitude de taux de déformation peuvent être reliées de façon exacte aux propriétés dynamiques. Pour le domaine recommandé du facteur de perte de la présente partie de l'ISO 6721, c'est-à-dire  $\tan \delta < 0,1$ , les courbes de résonance basées sur les amplitudes de la déformation peuvent également être utilisées. Pour les matériaux à amortissement élevé, voir ISO 6721-1:1994, annexe A.

#### 4 Principe

Une éprouvette est soumise à des vibrations en flexion forcées dans un domaine de fréquence d'environ 10 Hz à 1 000 Hz. Le module de conservation  $E_f'$  (voir ISO 6721-1:1994, paragraphe 3.2) est calculé à partir de la courbe de résonance (voir ISO 6721-1:1994, paragraphe 3.11), déterminée par cet essai dans le domaine supérieur à 0,5 MPa ainsi que le facteur de perte  $\tan \delta = E_f''/E_f'$  (voir ISO 6721-1:1994, paragraphe 3.6) dans le domaine recommandé d'environ  $10^{-2}$  à  $10^{-1}$  (voir note 1). La fréquence d'essai peut être modifiée et être mesurée à plus d'un mode de vibration. Le domaine de mesurage pour le module de perte  $E_f''$  (voir ISO 6721-1:1994, paragraphe 3.3) résulte de celui du facteur de perte et de la valeur du module de conservation.

Le mode d'oscillation utilisé est désigné par III dans l'ISO 6721-1:1994, tableau 2, et le type de module

comprenant le mode de déformation par  $E_f$  dans l'ISO 6721-1:1994, tableau 3.

L'essai est réalisé à l'aide de barres rectangulaires, soit positionnées verticalement, avec l'extrémité supérieure bridée et l'extrémité inférieure libre (méthode A), soit supportées horizontalement, à l'aide de fils, aux nœuds de vibrations (méthode B, voir figure 1). La méthode A convient pour l'essai d'éprouvettes réalisées dans la plupart des plastiques, y compris des matériaux relativement mous, alors que la méthode B peut surtout être utilisée pour l'essai d'éprouvettes rigides dimensionnellement stables, par exemple feuille métallique recouverte d'une couche de plastique pour des besoins d'amortissement.

## 5 Appareillage

### 5.1 Généralités

L'appareillage consiste en des dispositifs de bridage (méthode A) ou de support (méthode B) de l'éprouvette, des dispositifs électroniques (générateur de fréquence et enregistreur) pour l'excitation de l'éprouvette à des vibrations en flexion forcées et pour le mesurage de la fréquence, ainsi que de l'amplitude de la vitesse de l'éprouvette (voir note 1). Pour l'excitation et la détection des vibrations, deux transducteurs électromagnétiques sont placés à proximité des extrémités de l'éprouvette. Le dispositif de bridage ou de support et les transducteurs électromagnétiques sont placés dans une enceinte thermostatée (voir figure 1).

### 5.2 Brides et supports

Lorsque l'éprouvette est bridée à l'une des extrémités, la bride doit être conçue de façon à tenir la partie supérieure de l'éprouvette fortement et avec sécurité [voir figure 1 a)] et à ne pas produire d'amortissement supplémentaire du système.

Il y a deux causes pouvant conduire à un amortissement supplémentaire:

- Frottement entre l'éprouvette et le dispositif de bridage: cela peut être mis en évidence par stimulation d'oscillations à amortissement libre au mode de vibration concerné. Comme ceci est expliqué dans l'ISO 6721-1:1994, annexe B, le type d'amortissement est indicatif pour les différents types de déviations du comportement viscoélastique linéaire.

- Vibration de la bride: la bride doit être montée d'une façon rigide sur une masse lourde, agissant comme un contreponds par rapport à l'éprouvette oscillante. Cela requiert un support lourd et rigide dans l'enceinte thermostatée (voir figure 1).

Lorsque l'éprouvette est essayée dans la position horizontale, elle doit être supportée à l'aide de fibres fines aux nœuds de vibration (voir 9.3.2).

