



## Notes explicatives sur l'ISO 281/1-1977

*Explanatory notes on ISO 281/1-1977*

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 créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO, participent également aux travaux.

La tâche principale des comités techniques de l'ISO est d'élaborer les Normes internationales. Exceptionnellement, un comité technique peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1: lorsque, en dépit de maints efforts au sein d'un comité technique, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2: lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique et requiert une plus grande expérience;
- type 3: 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).

La publication des rapports techniques dépend directement de l'acceptation du Conseil de l'ISO. Les rapports techniques des types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques du type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données fournies ne soient plus jugées valables ou utiles.

L'ISO/TR 8646 a été préparé par le comité technique ISO/TC 4, *Roulements*.

Les raisons justifiant la décision de publier le présent document sous forme de rapport technique du type 3 sont exposées dans l'introduction.



CDU 621.822.6

Réf. n°: ISO/TR 8646-1985 (F)

**Descripteurs:** palier, roulement, roulement radial, butée, roulement à billes, roulement à rouleaux, charge dynamique, caractéristique nominale, durée de vie, règle de calcul.

© Organisation internationale de normalisation, 1985 •

Imprimé en Suisse

Prix basé sur 40 pages

## SOMMAIRE

	<u>Page</u>
1. INTRODUCTION .....	1
2. HISTORIQUE .....	1
2.1. ISO/R 281 - 1962 .....	1
2.2. ISO 281/1 - 1977 .....	2
3. CHARGE DYNAMIQUE DE BASE .....	3
3.1. Charge radiale dynamique de base $C_r$ des roulements (radiaux) à billes .....	4
3.2. Charge axiale dynamique de base $C_a$ des butées à billes à une rangée.....	8
3.2.1. Butées à billes à angle de contact $\alpha \neq 90^\circ$ .....	8
3.2.2. Butées à billes à angle de contact $\alpha = 90^\circ$ .....	9
3.3. Charge axiale dynamique de base $C_a$ des butées à billes à deux ou plusieurs rangées .....	10
3.4. Charge radiale dynamique de base $C_r$ des roulements (radiaux) à rouleaux .....	12
3.5. Charge axiale dynamique de base $C_a$ des butées à rouleaux à une rangée.....	14
3.5.1. Butées à rouleaux à angle de contact $\alpha \neq 90^\circ$ .....	14
3.5.2. Butées à rouleaux à angle de contact $\alpha = 90^\circ$ .....	15
3.6. Charge axiale dynamique de base $C_a$ des butées à deux ou plusieurs rangées de rouleaux .....	15
4. CHARGE DYNAMIQUE EQUIVALENTE .....	18
4.1. Formules de charge dynamique équivalente .....	18
4.1.1. Charge radiale dynamique équivalente théorique $P_r$ des roulements (radiaux) à une rangée .....	18
4.1.2. Charge radiale dynamique équivalente théorique $P_r$ des roulements (radiaux) à deux rangées.....	22
4.1.3. Charge radiale dynamique équivalente théorique $P_r$ des roulements à billes, à gorges, à contact radial.....	26
4.1.4. Formules pratiques de la charge radiale dynamique équivalente $P_r$ des roulements (radiaux) à angle de contact constant.....	27
4.1.5. Formules pratiques de la charge radiale dynamique équivalente $P_r$ des roulements (radiaux) à billes.....	30
4.1.6. Formules pratiques de la charge axiale dynamique équivalente $P_a$ des butées .....	32

.../

	<u>Page</u>
4.2 Facteur X, Y etc .....	34
4.2.1 Roulements (radiaux) à billes .....	34
4.2.2 Valeurs de X, Y etc. pour chaque type de roulement (radial) à billes .....	35
4.2.3 Tableau récapitulatif des facteurs X, Y etc. pour les roulements (radiaux) à billes .....	40
4.2.4 Valeurs calculées de Y etc. et leur écart par rapport à celles de la Norme .....	42
4.2.5 Butées à billes .....	43
4.2.6 Roulements (radiaux) à rouleaux .....	44
4.2.7 Butées à rouleaux .....	46
5. DUREE NOMINALE .....	47
6. FACTEUR DE CORRECTION DE LA DUREE EN FONCTION DE LA FIABILITE .....	49
SYMBOLES .....	50
REFERENCES .....	54

