

---

# Norme internationale



# 5629

---

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION • МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ • ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION

---

## Papier et carton — Détermination de la résistance à la flexion — Méthode par résonance

*Paper and board — Determination of bending stiffness — Resonance method*

Première édition — 1983-12-01

ITEH STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

[ISO 5629:1983](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5eb0451d-b8d0-4f23-909a-62e8c194d3f7/iso-5629-1983)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5eb0451d-b8d0-4f23-909a-62e8c194d3f7/iso-5629-1983>

---

CDU 676.3/.7 : 620.174.22

Réf. n° : ISO 5629-1983 (F)

**Descripteurs :** papier, carton, essai, détermination, résistance à la flexion, préparation de spécimen d'essai, matériel d'essai, condition d'essai, résultat d'essai.

## 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 confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique correspondant. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO, participent également aux travaux.

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.

La Norme internationale ISO 5629 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 6, *Papiers, cartons et pâtes*, et a été soumise aux comités membres en décembre 1982.

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

Les comités membres des pays suivants l'ont approuvée:

[ISO 5629:1983](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5eb0451d-b8d0-4f23-909a-62e8c194d3af/iso-5629-1983)

Afrique du Sud, Rép. d'	France	Royaume-Uni
Allemagne, R.F.	Hongrie	Suède
Belgique	Inde	Suisse
Bulgarie	Italie	Tchécoslovaquie
Canada	Kenya	Turquie
Corée, Rép. de	Norvège	URSS
Égypte, Rép. arabe d'	Pays-Bas	USA
Espagne	Pologne	Venezuela
Finlande	Roumanie	

Aucun comité membre ne l'a désapprouvée.

# Papier et carton — Détermination de la résistance à la flexion — Méthode par résonance

## 0 Introduction

Il existe un certain nombre de méthodes pour mesurer la résistance du papier et du carton aux forces de flexion. Les résultats dépendront, dans une large mesure, de la méthode d'essai utilisée, le matériau étant par nature flexible. Dans la présente méthode, la résistance à la flexion est déterminée dans des conditions dynamiques (vibrations) avec un angle de flexion relativement petit.

## 1 Objet et domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie une méthode de détermination de la résistance à la flexion en utilisant la méthode par résonance.

La présente méthode donne seulement un seul résultat par éprouvette essayée, bien qu'en général les valeurs de résistance à la flexion peuvent dépendre de l'état de la surface du matériau qui constitue la surface intérieure de l'arc formé lorsque le matériau est soumis à des forces de flexion.

La résistance à la flexion d'un grand nombre de papiers et cartons peut être mesurée à l'aide de cette méthode. Cependant, pour certains matériaux, tels que ceux énumérés ci-après, les valeurs numériques mesurées peuvent ne pas être strictement identiques aux valeurs de résistance à la flexion telle qu'elle est définie dans le chapitre 3 :

- a) papiers et cartons multicouches pour lesquels les couches composantes peuvent bouger séparément pendant l'essai;
- b) papiers et cartons avec courbure très nette, particulièrement si l'axe de la courbure est le sens de la grande dimension de l'éprouvette;
- c) certains papiers doux ayant un grammage inférieur à environ 40 g/m<sup>2</sup>.

Cette méthode n'est pas applicable aux cartons ondulés.

## 2 Références

ISO 186, *Papier et carton — Échantillonnage pour l'essai.*

ISO 187, *Papier et carton — Conditionnement des échantillons.*

ISO 536, *Papier et carton — Détermination du grammage.*

## 3 Définition

Dans le cadre de la présente Norme internationale, la définition suivante est applicable.

**résistance à la flexion  $S$ :** Moment de la résistance par unité de largeur qu'un papier ou carton offre à une flexion, dans la zone de déformation élastique. Elle peut être définie mathématiquement par l'équation

$$S = \frac{EI}{b} \quad \dots(1)$$

où  
 $E$  est le module d'élasticité, c'est-à-dire le module de Young;

$I$  est le moment quadratique d'aire plane (moment d'inertie) de la surface de coupe transversale par rapport à un axe passant par le centre de cette surface, dans son plan, et perpendiculaire à la direction de la flexion;

$b$  est la largeur de l'éprouvette.

