
**Roulements — Notes explicatives sur
l'ISO 281 —**

Partie 2:

**Calcul modifié de la durée nominale de
base fondé sur une approche système de
la fatigue**

iTeh STANDARD PREVIEW

(standards.iteh.ai)

Rolling bearings — Explanatory notes on ISO 281 —

*Part 2: Modified rating life calculation, based on a systems approach to
fatigue stresses*

ISO/TR 1281-2:2008

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/fb76a2a5-5909-4b86-8912-06028056d2f9/iso-tr-1281-2-2008>



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/TR 1281-2:2008

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/fb76a2a5-5909-4b86-8912-06028056d2f9/iso-tr-1281-2-2008>



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
Web www.iso.org

Version française parue en 2009

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos.....	v
Introduction	vi
1 Domaine d'application.....	1
2 Références normatives	1
3 Symboles	2
4 Facteur de correction de la durée de vie en fonction de la fiabilité, a_1	3
4.1 Généralités	3
4.2 Calcul du facteur de correction de durée de vie en fonction de la fiabilité	4
5 Préalables au facteur de correction de durée de vie, a_{ISO}	7
5.1 Généralités	7
5.2 Facteur de lubrification, η_b	8
5.3 Facteur de contamination, η_c	11
5.4 Résultats expérimentaux	15
5.5 Conclusions	19
5.6 Application pratique du facteur de contamination conformément à l'Équation (19.a) de la Référence [5]	20
5.7 Différence entre les facteurs de correction de durée de vie dans la Référence [5] et l'ISO 281	26
6 Contexte relatif aux classes des codes de propreté de l'ISO 4406 ^[3] utilisées en A.4 et A.5 de l'ISO 281	26
6.1 Généralités	26
6.2 Huile filtrée en ligne	29
6.3 Bain d'huile.....	29
6.4 Facteur de contamination pour la lubrification par brouillard d'huile	29
7 Influence de l'usure	30
7.1 Définition générale.....	30
7.2 Abrasion	30
7.3 Usure légère	30
7.4 Influence de l'usure sur la durée de vie en fatigue	30
7.5 Usure avec légère influence sur la durée de vie en fatigue	31
7.6 Usure d'adhérence.....	32
8 Influence d'un environnement corrosif sur la durée de vie du roulement	33
8.1 Généralités	33
8.2 Réduction de la durée de vie par l'hydrogène	33
8.3 Corrosion.....	35
9 Limite de charge de fatigue d'un roulement complet	38
9.1 Influence de la taille du roulement.....	38
9.2 Expression de la limite de charge de fatigue divisée par la charge nominale statique de base pour calculer la limite de charge de fatigue pour des roulements à rouleaux	40
10 Influence de la contrainte circonférentielle, de la température et de la dureté des particules sur la durée de vie des roulements	42
10.1 Contrainte circonférentielle	42
10.2 Température	43
10.3 Dureté des particules de contamination	43
11 Relation entre κ et Λ	44
11.1 Rapport de viscosité κ	44

11.2	Rapport entre l'épaisseur du film d'huile et la rugosité de la surface composite, λ	44
11.3	Calcul théorique de λ	45
Bibliographie		48

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 1281-2:2008](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/fb76a2a5-5909-4b86-8912-06028056d2f9/iso-tr-1281-2-2008)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/fb76a2a5-5909-4b86-8912-06028056d2f9/iso-tr-1281-2-2008>

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.

Exceptionnellement, lorsqu'un comité technique a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales (ceci pouvant comprendre des informations sur l'état de la technique par exemple), il peut décider, à la majorité simple de ses membres, de publier un Rapport technique. Les Rapports techniques sont de nature purement informative et ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données fournies ne soient plus jugées valables ou utiles.

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.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/fb76a2a5-5909-4b86-8912-060289764249/iso-tr-1281-2-2008>

L'ISO/TR 1281-2 a été élaboré par le comité technique ISO/TC 4, *Roulements*, sous-comité SC 8, *Charges de base et durée*.