[ISO/TR 8646:1985](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f6307afe-9be7-420f-a1b3-e2e62214c153/iso-tr-8646-1985)  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f6307afe-9be7-420f-a1b3-e2e62214c153/iso-tr-8646-1985>

Page blanche

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

ISO/TR 8646:1985

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f6307afe-9be7-420f-a1b3-e2e62214c153/iso-tr-8646-1985>

## 1 - INTRODUCTION

Le présent rapport technique donne un certain nombre d'informations sur la manière dont ont été définis les formules et facteurs donnés dans l'ISO 281/1 - Roulements - Charges dynamiques de base et durée nominale - 1ère Partie : Méthodes de calcul.

## 2 - HISTORIQUE

### 2.1 - ISO/R 281 - 1962

La première discussion de niveau international portant sur la normalisation des méthodes de calcul des charges de base des roulements eut lieu en 1934 lors de la conférence de la Fédération Internationale des Associations Nationales de normalisation (ISA). Lorsque l'ISA tint sa dernière réunion, en 1939, aucun progrès n'était encore intervenu. Pourtant, dans son rapport de l'année 1945 sur l'état de la normalisation dans le domaine des roulements, le Secrétariat de l'ISA 4 incluait des propositions de définition de concepts fondamentaux pour les normes de calcul de charges de base et de durée. Ce rapport fut diffusé en 1949 sous la référence ISO/TC 4 (Secrétariat-1) 1, les définitions qu'il contenait étant en substance celles que reprend l'ISO 281/1 sous les termes de "durée" et de "charge dynamique de base".

(standards.iteh.ai)

Les discussions sur les normes de calcul de durée et de charges de base, reprisent en 1946 entre les spécialistes américains et suédois à l'initiative de l'AFBMA - Anti-Friction Bearing Manufacturers Association (NEW YORK). Une norme AFBMA intitulée "Method of Evaluating load ratings of annular ball bearings" fut élaborée sur la base principalement des résultats des recherches scientifiques effectuées par G. LUNDBERG et A. PALMGREN et parues en 1947 [1] \*. Cette norme fut publiée en 1949. Partant de la même source le Comité membre suédois soumit en février 1950 une première proposition à l'ISO (doc. ISO/TC 4/SC 1 (Suède-1) 1) intitulée "Charges de base des roulements à billes".

Compte tenu des recherches nouvelles, de la révision de la norme AFBMA en 1950 et également de l'intérêt pour les normes de calcul des roulements à rouleaux, le Comité membre suédois présenta, en 1951, une proposition modifiée de calcul des roulements à billes (doc. ISO/TC 4/SC 1 (Suède - 6) 20) puis une proposition de calcul des roulements à rouleaux (doc. ISO/TC 4/SC 1 (Suède - 7) 21).

Ces méthodes de calcul furent étudiées par l'ISO/TC 4, le TC 4/SC 1 et le TC 4/GT 3 lors de 11 réunions différentes s'étalant entre 1951 et 1959. Vint s'ajouter à ces documents une étude le LUNDBERG - PALMGREN publiée en 1952 [2] qui eut un retentissement considérable sur l'élaboration des chapitres relatifs au calcul des roulements à rouleaux.

.../

---

\* Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie du chapitre "Références".

Le cadre de la recommandation fut arrêté définitivement par l'ISO/TC 4/GT 3 lors de sa réunion de 1956. A la même époque, les ETATS-UNIS avaient fini de réviser les normes AFBMA et le Comité ASA B.3 avait approuvé le document révisé. Cette norme fut présentée en réunion par les ETATS-UNIS et discutée en détail en même temps que la proposition du Secrétariat. Lors de la réunion le GT 3 prépara une proposition qui reprenait de nombreuses parties de la proposition américaine.

L'avant projet issu de cette proposition de groupe de travail (doc. TC 4 N 145) parut en 1957. Il fut examiné en détail par le GT 3 lors de sa réunion de l'année suivante et adopté à la réunion suivante du TC 4 avec quelques amendements mineurs.

Le projet de Recommandation ISO n° 278 fut publié en 1959 (TC 4 N 188) et accepté en 1962 par le Conseil de l'ISO comme Recommandation ISO/R 281.

