

NORME
INTERNATIONALE

ISO
7905-1

Première édition
1995-02-01

Paliers lisses — Fatigue des paliers —

Partie 1:

Paliers dans les machines d'essai et dans les applications en lubrification hydrodynamique

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 7905-1:1995

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/950001995/iso-7905-1-1995> ~~—~~ 4880-a931-

Part 1: Plain bearings in test rigs and in applications under conditions of hydrodynamic lubrication



Numéro de référence
ISO 7905-1:1995(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 7905-1 a été élaborée par le comité techniques ISO/TC 123, *Paliers lisses*, sous-comité SC 2, *Matériaux et lubrifiants, leurs propriétés, caractéristiques, méthodes d'essais et conditions d'essais*.

ISO 7905-1:1995

L'ISO 7905 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Paliers lisses — Fatigue des paliers*:

- *Partie 1: Paliers dans les machines d'essai et dans les applications en lubrification hydrodynamique*
- *Partie 2: Essai d'éprouvettes cylindriques en matériau antifriction métallique*
- *Partie 3: Essai sur éprouvettes plates en matériau antifriction métallique multicouche*
- *Partie 4: Essai sur demi-coussinets en matériau antifriction métallique multicouche*

L'annexe A fait partie intégrante de la présente partie de l'ISO 7905. L'annexe B est donnée uniquement à titre d'information.

© ISO 1995

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

Version française tirée en 1996

Imprimé en Suisse

Paliers lisses — Fatigue des paliers —

Partie 1:

Paliers dans les machines d'essai et dans les applications en lubrification hydrodynamique

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 7905 décrit une méthode permettant d'améliorer les capacités de comparaison des résultats d'essai en évaluant les contraintes entraînant une fatigue auxquelles sont soumises les couches des paliers, (voir annexe A). Une évaluation similaire est également nécessaire dans les applications pratiques. Les contraintes sont dues à l'accumulation de pression dans le film hydrodynamique; par conséquent, il est essentiel de stipuler précisément les conditions de fonctionnement et de lubrification. Outre les charges dynamiques, les caractéristiques dimensionnelles et de fonctionnement, l'inclusion des éléments suivants permet de définir avec exactitude le système de fatigue:

- a) dans des conditions de charge dynamique, l'épaisseur minimale du film d'huile dans le palier, en fonction du temps et du lieu, afin d'éviter toute surchauffe locale excessive ou cisaillement dus à une lubrification mixte lors du rodage;
- b) la répartition dans le temps de la pression dans le sens périphérique et axial dans des conditions de charge dynamique;
- c) à partir de ces éléments, les contraintes en résultant dans les couches de palier, en fonction du temps et du lieu, en particulier la contrainte alternée maximale.

D'autre part, la fatigue des paliers peut être affectée par une lubrification mixte, l'usure, la saleté, des réactions tribochimiques et autres effets dus à l'utilisation, ce qui aggrave le problème. La présente partie de l'ISO 7905 se limite donc à la fatigue pour une séparation hydrodynamique complète des surfaces de paliers par un film d'huile.

La présente partie de l'ISO 7905 s'applique aux paliers lisses cylindriques lubrifiés à l'huile, dans les machines d'essai et dans les applications en lubrification hydrodynamique. Elle englobe la charge dynamique dans les paliers bimétalliques et multicouches.

NOTE 1 Le nombre d'applications pratiques aux différentes exigences a conduit au développement de nombreuses machines d'essai de paliers. Si les conditions de lubrification employées sur ces machines d'essai ne sont pas définies dans le détail, les résultats des essais effectués sur différentes machines ne sont généralement ni comparables ni exploitables dans la pratique. Des machines d'essai différentes peuvent mener à diverses évaluations pour des matériaux semblables.

