

---

---

**Revêtements de carbone amorphe —  
Détermination des caractéristiques de  
frottement et d'usure des revêtements  
de carbone amorphe par la méthode  
bille sur disque**

*Diamond-like carbon films — Determination of friction and wear  
characteristics of diamond-like carbon films by ball-on-disc method*  
**(standards.iteh.ai)**

[ISO 18535:2016](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b49f181c-119b-4440-b5ca-39b610b7ee46/iso-18535-2016)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b49f181c-119b-4440-b5ca-39b610b7ee46/iso-18535-2016>



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

ISO 18535:2016

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b49f181c-119b-4440-b5ca-39b610b7ee46/iso-18535-2016>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2016, Publié en Suisse

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Ch. de Blandonnet 8 • CP 401  
CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland  
Tel. +41 22 749 01 11  
Fax +41 22 749 09 47  
copyright@iso.org  
www.iso.org

## Sommaire

Page

<b>Avant-propos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>v</b>
<b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b> <b>Termes et définitions</b> .....	<b>1</b>
<b>4</b> <b>Matériaux d'essai et préparation des éprouvettes</b> .....	<b>2</b>
4.1    Matériaux.....	2
4.2    Bille d'essai.....	2
4.3    Disque d'essai.....	2
<b>5</b> <b>Appareillage</b> .....	<b>3</b>
<b>6</b> <b>Mode opératoire d'essai</b> .....	<b>4</b>
6.1    Traitement de l'éprouvette avant essai.....	4
6.2    Préparation de l'essai d'usure.....	4
6.3    Conditions d'essai pour l'essai de frottement.....	4
6.4    Conditions d'essai pour l'essai de frottement et d'usure.....	4
6.5    Mesure de la force de frottement.....	5
6.6    Mesure de la trace d'usure sur la bille d'essai.....	5
6.7    Mesure de la trace d'usure sur le disque d'essai.....	5
6.8    Nombre de répétitions de l'essai.....	6
<b>7</b> <b>Calcul des résultats d'essai</b> .....	<b>6</b>
7.1    Taux d'usure spécifique d'un revêtement de carbone amorphe sur une bille d'essai.....	6
7.2    Taux d'usure spécifique d'un revêtement de carbone amorphe sur un disque d'essai.....	7
7.3    Coefficient de frottement.....	8
7.4    Arrondi des valeurs numériques.....	8
<b>8</b> <b>Rapport d'essai</b> .....	<b>8</b>
<b>Annexe A (informative) Incertitude de mesure pour le calcul du coefficient de frottement</b> .....	<b>10</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>13</b>

## 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 (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

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. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir [www.iso.org/brevets](http://www.iso.org/brevets)).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'OMC concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: [Avant-propos - Informations supplémentaires](http://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b491181c-119b-4440-b3ca-39b610b7ee46/iso-18535-2016).

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 107, *Revêtements métalliques et autres revêtements inorganiques*.

## Introduction

La présente Norme internationale fournit des préconisations sur la réalisation d'un essai de frottement et d'usure dans une configuration «bille sur disque» pour déterminer le frottement provoqué et l'usure observée lors de contacts glissants uniaxiaux entre des revêtements de carbone amorphe et un corps antagoniste.

Les propriétés tribologiques des revêtements de carbone amorphe sont différentes de celles des revêtements métalliques et céramiques. Les caractéristiques tribologiques des revêtements de carbone amorphe se distinguent par un faible frottement et une faible usure contre les autres matériaux. Dans la mesure où une couche mince de carbone amorphe se présente comme un revêtement et non comme un matériau massif, elle présente une capacité d'usure limitée et peut se détériorer par délamination. Par conséquent, une méthode d'essai de frottement et d'usure propre aux revêtements de carbone amorphe est utilisée pour déterminer le frottement et la résistance à l'usure, sans induire de délamination. Dans la méthode «bille sur disque» utilisant une bille revêtue d'une couche de carbone amorphe sur un disque non revêtu, une bille non revêtue sur un disque revêtu d'une couche de carbone amorphe ou une bille revêtue d'une couche de carbone amorphe sur un disque revêtu d'une couche de carbone amorphe, l'usure de la couche de carbone amorphe est minimale par rapport aux autres matériaux. De ce fait, il est conseillé d'appliquer la couche mince sur la bille pour évaluer par mesurage le taux d'usure avec une précision raisonnable. L'usure du côté bille induit bien évidemment une diminution de la pression de contact qui doit être prise en compte dans l'interprétation du coefficient de frottement. En raison de ces aspects, la méthode «bille sur disque» est idéale pour les essais classiques des revêtements de carbone amorphe.