### 5.3 Dispositif d'excitation et détecteur

Le générateur de fréquence doit être capable d'exciter l'éprouvette à l'aide d'un transducteur électromagnétique à des oscillations dans le domaine de fréquence de 10 Hz à 1 000 Hz avec une force à amplitude constante.

Le détecteur doit être capable de mesurer l'amplitude de déformation ou de taux de déformation (voir note 1) de l'éprouvette et la fréquence d'oscillation pour permettre d'enregistrer la courbe de résonance (voir ISO 6721-1:1994, paragraphe 3.11 et annexe A).

L'amplitude du dispositif d'excitation et la sensibilité du détecteur ne doivent pas varier de plus de 0,5 % avec la fréquence dans le domaine d'un pic de résonance unique, c'est-à-dire pour une variation de 10 % de la fréquence.

Il faut utiliser un filtre correctif pour minimiser le bruit du fond du détecteur. Les fréquences doivent être mesurées avec une résolution d'au moins 0,1 % (voir 11.2).

Deux petites plaques minces en acier doivent être collées aux extrémités de l'éprouvette afin de permettre l'excitation et la détection des vibrations au moyen de transducteurs électromagnétiques convenables (voir 6.2).

### 5.4 Enceinte thermostatée

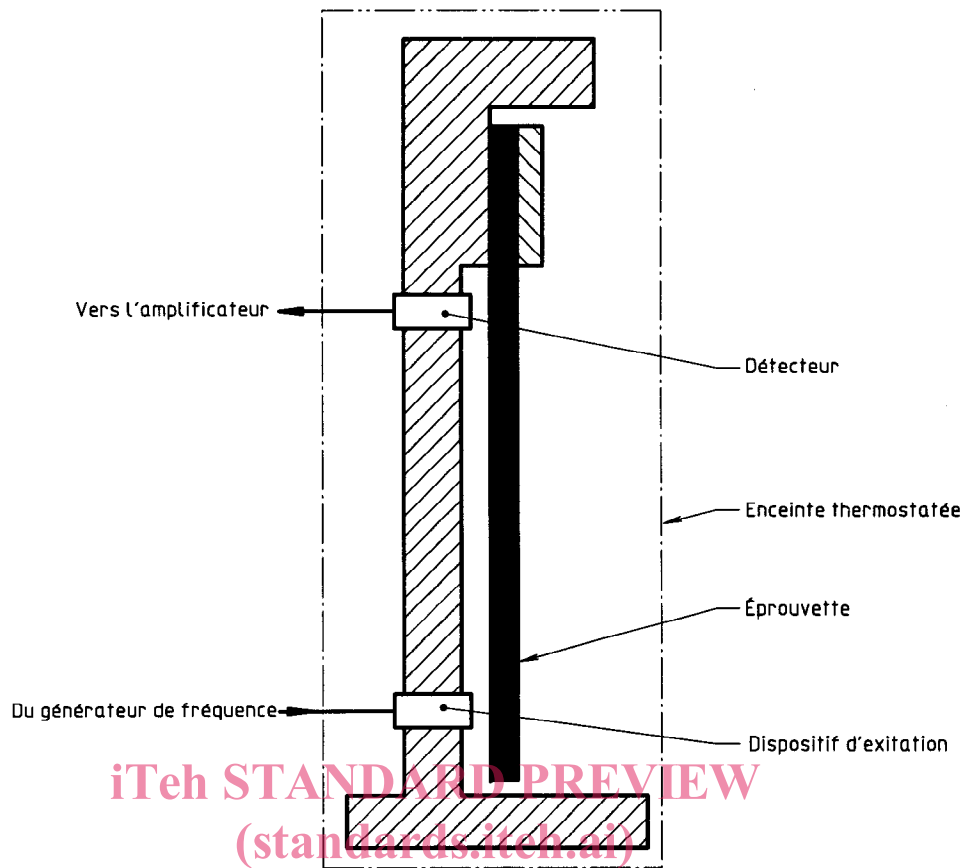
Voir ISO 6721-1:1994, paragraphe 5.3.

### 5.5 Fourniture de gaz

De l'air ou un gaz inerte approprié doit être utilisé pour les besoins de purge.