## 2.2 - ISO 281/1 -1977

En 1964 le Comité membre suédois suggéra que, considérant l'amélioration des aciers pour roulements, il était temps de réviser l'ISO/R 281. La SUEDE soumit une proposition ISO/TC 4/GT 3 (Suède - 1) 9 mais à l'époque le GT 3 ne se déclara pas en faveur d'une telle révision.

En 1969 cependant le TC 4 suivit la suggestion du Comité membre du JAPON (doc. TC 4 N 627) de reconstituer le GT 3 et de lui donner pour tâche de réviser l'ISO/R 281. Le groupe AFBMA de calcul des charges de base avait également à l'époque repris les travaux pour réviser la norme et en 1970 le Comité membre américain soumit un projet de norme AFBMA intitulé "Load ratings and fatigue life for ball bearings" (doc. ISO/TC 4/GT 3 (USA- 1) 11), suivi en 1971 d'un autre projet " Load ratings and fatigue life for roller bearings " (doc. ISO/TC 4/GT 3 (USA- 3) 19).

En 1972, le statut du GT 3 fut modifié et le groupe devint sous-comité TC 4/SC8. Le projet fut examiné en détail au cours de cinq réunions s'étalant entre 1971 et 1974 et le projet final (3ème avant-projet TC 4/SC 8 N 23) fut diffusé avec quelques modifications sous forme de projet de norme internationale en 1976. En 1977 la norme ISO 281/1 était acceptée par le Conseil de l'ISO.

La majeure partie de cette norme internationale constitue une réédition de la recommandation R 281 dont le fond n'est que très peu modifié. Un nouveau chapitre a cependant été ajouté, résultat de recherches américaines des années 1960 et qui traite de la correction à apporter à la durée si la fiabilité est supérieure à 90% ou pour tenir compte des matériaux et des conditions de fonctionnement.

Des informations complémentaires relatives à la manière dont sont déterminés les formules et facteurs de l'ISO 281/1 devaient être publiées comme 2ème partie de l'ISO 281 sous forme de notes explicatives. En 1979 toutefois le TC 4/SC 8 et le TC 4 décidèrent de les publier sous la forme d'un rapport technique.

.../

3 - CHARGE DYNAMIQUE DE BASE

Les calculs de charges dynamiques de base de la norme ISO 281 sur les roulements sont fondés sur les ouvrages de LUNDBERG et PALMGREN mentionnés en notas (1) et (2).

Les formules de calcul des charges dynamiques de base des roulements dérivent de l'équation suivante :

$$\ln \frac{1}{S} \sim \frac{\tau_0^c N^e V}{z_0^n} \dots\dots\dots (3-1)$$

- où S = probabilité de survie
- $\tau_0$  = composante orthogonale de la contrainte maximale de cisaillement sous la surface
- N = nombre d'applications de la contrainte en un point donné du chemin de roulement
- V = volume représentatif de la concentration des contraintes
- $z_0$  = profondeur de la composante orthogonale de la contrainte maximale de cisaillement sous la surface
- c, h = exposants déterminés expérimentalement
- e = mesure de la dispersion de la durée, c'est-à-dire : pente de la courbe de WEIBULL, déterminée expérimentalement.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f6307afe-9be7-420f-a1b3-2c38e151185>

Dans les conditions de contact ponctuel (roulements à billes) on prend comme hypothèse que le volume (V) représentatif de la concentration des contraintes dans l'équation (3-1) est proportionnel au grand axe de l'ellipse de contact projetée (2 a), à la circonférence du chemin de roulement (l) et à la profondeur (z<sub>0</sub>) de la composante orthogonale de la contrainte maximale de cisaillement sous la surface ( $\tau_0$ )

$$V \sim a z_0 l \dots\dots\dots (3-2)$$

D'où, si l'on introduit (3-2) dans la relation (3-1)

$$\ln \frac{1}{S} \sim \frac{\tau_0^c N^e a l}{z_0^{n-1}} \dots\dots\dots (3-3)$$

LUNDBERG et PALMGREN ont considéré qu'on pouvait admettre un contact "linéaire" lorsque le grand axe de l'ellipse de contact calculée (ellipse de Hertz) était de 1,5 fois la longueur effective de contact du rouleau.

$$2a = 1,5 L_{we} \dots\dots\dots (3-4)$$

.../

En outre  $b/a$  doit être suffisamment petit pour permettre d'introduire la valeur-limite de  $ab^2$  pour  $b/a$  tendant vers 0 :

$$ab^2 = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{3Q}{E_0 \Sigma \rho} \dots\dots\dots (3-5)$$