Il convient de noter que, dans le cadre du contact glissant, il existe de nombreux paramètres qui influencent l'intensité du frottement et de l'usure. Tout essai d'usure vise à simuler, dans toute la mesure du possible, les conditions qui prévalent dans l'application réelle. Au fur et à mesure que l'écart entre les conditions d'essai et les conditions d'application s'agrandit, les résultats d'essai deviennent moins pertinents. Pour donner plus de crédit aux résultats d'essai, l'aspect des surfaces usées des échantillons d'essai est comparé à celui de la surface usée du composant usé réel afin de s'assurer que des mécanismes d'usure similaires ont eu lieu dans chaque cas. Il est préconisé d'utiliser les conditions d'essai recommandées, suggérées dans la présente Norme internationale, lorsque les conditions d'application ne sont pas bien définies, mais qu'une comparaison générale entre les matériaux est requise.

La présente Norme internationale est utile pour le contrôle de la qualité des revêtements de carbone amorphe.

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

ISO 18535:2016

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b49f181c-119b-4440-b5ca-39b610b7ee46/iso-18535-2016>

# Revêtements de carbone amorphe — Détermination des caractéristiques de frottement et d'usure des revêtements de carbone amorphe par la méthode bille sur disque

## 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie un mode opératoire et fournit des préconisations concernant la détermination du coefficient de frottement et du taux d'usure spécifique des revêtements de carbone amorphe. La méthode spécifie que les matériaux sont soumis à essai dans des conditions sèches par paires dans une configuration «bille sur disque».

Les résultats des essais ne sont pas applicables lorsque les pièces revêtues d'une couche de carbone amorphe sont utilisées dans un environnement lubrifié.

## 2 Références normatives

Les documents ci-après, dans leur intégralité ou non, sont des références normatives indispensables à 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 1101, *Spécification géométrique des produits (GPS) — Tolérancement géométrique — Tolérancement de forme, orientation, positionnement et battement*

ISO 3274, *Spécification géométrique des produits (GPS) — État de surface: Méthode du profil — Caractéristiques nominales des appareils à contact (palpeur)*

ISO 3290-1, *Roulements — Billes — Partie 1: Billes de roulement en acier*

ISO 3290-2, *Roulements — Billes — Partie 2: Billes de roulement en céramique*

ISO 3611, *Spécification géométrique des produits (GPS) — Équipement de mesurage dimensionnel: Micromètres d'extérieur — Caractéristiques de conception et caractéristiques métrologiques*

ISO 4287, *Spécification géométrique des produits (GPS) — État de surface: Méthode du profil — Termes, définitions et paramètres d'état de surface*

ISO 13385-1, *Spécification géométrique des produits (GPS) — Équipement de mesurage dimensionnel — Partie 1: Pieds à coulisse; caractéristiques de conception et caractéristiques métrologiques*

ISO 80000-1:2009, *Grandeurs et unités — Partie 1: Généralités*

## 3 Termes et définitions

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

### 3.1

#### **usure**

enlèvement progressif de matière de la surface d'un matériau solide, dû au mouvement relatif avec une ou plusieurs substances en contact

### 3.2

#### essai d'usure

méthode d'évaluation de la performance en termes de frottement et d'usure de matériaux en contact glissant

### 3.3

#### méthode « bille sur disque »

méthode d'essai d'usure dans laquelle le contact glissant est provoqué en pressant une bille d'essai contre un disque d'essai tournant sous une charge constante

### 3.4

#### force de frottement

force résistante, tangentielle à l'interface entre deux corps, lorsqu'un corps se déplace ou a tendance à se déplacer par rapport à l'autre corps sous l'effet d'une force normale pressant ces deux corps l'un contre l'autre

### 3.5

#### coefficient de frottement

$\mu$   
rapport sans dimension de la force de frottement,  $F_f$ , sur la force normale appliquée,  $F_p$

Note 1 à l'article:  $\mu = F_f / F_p$ .

