

---

---

**Plastiques — Détermination des  
propriétés mécaniques dynamiques —  
Partie 2:  
Méthode au pendule de torsion**

*Plastics — Determination of dynamic mechanical properties —*

*Part 2: Torsion-pendulum method*  
**iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)**

ISO 6721-2:2008

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d0369802-db6f-46ce-a0c6-92d38ec9e7c8/iso-6721-2-2008>



**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 6721-2:2008](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d0369802-db6f-46ce-a0c6-92d38ec9e7c8/iso-6721-2-2008)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d0369802-db6f-46ce-a0c6-92d38ec9e7c8/iso-6721-2-2008>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2008

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
1 <b>Domaine d'application</b> .....	1
2 <b>Références normatives</b> .....	1
3 <b>Termes et définitions</b> .....	1
4 <b>Principe</b> .....	1
5 <b>Appareillage</b> .....	3
6 <b>Éprouvettes</b> .....	4
7 <b>Nombre d'éprouvettes</b> .....	5
8 <b>Conditionnement</b> .....	5
9 <b>Mode opératoire</b> .....	5
10 <b>Expression des résultats</b> .....	6
11 <b>Fidélité</b> .....	9
12 <b>Rapport d'essai</b> .....	9
<b>Annexe A</b> (normative) <b>Influence de la force longitudinale, <math>W</math></b> .....	10
<b>Annexe B</b> (informative) <b>Facteur de correction d'amortissement, <math>F_d</math></b> .....	11
<b>Annexe C</b> (informative) <b>Facteur de correction dimensionnel, <math>F_c</math></b> .....	12
<b>Bibliographie</b> .....	14

## 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.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. 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 du présent document 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 6721-2 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 61, *Plastiques*, sous-comité SC 2, *Propriétés mécaniques*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition (ISO 6721-2:1994), dont elle constitue une révision mineure. Elle incorpore également le Correctif technique ISO 6721-2:1994/Cor.1:1995. À part l'inclusion du Correctif technique (qui concerne la dernière phrase du premier alinéa de l'Annexe C), les principaux changements sont la mise à jour des références et le remplacement de l'ISO 6721-3 par l'ISO 6721-1 dans le paragraphe 5.6.

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*

# Plastiques — Détermination des propriétés mécaniques dynamiques —

## Partie 2: Méthode au pendule de torsion

### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 6721 spécifie deux méthodes (A et B) pour la détermination des propriétés mécaniques dynamiques linéaires, telles que les composantes de conservation et de perte du module en torsion, des plastiques dans le domaines des petites déformations en fonction de la température dans la gamme de fréquences de 0,1 Hz à 10 Hz.

La dépendance thermique de ces propriétés, mesurée sur une gamme de températures suffisamment large (par exemple de  $-50\text{ °C}$  à  $+150\text{ °C}$  pour la majorité des plastiques commercialement disponibles), donne des informations sur les zones de transition (par exemple transition vitreuse ou fusion) d'un polymère. Elle donne aussi une information au sujet du début de l'écoulement d'un plastique. Les deux méthodes décrites dans la présente partie de l'ISO 6721 ne sont pas applicables aux stratifiés asymétriques au sujet desquels il y a lieu de se reporter à l'ISO 6721-3, *Plastiques — Détermination des propriétés mécaniques dynamiques — Partie 3: Vibration en flexion — Méthode en résonance*. Les méthodes ne s'appliquent pas non plus pour l'essai de caoutchoucs au sujet desquels il convient de se reporter à l'ISO 4664-2, *Caoutchouc vulcanisé ou thermoplastique — Détermination des propriétés dynamiques — Partie 2. Méthodes du pendule de torsion à basses fréquences*.

### 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 6721-1:2001, *Plastiques — Détermination des propriétés mécaniques dynamiques — Partie 1: Principes généraux*

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 6721-1:2001, Article 3, s'appliquent.

### 4 Principe

Une éprouvette de section transversale uniforme est fixée à l'aide de deux brides, dont l'une est fixe et l'autre reliée à un corps d'inertie, par exemple un disque. L'une des extrémités de l'éprouvette est excitée ensemble avec le disque sous l'action d'oscillations en torsion à amortissement libre. Le mode d'oscillation est désigné par IV dans l'ISO 6721-1:2001, Tableau 2, et le type de module comprenant le mode de déformation par  $G_{t0}$  dans l'ISO 6721-1:2001, Tableau 3.