Cette première édition de l'ISO/TR 1281-2, conjointement avec la première édition de l'ISO/TR 1281-1, annule et remplace la première édition de l'ISO/TR 8646:1985, qui a fait l'objet d'une révision technique.

L'ISO/TR 1281 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Roulements — Notes explicatives sur l'ISO 281*:

— *Partie 1: Charge dynamique de base et durée nominale de base*

— *Partie 2: Calcul modifié de la durée nominale de base fondé sur une approche système de la fatigue*

Introduction

Depuis la publication de l'ISO 281:1990 ^[25], des connaissances supplémentaires ont été acquises en ce qui concerne l'influence sur la durée de vie des roulements de la contamination, de la lubrification, de la limite de charge de fatigue du matériau, des contraintes internes dues au montage, des contraintes dues à la trempe, etc. Il est donc maintenant possible de prendre en compte de façon plus complète les facteurs qui ont une incidence sur la charge de fatigue.

La méthode de réalisation a été initialement présentée dans l'ISO 281:1990/Amd.2:2000, qui spécifiait comment mettre en pratique de manière cohérente les nouvelles connaissances complémentaires dans l'équation de la durée de vie. Cette méthode avait cependant l'inconvénient de ne présenter l'influence de la contamination et de la lubrification que d'une manière générale. L'ISO 281:2007 incorpore cet amendement et fournit une méthode pratique permettant de prendre en compte l'influence sur la durée de vie des roulements de l'état de la lubrification, de la contamination du lubrifiant et de la charge de fatigue du matériau du roulement.

Dans la présente partie de l'ISO/TR 1281, la documentation de base utilisée lors de la préparation de l'ISO 281:2007 est rassemblée à titre d'information pour les utilisateurs et pour garantir sa disponibilité lorsque l'ISO 281 sera révisée.

Pendant de nombreuses années, l'utilisation de la durée nominale de base, L_{10} , comme critère de performance des roulements s'est révélée satisfaisante. Cette durée de vie est associée à une fiabilité de 90 %, à une haute qualité de matériau communément utilisé à une bonne qualité de fabrication et à des conditions de fonctionnement conventionnelles.

Cependant, pour de nombreuses applications, il est devenu souhaitable de calculer la durée de vie pour un niveau de fiabilité différent et/ou pour un calcul plus précis de la durée de vie dans des conditions de lubrification et de contamination spécifiées. Avec des aciers modernes et de haute qualité pour roulements, il a été constaté que, dans des conditions de fonctionnement favorables et au-dessous d'une certaine contrainte de contact de Hertz, il était possible d'obtenir des durées de vie de roulement très longues, en comparaison de la durée de vie L_{10} , à condition de ne pas dépasser la limite de fatigue de l'acier du roulement. Par ailleurs, des durées de vie du roulement plus courtes que la durée L_{10} peuvent être obtenues dans des conditions de fonctionnement défavorables.

Une approche systémique du calcul de la durée de vie liée à la fatigue a été utilisée dans l'ISO 281:2007. La méthode pour le calcul de la durée de vie prend en compte l'influence des variations et des interactions des facteurs qui conduisent à des surcontraintes dans les contacts et en profondeur dans les éléments roulants.

Roulements — Notes explicatives sur l'ISO 281 —

Partie 2:

Calcul modifié de la durée nominale de base fondé sur une approche système de la fatigue

1 Domaine d'application

L'ISO 281:2007 introduisait un facteur de correction de durée de vie, a_{ISO} , fondé sur une approche systémique du calcul de la durée de vie en complément au facteur de correction de fiabilité, a_1 . Ces facteurs sont appliqués à l'équation de durée de vie nominale modifiée

$$L_{mm} = a_1 a_{ISO} L_{10} \quad (1)$$

Le facteur de correction de fiabilité, a_1 , pour une gamme de valeurs de fiabilité est donné dans l'ISO 281:2007, ainsi que la méthode d'évaluation du facteur de correction pour l'approche systémique, a_{ISO} . L_{10} est la durée nominale de base.

