

NORME
INTERNATIONALE

ISO
6721-1

Première édition
1994-11-01

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

Partie 1:
Principes généraux

(standards.iteh.ai)

Plastics — Determination of dynamic mechanical properties —
Part 1. General principles
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sis/1639361f-4141-4ad3-b1a0-1ef7d0e9f810/iso-6721-1-1994>

INTERNATIONAL

ISO



Numéro de référence
ISO 6721-1:1994(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 6721-1 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 61, *Plastiques*, sous-comité SC 2, *Propriétés mécaniques*.

Conjointement avec l'ISO 6721-2 et l'ISO 6721-3, elle annule et remplace l'ISO 537:1989 et l'ISO 6721:1983, lesquelles ont 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*

D'autres parties sont prévues.

© 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

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

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 6721-1:1994

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d639361f-4141-4ad3-b1a0-1ef7d0e9f810/iso-6721-1-1994>

Introduction

Les méthodes prescrites dans les différentes parties de l'ISO 6721 peuvent être utilisées pour la détermination des modules de conservation et de perte dans un domaine de températures ou de fréquences, en faisant varier la température de l'éprouvette ou la fréquence de l'oscillation. Les tracés des modules de conservation ou de perte, ou les deux, sont représentatifs des caractéristiques viscoélastiques de l'éprouvette. Les zones à variations rapides des propriétés viscoélastiques à des températures ou fréquences particulières sont normalement rapportées à des zones de transition. En outre, c'est grâce à la dépendance de la température et de la fréquence des modules de perte que l'amortissement du son et des vibrations des polymères et des systèmes métal-polymère peut être estimé.

Des divergences apparentes peuvent se présenter dans les résultats obtenus dans des conditions expérimentales différentes. Sans changer les données obtenues, rapportées en totalité (comme cela est décrit dans les différentes parties de l'ISO 6721), les conditions dans lesquelles les données ont été obtenues permettront d'accorder des différences observées dans différentes études.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d639361f-4141-4ad3-b1a0-1ef7d0e9f810/iso-6721-1-1994>

Les définitions des modules complexes ne s'appliquent exactement qu'à des oscillations sinusoïdales avec une amplitude constante et une fréquence constante pendant chaque mesurage.

D'autre part, des mesurages de petits angles de déphasage entre la contrainte et la déformation impliquent quelques difficultés dans les conditions mentionnées. C'est parce que ces difficultés ne sont pas impliquées dans certaines méthodes basées sur des vibrations à amortissements libres ou sur des variations de fréquences proches de la résonance que celles-ci sont fréquemment utilisées (voir ISO 6721-2 et ISO 6721-3). Dans ces cas, certaines de ces équations définissant les propriétés viscoélastiques sont seulement approximativement valables.

Plastiques — Détermination des propriétés mécaniques dynamiques —

Partie 1: Principes généraux

1 Domaine d'application

Les différentes parties de l'ISO 6721 prescrivent des méthodes pour la détermination des propriétés mécaniques dynamiques de plaques rigides dans le domaine de comportement viscoélastique linéaire. La présente partie de l'ISO 6721 établit des principes généraux incluant les définitions et tous les aspects communs à toutes les méthodes individuelles décrites dans les parties subséquentes.

Les différents modes de déformation peuvent produire des résultats qui ne sont pas directement comparables. Par exemple, la vibration en traction conduit à une contrainte uniforme dans toute l'épaisseur de l'éprouvette, alors que les mesures en flexion sont influencées préférentiellement par les propriétés des couches superficielles de l'éprouvette.

Les valeurs découlant des données de l'essai de flexion seront comparables à celles découlant des données de l'essai de traction seulement aux niveaux de déformation pour lesquels la relation contrainte-déformation est linéaire, et pour des éprouvettes de structure homogène.

