

---

---

**Plastiques — Détermination des  
propriétés mécaniques dynamiques —  
Partie 1:  
Principes généraux**

*Plastics — Determination of dynamic mechanical properties —*

*Part 1: General principles*  
**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 6721-1:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c9c47102-2f47-4777-acfe-7c22f659e301/iso-6721-1-2011>



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

ISO 6721-1:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c9c47102-2f47-4777-acfe-7c22f659e301/iso-6721-1-2011>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2011

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 22 749 09 47  
E-mail [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

Avant-propos .....	iv
Introduction.....	vi
1 <b>Domaine d'application</b> .....	1
2 <b>Références normatives</b> .....	1
3 <b>Termes et définitions</b> .....	2
4 <b>Principe</b> .....	8
5 <b>Appareillage</b> .....	11
5.1 <b>Type</b> .....	11
5.2 <b>Systèmes mécaniques, électroniques et enregistreurs</b> .....	11
5.3 <b>Enceinte thermostatée</b> .....	11
5.4 <b>Alimentation en gaz</b> .....	12
5.5 <b>Dispositif pour le mesurage de la température</b> .....	12
5.6 <b>Dispositifs pour le mesurage des dimensions des éprouvettes</b> .....	12
6 <b>Éprouvettes</b> .....	12
6.1 <b>Généralité</b> .....	12
6.2 <b>Forme et dimensions</b> .....	12
6.3 <b>Préparation</b> .....	12
7 <b>Nombre d'éprouvettes</b> .....	12
8 <b>Conditionnement</b> .....	13
9 <b>Mode opératoire</b> .....	13
9.1 <b>Atmosphère d'essai</b> .....	13
9.2 <b>Mesurage de la section transversale de l'éprouvette</b> .....	13
9.3 <b>Montage des éprouvettes</b> .....	13
9.4 <b>Variation de la température</b> .....	13
9.5 <b>Variation de la fréquence</b> .....	14
9.6 <b>Variation de l'amplitude de déformation dynamique</b> .....	14
10 <b>Expression des résultats</b> .....	14
11 <b>Fidélité</b> .....	14
12 <b>Rapport d'essai</b> .....	15
<b>Annexe A (informative) Courbes de résonance</b> .....	16
<b>Annexe B (informative) Déviation à partir du comportement linéaire</b> .....	20
<b>Bibliographie</b> .....	21

## 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 2.

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 partie de l'ISO 6721 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.

L'ISO 6721-1 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 61, *Plastiques*, sous-comité SC 2, *Propriétés mécaniques*.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition (ISO 6721-1:2001), dont elle constitue une révision mineure incorporant les modifications suivantes:

- un nouveau paragraphe (9.6), concernant le cas où l'amplitude de déformation dynamique varie, a été ajouté dans l'article relatif au mode opératoire;
- l'article relatif à l'expression des résultats (Article 10) et l'article relatif au rapport d'essai (Article 12) ont été modifiés en conséquence [l'Article 10 par l'ajout d'un nouvel alinéa (le troisième) et l'Article 12 par l'ajout d'un nouvel élément de liste, n)].

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*
- *Partie 8: Vibrations longitudinale et en cisaillement — Méthode de propagation des ondes*
- *Partie 9: Vibration en traction — Méthode de propagation de signaux acoustiques*

- *Partie 10: Viscosité complexe en cisaillement à l'aide d'un rhéomètre à oscillations à plateaux parallèles*
- *Partie 11: Température de transition vitreuse*
- *Partie 12: Vibration en compression — Méthode hors résonance*

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

[ISO 6721-1:2011](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c9c47102-2f47-4777-acfe-7c22f659e301/iso-6721-1-2011)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c9c47102-2f47-4777-acfe-7c22f659e301/iso-6721-1-2011>

## Introduction

Les méthodes spécifiées dans les neuf premières parties de l'ISO 6721 peuvent être utilisées pour la détermination des modules de conservation et de perte des plastiques 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 des fréquences particulières sont normalement rapportées à des zones de transition. En outre, c'est grâce à la dépendance à la température et à 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.

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 et/ou sur des variations de fréquences proches de la résonance que ces méthodes sont fréquemment utilisées (voir l'ISO 6721-2 et l'ISO 6721-3). Dans ces cas, certaines des équations définissant les propriétés viscoélastiques sont seulement approximativement valables.