La présente partie de l'ISO/TR 1281 fournit la documentation de base supplémentaire concernant l'évaluation de a_1 et de a_{ISO} .

NOTE L'évaluation de a_{ISO} est principalement fondée sur la théorie donnée dans la Référence [5], qui traite également de la théorie élaborée du facteur de contamination e_C et des autres facteurs considérés pour le calcul du facteur a_{ISO} .

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 281:2007, *Roulements — Charges dynamiques de base et durée nominale*

ISO 11171, *Transmissions hydrauliques — Étalonnage des compteurs automatiques de particules en suspension dans les liquides*

3 Symboles

Certains symboles spéciaux sont définis dans l'article ou le paragraphe où ils sont utilisés.

A	constante de mesure dans le calcul de la durée de vie
a_{ISO}	facteur de correction de durée de vie, fondé sur une approche systémique du calcul de la durée de vie
a_{SLF}	facteur de durée de vie lié aux contraintes dans la Référence [5], fondé sur une approche systémique du calcul de la durée de vie (identique au facteur de correction de durée de vie a_{ISO} dans l'ISO 281)
a_1	facteur de correction de la durée de vie en fonction de la fiabilité
C	charge axiale dynamique de base, en newtons
C_u	limite de la charge de fatigue, en newtons
C_0	charge statique de base, en newtons
c	exposant dans l'équation contrainte-durée de vie (dans la Référence [5] et l'ISO 281, $c = 31/3$ est utilisé)
D_{pw}	diamètre primitif (roulement à billes ou à rouleaux), en millimètres
dV	volume d'intégration élémentaire, en millimètres cubes
e	exposant de Weibull (10/9 pour les roulements à bille et 9/8 pour les roulements à rouleaux)
e_C	facteur de contamination
F_r	charge radiale (composante radiale de la charge appliquée), en newtons
L_n	durée de vie, correspondant à n pour-cent de probabilité de défaillance, en millions de tours
L_{nm}	durée nominale modifiée, en millions de tours
L_{we}	longueur de rouleau à utiliser dans les calculs de charges de base, en millimètres
L_{10}	durée nominale de base, en millions de tours
N	nombre de charges cycliques
n	probabilité de défaillance, en pourcentage
P	charge dynamique équivalente, en newtons
P_u	limite de charge de fatigue, en newtons (comme C_u)
Q_{max}	charge maximale d'un élément roulant, en newtons
Q_u	charge de fatigue d'un élément roulant, en newtons
Q_0	charge maximale d'un élément roulant lorsque la charge du roulement est C_0 , en newtons
S	fiabilité (probabilité de survie), en pourcentage

s	facteur d'incertitude
w	exposant dans la relation charge-contrainte (1/3 pour les roulements à bille et 1/2,5 pour les roulements à rouleaux)
x	taille des particules de contamination, en micromètres avec étalonnage ISO 11171
Z	nombre d'éléments roulants par rangée
α	angle nominal de contact, en degrés
β_{cc}	niveau de propreté du lubrifiant (dans la Référence [5] et l'Article 5)
$\beta_{x(c)}$	rapport de filtration pour des particules de contamination de taille x (voir symbole x ci-dessus)
NOTE La désignation (c) signifie que le compteur de particule — pour des particules de taille $x \mu\text{m}$ — doit être un compteur optique automatique de particules isolées (APC [automatic optical single-particle counter]) étalonné conformément à l'ISO 11171.	
η_b	facteur de lubrification
η_c	facteur de contamination (identique au facteur de contamination e_c dans l'ISO 281)
κ	rapport de viscosité, ν/ν_1
λ	rapport entre l'épaisseur du film d'huile et la rugosité de la surface composite
ν	viscosité cinématique réelle à la température de fonctionnement, en millimètres carrés par seconde
ν_1	viscosité cinématique de référence, nécessaire pour obtenir une condition de lubrification adéquate, en millimètres carrés par seconde
τ_i	critère de contrainte de fatigue dans un volume élémentaire, dV , en mégapascals
τ_u	limite de la contrainte de fatigue en cisaillement, en mégapascals

4 Facteur de correction de la durée de vie en fonction de la fiabilité, a_1

4.1 Généralités

Dans le contexte de la durée de vie d'un roulement dans un groupe de roulements apparemment identiques et fonctionnant dans les mêmes conditions, la fiabilité est définie comme le pourcentage du groupe susceptible d'atteindre ou de dépasser une durée de vie déterminée.