### 5.6 Dispositif pour le mesurage de la température

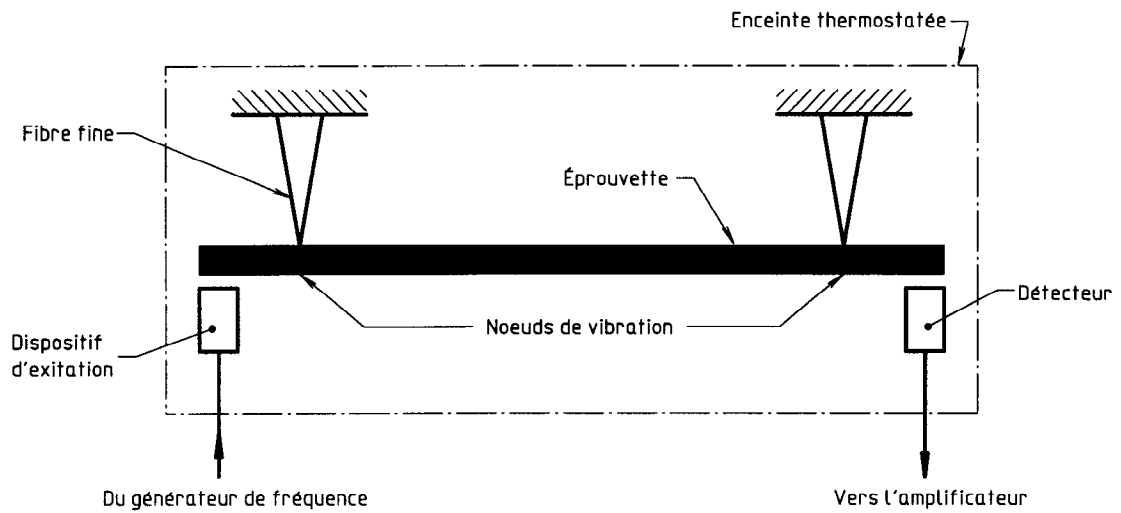
Voir ISO 6721-1:1994, paragraphe 5.5.



ISO 6721-3:1994

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/0906c-16ad-445a-9bc7-c08ce175cb1c/iso-6721-3-1994>

a) Méthode A



b) Méthode B

Figure 1 — Schémas de l'appareillage pour les méthodes A et B

### 5.7 Dispositifs pour le mesurage des dimensions et de la masse volumique des éprouvettes

Voir ISO 6721-1:1994, paragraphe 5.6.

La balance utilisée pour le mesurage de la masse de l'éprouvette doit être précise à 1 mg.

## 6 Éprouvettes

Voir ISO 6721-1:1994, article 6.

### 6.1 Forme et dimensions

Les éprouvettes doivent être sous forme de barres rectangulaires ou de bandes; l'éprouvette doit avoir une épaisseur minimale pour produire une rigidité en flexion suffisante, laquelle est critique pour la fréquence de résonance. D'autre part, l'épaisseur doit être suffisamment petite par rapport à la longueur d'onde de la vibration en flexion. L'épaisseur de l'éprouvette doit également être limitée pour éviter les influences de la déformation en cisaillement et de l'inertie en rotation si des valeurs précises de  $E'$  sont requises. Des rapports de la longueur à l'épaisseur inférieurs à 50 ne conviennent pas si des valeurs de  $E'$  précises à  $\pm 5\%$  sont requises pour des mesurages jusqu'au sixième ordre d'éprouvettes isotropes homogènes.

L'épaisseur des couches d'un système multicouche dépend du besoin technique du système. Lorsqu'on compare des systèmes variés à l'aide de l'essai de vibrations en flexion, le rapport de masse recommandé entre la couche de plastique et le matériau de la feuille de base est de 1:5.

La largeur des éprouvettes doit être inférieure à la demi-longueur d'onde utilisée afin d'éviter des vibrations de résonance latérales. Une largeur de 10 mm convient dans la plupart des cas.