Le corps d'inertie est supporté soit par l'éprouvette (méthode A, voir Figure 1), soit par un fil (méthode B, voir Figure 2). Dans ce dernier cas, le fil est également une partie élastique du système oscillant.

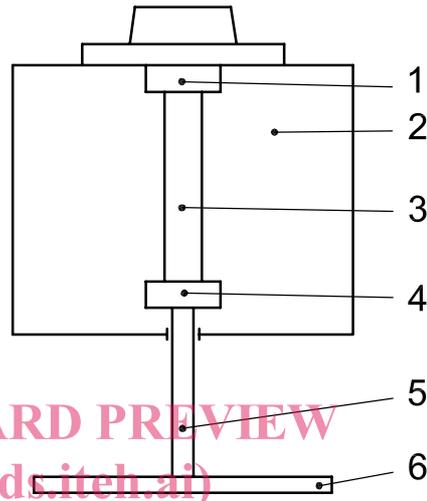
Durant une séquence de températures, le corps d'inertie reste soit inchangé (il en résulte une fréquence décroissant naturellement avec un accroissement de la température), soit il peut être remplacé à intervalles de temps adéquats par un corps d'inertie ayant un moment d'inertie différent afin de maintenir une fréquence approximativement constante.

Durant l'essai, la fréquence et les amplitudes décroissantes sont mesurées. La composante de conservation  $G'_{to}$  et la composante de perte  $G''_{to}$  du module complexe en torsion  $G^*_{to}$  peuvent être calculées à partir de ces grandeurs.

**Légende**

- 1 bride supérieure (fixe)
- 2 enceinte thermostatée
- 3 éprouvette
- 4 bride inférieure (mobile)
- 5 tige
- 6 corps d'inertie

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

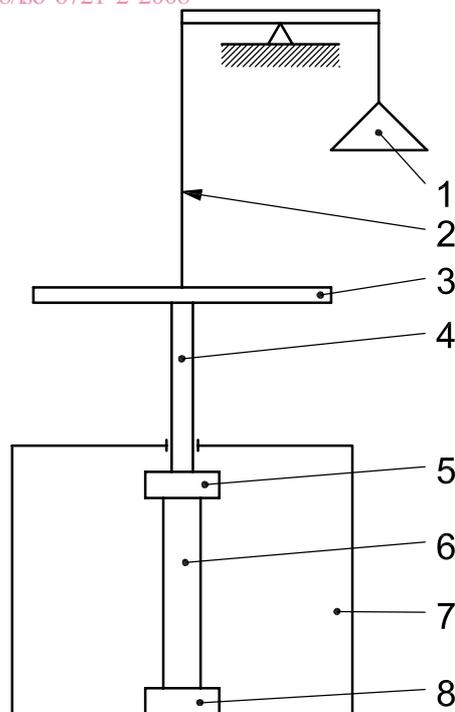


**Figure 1 — Appareillage pour la méthode A**

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d0369802-db6f-46ce-a0c6-92d38ec9e7c8/iso-6721-2-2008>

**Légende**

- 1 contrepoids
- 2 fil
- 3 corps d'inertie
- 4 tige
- 5 bride supérieure (mobile)
- 6 éprouvette
- 7 enceinte thermostatée
- 8 bride inférieure (fixe)



**Figure 2 — Appareillage pour la méthode B**

## 5 Appareillage

### 5.1 Pendule

Deux types de pendules de torsion sont prescrits dans la présente partie de l'ISO 6721, à savoir:

- a) le corps d'inertie est supporté par l'éprouvette et l'extrémité basse de l'éprouvette est excitée (méthode A, Figure 1);
- b) le corps d'inertie est supporté par un contrepoids à l'aide d'un fil et l'extrémité supérieure de l'éprouvette est excitée (méthode B, Figure 2).