ISO 6721-1:2011

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c9c47102-2f47-4777-acfe-7c22f659e301/iso-6721-1-2011>

# Plastiques — Détermination des propriétés mécaniques dynamiques —

## Partie 1: Principes généraux

### 1 Domaine d'application

Les différentes parties de l'ISO 6721 spécifient des méthodes pour la détermination des propriétés mécaniques dynamiques de plastiques 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 mesurages en flexion sont influencés 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 documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

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

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

ISO 294 (toutes les parties), *Plastiques — Moulage par injection des éprouvettes de matériaux thermoplastiques*

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

ISO 1268 (toutes les parties), *Plastiques renforcés de fibres — Méthodes de fabrication de plaques d'essai*

ISO 2818, *Plastiques — Préparation des éprouvettes par usinage*

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

ISO 6721-2:2008, *Plastiques — Détermination des propriétés mécaniques dynamiques — Partie 2: Méthode au pendule de torsion*

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

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

NOTE Certains des termes définis ici le sont aussi dans l'ISO 472<sup>[7]</sup>. Les définitions données ici ne sont pas strictement identiques à celles de l'ISO 472, mais sont équivalentes.

#### 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 sinusoïdale, où  $\sigma_A$  et  $\varepsilon_A$  sont les amplitudes des cycles de contrainte et de déformation,  $f$  est la fréquence,  $\delta$  est l'angle de phase entre la contrainte et la déformation (voir 3.5 et Figure 1) et  $t$  est le temps

NOTE 1 Le module complexe est exprimé en pascals (Pa).

NOTE 2 Selon le mode de déformation, le module complexe peut être  $E^*$ ,  $G^*$ ,  $K^*$  ou  $L^*$  (voir Tableau 3).

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

où

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

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

NOTE 3 Pour les matériaux viscoélastiques isotropes, seulement deux des paramètres d'élasticité  $G^*$ ,  $E^*$ ,  $K^*$ ,  $L^*$  et  $\mu^*$  sont indépendants ( $\mu^*$  est le coefficient de Poisson complexe, donné par  $\mu^* = \mu' + i\mu''$ ).

NOTE 4 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  $\mu$  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  $G$ . C'est parce que les mesurages de  $K$  et  $L$  mettent en œuvre des déformations lorsque la composante de déformation volumétrique est relativement grande.

NOTE 5 Jusqu'à maintenant, aucun mesurage du module de compressibilité mécanique dynamique  $K$  et seulement un petit nombre de résultats concernant les expériences de mesure de relaxation  $K(t)$ , ont été décrits dans la littérature.

NOTE 6 Le module en déformation uniaxiale  $L$  est basé sur une charge avec une haute composante de contrainte hydrostatique. Par conséquent, des valeurs de  $L$  compensent le manque de valeurs de  $K$  et le terme volumétrique  $1 - 2\mu$  peut être estimé 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.

NOTE 7 Les relations données dans le Tableau 1 sont valables pour les modules complexes ainsi que pour leurs amplitudes (voir 3.4).