La fiabilité d'un roulement considéré isolément est la probabilité d'atteindre ou de dépasser une durée de vie déterminée. La fiabilité peut ainsi être exprimée comme la probabilité de survie. Si cette probabilité est exprimée comme S %, la probabilité de défaillance est $(100 - S)$ %.

La durée de vie des roulements peut être calculée pour différents niveaux de probabilité de défaillance à l'aide du facteur de correction de durée de vie en fonction de la fiabilité, a_1 .

4.2 Calcul du facteur de correction de durée de vie en fonction de la fiabilité

4.2.1 Loi de Weibull à deux paramètres

Les essais d'endurance sur des lots de 10 à 30 roulements et qui impliquent un nombre suffisant de roulements défaillants, peuvent être récapitulés et décrits de manière satisfaisante en utilisant la loi de Weibull à deux paramètres, qui peut être exprimée comme suit:

$$L_n = \eta \left[\ln \left(\frac{100}{S} \right) \right]^{1/e} \quad (2)$$

$$n = 100 - S \quad (3)$$

où

S est la probabilité de survie, en pourcentage;

n est la probabilité de défaillance, en pourcentage;

e est l'exposant de Weibull (à 1,5 lorsque n est inférieur à 10);

η est la durée de vie caractéristique.

Avec la durée de vie L_{10} (correspondant à une probabilité de défaillance de 10 % ou une probabilité de survie de 90 %) utilisée comme référence, L_n/L_{10} peut être écrite à l'aide de l'Équation (2) comme suit:

$$L_n = L_{10} \frac{\left[\ln \left(\frac{100}{S} \right) \right]^{1/e}}{\left[\ln \left(\frac{100}{90} \right) \right]^{1/e}} \quad (4)$$

En incluant le facteur de correction de durée de vie en fonction de la fiabilité, a_1 , l'Équation (4) peut être exprimée comme suit:

$$L_n = a_1 L_{10} \quad (5)$$

Le facteur de correction de durée de vie en fonction de la fiabilité a_1 devient alors:

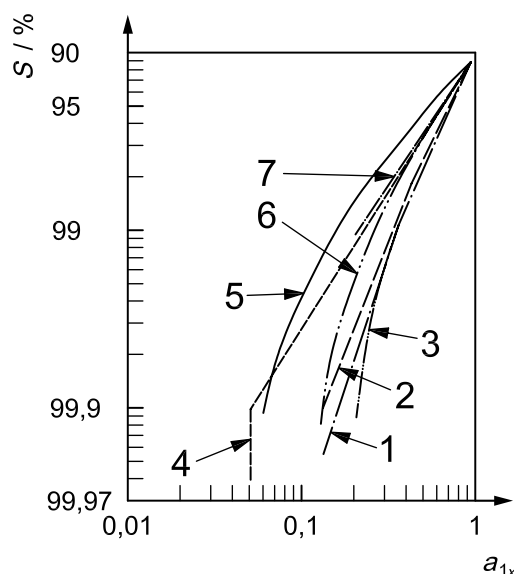
$$a_1 = \frac{\left[\ln \left(\frac{100}{S} \right) \right]^{1/e}}{\left[\ln \left(\frac{100}{90} \right) \right]^{1/e}} \quad (6)$$

4.2.2 Étude expérimentale du facteur de correction de durée de vie en fonction de la fiabilité

Les Références [6], [7] et [8] confirment que la loi de Weibull à deux paramètres est valide pour des fiabilités jusqu'à 90 %. Cependant, pour des fiabilités supérieures à 90 %, les résultats d'essai indiquent que l'Équation (6) n'est pas suffisamment précise.