(pour les notations, se reporter à 3.1)

3.1- Charge radiale dynamique de base  $C_r$  des roulements (radiaux) à billes

D'après la théorie de Hertz la composante orthogonale de la contrainte maximale de cisaillement sous la surface  $\tau_o$  et sa profondeur  $z_o$  peuvent se rattacher à une charge radiale  $F_r$ , c'est-à-dire une charge maximale sur l'élément roulant  $Q_{max}$  ou une contrainte maximale de contact  $\sigma_{max}$  et aux dimensions de la zone de contact entre un élément roulant et les chemins. Les relations correspondantes s'expriment comme suit :

$$\begin{aligned} \tau_o &= T \sigma_{max} \\ z_o &= \zeta b \\ T &= \frac{(2t - 1)^{1/2}}{2t(t + 1)} \\ \zeta &= \frac{1}{(t + 1)(2t - 1)^{1/2}} \\ a &= \mu \left[ \frac{3Q}{E_0 \Sigma \rho} \right]^{1/3} \\ b &= \nu \left[ \frac{3Q}{E_0 \Sigma \rho} \right]^{1/3} \end{aligned}$$

- où  $\sigma_{max}$  = contrainte maximale de contact
- $t$  = paramètre auxiliaire
- $a$  = demi grand axe de l'ellipse de contact projetée
- $b$  = demi petit axe de l'ellipse de contact projetée
- $Q$  = force normale entre l'élément roulant et les chemins
  
- $E_0$  = module d'élasticité
- $\Sigma \rho$  = somme des courbures
- $\mu, \nu$  = grandeurs auxiliaires introduites par Hertz

.../

En conséquence, pour un roulement donné,  $\zeta_0$ ,  $a$ ,  $l$  et  $z_0$  peuvent s'exprimer en fonction de la géométrie du roulement, de la charge et du nombre de tours. La relation (3-3) se change en équation si l'on y introduit une constante de proportionnalité.

En supposant un nombre déterminé de tours (par exemple  $10^6$ ) et une fiabilité également déterminée (par ex. 0,9), l'équation peut être résolue pour une charge sur l'élément roulant correspondant à la charge dynamique de base sur le roulement.

Pour un contact ponctuel et en désignant par  $A_1$  la constante de proportionnalité, cette charge s'exprime par :

$$Q_c = \frac{1,3}{4} \frac{2c+h-2}{c-h+2} \frac{3e}{0,5} \frac{3e}{c-h+2} A_1 \left[ \frac{2r}{2r-D_w} \right]^{0,41} \frac{(1+\gamma) \frac{1,59c+1,41h-5,82}{c-h+2}}{(1+\gamma) \frac{3e}{c-h+2}}$$

$$\times \left( \frac{\gamma}{\cos \alpha} \right)^{\frac{3}{c-h+2}} D_w^{\frac{2c+h-5}{c-h+2}} z = \frac{3e}{c-h+2} \dots \dots \dots (3-6)$$

où  $Q_c$  = charge sur l'élément roulant correspondant à la charge dynamique de base du roulement

$D_w$  = diamètre de bille

$\gamma$  =  $D_w \cos \alpha / D_{pw}$

$D_{pw}$  = diamètre primitif

$\alpha$  = angle nominal de contact

$z$  = nombre de billes par rangée.

La charge radiale dynamique de base  $C_1$  d'une bague tournante s'obtient comme suit :

$$C_1 = Q_{c1} z \cos \alpha \frac{J_r}{J_1} = 0,407 Q_{c1} z \cos \alpha \dots \dots \dots (3-7)$$

La charge radiale dynamique de base  $C_2$  d'une bague fixe s'obtient comme suit :

$$C_2 = Q_{c2} z \cos \alpha \frac{J_r}{J_2} = 0,389 Q_{c2} z \cos \alpha \dots \dots \dots (3-8)$$

.../

(x est utilisé pour représenter le symbole de la multiplication)