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 partie de l'ISO 6721. 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 partie de l'ISO 6721 sont invités 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:—¹⁾, *Plastiques — Moulage par injection des éprouvettes en matériaux thermoplastiques.*

ISO 295:1991, *Plastiques — Moulage par compression des éprouvettes en matières thermodurcissables.*

ISO 1268:1974, *Matières plastiques — Préparation de plaques ou de panneaux en stratifiés verre textile-résine basse-pression pour la réalisation d'éprouvettes.*

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

ISO 4593:1993, *Plastiques — Film et feuille — Détermination de l'épaisseur par examen mécanique.*

ISO 6721-2:1994, *Plastiques — Détermination des propriétés mécaniques dynamiques — Partie 2: Méthode au pendule de torsion.*

1) À publier. (Révision de l'ISO 294:1975)

ISO 6721-3:1994, *Plastiques — Détermination des propriétés mécaniques dynamiques — Partie 3: Vibration en flexion — Méthode en résonance.*

3 Définitions

Pour les besoins des différentes parties de l'ISO 6721, les définitions suivantes s'appliquent.

NOTE 1 La plupart des termes définis ici le sont aussi dans l'ISO 472:1988, *Plastiques — Vocabulaire*. Les définitions données ici ne sont pas strictement identiques mais sont équivalentes à celles de l'ISO 472:1988.

3.1 module complexe, M^* : Rapport de la contrainte dynamique donnée par $\sigma(t) = \sigma_A \exp(i2\pi ft)$, à la déformation dynamique, donnée par $\varepsilon(t) = \varepsilon_A \exp[i(2\pi ft - \delta)]$, d'un matériau viscoélastique soumis à une vibration sinusoidale, où σ_A et ε_A sont les amplitudes des cycles de contrainte et de déformation, f est la fréquence, δ est l'angle de phase entre la contrainte et la déformation (voir 3.5 et figure 1) et t est le temps.

Le module complexe est exprimé en pascals (Pa).

Selon le mode de déformation, le module complexe peut être E^* , G^* , K^* ou L^* (voir tableau 3).

$$M^* = M' + iM'' \quad (\text{voir 3.2 et 3.3}) \quad \dots (1)$$

où

$$i = (-1)^{1/2} = \sqrt{-1}$$

Pour les relations entre les divers types de modules complexes, voir tableau 1.

NOTES

2 Pour les matériaux viscoélastiques isotropes, seulement deux des paramètres d'élasticité G^* , E^* , K^* , L^* et μ^* sont indépendants où μ^* est le coefficient de Poisson complexe, donné par $\mu^* = \mu' + i\mu''$.

3 Le terme le plus critique contenant le coefficient de Poisson est le terme volumétrique $(1 - 2\mu)$, ayant des valeurs situées entre 0 et 0,4 pour μ compris entre 0,5 et 0,3. Les relations du tableau 1 contenant le terme volumétrique $(1 - 2\mu)$ ne peuvent être utilisées qu'à la condition que ce terme soit connu avec suffisamment de précision.

On peut constater d'après le tableau 1 que, le terme volumétrique $(1 - 2\mu)$ peut seulement être estimé en toute confiance à partir d'une connaissance du module de compressibilité K ou du module en déformation uniaxiale L et de E ou G , cela à cause que les mesurages de K et L mettent en œuvre des déformations lorsque la composante de déformation volumétrique est relativement grande.

4 Jusqu'à maintenant, aucun mesurage du module de compressibilité K et seulement un petit nombre de résultats

concernant les expériences de mesure de relaxation $K(t)$, ont été décrits dans la littérature.

5 Le module en déformation uniaxiale L est basé sur une charge avec une haute composante de contrainte hydrostatique. Cependant, des valeurs de L compensées par le manque de valeurs de K et du terme volumétrique $(1 - 2\mu)$ peuvent être estimées avec suffisamment de précision en se basant sur les paires de modules (G, L) et (E, L) . La paire (G, L) est recommandée, parce que G est basé sur des charges sans composante hydrostatique.

6 Les relations données dans le tableau 1 sont valables pour les modules complexes ainsi que pour leurs amplitudes (voir 3.4).

7 La plupart des relations, pour le calcul des modules, données dans les autres parties de l'ISO 6721 sont, dans une certaine mesure, des approximations. Elles ne prennent pas en compte, par exemple, les effets d'extrémité des éprouvettes dus à la fixation et incluent en plus d'autres simplifications. L'utilisation des relations données dans le tableau 1, cependant, nécessite des corrections additionnelles. Ces dernières sont données dans la littérature (voir par exemple références [1] et [2] citées dans la Bibliographie).