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 7905. 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 7905 sont invitées 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 468:1982, *Rugosité de surface — Paramètres, leurs valeurs et les règles générales de la détermination des spécifications.*

ISO 7902-1:—¹⁾, *Paliers lisses hydrodynamiques radiaux fonctionnant en régime stabilisé — Paliers circulaires cylindriques — Partie 1: Méthode de calcul.*

ISO 7902-2:—¹⁾, *Paliers lisses hydrodynamiques radiaux fonctionnant en régime stabilisé — Paliers circulaires cylindriques — Partie 2: Fonctions utilisées pour le calcul.*

ISO 7902-3:—¹⁾, *Paliers lisses hydrodynamiques radiaux fonctionnant en régime stabilisé — Paliers circulaires cylindriques — Partie 3: Paramètres opérationnels admissibles.*

3 Objectif des essais

Dans la présente partie de l'ISO 7905, l'objectif des essais effectués au moyen de machines d'essai de paliers lisses, travaillant dans des conditions de lubrification purement hydrodynamique, est de mesurer la capacité de charge dynamique, par exemple la limite d'endurance à la fatigue du matériau antifriction, en termes d'amplitude de contrainte et de nombre de cycles. Ceci peut être présenté comme une courbe $\sigma_{el}-N$ (contrainte limite d'endurance, reportée en fonction d'un nombre de cycles), ou comme la contrainte limite d'endurance pour un nombre particulier de cycles. L'endurance limite est atteinte lorsque des fissures apparaissent à la surface du palier.

Actuellement, pour une bonne compréhension, la limitation à la lubrification purement hydrodynamique est une simplification nécessaire du problème de fatigue. Cela implique que le rodage essentiel du palier soumis à l'essai soit soigneusement contrôlé afin d'éviter qu'une température excessive et un cisaillement par friction n'entraînent des microfissures superficielles.

ISO 7905-1:1995

NOTE 2 Il convient de noter que les essais de fatigue effectués sur les matériaux antifriction peuvent également être effectués par l'emploi de méthodes d'essai plus classiques. Voir parties 2 à 4 de l'ISO 7905.

4 Prescriptions

4.1 Machines d'essai

Pour définir les conditions opératoires et de lubrification, la machine d'essai doit comprendre les caractéristiques suivantes:

- construction mécanique simple et claire;
- démontage facile, de préférence avec possibilité d'inspection du palier in situ;
- stabilité dimensionnelle du palier soumis aux essais ainsi que résistance à la déformation du logement et à la flexion de l'arbre;
- alimentation suffisante en lubrifiant n'affectant pas la montée en pression du film d'huile;
- capacité de dépasser la plage totale de charge/contrainte et de température rencontrées dans la pratique.

4.2 Méthodes d'essai

Les méthodes d'essai doivent comprendre les caractéristiques suivantes:

- capacité d'appliquer des techniques de mesurage spécialisées pour l'épaisseur du film d'huile, la température du lubrifiant, la répartition de la pression et les débris de désintégration après fissure; dans ce dernier cas, ces

1) À publier.

techniques comprennent le mesurage de l'usure en continu par radionucléides ou l'analyse par fluorescence X d'échantillons de lubrifiant prélevés par intermittence;

- b) des conditions hydrodynamiques expérimentalement vérifiées et bien définies sont essentielles (par exemple la vérification de la viscosité effective, indiquant le comportement hydrodynamique);
- c) distinction claire entre lubrification mixte au cours du rodage et lubrification hydrodynamique pendant les essais de fatigue;
- d) la mise sous contrainte du palier doit se faire de manière aussi uniforme que possible (charge tournante) afin de détecter les irrégularités du matériau antifriction;
- e) conditions hydrodynamiques simples, reproductibles dans la théorie comme dans la pratique (par exemple une charge tournante génère un film hydrodynamique et une répartition de la pression égale à une charge statique).

5 Méthodes d'essai

Afin d'assurer la compatibilité des résultats d'essai obtenus sur différentes machines d'essai et de permettre l'exploitation pratique de ces résultats, tous les paramètres régissant le film d'huile hydrodynamique doivent être détaillés, à savoir les conditions d'essai, les dimensions du palier, le lubrifiant et autres facteurs influençant le film d'huile hydrodynamique. Les points suivants constituent les conditions et paramètres caractéristiques essentiels pour les essais de fatigue.