## 4 Principe

Détermination, dans des conditions normalisées, de la longueur de résonance vibrante d'une éprouvette fixée à une extrémité. Calcul de la résistance à la flexion à partir de cette valeur et du grammage du matériau.

La longueur de résonance vibrante d'un matériau dans une direction, lorsqu'il est soumis à une vibration de fréquence donnée, dépend de sa résistance à la flexion dans cette direction et de son grammage.

## 5 Appareillage (voir figure 1)

Matériel courant de laboratoire, et

### 5.1 Dispositif de fixation.

La pince doit être constituée par deux plaquettes de métal parallèles pouvant être réglées de façon à donner un écartement et une pression de serrage qui permettent de glisser l'éprouvette dans les fixations. La pince doit être placée de façon qu'une éprouvette puisse prendre une position verticale dans les deux directions. Les dimensions de la pince de serrage ne sont pas fixées, mais la largeur doit être supérieure à celle de l'éprouvette utilisée. Généralement, une largeur légèrement supérieure à 25 mm est satisfaisante.

Les bords supérieurs de la pince peuvent être arrondis et, dans ce cas, le rayon de courbure doit être inférieur à 0,1 mm.

**5.2 Dispositif de vibration**<sup>1)</sup> de la pince dans un plan horizontal, perpendiculairement au plan du papier, à une fréquence de  $25,0 \pm 0,1$  Hz et avec une amplitude inférieure ou égale à 0,2 mm.

**5.3 Dispositif de mesurage** de la longueur de l'éprouvette dépassant au-dessus du bord supérieur de la pince.

**5.4 Stroboscope**, fonctionnant avec la même fréquence et dans la même phase que le vibreur, pour éclairer le bord supérieur de l'éprouvette.

**5.5 Éléments facultatifs.**

**5.5.1 Loupe**, pouvant être réglée pour examiner le bord supérieur de l'éprouvette.

**5.5.2 Pince inférieure amovible**, dont le modèle n'est pas fixé, installée de façon que l'on puisse, grâce à elle, tirer (pousser, pour certains matériaux) l'éprouvette dans le dispositif de serrage vibrant. Cette pince peut être reliée à un dispositif de mesurage approprié, permettant de lire la longueur de résonance directement sur une échelle.

## 6 Échantillonnage

Prélever au moins 10 éprouvettes d'un échantillon conformément à l'ISO 186, en s'assurant qu'il n'y a aucun pli, aucune déchirure ni cassure ou autre défaut visibles sur les zones soumises à l'essai.

## 7 Conditionnement

Conditionner les éprouvettes dans l'une des atmosphères spécifiées dans l'ISO 187. Préparer les éprouvettes et effectuer les essais dans les mêmes conditions atmosphériques.

## 8 Préparation des éprouvettes

Découper au moins une éprouvette de dimensions appropriées dans chaque échantillon et dans chacun des sens désirés pour l'essai. Si des filigranes humides sont présents, mention doit en être faite dans le procès-verbal d'essai.

Les dimensions des éprouvettes dépendent du type de matériau. En général, la largeur de l'éprouvette doit être comprise entre 10 et 25 mm. Les bords doivent être nets, droits et parallèles à 0,1 mm près.

Pour des papiers de faible grammage et des matériaux ayant tendance à onduler perpendiculairement à la longueur de l'éprouvette, une largeur de 10 ou 15 mm est préférable. Pour les matériaux de plus fort grammage, une largeur de 25 mm est préférable.

La longueur de l'éprouvette doit être suffisante pour tenir compte de la longueur devant dépasser pour atteindre la résonance et de la hauteur de la pince; l'éprouvette doit également avoir une longueur suffisante permettant de la manipuler dans la zone de non-résonance et dans la mâchoire de serrage inférieure (s'il y en a une).