8 Pour le comportement viscoélastique linéaire, la complaisance complexe C^* est l'inverse du module complexe M^* soit:

$$M^* = (C^*)^{-1} \quad \dots (2)$$

Donc: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/d639361f4141-4ad3-b1a0-1ef7d0e9f810/iso-6721-1-1994>

$$M' + iM'' = \frac{C' - iC''}{(C')^2 + (C'')^2} \quad \dots (3)$$

3.2 module de conservation, M' : Partie réelle du module complexe M^* [voir figure 1 b)].

Le module de conservation est exprimé en pascals (Pa).

Il est proportionnel à l'énergie maximale emmagasinée durant un cycle de charge et représente la rigidité d'un matériau viscoélastique.

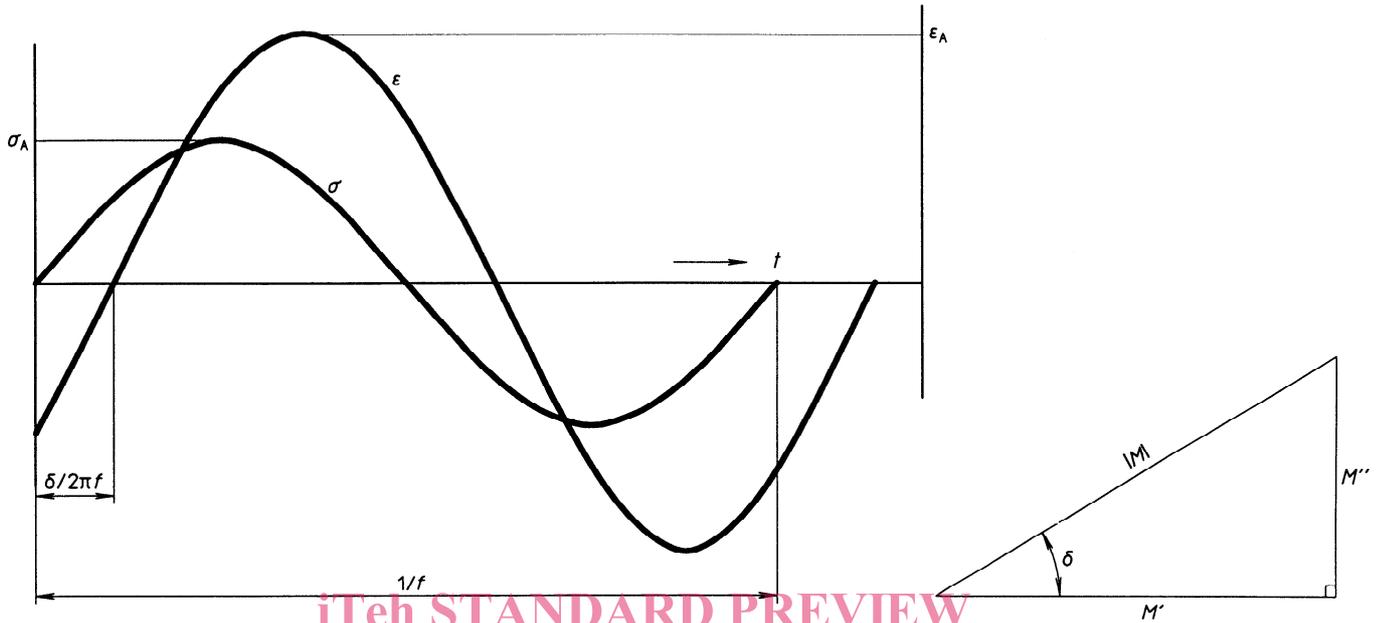
Les divers types de modules de conservation correspondent aux différents modes de déformation: E'_t module de conservation en traction, E'_f module de conservation en flexion, G'_s module de conservation en cisaillement, G'_{to} module de conservation en torsion, K' module de conservation en flambage, L'_c module de conservation en déformation uniaxiale et L'_w module de conservation en onde longitudinale.

3.3 module de perte, M'' : Partie imaginaire du module complexe [voir figure 1 b)].

Le module de perte est exprimé en pascals (Pa).