5.1 Conditions caractéristiques

5.1.1 Technique de rodage effectif

Cette technique est conçue pour éviter les températures excessives et les contraintes de cisaillement dues au frottement avec d'importantes aspérités. Le déroulement du rodage peut être surveillé par des mesurages de la température, de la résistance électrique, de l'impédance ou par des mesurages continus par radionucléides. Il convient de considérer que h_0 doit être au départ supérieur à $(R_{z,b} + R_{z,s})$, où h_0 est égal à l'épaisseur minimale du film d'huile déterminée par mesurage ou par calcul conformément aux parties 1 à 3 de l'ISO 7902, et que $R_{z,b}$ et $R_{z,s}$ correspondent à la hauteur des irrégularités du profil sur dix points du palier et de la surface d'appui respectivement, conformément à l'ISO 468. Un polissage effectué pendant la période de rodage permettra de réduire la valeur de h_0 ; toutefois, pendant les essais de fatigue, cette valeur ne doit pas être inférieure à la valeur initiale de $R_{z,s}$. La technique de rodage réduit progressivement l'épaisseur minimale du film d'huile, en réduisant la viscosité de l'huile par une augmentation de la température, et en augmentant progressivement la charge. La valeur des incréments de charge doit être contrôlée par une réduction des pointes de température, une indication de l'usure excessive par radionucléides, ou une durée excessive de la résistance de contact électrique nulle.

NOTE 3 En ce qui concerne le contrôle de la résistance de contact électrique, le palier est isolé électriquement de la machine d'essai. Il convient que le schéma électrique prévoie la surveillance d'une différence de potentiel de 10 mV entre l'arbre et le palier, en un point d'alimentation comportant une résistance interne de 100 Ω qui tombe à 0,01 mV pendant le frottement avec les aspérités. Il convient de régler les incréments de charge de manière à minimiser la durée de ce frottement.

5.1.2 Capacité d'empêcher les écarts dans la géométrie des éléments structurels de l'ensemble du palier lisse

Ceci pour éviter que les résultats n'en soient affectés et leur capacité de transfert réduite. Ces écarts géométriques peuvent inclure une distorsion du logement, une flexion ou un écart d'alignement de l'arbre et des marques de frottement irrégulières sur la surface du palier lisse.

5.1.3 Températures effectives du palier et du film hydrodynamique

Elles représentent l'uniformité de la répartition de la température. En outre, les températures d'arrivée d'huile et de projection dans la zone de charge principale et sur les surfaces principale et secondaire du palier doivent être mesurées.

5.1.4 Amplitude et direction de la charge dynamique en fonction du temps

Elles sont la base de l'évaluation de la répartition de la pression dans le sens périphérique et axial, en fonction du temps et de l'emplacement à la surface du palier. En outre, il est possible d'utiliser le mesurage de la répartition de la pression. L'une ou l'autre de ces méthodes peut être utilisée pour évaluer les contraintes dynamiques sur chaque couche du palier afin de détecter l'emplacement sur la surface soumis à la contrainte la plus importante, en termes de contraintes moyenne et alternée à la limite d'endurance.

NOTE 4 Pour ne pas affecter le développement du film hydrodynamique ni la contrainte par des jauges, le mesurage de la pression peut être effectué au moyen de techniques de dépôts par évaporation d'un film de métal fin. Il convient d'effectuer préalablement ce mesurage dans les mêmes conditions et non pendant le mode opératoire d'essai de fatigue.

5.1.5 Nombre de cycles de charge nécessaire à la première altération due à la fatigue

Il convient que cette altération soit sous forme d'une ou plusieurs fissures (de longueur supérieure à 5 mm) ou de rupture du matériau de garnissage du palier. Normalement, les essais sur les courbes $\sigma_{a1}-N$ s'achèvent, pour des raisons pratiques, à 50×10^6 cycles de contrainte. La contrainte limite d'endurance peut être indiquée pour un nombre spécifique de cycles, par exemple 3×10^6 , 10×10^6 , 25×10^6 ou 50×10^6 . Il convient d'identifier dans le rapport toute éprouvette ne présentant aucune défaillance pendant les essais de fatigue, pour une endurance spécifiée. En raison de la diversité des résultats d'essai obtenus normalement dans la pratique et de la nature statistique de la limite de fatigue, il est recommandé d'évaluer les résultats sur la base de méthodes statistiques.