L'extrémité de résonance de l'éprouvette doit présenter une coupe franche, droite et perpendiculaire aux bords longs de l'éprouvette, dans les deux axes.

Si le mode opératoire A (9.1) est utilisé, les dimensions de chaque éprouvette doivent être mesurées très précisément.

## 9 Mode opératoire

Deux modes opératoires peuvent être utilisés. Le mode opératoire A est généralement plus précis et permet de calculer le coefficient de variation de la résistance à la flexion, mais est plus long que le mode opératoire B. De plus, la fidélité des valeurs du grammage déterminées par le mode opératoire A est inférieure à la fidélité des mesurages normaux du grammage.

Dans la plupart des cas, le mode opératoire B donne des résultats qui diffèrent de moins de 1 % de ceux donnés par le mode opératoire A. Cependant, là où les variations dans les longueurs de résonance ou le grammage sont considérables, des différences plus grandes peuvent être obtenues.

### 9.1 Mode opératoire A

#### 9.1.1 Grammage

Peser chacune des éprouvettes avec une précision de  $\pm 0,001$  g. Faire un repère sur chacune des éprouvettes de façon que l'on puisse, par la suite, établir des relations entre la masse de l'éprouvette et la longueur de résonance.

NOTE — Si le grammage de l'échantillon présente des variations importantes, un résultat final plus précis peut être obtenu en coupant avec précaution la longueur de résonance le long du bord supérieur du dispositif de serrage et en déterminant à nouveau la masse et la surface de chaque éprouvette.

#### 9.1.2 Longueur de résonance

Utiliser une ou plusieurs éprouvettes pour déterminer une longueur de résonance approximative.

1) Un appareil approprié est disponible dans le commerce. Des détails peuvent être obtenus auprès du secrétariat de l'ISO/TC 6 (SCC) ou auprès du Secrétariat central de l'ISO.

Fixer l'éprouvette afin qu'une longueur suffisante dépasse le bord supérieur de la pince (voir figure 1). S'assurer que l'éprouvette est fixée perpendiculairement au bord de la pince. Régler la pression de serrage de façon que l'éprouvette puisse simplement être introduite dans la pince.

Faire vibrer la pince et faire glisser avec précaution l'éprouvette dans la pince jusqu'à ce que l'extrémité libre de l'éprouvette se trouve dans la position de résonance. Dans cette position, l'amplitude de la vibration est maximale et la visibilité de l'extrémité vibrante de l'éprouvette sous éclairage stroboscopique (5.4) est la meilleure.

Vérifier que le bord de l'éprouvette est toujours perpendiculaire au bord de la pince.

Mesurer aussi précisément que possible la longueur de l'éprouvette dépassant le bord de la pince. Cela peut être fait en coupant avec précaution ou repérant l'éprouvette au bord de la pince, en la retirant ensuite de la pince et en mesurant sa longueur à l'aide d'une règle d'acier ou de tout autre moyen approprié. La précision de mesurage de la longueur de résonance doit être de  $\pm 0,25$  mm ou  $\pm 0,5$  %, selon celle de ces deux valeurs qui sera supérieure à l'autre pour chaque cas concerné.

Alternativement, si l'instrument est muni d'une pince inférieure couplée avec une échelle de mesurage, le dispositif peut être utilisé. Si cela est fait, le mesurage doit être effectué conformément aux instructions du fabricant, mais il est essentiel de vérifier que l'éprouvette ne s'est pas allongée de façon significative au cours de l'essai, et par conséquent que la longueur indiquée par l'échelle est celle de l'éprouvette au-delà du dispositif de serrage.

Vérifier, si cela est nécessaire, en diminuant la longueur qui dépasse, que le point de résonance a été atteint et que la résonance apparaît avec seulement un ventre, puisqu'il est possible d'obtenir une résonance à deux ventres ou à un nœud (voir figure 2).