La longueur des éprouvettes dépend de la fréquence souhaitée. Pour les éprouvettes bridées à une extrémité, la longueur doit être suffisamment grande pour éviter une influence sensible du dispositif de bridage sur la vibration. Usuellement, une longueur libre de 180 mm convient. Si l'éprouvette n'est pas bridée, sa longueur doit être de 150 mm.

### 6.2 Préparation des éprouvettes

Voir ISO 6721-1:1994, paragraphe 6.2.

De petites plaques minces en acier suffisamment légères doivent être collées sur les éprouvettes, à une distance proche de leurs extrémités pour permettre l'excitation et la détection des vibrations à l'aide de transducteurs électromagnétiques. Pour éviter des erreurs sur  $E'$  supérieures à 4 %, le rapport de la masse additionnelle à la masse de l'éprouvette ne doit pas dépasser 1 %. Pour éviter une rigidité additionnelle causée par les plaques en acier, celles-ci ne doivent pas s'étendre le long de l'éprouvette de plus de 2 % de sa longueur. La distance entre les plaques d'acier doit être assez grande pour éviter toute interaction entre l'excitateur et le détecteur.

Les éprouvettes multicouches doivent être réalisées selon l'épaisseur et les techniques de production utilisées pour l'usage final projeté, par exemple pour un matériau plastique sur une feuille d'acier, le plastique peut être appliqué sur le métal par pulvérisation, comme un mastic ou comme une couche liée par adhésion.

## 7 Nombre d'éprouvettes

Voir ISO 6721-1:1994, article 7.

## 8 Conditionnement

Voir ISO 6721-1:1994, article 8.

## 9 Mode opératoire

### 9.1 Atmosphère d'essai

Voir ISO 6721-1:1994, paragraphe 9.1.

### 9.2 Mesurage de la section transversale et de la masse volumique de l'éprouvette

Voir ISO 6721-1:1994, paragraphe 9.2.

Déterminer la masse volumique de l'éprouvette (c'est-à-dire la masse de la longueur libre par unité de volume) à 0,5 % près.

### 9.3 Montage des éprouvettes et réglage des transducteurs

#### 9.3.1 Méthode A

Brider l'éprouvette de façon que la force de bridage sois assez élevée pour éviter un amortissement additionnel par frottement entre l'éprouvette et la bride (voir 5.2). Mesurer la longueur libre  $L$  de l'éprouvette à 0,5 % près.

### 9.3.2 Méthode B

Mesurer la longueur de l'éprouvette à 0,2 % près. Calculer la distance  $L_i$  pour les premiers nœuds adjacents aux extrémités de l'éprouvette à l'aide de l'une des équations suivantes:

$$L_i/l = 0,224 \quad \text{pour } i = 1 \quad \dots (1)$$

$$L_i/l = 0,660/(2i + 1) \quad \text{pour } i > 1 \quad \dots (2)$$

où

$l$  est la longueur de l'éprouvette;

$i$  est le numéro d'ordre de la vibration.

Monter l'éprouvette à l'aide de fibres fines, de préférence non métalliques, aux positions calculées des nœuds de vibration.

### 9.3.3 Réglage des transducteurs

Après le bridage ou le support de l'éprouvette, positionner les transducteurs électromagnétiques récepteur et exciteur juste à une distance suffisante de l'éprouvette pour obtenir une influence notable sur la fréquence de résonance. Avec les appareils d'essai usuels, la distance recommandée est supérieure à 3 mm pour  $i = 1$ . Des séparations d'au maximum 1 mm peuvent être utilisées avec des ordres supérieurs.

### 9.4 Variation de la température

Voir ISO 6721-1:1994, paragraphe 9.4.

### 9.5 Variation de la fréquence

Voir ISO 6721-1:1994, paragraphe 9.5.

### 9.6 Enregistrement de la courbe de résonance

Exciter l'éprouvette en utilisant le générateur de fréquence et déterminer l'amplitude (ou la valeur effective) de la déformation ou du taux de déformation. Enregistrer la courbe de résonance en faisant varier la fréquence.

Mesurer l'amplitude à 0,5 % près, les fréquences de résonance à 1 % près et la largeur des pics de résonance avec au moins une résolution en fréquence de 0,1 % correspondant à la valeur de la largeur (voir 11.2). Il est usuellement possible de mesurer la courbe de résonance dans le domaine du premier au sixième ou septième ordre de vibration.