Les deux types de pendules de torsion consistent en un corps d'inertie, deux brides pour fixer l'éprouvette (dont l'une est reliée au corps d'inertie par l'intermédiaire d'une tige) et une enceinte thermostatée contenant l'éprouvette et les brides. Pour la méthode B est utilisé de plus un contrepoids supportant le corps d'inertie à l'aide d'un fil.

### 5.2 Corps d'inertie

#### 5.2.1 Généralités

Le moment d'inertie,  $I$ , du corps d'inertie, qui peut être en aluminium par exemple, doit être sélectionné en fonction de la rigidité en torsion de l'éprouvette, de façon que la fréquence naturelle du système dépendant de la température soit située approximativement entre 0,1 Hz et 10 Hz.

Pour l'essai d'éprouvette normalisées (voir 6.2), un moment d'inertie,  $I$ , d'environ  $3 \times 10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$  est recommandé si le même corps d'inertie est à utiliser tout au long d'un essai.

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

Si une fréquence constante, dans un large domaine de températures, est souhaitée, des corps d'inertie interchangeables avec différentes valeurs de  $I$  peuvent être utilisés, de façon à permettre une variation par paliers du moment d'inertie de moins de 20 %, ce qui équivaut à une correspondance par paliers de la fréquence de moins de 10 %. Pour l'essai avec des éprouvettes normalisées (voir 6.2) à une fréquence d'environ 1 Hz, un moment d'inertie maximal d'environ  $3 \times 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$  est recommandé.

#### 5.2.2 Méthode A (voir Figure 1)

La masse totale du corps d'inertie, de la bride inférieure et de la tige de liaison doit être telle que la masse  $W$  supportée par l'éprouvette ne soit pas trop élevée [voir Annexe A, Équation (A.2)].

#### 5.2.3 Méthode B (voir Figure 2)

La masse totale du corps d'inertie, de la bride supérieure et de la tige doit être compensée à l'aide d'un contrepoids convenable, de façon à minimiser la force longitudinale,  $W$ , sur l'éprouvette [voir Annexe A, Équation (A.2)]. Le fil supportant ces parties est une partie élastique du système d'oscillation.

### 5.3 Brides

Les brides doivent être conçues de façon à prévenir tout mouvement dans la zone bridée des éprouvettes. Elles doivent être autoalignantes pour maintenir l'alignement de l'axe de l'éprouvette avec l'axe de rotation et être capables de sauvegarder l'éprouvette pour toute la gamme de températures sans distorsion et de permettre ainsi la détermination précise de la longueur libre de l'éprouvette.

La bride mobile doit avoir une masse faible.

Le moment d'inertie de tout le système (comportant la bride mobile, le corps d'inertie et la tige de liaison) doit être déterminé expérimentalement.

Afin d'éviter la conduction de la chaleur de l'éprouvette vers l'entourage de l'enceinte thermostatée et vice versa, la tige de liaison, la bride mobile et le corps d'inertie doivent être des isolants thermiques.

#### 5.4 Dispositif générateur d'oscillation

Le dispositif d'oscillation doit être capable d'appliquer au pendule une pulsation en torsion avec un angle de torsion ne dépassant pas  $1,5^\circ$  dans chaque direction pour les matériaux courants ou ne dépassant pas  $3^\circ$  dans chaque direction pour les matériaux à faible module (tels que les élastomères).

#### 5.5 Équipement pour l'enregistrement de la fréquence et de l'amplitude des oscillations

Des systèmes d'enregistrement optiques, électriques ou autres peuvent être utilisés à la condition qu'ils n'influencent pas le système d'oscillation. L'équipement entier pour le mesurage de la fréquence et de l'amplitude des oscillations doit être précis à  $\pm 1\%$  ( $\pm 5\%$  dans la zone de transition).

#### 5.6 Enceinte thermostatée

Voir l'ISO 6721-1:2001, paragraphe 5.3.

#### 5.7 Fourniture de gaz

Voir l'ISO 6721-1:2001, paragraphe 5.4.

#### 5.8 Dispositif pour le mesurage de la température

Voir l'ISO 6721-1:2001, paragraphe 5.5.

#### 5.9 Dispositifs pour le mesurage des dimensions des éprouvettes

Voir l'ISO 6721-1:2001, paragraphe 5.6.

### 6 Éprouvettes

#### 6.1 Généralités

Voir l'ISO 6721-1:2001, Article 6.