NOTE — Pour des matériaux de très faible grammage, il peut être nécessaire de desserrer les mâchoires lorsque l'on règle la longueur pour donner la résonance. Pour des matériaux de plus fort grammage, il peut être possible de faire le réglage final de la longueur qui doit dépasser pour obtenir la résonance, à la fois en tirant et en poussant l'éprouvette dans la pince. Cependant, la force de serrage doit être appliquée lorsque l'état de résonance est établi.

En utilisant les valeurs initiales obtenues pour la longueur de résonance comme référence, effectuer le mode opératoire décrit précédemment pour déterminer la longueur de résonance de 10 éprouvettes découpées dans chacun des sens désirés.

## 9.2 Mode opératoire B

### 9.2.1 Grammage moyen

Déterminer le grammage moyen de l'échantillon conformément à l'ISO 536.

### 9.2.2 Longueur de résonance

Procéder pour la détermination de la longueur de résonance comme indiqué en 9.1.2.

## 10 Expression des résultats

Pour l'origine des équations utilisées, voir l'annexe.

### 10.1 Mode opératoire A

La résistance à la flexion,  $S$ , exprimée en newtons mètres, est donnée séparément pour chaque éprouvette par l'équation

$$S = \frac{2l^4 m}{10^6 A} \quad \dots (2)$$

où

$l$  est la longueur de résonance, en millimètres;

$m$  est la masse appropriée, en grammes, de l'éprouvette;

$A$  est la surface, en millimètres carrés, de l'éprouvette.

NOTE — En pratique, il sera souvent plus commode d'utiliser l'équation mathématique équivalente pour calculer la résistance à la flexion,  $S_1$ , exprimée en millinewtons mètres :

$$S_1 = 20 \left( \frac{l}{100} \right)^4 \times \frac{\rho_A}{100}$$

où  $\rho_A$  est le grammage, exprimé en grammes par mètre carré, calculé d'après l'équation

$$\rho_A = \frac{m \times 10^6}{A}$$

Les valeurs de  $l/100$  et de  $\rho_A/100$  sont généralement comprises entre 0,1 et 10.

Calculer la résistance à la flexion moyenne à partir des valeurs individuelles obtenues, ainsi que l'écart-type ou le coefficient de variation.

### 10.2 Mode opératoire B

La résistance à la flexion,  $S$ , exprimée en newtons mètres, est donnée séparément pour chaque éprouvette par l'équation

$$S = \frac{2l^4 \rho_A}{10^{12}} \quad \dots (3)$$

où

$l$  est la longueur de résonance, en millimètres;

$\rho_A$  est le grammage, exprimé en grammes par mètre carré, du matériau.

NOTE — En pratique, il sera souvent plus commode d'utiliser l'équation mathématique équivalente pour calculer la résistance à la flexion,  $S_1$ , exprimée en millinewtons mètres :

$$S_1 = 20 \left( \frac{l}{100} \right)^4 \times \frac{\rho_A}{100}$$

Les valeurs de  $l/100$  et de  $\rho_A/100$  sont généralement comprises entre 0,1 et 10.

Calculer la résistance à la flexion moyenne à partir des valeurs individuelles obtenues, ainsi que l'écart-type ou le coefficient de variation.

### 10.3 Résultats approximatifs

Pour un travail d'approximation, et pour permettre une vérification commode des valeurs obtenues, il est souvent suffisant de déterminer la longueur moyenne de résonance du matériau et le grammage moyen, et de calculer ensuite, en utilisant les équations données précédemment, la valeur moyenne de la résistance à la flexion.

## 11 Fidélité

### 11.1 Répétabilité

Dans les conditions de laboratoire normales, la répétabilité du mode opératoire A ou B est d'environ 6 %.

La différence entre les deux valeurs individuelles d'essai, obtenues pour des matériaux identiques par un opérateur utilisant le même appareillage à un intervalle de temps très court, ne doit pas dépasser la répétabilité sur la moyenne de plus d'une fois sur 20 de mise en œuvre normale de la méthode.