### 3.6

#### taux d'usure spécifique

$W_s$   
taux de matière enlevée par usure, exprimé au moyen du volume d'usure,  $V$ , par unité de force normale appliquée,  $F_p$ , et unité de distance de glissement,  $L$

Note 1 à l'article:  $W_s = V / (F_p \times L)$ .

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)  
ISO 18535:2016  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b49f181c-119b-4440-b5ca-166c7e7e7e7e/iso-18535-2016>

## 4 Matériaux d'essai et préparation des éprouvettes

### 4.1 Matériaux

La présente méthode «bille sur disque» peut être appliquée aux revêtements de carbone amorphe. La seule exigence est que les éprouvettes en forme de bille et de disque, ayant les dimensions spécifiées ci-dessous, puissent être préparées et qu'elles soient en mesure de résister aux contraintes imposées au cours des essais sans défaillance ni flexion excessive.

L'application de la méthode «bille sur disque» permet d'utiliser, selon les exigences des essais, soit la bille ou le disque, soit la bille et le disque à la fois, en tant que substrats pour les revêtements de carbone amorphe. L'épaisseur des revêtements de carbone amorphe doit être comprise entre 0,01  $\mu\text{m}$  et 10  $\mu\text{m}$ .

Tous les détails pertinents concernant la bille d'essai ou le disque d'essai, tels que leurs dimensions, état de surface, type de matériau, composition, microstructure et traitements doivent être fournis.

### 4.2 Bille d'essai

La bille d'essai doit être une vraie sphère de plus de 5 mm de diamètre, ou une tige droite dont l'extrémité est usinée en forme sphérique. Le diamètre recommandé de la sphère est de 6 mm. La rugosité de surface de l'éprouvette ne doit pas être supérieure à 0,1  $\mu\text{m}$   $R_a$  comme spécifié dans l'ISO 4287. Il convient que la valeur  $R_{pk}$  de la rugosité de surface soit mesurée et consignée dans le rapport d'essai. La sphéricité de la bille doit être conforme à l'ISO 3290-1 et à l'ISO 3290-2.

### 4.3 Disque d'essai

Le disque d'essai doit avoir une épaisseur supérieure à 3 mm et être assez grand pour permettre à la surface d'essai de contenir un cercle de glissement de 3 mm de diamètre avec un espace de 1 mm au

minimum entre l'extérieur du cercle et le bord de la zone revêtue. Les surfaces du disque doivent être planes et parallèles à 0,02 mm près, comme spécifié dans l'ISO 1101. La rugosité de la surface d'essai ne doit pas être supérieure à 0,02  $\mu\text{m}$   $Ra$ , comme spécifié dans l'ISO 4287. Il est recommandé d'utiliser le symbole « $Ra$ » pour représenter la rugosité. Il convient que la valeur  $Rpk$  de la rugosité de surface soit mesurée et consignée dans le rapport d'essai. Lorsqu'il est nécessaire d'utiliser de tels symboles pour d'autres paramètres, ceux-ci doivent être également spécifiés.

## 5 Appareillage

**5.1** L'appareillage de la méthode d'essai «bille sur disque» doit comprendre les éléments suivants:

- le porte-disque, pour la fixation d'un disque d'essai;
- le système d'entraînement, pour la rotation du disque;
- le porte-bille, pour la préhension d'une bille d'essai;
- le mécanisme de chargement, pour presser la bille d'essai contre le disque d'essai;
- l'équipement, pour mesurer la force de frottement et l'usure linéaire;
- l'équipement, pour contrôler l'atmosphère d'essai;
- les dispositifs auxiliaires pour les équipements ci-dessus.