Lorsqu'une éprouvette bridée est utilisée (méthode A), le premier ordre est celui qui est le plus affecté par l'amortissement du dispositif de bridage, et les amplitudes des vibrations de numéro d'ordre supérieur décroissent rapidement avec la fréquence. Des numéros d'ordre intermédiaires doivent donc être choisis pour les mesurages.

S'assurer que l'amortissement du type d'amplitude mesuré n'inclut ni un frottement entre les parties mobiles et fixes de l'appareillage, ni un comportement non linéaire du matériau soumis à l'essai (voir ISO 6721-1:1994, annexe B).

## 10 Expression des résultats

### 10.1 Symboles

$E'_f$	module de conservation en flexion, en pascals
$E''_f$	module de perte en flexion, en pascals
$\tan \delta_f$	facteur de perte en flexion (nombre sans dimension)
$\rho$	masse volumique, en kilogrammes par mètre cube, de l'éprouvette
$l$	longueur, en mètres, de l'éprouvette (méthode B)
$L$	longueur libre, en mètres, de l'éprouvette (méthode A)
$h$	épaisseur, en mètres, de l'éprouvette
$f$	fréquence, en hertz, de l'oscillation
$i$	numéro d'ordre de la vibration
$f_{ri}$	fréquence de résonance, en hertz, au numéro d'ordre $i$ de la vibration (voir ISO 6721-1:1994, paragraphe 3.12)
$\Delta f_i$	largeur de bande du pic de résonance du $i^{\text{ème}}$ ordre (voir ISO 6721-1:1994, paragraphe 3.13)
$k_i^2$	facteur numérique donné par l'une des équations suivantes:

Pour la méthode A

$$k_1^2 = 3,52 \quad \text{pour } i = 1 \quad \dots (3)$$

$$k_2^2 = 22,0 \quad \text{pour } i = 2 \quad \dots (4)$$

$$k_i^2 = (i - 1/2)^2 \pi^2 \quad \text{pour } i > 2 \quad \dots (5)$$



Pour la méthode B

$$k_1^2 = 22,4 \quad \text{pour } i = 1 \quad \dots (6)$$

$$k_2^2 = 61,7 \quad \text{pour } i = 2 \quad \dots (7)$$

$$k_i^2 = (i + 1/2)^2 \pi^2 \quad \text{pour } i > 2 \quad \dots (8)$$

## 10.2 Calcul du module de conservation en flexion $E'_f$

Le module de conservation en flexion  $E'_f$  est donné par l'équation

$$E'_f = [4\pi(3\rho)^{1/2}l^2/h]^2 (f_{ri}/k_i^2)^2 \quad \dots (9)$$

## 10.3 Calcul du facteur de perte en flexion $\tan \delta_f$

Le facteur de perte en flexion  $\tan \delta_f$  doit être calculé à partir de la largeur de bande  $\Delta f_i$  du pic de résonance et de la fréquence de résonance  $f_{ri}$  à l'aide de l'équation

$$\tan \delta_f = \Delta f_i / f_{ri} \quad \dots (10)$$

(voir ISO 6721-1:1994, paragraphe 3.13).

NOTE 2 La largeur de bande  $\Delta f_i$ , telle que définie dans l'ISO 6721-1:1994, paragraphe 3.13, de n'importe quel pic dans la courbe de résonance est basée sur une atténuation  $\alpha$  de l'amplitude du taux de déformation  $2^{1/2}$ . Les matériaux à amortissement élevé, cependant, présentent souvent des pics de résonance plus petits, que cette valeur d'atténuation. Dans ce cas, avec une précision réduite, on peut essayer d'analyser les courbes de résonance en utilisant une atténuation plus faible proche de la valeur 1 ou en utilisant le procédé d'ajustement de courbe basé sur les équations données dans l'ISO 6721-1:1994, annexe A.