Les Figures 1 et 2 sont reprises de la Référence [8] et illustrent un résumé des résultats d'essai des Références [6] à [8] et autres. La Figure 1 résume les résultats d'essai, représentés par un facteur de fiabilité désigné a_{1x} . Les courbes sont calculées en tant que valeurs moyennes des résultats d'essai. À la Figure 2, a_{1lx} représente la valeur la plus faible ($\pm 3\sigma$) de la gamme des limites de fiabilité des résultats d'essai, où σ indique l'écart-type.

La Figure 1 indique que toutes les courbes de valeur moyenne ont des valeurs a_{1x} supérieures à 0,05, et la Figure 2 confirme que la valeur asymptotique $a_1 = a_{1lx} = 0,05$ indiquée pour le facteur de correction de durée de vie en fonction de la fiabilité est une estimation prudente.

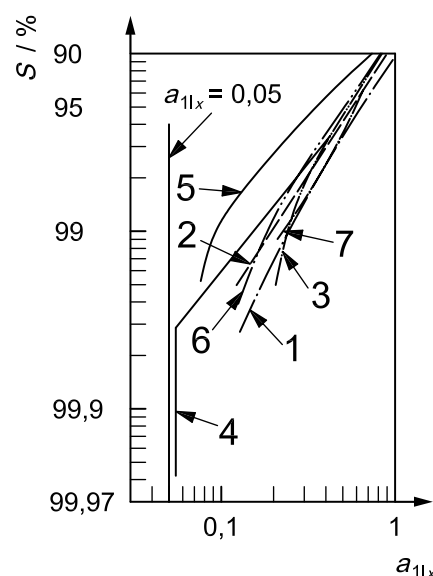


Légende

a_{1x} facteur de fiabilité
 S fiabilité

- 1 Référence [8] (total)
- 2 Référence [8] (roulements à billes)
- 3 Référence [8] (roulements à rouleaux)
- 4 Référence [6]
- 5 Référence [7]
- 6 Okamoto et al.
- 7 ISO 281

Figure 1 — Facteur a_{1x}



Légende

a_{1lx} valeur la plus faible ($\pm 3\sigma$) de la gamme des limites de fiabilité
 S fiabilité

- 1 Référence [8] (total)
- 2 Référence [8] (roulements à billes)
- 3 Référence [8] (roulements à rouleaux)
- 4 Référence [6]
- 5 Référence [7]
- 6 Okamoto et al.
- 7 ISO 281

Figure 2 — Facteur a_{1lx}

Reproduit, avec permission, de la Référence [8]

Reproduit, avec permission, de la Référence [8]

4.2.3 Loi de Weibull à trois paramètres

Les essais (4.2.2) indiquent que la loi de Weibull à trois paramètres représenterait mieux la probabilité de survie pour les valeurs supérieures à 90 %.

La loi de Weibull à trois paramètres est exprimée par

$$L_n - \gamma = \eta \left[\ln \left(\frac{100}{S} \right) \right]^{1/e} \quad (7)$$

où γ est le troisième paramètre de Weibull.

Avec l'introduction d'un facteur C_γ pour la définition de γ comme une fonction de L_{10} , γ peut s'écrire:

$$\gamma = C_\gamma L_{10} \quad (8)$$

$$L_n - C_\gamma L_{10} = (L_{10} - C_\gamma L_{10}) \left[\frac{\ln(100/S)}{\ln(100/90)} \right]^{1/e} \quad (9)$$

$$L_n = a_1 L_{10} \quad (10)$$

avec le nouveau facteur de correction de durée de vie en fonction de la fiabilité, a_1 , défini comme

$$a_1 = (1 - C_\gamma) \left[\frac{\ln(100/S)}{\ln(100/90)} \right]^{1/e} + C_\gamma \quad (11)$$