- où  $Q_{c1}$  = charge sur l'élément roulant correspondant à la charge dynamique de base d'une bague tournante par rapport à la charge appliquée
- $Q_{c2}$  = charge sur l'élément roulant correspondant à la charge dynamique de base d'une bague fixe par rapport à la charge appliquée
- $J_r = J_r(0,5)$  = intégrale de la charge radiale (voir tableau 4-1)
- $J_1 = J_1(0,5)$  = facteur rapportant à  $Q_{max}$  la charge moyenne équivalente sur une bague tournante par rapport à la charge appliquée (voir tableau 4-1).
- $J_2 = J_2(0,5)$  = facteur rapportant à  $Q_{max}$  la charge moyenne équivalente sur une bague fixe par rapport à la charge appliquée (voir tableau 4-1)

La relation entre  $C_r$  "charge dynamique de base" pour un roulement (radial) à billes complet,  $C_1$  et  $C_2$  s'exprime selon la loi du produit des probabilités :

$$C_r = C_1 \left[ 1 + \left( \frac{C_1}{C_2} \right)^{\frac{c-h+2}{3}} \right]^{-\frac{3}{c-h+2}} \dots \dots \dots (3-9)$$

**iTeh STANDARD PREVIEW**

(standards.iteh.ai)

Si l'on remplace les termes de l'équation (3-9) par leur valeur donnée aux équations (3-7), (3-8) et (3-6), la charge radiale dynamique de base  $C_r$  d'un roulement à billes complet s'exprime de la façon suivante :

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f6307afe-9be7-420f-a1b3-e2e62214c153/iso-tr-8646-1985>

$$C_r = 0,41 \frac{1,3}{\frac{2c+h-2}{4c-h+2} \frac{3e}{0,5c-h+2}} A_1 \left[ \frac{2r_i}{2r_i - D_w} \right]^{0,41} \frac{(1-\gamma)}{(1+\gamma) \frac{3e}{c-h+2}} \frac{1,59c+1,41h-5,82}{c-h+2}$$

$$\times \frac{3}{\gamma^{c-h+2}}$$

$$\times \left[ 1 + \left[ 1,04 \left( \frac{r_i}{r_e} \times \frac{2r_e - D_w}{2r_i - D_w} \right)^{0,41} \frac{(1-\gamma)}{(1+\gamma)} \frac{1,59c+1,41h+3e-5,82}{c-h+2} \right]^{\frac{c-h+2}{3}} \right]^{-\frac{3}{c-h+2}}$$

$$\times (i \cos \alpha)^{\frac{c-h-1}{c-h+2}} z^{\frac{c-h-3e+2}{c-h+2}} D_w^{\frac{2c+h-5}{c-h+2}} \dots \dots \dots (3-10)$$

- où  $A_1$  = constante de proportionnalité déterminée expérimentalement
- $r_i$  = rayon de courbure du chemin de roulement de la bague intérieure (en section transversale)
- $r_e$  = rayon de courbure du chemin de roulement de la bague extérieure (en section transversale).
- $i$  = nombre de rangées de billes.

Dans le cas considéré l'angle de contact  $\alpha$ , le nombre d'éléments roulants (billes)  $Z$  et le diamètre  $D$  dépendent de la conception du roulement. Par ailleurs le rapport des rayons de courbure  $r_i$  et  $r_e$  au demi-diamètre de l'élément roulant (bille)  $D_w/2$  et  $\gamma = D_w \cos \alpha / D_e$  sont des grandeurs sans dimension. Il est donc commode dans la pratique de remplacer les trois premières lignes du membre droit de l'équation (3 - 10) par un facteur  $f_c$

D'où :

$$C_r = f_c (\text{icos} \alpha) \frac{c-h-1}{c-h+2} Z \frac{c-h-3e+2}{c-h+2} D_w \frac{2c+h-5}{c-h+2} \dots \dots (3-11)$$

Dans le cas de roulement (radiaux) à billes il faut considérer les défauts pouvant résulter de la fabrication et introduire un facteur de correction  $\lambda$  qui réduit la valeur théorique de la charge radiale dynamique de base du roulement ; il est pratique également d'inclure le facteur  $\lambda$  dans le facteur  $f_c$ , la valeur de ce facteur  $\lambda$  étant déterminée expérimentalement.