Alternativement, le mode d'oscillation peut être changé du numéro de mode III ou IV (voir ISO 6721-1:1994, tableau 2). En arrêtant l'excitateur à la fréquence naturelle du mode de vibration concerné, des oscillations à amortissement libre sont stimulées et pourront être analysées conformément à l'ISO 6721-1:1994, paragraphes 3.8 à 3.10. Ce principe de mesure peut donc être utile dans le cas de matériaux à faible amortissement avec des valeurs pour la largeur de bande du pic de résonance extrêmement faibles (voir 11.2).

## 10.4 Calcul du module de perte en flexion $E''_f$

Le module de perte en flexion  $E''_f$  peut être calculé à partir du module de conservation en flexion  $E'_f$  et du facteur de perte en flexion  $\tan \delta_f$  à l'aide de l'équation

$$E''_f = E'_f \tan \delta_f \quad \dots (11)$$

(voir ISO 6721-1:1994, paragraphes 3.3 et 3.6).

## 10.5 Tracé du module complexe comme une fonction de la température

Lorsque le module complexe est mesuré comme une fonction de la température, non seulement  $E'_f$  et  $E''_f$  mais également la fréquence à laquelle ils sont mesurés doit être tracée comme une fonction de la température, parce que la fréquence de résonance d'une éprouvette dans un plastique donné est décalée vers des valeurs plus faibles comme le module de conservation qui décroît lorsque la température augmente. Cependant, les valeurs des composantes dépendant de la température, à une fréquence constante, peuvent être obtenues par interpolation lorsque les courbes ont été tracées à plusieurs fréquences (c'est-à-dire à plusieurs numéros d'ordre de vibration).

## 11 Fidélité

### 11.1 Module de conservation

Si toutes les instructions concernant la détermination de chaque paramètre individuel de l'équation (9) ont été suivies (voir 5.3, 9.2, 9.3.1, 9.3.2 et 9.6), la précision du mesurage de  $E'_f$  se situe entre  $\pm 3\%$  et  $\pm 5\%$  jusqu'au numéro d'ordre 4. Aux modes de vibration avec des numéros d'ordre supérieur, il devient nécessaire de tenir compte de l'effet de la déformation en cisaillement. Dans le cas de systèmes stratifiés,  $E'_f$  représente un module moyen du système (la moyenne en flexion).

### 11.2 Facteur de perte

La précision du mesurage du facteur de perte  $\tan \delta_f$  dépend de ses valeurs et de la résolution en fréquence de l'équipement de mesure. En tenant compte du coefficient de variation  $V_f$  du mesurage de fréquence, le coefficient de variation  $V_\delta$  du facteur de perte est donné par l'équation

$$V_\delta = \sqrt{2} V_f / \tan \delta_f \quad \dots (12)$$

Avec une valeur de  $V_f$  de 0,1 % (voir 9.6), le coefficient de variation  $V_\delta$  du facteur de perte est de 1,4 % lorsque  $\tan \delta_f = 0,1$  et de 14 % lorsque  $\tan \delta_f = 0,01$ . Pour des mesurages précis de  $\tan \delta_f$  et donc de  $E''_f$  [voir équation (11)], la résolution en fréquence doit être supérieure à celle qui est nécessaire pour le mesurage de  $E'_f$ .

Pour des valeurs faibles du facteur de perte, des vibrations stimulées aux fréquences de résonance avec amortissement libre doivent être utilisées.



### 11.3 Fidélité des méthodes

La fidélité des deux méthodes prescrites dans la présente partie de l'ISO 6721 de cette méthode d'essai n'est pas connue car des données interlaboratoires ne sont pas disponibles. Dès que des données interlaboratoires auront été obtenues, une déclaration de fidélité sera ajoutée lors d'une prochaine révision (voir néanmoins annexe A).

### 12 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit contenir les informations suivantes:

- a) référence à la présente partie de l'ISO 6721 et à la méthode utilisée (A ou B), par exemple ISO 6721-3A;
- b) à m): voir ISO 6721-1:1994, article 12, points b) à m).

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

[ISO 6721-3:1994](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/71f0906c-16ad-445a-9bc7-c08ce175cb1c/iso-6721-3-1994)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/71f0906c-16ad-445a-9bc7-c08ce175cb1c/iso-6721-3-1994>