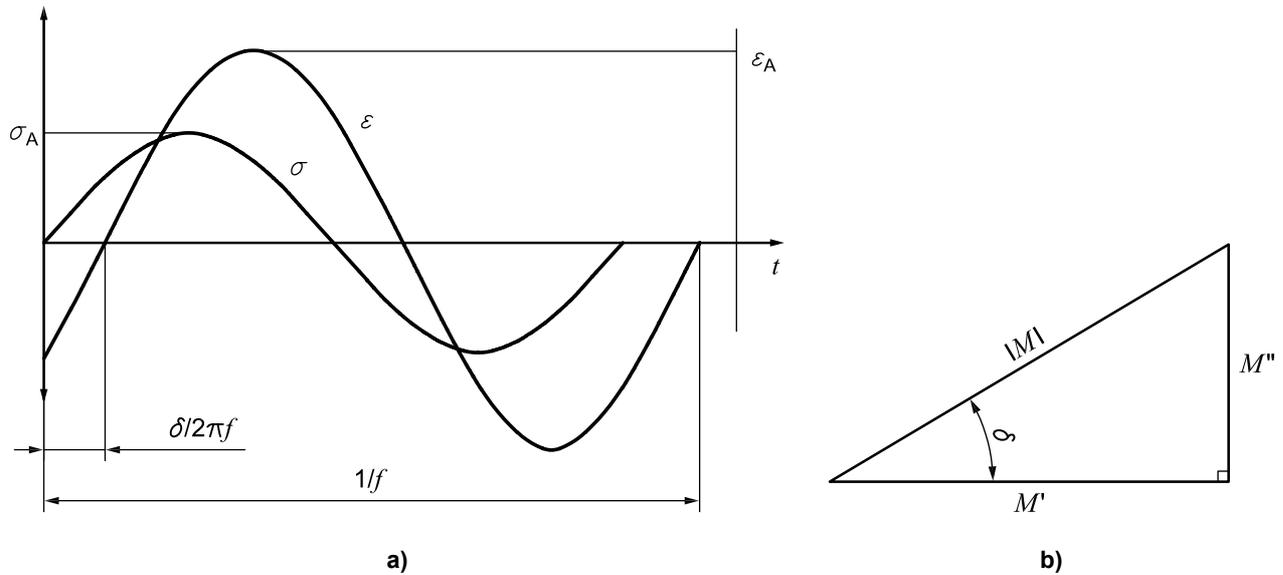
NOTE 8 La plupart des relations pour le calcul des modules, données dans les autres parties de la présente Norme internationale, sont dans une certaine mesure des approximations. Elles ne prennent pas en compte, par exemple les «effets d'extrémité» des éprouvettes dus à la fixation et incluent en plus d'autres simplifications. L'utilisation des relations données dans le Tableau 1, nécessite par conséquent des corrections additionnelles. Ces dernières sont données dans la littérature (voir par exemple les Références [1] et [2] dans la Bibliographie).

NOTE 9 Pour le comportement viscoélastique linéaire, la complaisance complexe  $C^*$  est l'inverse du module complexe  $M^*$ , soit:

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

Donc

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



Déphasage  $\delta/2\pi f$  entre la contrainte  $\sigma$  et la déformation  $\epsilon$  d'un matériau viscoélastique soumis à une oscillation sinusoïdale ( $\sigma_A$  et  $\epsilon_A$  sont les amplitudes respectives et  $f$  est la fréquence). Relation entre le module de conservation  $M'$ , le module de perte  $M''$ , l'angle de phase  $\delta$  et la grandeur  $|M|$  du module complexe  $M^*$ .

**Figure 1 — Angle de phase et module complexe**  
*iTeh STANDARD PREVIEW*  
 (standards.iteh.ai)

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

	$G$ et $\mu$	$E$ et $\mu$	$K$ et $\mu$	$G$ et $E$	$G$ et $K$	$E$ et $K$	$G$ et $L^a$
Coefficient de Poisson, $\mu$ $1 - 2\mu =^b$				$\frac{E}{3G}$	$\frac{G/K}{1 + G/3K}$	$\frac{E}{3K}$	$\frac{1}{L/G - 1}$
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, $K =^c$	$\frac{2G(1 + \mu)}{3(1 - 2\mu)}$	$\frac{E}{3(1 - 2\mu)}$		$\frac{G}{3(3G/E - 1)}$			$L - \frac{4G}{3}$
Module en déformation uniaxiale ou d'onde longitudinale, $L =$	$\frac{2G(1 - \mu)}{1 - 2\mu}$	$\frac{E(1 - \mu)}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}$	$\frac{3K(1 - \mu)}{1 + \mu}$	$\frac{G(4G/E - 1)}{3G/E - 1}$	$K + \frac{4G}{3}$	$\frac{K(1 + E/3K)}{1 - E/9K}$	
<p><sup>a</sup> Voir Note 6 dans la définition en 3.1.  <sup>b</sup> Voir Note 4 dans la définition en 3.1.  <sup>c</sup> Voir Note 5 dans la définition en 3.1.</p>							

**3.2**  
**module de conservation**

$M'$   
partie réelle du module complexe  $M^*$  [voir Figure 1b)]

NOTE 1 Le module de conservation est exprimé en pascals (Pa).

NOTE 2 Il est proportionnel à l'énergie maximale emmagasinée durant un cycle de charge et représente la rigidité d'un matériau viscoélastique.

NOTE 3 Les divers types de modules de conservation, correspondant aux différents modes de déformation, sont:  $E'_t$  module de conservation en traction,  $E'_f$  module de conservation en flexion,  $G'_s$  module de conservation en cisaillement,  $G'_{t0}$  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 1b)]

NOTE 1 Le module de perte est exprimé en pascals (Pa).