5.2 Information caractéristique

Si l'évaluation des résultats d'essai jusqu'à la contrainte limite d'endurance à températures fixes, contrôlées à ± 2 °C, n'est pas réalisée par le chercheur lui-même, il est nécessaire d'indiquer de manière exhaustive les informations ci-dessous. Si le matériau antifriction est soumis à des modifications pendant les essais (par exemple diffusion ou procédé similaire), il convient de l'indiquer et de le documenter en tant qu'information supplémentaire (par exemple rapport métallurgique). Les informations sont subdivisées de telle manière que les prescriptions de données peuvent être réduites en fonction du degré de précision de l'évaluation du résultat final, à savoir les contraintes limites d'endurance.

[ISO 7905-1:1995](http://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/b5fcb6d4-9c9f-4880-a931-731957353991/iso-7905-1-1995)

5.2.1 Description de la machine d'essai

Il convient d'y inclure la désignation, la construction, les principes de charge, les limites de conception, l'alimentation en lubrifiant, y compris le matériel auxiliaire et la méthode et les dispositifs de mesurage.

5.2.2 Description du palier d'essai

Il convient d'y inclure les dimensions suivantes: celles du palier, y compris l'épaisseur des différentes couches, les dimensions radiale et axiale du logement du palier, le jeu, en particulier dans des conditions d'essai, ainsi que les paramètres de rugosité de surface. De plus, il convient de fournir la désignation du matériau en incluant la composition chimique, les procédés de fabrication, le traitement thermique et les données de résistance statique, y compris le module de Young et le coefficient de Poisson.

5.2.3 Description du tourillon d'essai

Il convient d'y inclure les dimensions, les paramètres de rugosité de surface, la dureté et, si elles sont évidentes, les valeurs de flèche et d'écart d'alignement.

5.2.4 Détails particuliers de la charge d'essai

Il convient d'y inclure l'amplitude et le sens, en fonction du temps, la fréquence et la vitesse de l'arbre, que ce soit pendant le rodage ou les essais de fatigue, ainsi que la durée de l'essai.

5.2.5 Description du lubrifiant et de l'alimentation

Il convient d'y inclure les informations suivantes: type de lubrifiant; rapports viscosité-température et masse volumique-température; pression d'alimentation; dimensions détaillées et emplacement des trous (ou rainures) d'alimentation; débit.

5.2.6 Description des températures d'essai

Il convient d'y inclure la température globale du film, la température du film à l'arrivée et à la projection, ainsi que la température représentative du palier à proximité de la zone endommagée, aussi près que possible de la surface sans gêner le développement de la pression dans le film.

Toutes les descriptions ci-dessus sont nécessaires pour évaluer l'état hydrodynamique du palier soumis aux essais. Si cet état est évalué, les informations nécessaires se limitent aux suivantes, ainsi qu'aux données concernant la température du matériau antifriction.

5.2.7 Description de l'épaisseur du film d'essai

Il convient d'y inclure la variation de cette épaisseur en fonction du temps et de l'emplacement dans le palier, ainsi que l'épaisseur minimale du film se rapportant aux données sur la rugosité, pendant le rodage et les essais de fatigue.

5.2.8 Description de la pression dans le film d'essai

Il convient d'y inclure la répartition de la pression dans le film de lubrifiant ainsi que sa variation en fonction du temps et de l'emplacement, par rapport à la surface du palier, de manière aussi détaillée que les gradients de pression sont indiqués avec suffisamment de précision.

5.2.9 Description des contraintes dynamiques de l'essai

Il convient d'y inclure la répartition en fonction du temps et l'emplacement par rapport à la surface du palier, afin de déterminer l'emplacement de la contrainte de fatigue maximale à partir des contraintes moyenne et alternée à la limite d'endurance.

Les résultats peuvent être comparés aux données extraites d'autres méthodes d'essai mécanique (voir parties 2 à 4 de l'ISO 7905) au moyen du diagramme de Haigh qui reporte l'amplitude de contrainte en fonction de la contrainte moyenne.

5.2.10 Autres résultats d'essai

Il convient d'y inclure une description de l'altération, l'emplacement et l'étendue des fissures, l'absence ou la présence d'usure ou d'éraflure, ainsi que les résultats de tout examen métallurgique. Si une usure quantifiable est détectée, c'est-à-dire davantage qu'un simple polissage, alors qu'aucune rupture du matériau de garnissage n'est apparue, il faut conclure que l'épaisseur du film d'huile ne convient pas et que les conditions d'essai doivent être modifiées afin d'éviter toute usure.