#### 6.2 Forme et dimensions

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

longueur libre, $L$ :	de 40 mm à 120 mm, recommandée 50 mm
largeur, $b$ :	de 5 mm à 11 mm, recommandée 10 mm
épaisseur, $h$ :	de 0,13 mm à 2 mm, recommandée 1 mm

Les éprouvettes à section transversale rectangulaire dont la valeur de l'épaisseur et/ou de la largeur varie de plus de 3 % le long de l'axe principal de l'éprouvette par rapport à la valeur moyenne doivent être éliminées. Pour comparer des éprouvettes en différents matériaux, les dimensions des éprouvettes doivent être identiques. Les dimensions d'éprouvette différentes de celles recommandées (50 mm  $\times$  10 mm  $\times$  1 mm)

doivent être choisies de façon qu'une similitude géométrique par rapport à la forme de l'éprouvette recommandée soit assurée.

Des variantes de formes d'éprouvettes peuvent être utilisées (par exemple forme cylindrique ou tubulaire); dans ces cas, les dimensions et les tolérances doivent être agréées par les parties intéressées.

### 6.3 Préparation

Voir l'ISO 6721-1:2001, paragraphe 6.3.

## 7 Nombre d'éprouvettes

Voir l'ISO 6721-1:2001, Article 7.

## 8 Conditionnement

Voir l'ISO 6721-1:2001, Article 8.

Si un conditionnement mécanique de l'éprouvette est requis, l'éprouvette doit être soumise à une torsion d'un angle supérieur à 5°, mais inférieur à 90° dans les deux directions par rapport à l'axe de l'essai de torsion avec retour à la position normale.

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

## 9 Mode opératoire

### 9.1 Atmosphère d'essai

[ISO 6721-2:2008](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d0369802-db6f-46ce-a0c6-92d38ec9e7c8/iso-6721-2-2008)

Voir l'ISO 6721-1:2001, paragraphe 9.1. <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d0369802-db6f-46ce-a0c6-92d38ec9e7c8/iso-6721-2-2008>

### 9.2 Mesurage de la section transversale de l'éprouvette

Voir l'ISO 6721-1:2001, paragraphe 9.2.

### 9.3 Montage des éprouvettes

Fixer l'éprouvette entre les brides supérieure et inférieure. L'axe longitudinal de l'éprouvette doit coïncider avec l'axe de rotation du système oscillant. Un mauvais alignement de l'éprouvette peut occasionner des oscillations latérales qui interféreront avec le processus normal d'oscillation.

Après le bridage de l'éprouvette, mesurer la distance entre les brides (longueur libre  $L$ ) à  $\pm 0,5$  % près. Après le montage du système oscillant dans l'enceinte, vérifier que l'éprouvette n'est pas soumise à une contrainte.

Après avoir rassemblé le système d'oscillation avec l'éprouvette et après avoir vérifié leur alignement, mettre en route le chauffage ou le refroidissement (voir 9.4).

### 9.4 Variation de la température

Voir l'ISO 6721-1:2001, paragraphe 9.4.

### 9.5 Réalisation de l'essai

Provoquer les oscillations libres par torsion du pendule (5.1) au moyen du dispositif générateur d'oscillation (5.4).

Enregistrer la fréquence d'oscillation et l'amplitude d'oscillation pendant qu'elle décroît.

S'assurer que la décroissance de l'amplitude n'est due ni au frottement entre les parties mobiles et fixes de l'appareillage ni à un comportement non linéaire du matériau soumis à essai (voir l'ISO 6721-1:2001, Annexe B).

Dans le cas d'une fréquence maintenue fixe durant un essai de température, s'assurer de l'échange adéquat des corps d'inertie.