Le facteur  $f_c$  devient ainsi :

iTech STANDARD PREVIEW

$$f_c = 0,41 \lambda \frac{1,3}{4} \frac{2c+h-2}{c-h+2} \frac{3e}{0,5} \frac{A_1 \left[ \frac{2r_i}{2r_i - D_w} \right]^{0,41}}{c-h+2} \frac{(1-\gamma) \frac{1,59c+1,41h-5,82}{c-h+2}}{(1+\gamma) \frac{3e}{c-h+2}}$$

ISO/TR 8646:1985

https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f6307afe-9be7-420f-a1b3-e2e62214c153/iso-tr-8646-1985

$$\times \gamma \frac{c-h+2}{c-h+2} \times \left[ 1 + \left\{ 1,04 \left( \frac{r_i}{r_e} \times \frac{2r_e - D_w}{2r_i - D_w} \right)^{0,41} \frac{(1-\gamma)}{(1+\gamma)} \frac{1,59c+1,41h+3e-5,82}{c-h+2} \right\} \frac{c-h+2}{3} \right] - \frac{3}{c-h+2}$$

..... (3-12)

A la suite des premiers travaux expérimentaux de LUNDBERG et PALMGREN sur les roulements à billes, les valeurs suivantes ont été attribuées aux constantes expérimentales des équations de calcul de charge :

- e = 10/9
- c = 31/3
- h = 7/3

Si l'on remplace ces termes par leur valeur numérique dans l'équation (3 - 11) on peut calculer  $C_r$ .

.../

On voit que la charge de base est proportionnelle à  $D_w^{1,8}$ . Toutefois, les résultats d'essai concernent essentiellement les petites billes, c'est-à-dire jusqu'à un diamètre d'environ 25 mm. Dans le cas de billes plus grosses la charge de base semble augmenter bien plus lentement avec le diamètre de bille et on peut admettre la proportionalité à  $D_w^{1,4}$  lorsque  $D_w > 25,4$  mm. :

$$C_r = f_c (\cos \alpha)^{0,7} Z^{2/3} D_w^{1,8} \quad (D_w \leq 25,4 \text{ mm}) \quad \dots (3-13)$$

$$C_r = 3,647 f_c (\cos \alpha)^{0,7} Z^{2/3} D_w^{1,4} \quad (D_w > 25,4 \text{ mm}) \quad \dots (3-14)$$

$$f_c = 0,089 A_1 \times 0,41 \lambda \left[ \frac{2r_i}{2r_i - D_w} \right]^{0,41} \frac{\gamma^{0,3} (1-\gamma)^{1,39}}{(1+\gamma)^{1/3}} \times \left[ 1 + \left\{ 1,04 \left( \frac{1-\gamma}{1+\gamma} \right)^{1,72} \left( \frac{r_i}{r_e} \times \frac{2r_e - D_w}{2r_i - D_w} \right)^{0,41} \right\}^{10/3} \right]^{-3/10} \dots (3-15)$$

Les valeurs de  $f_c$  du tableau 1 de l'ISO 281/1 sont calculées d'après l'équation (3-15) où  $\gamma$  l'on a remplacé les rayons de courbure et le facteur de correction par les valeurs données au tableau 3-1.

La valeur de  $0,089 A_1$  pour calculer  $C_r$  en newtons est 98,0665.

3.2. Charge axiale dynamique de base  $C_a$  des butées à billes à une rangée

3.2.1. Butées à billes à angle de contact  $\alpha \neq 90^\circ$

De même qu'en 3.1, pour les butées à billes à angle de contact  $\alpha \neq 90^\circ$  :

$$C_a = f_c (\cos \alpha)^{\frac{c-h-1}{c-h+2}} \tan \alpha Z^{\frac{c-h-3e+2}{c-h+2}} D_w^{\frac{2c+h-5}{c-h+2}} \dots (3-16)$$

Dans la plupart des cas, la valeur théorique de la charge axiale dynamique de base doit être réduite pour tenir compte de la répartition non uniforme de la charge entre les éléments roulants et ce en sus du facteur de correction  $\lambda$  déjà prévu pour les roulements (radiaux) à billes. Ce facteur de correction supplémentaire est ici désigné par  $\eta$  :