6 Évaluation de la contrainte dans les matériaux antifriction

L'évaluation de la contrainte se rapportant à la fatigue est plus simple si les conditions hydrodynamiques peuvent être facilement reproduites. La condition de charge dynamique la plus simple est celle d'une rotation pure représentée par un arbre chargé de masses déséquilibrées afin de réduire la flèche de l'arbre. Le film hydrodynamique représente une séparation véritable, définie de manière précise par le calcul. Si des hypothèses permises sont appliquées, telles que: un palier cylindrique; aucun écart d'alignement significatif ou déformation; une alimentation optimale en huile avec un développement constant de la pression dans le film, un rapport fixe entre les dimensions du logement, le module de Young et le coefficient de Poisson; une prédétermination des contraintes moyenne et alternée représentatives pour des valeurs fixes du nombre de Sommerfeld et des rapports de largeur de palier est possible (voir annexe A).

Afin d'entraîner une altération par fatigue dans un matériau de résistance élevée ne présentant ni usure ni grippage, il est nécessaire de choisir des caractéristiques hydrodynamiques (jeu, viscosité du lubrifiant et très faible rugosité de surface) garantissant une épaisseur de film minimale suffisante pour empêcher le contact métallique. Il peut également être possible de réaliser une détermination similaire sur des machines d'essai exerçant une charge sinusoïdale pure unidirectionnelle.

Annexe A (normative)

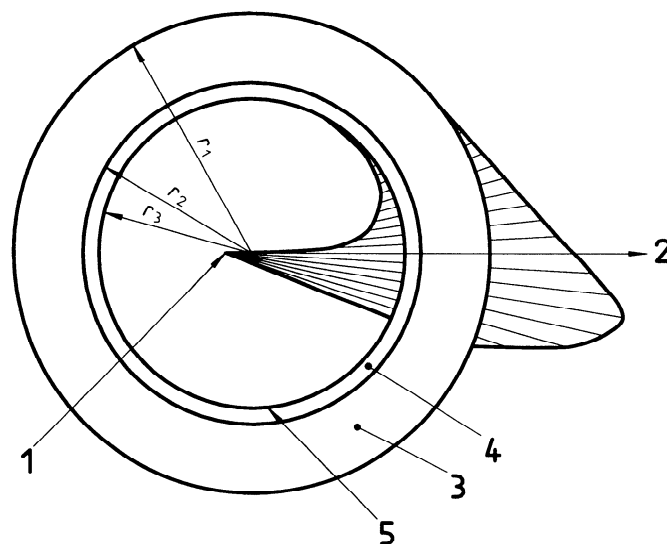
Évaluation de contrainte

A.1 Évaluation des contraintes de fatigue

La recherche et l'expérience pratique ont montré que la fatigue débutait par des fissures axiales dans les paliers cylindriques en raison de contraintes tangentielles alternées. Il est probable que les contraintes varient dans un plan axial aussi bien que circonférentiel; toutefois, en l'absence d'une solution tridimensionnelle totale, l'évaluation des contraintes tangentielles peut être réalisée sur le plan médian du palier, c'est-à-dire bidimensionnelle.

En cas de charge dynamique variant non seulement en fonction du temps mais également en fonction de l'emplacement sur la surface, les différentes pressions s'exerçant sur le film en fonction du temps et de l'emplacement génèrent des contraintes tangentielles dans les couches du palier. Dans le but d'évaluer la répartition des contraintes résultant de la dispersion de pression momentanée dans le plan médian, le palier peut être représenté par un anneau cylindrique comprenant le logement du palier. L'équilibre de la charge par des pressions de réaction du diamètre extérieur se fait en exerçant une pression momentanée sur le film d'huile sur le diamètre de roulement intérieur.

Le modèle d'anneau peut être traité comme différentes couches de matériau. L'emploi de ce système permet d'évaluer les contraintes tangentielles au moyen de diverses solutions. Il s'agit de la fonction de contrainte d'Airy [équation (A.1) ou (A.2)], et des méthodes analytiques [équation (A.3), (A.4), (A.5), (A.6) et (A.7)] incluant une simplification très exacte pour les revêtements très fins. D'autres méthodes peuvent être développées au moyen de méthodes d'analyse de contrainte comme les techniques dites des élément finis et des limites. Le calcul des contraintes doit être appliqué dans une subdivision adéquate de la circonférence du palier et du cycle de charge, afin d'évaluer les contraintes moyenne et alternée en des emplacements circonférentiels suffisants. Leur amplitude maximale sera responsable de la fatigue.