NOTE 2 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  $E''_t$  est le module de perte en traction.

**iTeh STANDARD PREVIEW**

**3.4**  
**grandeur  $|M|$  du module complexe (standards.iteh.ai)**

racine carrée de la somme des carrés du module de conservation et du module de perte, comme indiqué dans l'équation

$$|M|^2 = (M')^2 + (M'')^2 = \left(\frac{\sigma_A}{\varepsilon_A}\right)^2 \tag{4}$$

ISO 6721-1:2011  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c9c47102-2f47-4777-acfe-7c22f659e301/iso-6721-1-2011>

où  $\sigma_A$  et  $\varepsilon_A$  sont les amplitudes des cycles de contrainte et de déformation, respectivement

NOTE 1 Le module complexe est exprimé en pascals (Pa).

NOTE 2 La relation entre le module de conservation  $M'$ , le module de perte  $M''$ , l'angle de phase  $\delta$  et la grandeur  $|M|$  du module complexe est représentée à la Figure 1b). 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**

$\delta$   
déphasage entre la contrainte dynamique et la déformation dynamique d'un matériau viscoélastique soumis à une oscillation sinusoïdale (voir Figure 1)

NOTE 1 L'angle de phase est exprimé en radians (rad).

NOTE 2 Comme pour le module de conservation (voir 3.2), le mode de déformation est désigné conformément au Tableau 3, par exemple  $\delta_t$  est l'angle de phase en traction.

### 3.6

#### facteur de perte

$\tan \delta$

rapport du module de perte au module de conservation, donné par l'équation

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

où  $\delta$  est l'angle de phase (voir 3.5) entre la contrainte et la déformation

NOTE 1 Le facteur de perte est exprimé comme un nombre sans dimension.

NOTE 2 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

NOTE En supposant une viscoélasticité linéaire, cette courbe est une ellipse (voir Figure 2).

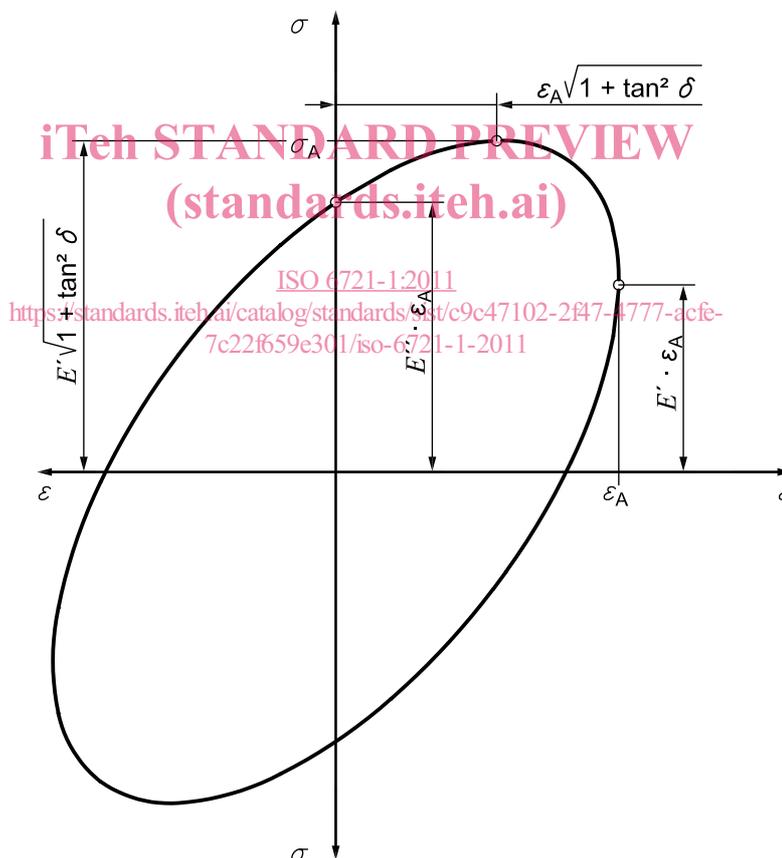


Figure 2 — Boucle d'hystérésis dynamique contrainte-déformation d'un matériau à viscoélasticité linéaire soumis à des vibrations sinusoïdales en traction