Le facteur C_γ représente la valeur asymptotique de a_1 à la Figure 2, c'est-à-dire 0,05. Cette valeur et $e = 1,5$ pour la pente de Weibull donnent une bonne représentation des courbes à la Figure 2. Ces valeurs étant insérées dans l'Équation (11), l'équation du facteur de correction en fonction de la fiabilité peut être écrite

$$a_1 = 0,95 \left[\frac{\ln(100/S)}{\ln(100/90)} \right]^{2/3} + 0,05 \quad (12)$$

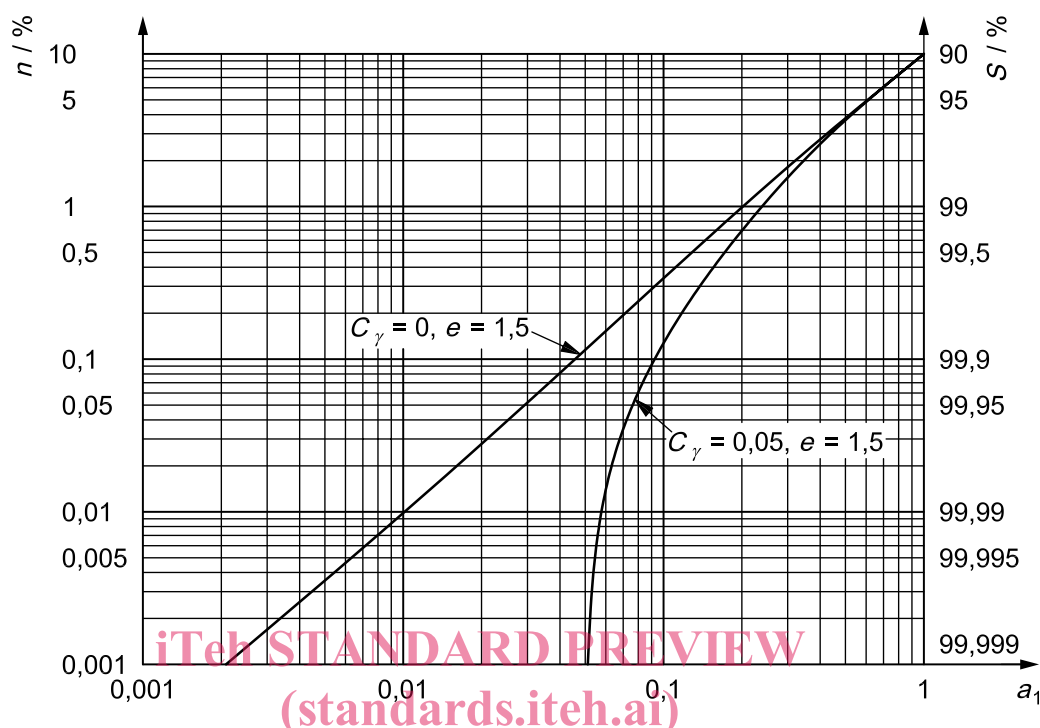
Le Tableau 1 indique les facteurs de fiabilité, calculés à l'aide de l'Équation (11), pour $C_\gamma = 0$ et $e = 1,5$, et l'Équation (12). Le facteur de correction de durée de vie en fonction de la fiabilité, a_1 , de l'ISO 281:1990^[25] est également indiqué. Les calculs sont effectués pour les fiabilités S de 90 % à 99,95 %.

Les valeurs de a_1 calculées à l'aide de l'Équation (12) sont adoptées dans l'ISO 281:2007.

Tableau 1 — Facteur de correction de durée de vie en fonction de la fiabilité, a_1 , pour différentes lois de Weibull

Fiabilité S %	Facteur de fiabilité		
	ISO 281:1990 ^[25]	a_1	
		$C_\gamma = 0$ $e = 1,5$	$C_\gamma = 0,05$ $e = 1,5$
90	1	1	1
95	0,62	0,62	0,64
96	0,53	0,53	0,55
97	0,44	0,44	0,47
98	0,33	0,33	0,37
99	0,21	0,21	0,25
99,5	—	0,13	0,17
99,9	—	0,04	0,09
99,95	—	0,03	0,08

La Figure 3 montre la probabilité de défaillance et la probabilité de survie comme fonctions du facteur de correction en fonction de la fiabilité, a_1 , au moyen d'une courbe pour $C_\gamma = 0$ et $e = 1,5$ et une autre courbe pour $C_\gamma = 0,05$ et $e = 1,5$.