Le facteur  $f_c$  s'écrit en conséquence :

$$f_c = \lambda \eta \frac{1,3}{4} \frac{3e}{c-h+2} \frac{3e}{0,5^{c-h+2}} A_1 \left[ \frac{2r_i}{2r_i - D_w} \right]^{0,41} \frac{(1-\gamma)^{\frac{1,59c+1,41h-5,82}{c-h+2}}}{(1+\gamma)^{\frac{3e}{c-h+2}}} \gamma^{\frac{3}{c-h+2}} \times \left[ 1 + \left\{ \left( \frac{r_i}{r_e} \times \frac{2r_e - D_w}{2r_i - D_w} \right)^{0,41} \left( \frac{1-\gamma}{1+\gamma} \right)^{\frac{1,59c+1,41h+3e-5,82}{c-h+2}} \right\}^{\frac{c-h+2}{3}} \right]^{-\frac{3}{c-h+2}} \dots (3-17)$$

En remplaçant dans les équations (3 - 16) et (3 - 17) les constantes expérimentales par leur valeur  $e = 10/9, c = 31/3$  et  $h = 7/3$  et en tenant compte à nouveau de l'effet de la dimension des billes, on obtient :

$$C_a = f_c (\cos \alpha)^{0,7} \tan \alpha z^{2/3} D_w^{1,8} \quad (D_w \leq 25,4 \text{ mm}), \dots (3-18)$$

$$C_a = 3,647 f_c (\cos \alpha)^{0,7} \tan \alpha z^{2/3} D_w^{1,4} \quad (D_w > 25,4 \text{ mm}), \dots (3-19)$$

$$f_c = 0,089 A_1 \lambda \eta \left( \frac{2r_i}{2r_i - D_w} \right)^{0,41} \frac{\gamma^{0,3} (1-\gamma)^{1,39}}{(1+\gamma)^{1/3}} \times \left[ 1 + \left\{ \left( \frac{r_i}{r_e} \times \frac{2r_e - D_w}{2r_i - D_w} \right)^{0,41} \left( \frac{1-\gamma}{1+\gamma} \right)^{1,72} \right\}^{10/3} \right]^{-3/10} \dots (3-20)$$

La valeur de  $0,089 A_1$  pour calculer  $C_a$  en newtons est de 98,0665. Les valeurs de  $f_c$  de la colonne de droite du tableau 3 de l'ISO 281/1 sont calculées d'après l'équation (3 - 20) où l'on a remplacé les rayons de courbure et le facteur de correction par leur valeur donnée au tableau 3-1.

(standards.iteh.ai)

3.2.2. Butées à billes à angle de contact  $\alpha = 90^\circ$

ISO/TR 8646:1985

De même qu'en 3.1, pour les butées à billes à angle de contact  $\alpha = 90^\circ$  :

$$C_a = f_c z \frac{c-h-3e+2}{c-h+2} \frac{2c+h-5}{c-h+2} D_w, \dots (3-21)$$

$$f_c = \lambda \eta \frac{1,3}{\frac{2c+h-2}{4^{c-h+2}} \cdot 0,5^{c-h+2}} \frac{3e}{c-h+2} A_1 \left[ \frac{2r_i}{2r_i - D_w} \right]^{0,41} \frac{3}{\gamma^{c-h+2}} \times \left[ 1 + \left\{ \left( \frac{r_i}{r_e} \frac{2r_e - D_w}{2r_i - D_w} \right)^{0,41} \right\} \frac{c-h+2}{3} \right]^{-\frac{3}{c-h+2}} \dots (3-22)$$

où  $\gamma = D_w/D_{pw}$

En remplaçant dans les équations (3 - 21) et (3-22) les constantes expérimentales par leur valeur  $e = 10/9, c = 31/3$  et  $h = 7/3$  et en considérant toujours l'effet de la dimension des billes, on obtient :

.../

$$C_a = f_c z^{2/3} D_w^{1,8} \quad (D \leq 25,4\text{mm}), \dots\dots\dots (3-23)$$

$$C_a = 3,647 f_c z^{2/3} D_w^{1,4} \quad (D > 25,4\text{mm}), \dots\dots\dots (3-24)$$

$$f_c = 0,089 A_1 \lambda \eta \left( \frac{2r_i}{2r_i - D_w} \right)^{0,41} \gamma^{0,3} \\ \times \left[ 1 + \left\{ \left( \frac{r_i}{r_e} \times \frac{2r_e - D_w}{2r_i - D_w} \right)^{0,41} \right\}^{10/3} \right]^{-3/10} \dots\dots (3-25)$$