Il est proportionnel à l'énergie dissipée (perdue) durant un cycle de charge. Comme pour le module de conservation (voir 3.2), le mode de déformation est

désigné conformément au tableau 3, par exemple E'' , est le module de perte en traction.



a) Déphasage $\delta/2\pi f$ entre la contrainte σ et la déformation ϵ d'un matériau viscoélastique soumis à une oscillation sinusoïdale (σ_A et ϵ_A sont les amplitudes respectives et f est la fréquence).

b) Relation entre le module de conservation M' , le module de perte M'' , l'angle de phase δ et la grandeur $|M|$ du module complexe M^* .

ISO 6721-1:1994
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d6293616-4141-4ad3-b1a0-1ef7d0e9f810/iso-6721-1-1994>
Figure 1 — Angle de phase et module complexe

Tableau 1 — Relations entre les modules pour les matériaux homogènes isotropes

	G et μ	E et μ	K et μ	G et E	G et K	E et K	G et L ¹⁾
Coefficient de Poisson, μ $1 - 2\mu = 2$)				$3 - \frac{E}{G}$	$\frac{G/K}{1 + G/3K}$	$\frac{E}{3K}$	$\frac{1}{L/G - 1}$
Module de cisaillement, $G =$		$\frac{E}{2(1 + \mu)}$	$\frac{3K(1 - 2\mu)}{2(1 + \mu)}$			$\frac{E}{3 - E/3K}$	
Module en traction, $E =$	$2G(1 + \mu)$		$3K(1 - 2\mu)$		$\frac{3G}{1 + G/3K}$		$\frac{3G(1 - 4G/3L)}{1 - G/L}$
Module de compressibilité, $K =$ ³⁾	$\frac{2G(1 + \mu)}{3(1 - 2\mu)}$	$\frac{E}{3(1 - 2\mu)}$		$\frac{G}{3(3G/E - 1)}$			$L - \frac{4G}{3}$
Module en déformation uniaxiale ou d'onde longitudinale, $L =$	$\frac{2G(1 - \mu)}{1 - 2\mu}$	$\frac{E(1 - \mu)}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}$	$\frac{3K(1 - \mu)}{1 + \mu}$	$\frac{G(4G/E - 1)}{3G/E - 1}$	$K + \frac{4G}{3}$	$\frac{K(1 + E/3K)}{1 - E/9K}$	

1) Voir note 5.
 2) Voir note 3.
 3) Voir note 4.

3.4 grandeur $|M|$ du module complexe: Racine carrée de la somme des carrés du module de conservation et du module de perte, comme indiqué dans l'équation

$$|M|^2 = (M')^2 + (M'')^2 = (\sigma_A/\varepsilon_A)^2 \quad \dots (4)$$

où σ_A et ε_A sont les amplitudes des cycles de contrainte et de déformation, respectivement.

Le module complexe est exprimé en pascals (Pa).

La relation entre le module de conservation M' , le module de perte M'' , l'angle de phase δ , et la grandeur $|M|$ du module complexe est représentée à la figure 1 b). Comme pour le module de conservation, le mode de déformation est désigné conformément au tableau 3, par exemple $|E_t|$ est la grandeur du module en traction complexe.

3.5 angle de phase, δ : Déphasage entre la contrainte dynamique et la déformation dynamique d'un matériau viscoélastique soumis à une oscillation sinusoïdale (voir figure 1).

L'angle de phase est exprimé en radians (rad).

Comme pour le module de conservation (voir 3.2), le mode de déformation est désigné conformément au tableau 3, par exemple δ_t est l'angle de phase en traction.

3.6 facteur de perte (tan δ): Rapport du module de perte au module de conservation, donné par l'équation

$$\tan \delta = M''/M' \quad \dots (5)$$

où δ est l'angle de phase entre la contrainte et la déformation (voir 3.5).

Le facteur de perte est exprimé comme un nombre sans dimension.

Le facteur de perte $\tan \delta$ est couramment utilisé comme une mesure de l'amortissement d'un système viscoélastique. Comme pour le module de conservation (voir 3.2), le mode de déformation est désigné conformément au tableau 3, par exemple $\tan \delta_t$ est le facteur de perte en traction.