Légende

- a_1 facteur de correction de durée de vie en fonction de la fiabilité
- C_γ valeur asymptotique de a_1
- e exposant de Weibull
- n probabilité de défaillance
- S probabilité de survie ($S = 100 - n$)

Figure 3 — Loïs de Weibull avec $C_\gamma = 0$ et $C_\gamma = 0,05$

5 Préalables au facteur de correction de durée de vie, a_{ISO}

5.1 Généralités

La façon dont le facteur de correction de durée de vie, a_{ISO} , dans l'ISO 281 est dérivé est décrite dans la Référence [5], où le même facteur est appelé facteur de durée de vie de contrainte et désigné a_{SLF} . Dans la présente partie de l'ISO/TR 1281, d'autres informations sur l'origine du facteur a_{SLF} sont fournies, fondées sur la Référence [22].

Conformément à la section 3.2 de la Référence [5], fondée sur les conditions valides pour l'ISO 281 (c'est-à-dire le facteur de grande échelle $\eta_a = 1$ et $A = 0,1$), l'équation de a_{SLF} peut être écrite:

$$a_{SLF} = 0,1 \left\langle 1 - \left(\eta_b \eta_c \frac{P_u}{P} \right)^w \right\rangle^{-c/e} \quad (13)$$

Le contexte du facteur de lubrification, η_b , et du facteur de contamination, η_c , est expliqué en 5.2 et 5.3 respectivement. Le facteur de contamination, η_c , correspond au facteur e_c de l'ISO 281.

5.2 Facteur de lubrification, η_b

La relation entre la qualité de lubrification, qui est caractérisée par le rapport de viscosité, κ , dans l'ISO 281 et son influence sur la contrainte de fatigue, sera abordée.

À cet effet, la réduction de la durée de vie due à la fatigue d'un roulement réel (avec rugosité superficielle normale du chemin de roulement) comparée à celle d'un roulement caractérisé par un contact idéal lisse (contact de Hertz parfait, sans frottement, avec ses hypothèses de répartition des contraintes) doit être évaluée.

Cela peut être effectué en comparant la durée de vie théorique de fatigue d'un roulement réel (avec rugosité superficielle normale du chemin de roulement) et celle d'un roulement hypothétique à surfaces de contact idéalement lisses et sans frottement. Le rapport de durée de vie de l'Équation (14) doit être mesuré:

$$\frac{L_{10, \text{rough}}}{L_{10, \text{smooth}}} = \frac{a_{\text{SLF, rough}}}{a_{\text{SLF, smooth}}} \quad (14)$$

avec $(C/P)^p$ constante dans l'équation de durée de vie. Le rapport de l'Équation (14) peut être évalué numériquement, en utilisant l'intégrale de Ioannides-Harris de la contrainte de fatigue de l'Équation (15) (voir la Référence [23]).

$$\ln \frac{100}{S} \approx A N^e \int_{V_R} \frac{\langle \tau_i - \tau_u \rangle^c}{z'^h} dV \quad (15)$$

où

h est un exposant de profondeur;

z' est une profondeur moyenne pondérée de contrainte,

τ représente des critères de contrainte.

Dans l'Équation (15), la grandeur correspondante affectant le rapport de durée de vie dans l'Équation (14) est l'intégrale de la contrainte liée au volume, I , qui peut être exprimée

$$I = \int_{V_R} \frac{\langle \tau_i - \tau_u \rangle^c}{z'^h} dV \quad (16)$$

Au moyen des Équations (15) et (16), l'équation de durée de vie peut être écrite

$$L_{10} = 10^{-6} N u^{-1} \approx \left(\frac{\ln(100/90)}{A I} \right)^{1/e} u^{-1} \quad (17)$$

La durée de vie de base nominale en nombre de tours dans l'Équation (17) est exprimée en divisant N , le nombre obtenu de cycles de charge avec une probabilité de 90 %, par le nombre de chargements successifs par tour, u .