**5.2** Le porte-disque doit tourner dans un plan horizontal ou vertical. L'excentricité de l'axe de rotation doit être inférieure à 0,02 mm et la fluctuation au niveau du point de contact dans la direction perpendiculaire au disque doit être inférieure à 0,02 mm.

**5.3** Le système d'entraînement doit permettre d'assurer une vitesse de glissement contrôlable qui est stable sous l'effet des forces de frottement générées. Le système d'entraînement doit être muni d'un compte-tours ou d'un dispositif équivalent.

**5.4** Le porte-bille doit retenir fermement la bille d'essai et présenter une rigidité élevée par rapport à la contrainte générée au point de contact avec le disque d'essai.

**5.5** Le mécanisme de chargement doit appliquer une charge contrôlée au porte-bille directement ou par l'intermédiaire d'un dispositif à levier lesté d'une masse ou par un système hydraulique ou pneumatique.

**5.6** La force de frottement doit être mesurée à l'aide d'un dispositif tel qu'un capteur d'effort, un dispositif de mesure de déformation de ressort à lame ou un dispositif de mesure de couple de rotation. Il convient que la mesure n'ait pas d'incidence sur la condition de frottement. La précision de la mesure du frottement doit être équivalente à  $\pm 1$  % ou mieux de la charge appliquée. L'utilisation d'un dispositif de mesure de l'usure linéaire est facultative, mais si un tel dispositif est prévu, il convient qu'il ait une sensibilité de 2,5  $\mu\text{m}$  ou mieux.

**5.7** L'atmosphère d'essai doit être contrôlée, avec une température égale à la température de consigne  $\pm 2$  °C et une humidité relative égale à 50 %  $\pm$  10 %. En variante, l'appareillage d'essai entier peut être placé dans une salle où les conditions sont contrôlées selon les limites indiquées ci-dessus.

**5.8** Si la spécification de l'appareillage d'essai est différente de celle indiquée ci-dessus, elle doit être décrite dans le rapport d'essai.

**5.9** Le micromètre doit permettre d'effectuer des mesures telles que spécifiées dans l'ISO 3611, ou des mesures équivalentes, voire meilleures.

5.10 Le pied à coulisse doit comporter une échelle à vernier graduée tous les 0,05 mm ou 0,02 mm comme spécifié dans l'ISO 13385-1.

5.11 Le microscope à micromètre utilisé doit permettre d'effectuer des lectures à 0,01 mm près.

5.5 Le profilomètre à palpeur doit être tel que spécifié dans l'ISO 3274, ou de précision au moins égale.

## 6 Mode opératoire d'essai

### 6.1 Traitement de l'éprouvette avant essai

Laver les éprouvettes aux ultrasons dans de l'acétone ou de l'hexane de grande pureté, pendant 10 min ou plus, avec la surface d'essai orientée vers le bas s'il s'agit d'un disque d'essai. Sans leur laisser le temps de sécher, il convient de rincer les éprouvettes avec de l'hexane de grande pureté puis de les mettre à sécher pendant 30 min ou plus dans une étuve réglée à 120 °C. Il est possible de remplacer l'acétone et/ou l'hexane par d'autres solvants ou de l'eau déionisée si, à la fin de la procédure, on obtient des surfaces d'éprouvettes propres. Les éprouvettes doivent être conservées dans la même atmosphère que celle utilisée pour l'appareillage d'essai d'usure, jusqu'au moment de leur utilisation.

### 6.2 Préparation de l'essai d'usure

Fixer fermement la bille d'essai et le disque d'essai dans leur porte-éprouvette respectif et les amener doucement en contact, puis appliquer la charge requise. Après avoir laissé l'atmosphère d'essai se stabiliser pendant au moins 30 min, démarrer l'essai en faisant tourner le disque à la vitesse requise.

### 6.3 Conditions d'essai pour l'essai de frottement

Les conditions d'essai recommandées pour mesurer uniquement le coefficient de frottement sont énumérées ci-dessous.