## 10 Expression des résultats

### 10.1 Symboles et facteur de correction

$b$	largeur, en mètres, d'une éprouvette rectangulaire
$h$	épaisseur, en mètres, d'une éprouvette rectangulaire
$L$	longueur libre, en mètres, de l'éprouvette
$I$	moment d'inertie, exprimé en kilogrammes mètres carrés ( $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ ), du corps d'inertie (en incluant, si cela est nécessaire, la bride mobile et la tige de liaison)
$f_d$	fréquence, en hertz, du système d'oscillation amortie
$f_0$	fréquence, en hertz, du système d'oscillation du pendule utilisé dans la méthode B, sans éprouvette
$A$	décroissement logarithmique des oscillations amorties du pendule avec éprouvette
$A_0$	décroissement logarithmique des oscillations amorties du pendule utilisé dans la méthode B, sans éprouvette
$F_g$	facteur dimensionnel, exprimé en mètres à la puissance moins trois ( $\text{m}^{-3}$ ), pour une éprouvette

Pour des éprouvettes ayant une section transversale rectangulaire:

$$F_g = 3L/bh^3F_c \quad (1)$$

où  $F_c$  est le facteur de correction dimensionnel.

Si  $0 \leq h/b \leq 0,6$

$$F_c = 1 - 0,63h/b \quad (2)$$

Si  $0,6 \leq h/b \leq 1$

$$F_c = 0,843/(1 + h^2/b^2) \quad (3)$$

Pour des éprouvettes ayant une section transversale circulaire

$$F_g = 32L/\pi d^4 \quad (4)$$

où  $d$  est le diamètre, en mètres, de l'éprouvette

$F_d$  facteur de correction d'amortissement, donné par l'équation

$$F_d = 1 - (A/2\pi)^2 \quad (5)$$

$G'_{to}$  module de conservation en torsion, en pascals, de l'éprouvette

$G''_{to}$  module de perte en torsion, en pascals, de l'éprouvette

NOTE 1 Pour les raisons invoquées dans l'Annexe B, le symbole  $F_d$  pour le facteur de correction d'amortissement a un indice différent de celui utilisé auparavant dans l'ISO 537 (annulée à présent).

NOTE 2 Les Équations (2) et (3) sont seulement approximativement justes, l'erreur maximale étant de 0,9 % (voir Annexe C).

NOTE 3 Le facteur dimensionnel ne contient pas les corrections de la longueur concernant les effets de bridage. En conséquence, seuls des mesurages réalisés avec des rapports identiques entre l'épaisseur, la largeur et la longueur de l'éprouvette donnent précisément des résultats comparables (voir l'ISO 6721-1:2001, Tableau 1 et la Note 6 à la Définition 3.1).

## 10.2 Calcul du décrétement logarithmique, $A$

Le décrétement logarithmique,  $A$ , peut être calculé à l'aide de l'équation suivante:

$$A = \ln(X_q/X_{q+1}) \quad (6)$$

où  $X_q$  et  $X_{q+1}$  sont les amplitudes de deux oscillations successives dans la même direction (voir l'ISO 6721-1:2001, Définition 3.10).   
 (standards.iteh.ai)

Pour le calcul de  $A$  à partir d'amplitudes de deux oscillations  $p$  et  $q$  dans la même direction, utiliser l'équation

$$A = \frac{1}{p-q} \ln(X_q/X_p) \quad (7)$$

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/d0369802-db6f-46ce-a0c6-92d38ec9e7c8/iso-6721-2-2008>

où

$X_p$  est l'amplitude de la  $p^{\text{ième}}$  oscillation;

$X_q$  est l'amplitude de la  $q^{\text{ième}}$  oscillation.

L'équation suivante doit être utilisée dans le cas d'amplitude ne pouvant être enregistrées avec une ligne de base précise de la courbe sinusoïdale amortie (voir Figure 3):

$$A = \ln(X_q^*/X_{q+1}^*) = \frac{1}{p-q} \ln(X_q^*/X_p^*) \quad (8)$$

où  $X_p^*$ , ...,  $X_q^*$ ,  $X_{q+1}^*$  sont les différences entre les amplitudes positives et négatives successives des oscillations:

$$\text{i.e. } X_q^* = X_q^+ - X_q^-$$

NOTE L'Équation (8) compense seulement dans le cas d'un décalage constant de la ligne de base et non pour une ligne de base dépendant du temps qui dérive pendant les vibrations respectives amorties. Les dérives ultérieures représentent la partie non oscillante de la relaxation, suivant la pulsation unique de démarrage de l'oscillation. Celles-ci peuvent essentiellement être diminuées en utilisant des démarrages à double pulsation dans des directions opposées.