### 11.2 Reproductibilité

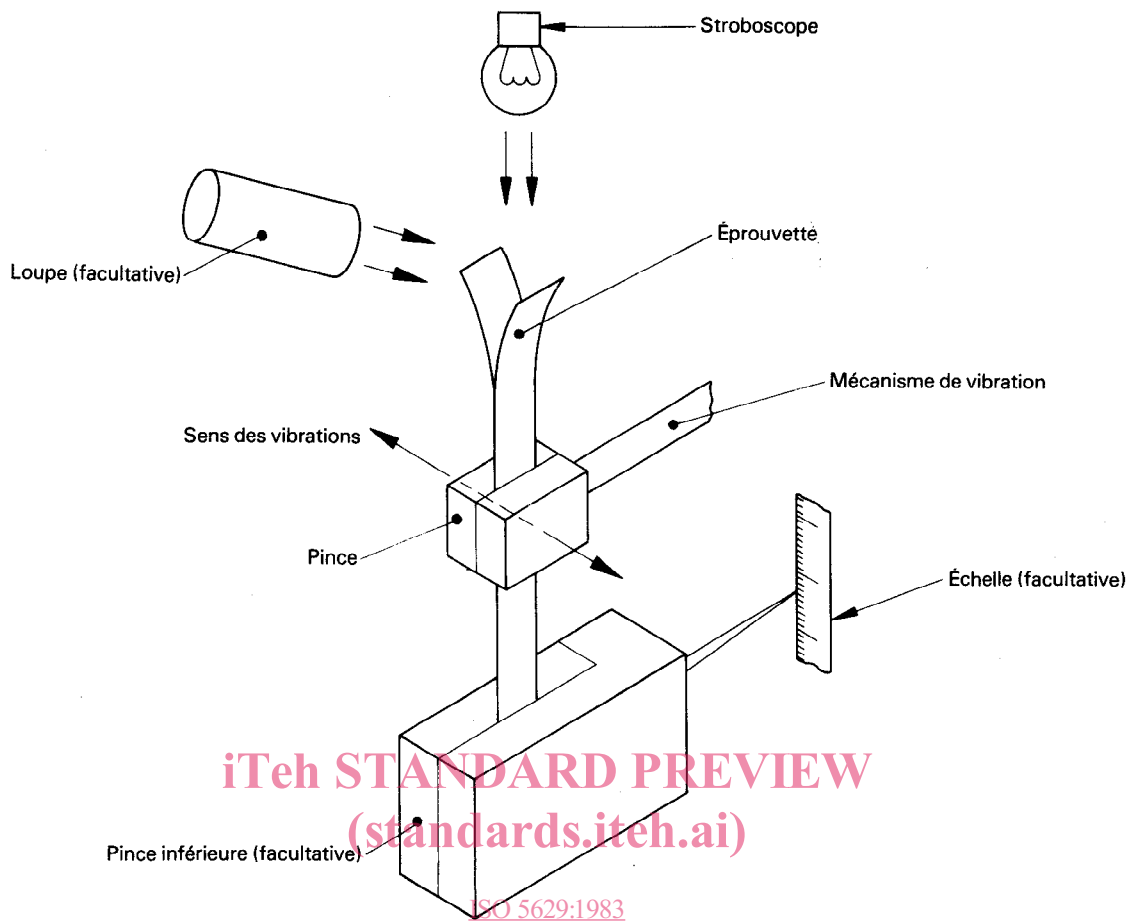
Les informations disponibles sont insuffisantes actuellement pour qualifier la reproductibilité de la méthode.