3.7 boucle d'hystérésis contrainte-déformation: Contrainte en fonction de la déformation d'un matériau viscoélastique soumis à des vibrations sinusoïdales. En supposant une viscoélasticité linéaire, cette courbe est une ellipse (voir figure 2).

3.8 vibration amortie: Déformation ou taux de déformation dépendant du temps $X(t)$ d'un système

viscoélastique soumis à des vibrations à amortissement libre (voir figure 3), donné(e) par l'équation

$$X(t) = X_0 \exp(-\beta t) \times \sin 2\pi f_d t \quad \dots (6)$$

où

X_0 est la grandeur, au temps zéro, de la courbe exponentielle des amplitudes de cycle;

f_d est la fréquence du système amorti;

β est la constante d'amortissement (voir 3.9).

3.9 constante d'amortissement, β : Coefficient déterminant l'amortissement en fonction du temps de la vibration à amortissement libre, c'est-à-dire la dépendance du temps de l'amplitude X_q de la déformation ou du taux de déformation [voir figure 3 et équation (6)].

La constante d'amortissement est exprimée en seconde à la puissance moins un (s^{-1}).

3.10 décrement logarithmique, Λ : Logarithme naturel du rapport de deux amplitudes successives dans la même direction que les oscillations à amortissement libre d'un système viscoélastique (voir figure 3), donné par l'équation

$$\Lambda = \ln(X_q/X_{q+1}) \quad \dots (7)$$

où X_q et X_{q+1} sont deux amplitudes successives de déformation ou de taux de déformation dans la même direction.

Le décrement logarithmique est exprimé comme un nombre sans dimension.

Il est utilisé comme une mesure de l'amortissement d'un système viscoélastique.

En mesurant la constante d'amortissement β et la fréquence f_d , le décrement logarithmique est donné par l'équation

$$\Lambda = \beta/f_d \quad \dots (8)$$

Le facteur de perte $\tan \delta$ est relié au décrement logarithmique par l'approximation

$$\tan \delta \approx \Lambda/\pi \quad \dots (9)$$

NOTE 9 Les vibrations à amortissement libre conviennent particulièrement pour l'analyse du type d'amortissement, par exemple le comportement viscoélastique linéaire ou non linéaire, du matériau soumis à l'essai et le frottement entre les parties mobiles et fixes de l'appareillage (voir annexe B).

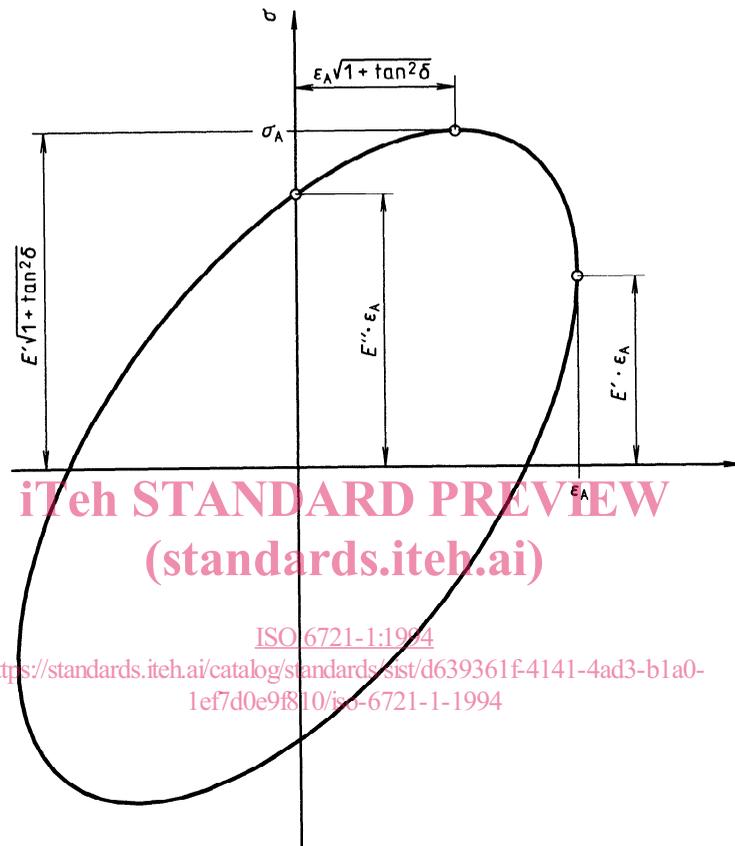


Figure 2 — Boucle d'hystérésis dynamique contrainte-déformation d'un matériau à viscoélasticité linéaire soumis à des vibrations sinusoïdales en traction