- a) Charge appliquée: 3 N.
- b) Vitesse de glissement: 0,05 m/s.
- c) Distance de glissement: 200 m.
- d) Atmosphère d'essai: air à température ambiante; il convient que l'atmosphère soit contrôlée, avec une température maintenue constante à  $\pm 2$  °C près et une humidité relative maintenue à  $50\% \pm 10\%$ .

Il convient également que les autres conditions d'essai indiquées précédemment soient respectées.

### 6.4 Conditions d'essai pour l'essai de frottement et d'usure

Les conditions d'essai recommandées sont énumérées ci-dessous, mais il est possible de les modifier afin de s'adapter aux exigences particulières du procédé de mesurage. Toutes les conditions d'essai doivent être décrites dans le rapport d'essai.

- a) Charge appliquée: 5 N.
- b) Vitesse de glissement: 0,1 m/s.

Le diamètre du cercle de glissement doit être d'au moins 3 mm et il convient de déterminer la vitesse de rotation du porte-disque selon l'équation  $v_r = v / 2\pi R$ .

où

- $v_r$  est la vitesse de rotation, en nombres de tours par seconde ( $s^{-1}$ );  
 $v$  est la vitesse de glissement, en mètres par seconde;  
 $R$  est le rayon du cercle de glissement, en mètres.

c) Distance de glissement: 1 000 m.

d) Atmosphère d'essai: air à température ambiante; il convient que l'atmosphère soit contrôlée, avec une température maintenue constante à  $\pm 2$  °C près et une humidité relative maintenue à  $50\% \pm 10\%$ .

## 6.5 Mesure de la force de frottement

Mesurer la force de frottement en permanence durant l'essai et consigner sa valeur à l'aide d'un enregistreur de données ou d'un autre dispositif d'enregistrement. Il est nécessaire d'utiliser tout système approprié pour déterminer la fluctuation moyenne en fonction de la période de rotation. Avant de démarrer l'essai, il convient de vérifier le zéro du dispositif de mesure de la force de frottement, alors que les éprouvettes ne sont pas en contact l'une avec l'autre.

## 6.6 Mesure de la trace d'usure sur la bille d'essai

À l'issue de l'essai, on observe, sur la bille d'essai, une trace approximativement circulaire telle qu'illustrée sur la [Figure 1](#). À l'aide du microscope à micromètre ([5.11](#)), mesurer le diamètre minimal,  $A$ , ainsi que le diamètre,  $B$ , dans une direction perpendiculaire à celui-ci.

Le centre de cette trace peut être mesuré en utilisant la méthode des trois points avec le bord de la trace. Si les bords de la trace sont très irréguliers, la disposition des points doit être présentée dans le rapport.

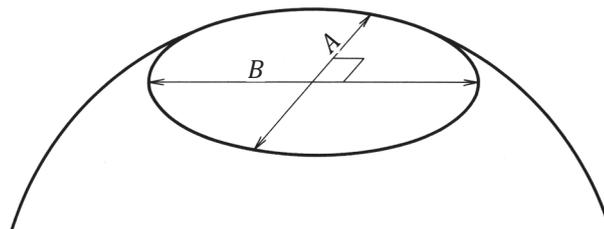
ISO 18535:2016

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b49f181c-119b-4440-b5ca-](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b49f181c-119b-4440-b5ca-39b610b7ee16/iso-18535-2016)

[39b610b7ee16/iso-18535-2016](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b49f181c-119b-4440-b5ca-39b610b7ee16/iso-18535-2016)

## 6.7 Mesure de la trace d'usure sur le disque d'essai

À l'issue de l'essai, on observe, sur le disque d'essai, une trace d'usure telle qu'illustrée sur la [Figure 2](#). À l'aide d'un profilomètre à palpeur ([5.12](#)) ou d'un instrument similaire, mesurer le profil transversal de la trace d'usure en quatre endroits ( $S1$  à  $S4$ ), à intervalles de  $90^\circ$ , puis calculer l'aire de la section transversale de la trace d'usure dans chacun des quatre endroits.



### Légende

- $A$  diamètre minimal  
 $B$  diamètre perpendiculaire

**Figure 1 — Mesure de la trace d'usure sur la bille d'essai**