La valeur de 0,089 A<sub>1</sub> pour calculer C<sub>a</sub> en newtons est de 98,0665. Les valeurs de f<sub>c</sub> de la colonne de gauche du tableau<sup>a</sup> 3 de l'ISO 281/1 sont calculées d'après l'équation (3-25) où l'on a remplacé les rayons de courbure et le facteur de correction par leur valeur donnée au tableau 3-1

3.3. Charge axiale dynamique de base C des butées à billes à deux ou plusieurs rangées

Selon la loi du produit des probabilités, la relation entre la charge axiale de base d'une butée à billes complète et celle des rondelles respectivement tournante et fixe, s'établit comme suit :

(standards.iteh.ai)

$$C_{ak} = \left[ C_{alk}^{-\frac{c-h+2}{3}} + C_{a2k}^{-\frac{c-h+2}{3}} \right]^{-\frac{3}{c-h+2}}, \dots\dots (3-26)$$

$$\left. \begin{aligned} C_{alk} &= Q_{c1} \sin \alpha Z_k, \\ C_{a2k} &= Q_{c2} \sin \alpha Z_k. \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-27)$$

$$C_a = \left[ C_{a1}^{-\frac{c-h+2}{3}} + C_{a2}^{-\frac{c-h+2}{3}} \right]^{-\frac{3}{c-h+2}}, \dots\dots (3-28)$$

$$\left. \begin{aligned} C_{a1} &= Q_{c1} \sin \alpha \sum_{k=1}^n Z_k, \\ C_{a2} &= Q_{c2} \sin \alpha \sum_{k=1}^n Z_k. \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-29)$$

- où C<sub>ak</sub> = Charge axiale dynamique de base relative à la rangée k d'une butée à billes complète
- C<sub>alk</sub> = Charge axiale dynamique de base relative à la rangée k de la rondelle tournante d'une butée à billes complète

.../

$C_{a2k}$  = Charge axiale dynamique de base relative à la rangée k de la rondelle fixe d'une butée à billes complète

$C_a$  = Charge axiale dynamique de base de la butée à billes complète

$C_{a1}$  = Charge axiale dynamique de base de la rondelle tournante de la butée à billes complète

$C_{a2}$  = Charge axiale dynamique de base de la rondelle fixe de la butée à billes complète

$Z_k$  = Nombre de billes de la rangée k

En introduisant dans l'équation (3-28) les équations (3-29), (3-27) et (3-26), on obtient finalement :

$$C_a = \sum_{k=1}^n Z_k \left[ \frac{(Q_{c1} \sin \alpha \sum_{k=1}^n Z_k)^{-\frac{c-h+2}{3}} + (Q_{c2} \sin \alpha \sum_{k=1}^n Z_k)^{-\frac{c-h+2}{3}}}{\left( \sum_{k=1}^n Z_k \right)^{-\frac{c-h+2}{3}}} \right]^{-\frac{3}{c-h+2}}$$

(standards.iteh.ai)

ISO/TR 8646:1985

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f6307afe-9be7-420f-a1b3-e2e62214c15c-iso-8646-1985>

$$= \sum_{k=1}^n Z_k \left[ \frac{\sum_{k=1}^n \left[ \left\{ (Q_{c1} \sin \alpha Z_k)^{-\frac{c-h+2}{3}} + (Q_{c2} \sin \alpha Z_k)^{-\frac{c-h+2}{3}} \right\}^{-\frac{3}{c-h+2}} \right]}{Z_k^{-\frac{c-h+2}{3}}} \right]^{-\frac{3}{c-h+2}}$$

$$= \sum_{k=1}^n Z_k \left[ \sum_{k=1}^n \left( \frac{Z_k}{C_{ak}} \right)^{\frac{c-h+2}{3}} \right]^{-\frac{3}{c-h+2}}$$

puis en remplaçant les constantes expérimentales par leur valeur  $e = 31/3$  et  $h = 7/3$  :

$$C_a = (Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_n) \times \left[ \left( \frac{Z_1}{C_{a1}} \right)^{10/3} + \left( \frac{Z_2}{C_{a2}} \right)^{10/3} + \left( \frac{Z_3}{C_{a3}} \right)^{10/3} + \dots + \left( \frac{Z_n}{C_{an}} \right)^{10/3} \right]^{-3/10}$$

..... (3-30)

.../