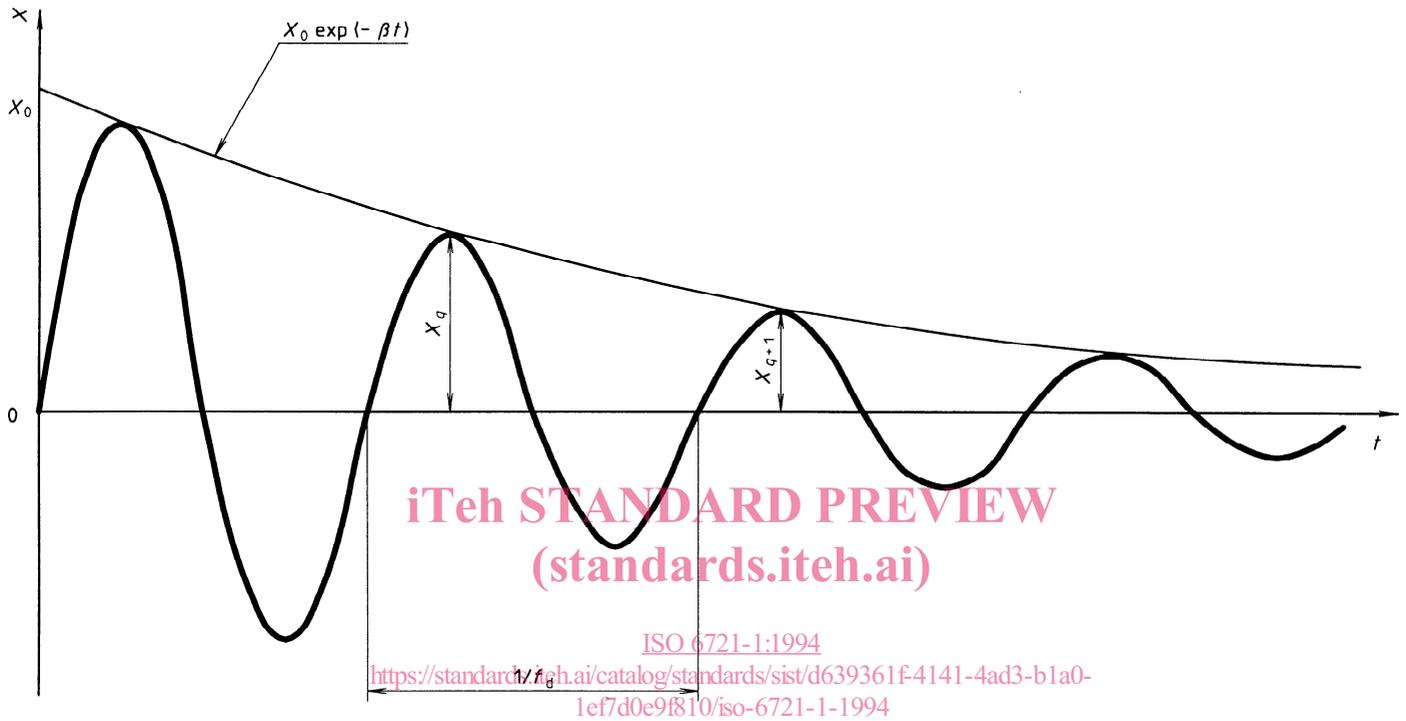


Figure 3 — Courbe de vibration amortie d'un système viscoélastique soumis à des vibrations à amortissement libre

[X est la déformation ou le taux de déformation dépendant du temps, X_q est l'amplitude du $q^{\text{ième}}$ cycle, et X_0 et β définissent la courbe exponentielle de l'amortissement des amplitudes de cycle — voir équation (6).]