Dans l'Équation (17), l'intégrale de la contrainte, I , peut être calculée pour la rugosité normale et pour un contact idéalement lisse, et peut être utilisée pour l'évaluation de l'effet prévu de la rugosité superficielle du chemin de roulement sur la durée de vie du roulement à l'aide des Équations (14) et (17). Le bilan suivant s'applique alors:

$$\left(\frac{L_{10,\text{rough}}}{L_{10,\text{smooth}}} \right)_{(m,n)} = \left(\frac{I_{\text{smooth}}}{I_{\text{rough}}} \right)_{(m,n)}^{1/e} = \left(\frac{a_{\text{SLF,rough}}}{a_{\text{SLF,smooth}}} \right)_{(m,n)} \quad (18)$$

En général, ce rapport dépend de la topographie de surface (indice m) et du niveau de séparation superficielle ou de la quantité de film lubrifiant dans le contact (indice n).

Le facteur de lubrification peut maintenant être directement dérivé de l'Équation (18) en introduisant le facteur de durée de vie de contrainte selon l'Équation (13). Pour la rugosité normale du roulement et selon l'hypothèse d'un lubrifiant idéalement propre, dénoté par le facteur $\eta_c = 1$, le facteur de durée de vie de contrainte peut être écrit

$$a_{\text{SLF,rough}} = 0,1 \left\langle 1 - \left(\eta_b \frac{P_u}{P} \right)^w \right\rangle^{-c/e} \quad (19)$$

De même, dans le cas d'un roulement parfaitement lubrifié, à surfaces idéalement lisses, $\kappa \geq 4$ et $\eta_b = 1$ selon la définition des gammes de η_b dans la Référence [5]. L'Équation (19) peut alors être écrite

$$a_{\text{SLF,smooth}} = 0,1 \left\langle 1 - \left(\frac{P_u}{P} \right)^w \right\rangle^{-c/e} \quad (20)$$

En insérant les Équations (19) et (20) dans l'Équation (18), l'équation suivante est établie:

$$\eta_{b(m,n)} = \frac{P}{P_u} \left\langle 1 - \left(\frac{P_u}{P} \right)^w \right\rangle^{\frac{1}{w}} \left(\frac{I_{\text{smooth}}}{I_{\text{rough}}} \right)_{(m,n)}^{1/w} \quad (21)$$

L'Équation (21) montre qu'il est possible de construire numériquement une matrice ($m \times n$) de valeurs η_b , évaluée par calcul de la durée de vie de fatigue et de l'intégrale de la contrainte sur le volume associée aux surfaces du chemin de roulement à rugosité normale. Ce calcul doit être complété pour inclure différents niveaux de séparation dus aux épaisseurs du film d'huile depuis des niveaux limites jusqu'à la séparation totale dans le contact éléments roulants/chemin de roulement.

Les étapes suivantes ont été utilisées pour l'évaluation numérique de $\eta_{b(m,n)}$, en considérant des surfaces du roulement réelles:

- 1) analyse de surface d'une variété de roulement par profilométrie optique;
- 2) calcul des conditions de fonctionnement du contact le plus lourdement chargé du roulement;
- 3) calcul au moyen de la méthode FFT (transformée de Fourier rapide) des fluctuations de pression résultant de la topographie de surface, des conditions de lubrification et de la déformation élastique qui en résulte;
- 4) calcul de l'intégrale de la contrainte de Hertz des contacts lisses en utilisant l'Équation (16);
- 5) superposition de la pression hertzienne lisse pour calculer les contraintes internes et évaluation de l'intégrale de la contrainte de fatigue du contact rugueux réel en utilisant l'Équation (16);
- 6) calcul de η_b à partir de l'Équation (21) par rapport aux conditions de fonctionnement de référence et au rapport de viscosité, κ , du roulement qui en résulte.