- 1 Pression maximale dans le film d'huile
- 2 Direction de la charge
- 3 Anneau 1 (logement et support en acier) E_1, ν_1
- 4 Anneau 2 (couche antifricction/couche intermédiaire) E_2, ν_2
- 5 Anneau 3 (couche de rodage) E_3, ν_3

Figure A.1 — Modèle d'anneau de palier

Il devient ainsi évident que le calcul des contraintes de fatigue, pour une charge tournante pure, est plus simple car une répartition invariable de la pression dans le film tourne autour de la circonférence du palier, et les contraintes en résultant tournent de même dans une répartition fixe. Ainsi, seules la pression et la répartition des contraintes en résultant doivent être évaluées afin de déterminer les amplitudes de compression et de traction au même emplacement circonférentiel pour obtenir les amplitudes des contraintes moyenne et alternée.

A.2 Symboles

Symbole	Définition	Unité
b	largeur du palier	mm
d	diamètre de la surface de roulement, $d = 2r_3$	mm
d_H	diamètre du logement, $d_H = 2r_1$	mm
d_H^*	valeur sans dimension du diamètre extérieur du logement, $d_H^* = d_H/d$	—
$d_{H,0}^*$	valeur sans dimension du diamètre extérieur du logement, valable pour la figure A.3, $d_{H,0}^* = d_H/d = 1,45$	—
E	module de Young	Pa
E^*	module de Young sans dimension, $E^* = E_2/E_{2,0}$	—
E_1	module de Young, logement et support en acier	Pa
E_2	module de Young, couche antifriction	MPa
$E_{2,0}$	module de Young pour la figure A.3, $E_{2,0} = 63 \times 10^3$	MPa
$E_{3,0}$	module de Young, couche de rodage, $E_{3,0} = 20 \times 10^3$	MPa
h_0	épaisseur initiale minimale du film de lubrifiant	mm
K_H	facteur de correction pour d'autres dimensions de logement, d_H/d n'est pas égal à 1,45 ¹⁾ (voir figure A.5)	—
K_2	facteur de correction pour d'autres épaisseurs de couche antifriction, $s_{2,0}^* = s_2/d$ n'est pas égal à 0,004 7 ¹⁾ (voir figure A.6)	—
p	charge spécifique	Pa
R_z	rugosité de surface (hauteur des irrégularités du profil-sur dix points)	—
R^*	rapport de contrainte, $R^* = \sigma_{\min}/\sigma_{\max}$	—
R_2^*	rapport de contrainte, couche antifriction	—
R_3^*	rapport de contrainte, couche de rodage	—
r_1	rayon extérieur de l'anneau (logement et support en acier)	mm
r_2	rayon de l'interface entre le support et la couche antifriction	mm
r_3	rayon de la surface de roulement (épaisseur de la couche de rodage peu importante)	mm
S_o	nombre de Sommerfeld	—
s_2	épaisseur de la couche antifriction	mm
s_2^*	valeur sans dimension de l'épaisseur de la couche antifriction, $s_2^* = s_2/d$	—
$s_{2,0}^*$	valeur sans dimension de l'épaisseur de la couche antifriction, valable pour la figure A.3, $s_{2,0}^* = s_2/d = 0,004 7$	—
η_{eff}	viscosité effective	Pa s
ν	coefficient de Poisson	—
ν_1	coefficient de Poisson, logement et support en acier	—
ν_2	coefficient de Poisson, valable pour la figure A.3 (toutes les couches antifriction, $\nu_2 = 0,34$)	—
ν_3	coefficient de Poisson, valable pour la figure A.4 (toutes les couches de rodage, $\nu_3 = 0,33$)	—
σ	contrainte	Pa
$\bar{\sigma}$	contrainte moyenne	Pa
σ^*	valeur sans dimension de la contrainte, $\sigma^* = \sigma/p$	—