3.11 courbe de résonance: Courbe représentant l'amplitude de la déformation D_A ou l'amplitude du taux de déformation R_A en fonction de la fréquence d'un système viscoélastique et inerte soumis à des vibrations forcées avec une amplitude de charge L_A constante, à des fréquences proches de la résonance et à la fréquence de résonance (voir figure 4 et annexe A).

3.12 fréquences de résonance, f_{ri} : Fréquences des amplitudes de pic dans une courbe de résonance. L'indice i renvoie au numéro d'ordre de la vibration de résonance.

Les fréquences de résonance sont exprimées en hertz (Hz).

NOTE 10 Pour des matériaux viscoélastiques, les fréquences de résonance découlant de mesurages d'amplitude de déplacement seront légèrement différentes de celles obtenues à partir de mesurages de taux de déplacement; plus grande sera la perte dans le matériau (voir annexe A) et plus la différence sera importante. Les modules de conservation et de perte sont reliés, de façon exacte par de simples expressions, aux fréquences de résonance obtenues à partir de courbes du taux de déplacement. L'emploi

de fréquences de résonance basées sur des mesurages de déplacement entraîne une petite erreur qui est significative seulement si l'éprouvette présente une perte importante. Dans ces conditions, les essais en résonance ne conviennent pas.

3.13 largeur de bande d'un pic de résonance Δf_i : Différence entre les fréquences f_1 et f_2 du pic de résonance du $i^{\text{ème}}$ ordre lorsque la hauteur R_{Ah} de la courbe de résonance à f_1 et f_2 est reliée à la hauteur du pic R_{AMi} du $i^{\text{ème}}$ mode par

$$R_{Ah} = 2^{-1/2} R_{AM} = 0,707 R_{AM} \quad \dots (10)$$

(voir figure 4)

La largeur de bande Δf_i est exprimée en hertz (Hz).

Elle est reliée au facteur de perte $\tan \delta$ par l'équation

$$\tan \delta = \Delta f_i / f_{ri} \quad \dots (11)$$

Lorsque le facteur de perte ne varie pas significativement dans le domaine des fréquences défini par Δf_i , l'équation (11) reste exacte dans le cas où la courbe de résonance est basée sur l'amplitude du taux de déformation (voir aussi annexe A).

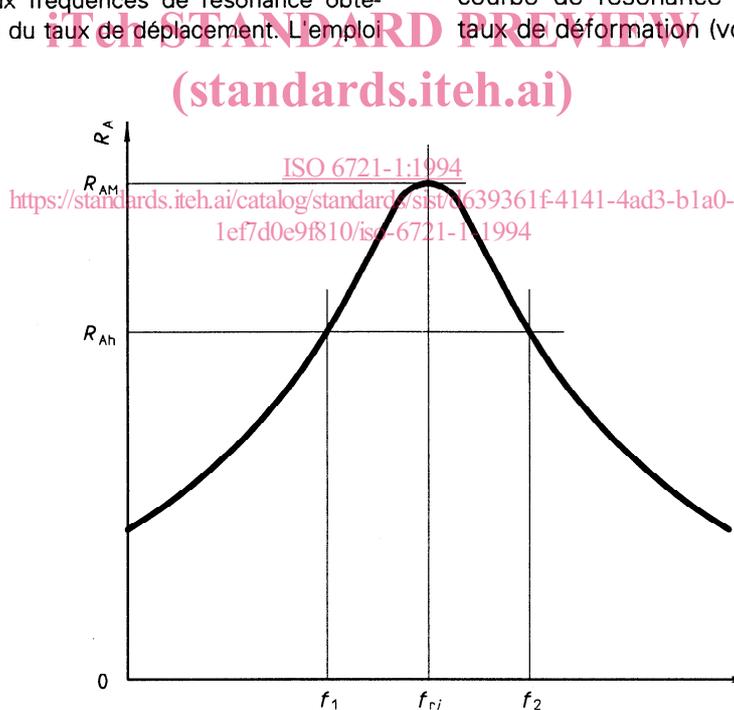


Figure 4 — Courbe de résonance d'un système viscoélastique soumis à des vibrations forcées (Amplitude du taux de déformation R_A en fonction de la fréquence f à une amplitude de charge constante; échelle de fréquences logarithmique)