## 12 Procès-verbal d'essai

Le procès-verbal d'essai doit donner les indications suivantes :

- a) la référence à la présente Norme internationale ;
- b) toutes les informations nécessaires pour l'identification complète de l'échantillon ;
- c) l'atmosphère normale de conditionnement utilisée ;
- d) le mode opératoire utilisé (A ou B) ;
- e) le nombre d'essais effectués ;
- f) le sens essayé, par exemple sens « machine » ou sens « travers » ;
- g) la largeur d'essai utilisée ;
- h) les résultats obtenus pour la longueur de résonance ;
- j) le grammage du matériau ou la masse des éprouvettes, selon le cas ;
- k) la valeur moyenne de la résistance à la flexion, en micronewtons mètres, en millinewtons mètres ou en newtons mètres, selon le cas, avec trois chiffres significatifs ;
- m) l'écart-type ou le coefficient de variation ;
- n) toutes opérations non prévues dans la présente Norme internationale ou dans les Normes internationales auxquelles il est fait référence, ou toutes opérations facultatives susceptibles d'avoir eu une influence sur les résultats.

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
(standards.iteh.ai)  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5eb0451d-b8d0-4f23-909a-62e8c194d3f7/iso-5629-1983>



ISO 5629:1983  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5eb0451d-b8d0-4f23-909a-62e8c194d3f7/iso-5629-1983>

Figure 1 – Schéma général de l'appareil

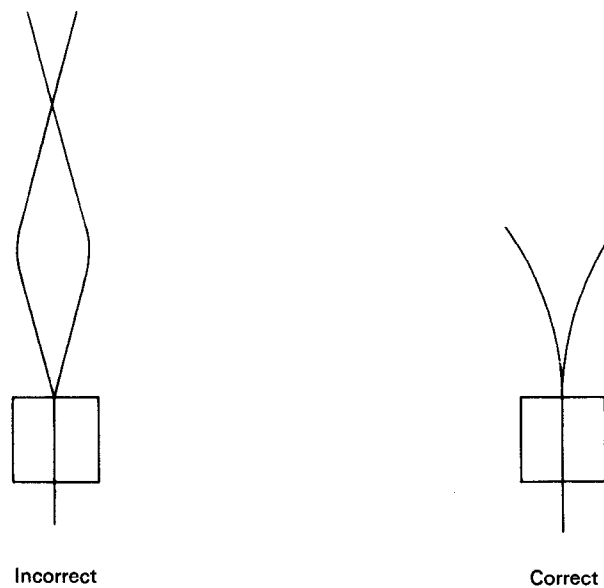


Figure 2 – Modes de vibration de l'éprouvette

## Annexe

## Base théorique de la méthode d'essai

La fréquence de résonance fondamentale,  $f$ , en hertz, d'une barre rectangulaire fixée à l'une de ses extrémités est donnée par l'équation

$$f = \frac{1}{2\sqrt{3}} \times \frac{d}{l^2} \times \frac{k^2}{2\pi} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \dots (4)$$

où

$d$  est l'épaisseur de l'éprouvette;

$E$  est le module d'élasticité, c'est-à-dire le module de Young;

$k$  est une constante sans dimension, égale à 1,875 pour la fréquence fondamentale d'oscillation;

$l$  est la longueur de l'éprouvette;

$\rho$  est la masse volumique du matériau.

Par définition (voir chapitre 3), la résistance à la flexion,  $S$ , est donnée par l'équation

$$S = \frac{EI}{b}$$

où

$I$  est le moment quadratique d'aire plane (moment d'inertie) de la surface de coupe transversale par rapport à un axe passant par le centre de cette surface, dans son plan, et perpendiculaire à la direction de la flexion;

$b$  est la largeur de l'éprouvette.

En élevant l'équation (4) au carré et en substituant  $\rho_A/d$  à  $\rho$ , où  $\rho_A$  est le grammage, on obtient l'équation

$$f^2 = \frac{d^3}{12} \times \frac{1}{l^4} \times \frac{k^4}{4\pi^2} \times \frac{E}{\rho_A}$$

En substituant  $I/b$  à  $d^3/12$  et en réarrangeant, on obtient l'équation

$$S = \frac{EI}{b} = 3,19 \rho_A l^4 f^2$$

En posant  $f = 25$  Hz, cela conduit aux équations (2) et (3) (voir chapitre 10).

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5eb0451d-b8d0-4f23-909a-62e8c194d3f7/iso-5629-1983>