

Calculs

Calculs totaux selon vos indications sur demande.

Voir « Formulaire pour le service de calculs » à la page 191

Vitesse de rotation et charge moyennes

Pour le calcul de la durée de vie dans des conditions de fonctionnement variables (vitesse de rotation et charge variables), utiliser les valeurs moyennes F_m et n_m .

- Avec une vitesse de rotation variable, utiliser la vitesse de rotation moyenne n_m

$$n_m = \frac{|n_1| \cdot q_{t1} + |n_2| \cdot q_{t2} + \dots + |n_n| \cdot q_{tn}}{100 \%} \quad 1$$

n_1, n_2, \dots, n_n = vitesses de rotation lors des phases 1 ... n (min⁻¹)
 n_m = vitesse de rotation moyenne (min⁻¹)
 $q_{t1}, q_{t2}, \dots, q_{tn}$ = pourcentage de temps lors des phases 1 ... n (%)

Pour la charge effective équivalente des paliers, appliquer :

$$F > 2,8 \cdot F_{pr} \quad F_{eff\ n} = |F_n|$$

$$F \leq 2,8 \cdot F_{pr} \quad F_{eff\ n} = \left[\frac{|F_n|}{2,8 \cdot F_{pr}} + 1 \right]^{\frac{3}{2}} \cdot F_{pr}$$

C = capacité de charge dynamique (N)
 $F_{eff\ n}$ = charge axiale effective équivalente lors de la phase n (N)
 F_n = charge axiale lors de la phase n (N)
 F_{pr} = force de précharge (voir tableaux pages 148/151) (N)

- Avec une charge variable et une vitesse de rotation constante, utiliser la charge moyenne F_m

$$F_m = \sqrt[3]{|F_{eff\ 1}|^3 \cdot \frac{q_{t1}}{100 \%} + |F_{eff\ 2}|^3 \cdot \frac{q_{t2}}{100 \%} + \dots + |F_{eff\ n}|^3 \cdot \frac{q_{tn}}{100 \%}} \quad 2$$

$F_{eff\ 1}, F_{eff\ 2}, \dots, F_{eff\ n}$ = charge axiale effective équivalente lors des phases 1 ... n (N)
 F_m = charge axiale dynamique équivalente (N)
 $q_{t1}, q_{t2}, \dots, q_{tn}$ = pourcentage de temps pour $F_{eff\ 1}, \dots, F_{eff\ n}$ (%)

- Avec une charge variable et une vitesse de rotation variable, utiliser la charge moyenne F_m

$$F_m = \sqrt[3]{|F_{eff\ 1}|^3 \cdot \frac{|n_1|}{n_m} \cdot \frac{q_{t1}}{100 \%} + |F_{eff\ 2}|^3 \cdot \frac{|n_2|}{n_m} \cdot \frac{q_{t2}}{100 \%} + \dots + |F_{eff\ n}|^3 \cdot \frac{|n_n|}{n_m} \cdot \frac{q_{tn}}{100 \%}} \quad 3$$

$F_{eff\ 1}, F_{eff\ 2}, \dots, F_{eff\ n}$ = charge axiale effective équivalente lors des phases 1 ... n (N)
 F_m = charge axiale dynamique équivalente (N)
 n_1, n_2, \dots, n_n = vitesses de rotation lors des phases 1 ... n (min⁻¹)
 n_m = vitesse de rotation moyenne (min⁻¹)
 $q_{t1}, q_{t2}, \dots, q_{tn}$ = pourcentage de temps pour $F_{eff\ 1}, \dots, F_{eff\ n}$ (%)

Durée de vie nominale

Durée de vie en nombre de rotations L

$$L = \left[\frac{f_{ac} \cdot C}{F_m} \right]^3 \cdot 10^6 \quad 4 \Rightarrow C = \frac{F_m}{f_{ac}} \cdot \sqrt[3]{\frac{L}{10^6}} \quad 5 \Rightarrow F_m = \frac{f_{ac} \cdot C}{\sqrt[3]{\frac{L}{10^6}}} \quad 6$$

C = capacité de charge dynamique (N)
 F_m = charge axiale dynamique équivalente (N)
 L = durée de vie nominale (rotations) (-)
 f_{ac} = facteur de correction classes de tolérance (voir page 141)

Durée de vie en heures de fonctionnement L_h

$$L_h = \frac{L}{n_m \cdot 60} \quad 7$$

L_h = durée de vie (h)
 L = durée de vie (rotations) (-)
 n_m = vitesse de rotation moyenne (min^{-1})

$$L_{h \text{ machine}} = L_h \cdot \frac{DU_{\text{machine}}}{DU_{\text{BASA}}} \quad 8$$

DU_{machine} = durée de fonctionnement machine (%)
 DU_{BASA} = durée de fonctionnement BASA (%)
 $L_{h \text{ machine}}$ = durée de vie nominale de la machine (h)
 L_h = durée de vie nominale de la vis à billes (h)

Couple et puissance d'entraînement

Il convient de vérifier le couple de rotation maximal admissible pour l'usinage des extrémités.

Couple d'entraînement M_{ta}

lors de la conversion du mouvement de rotation en mouvement linéaire

$$M_{ta} = \frac{F_L \cdot P}{2\,000 \cdot \pi \cdot \eta} \quad 9$$

$M_{ta} \leq M_p$

F_L = force d'avance (N)
 M_p = couple d'entraînement maximum admissible (Nm)
 M_{ta} = couple d'entraînement (Nm)
 P = pas (mm)
 η = rendement ($\eta \approx 0,9$) (-)

Couple résistant M_{te}

lors de la conversion du mouvement linéaire en mouvement rotatif :

$$M_{te} = \frac{F_L \cdot P \cdot \eta'}{2\,000 \cdot \pi} \quad 10$$

$M_{te} \leq M_p$

F_L = force d'avance (N)
 M_p = couple d'entraînement maximum admissible (Nm)
 M_{te} = couple résistant (Nm)
 P = pas (mm)
 η' = rendement ($\eta' \approx 0,8$) (-)

Avec les unités d'écrous préchargées, respecter le couple dynamique.

Puissance d'entraînement P_a

$$P_a = \frac{M_{ta} \cdot n}{9\,550} \quad 11$$

M_{ta} = couple d'entraînement (Nm)
 n = vitesse de rotation (min^{-1})
 P_a = puissance d'entraînement (kW)

⚠ Les applications critiques sont soumises aux exigences suivantes.

Sécurité statique S_0

Toute construction avec contact des billes doit faire l'objet d'un calcul de vérification de la sécurité statique.

$F_{0 \text{ max}}$ représente l'amplitude de charge maximale pouvant s'exercer sur l'entraînement à vis.
 Peu importe si cette charge ne s'exerce que sur une courte durée.
 Elle peut représenter l'amplitude de crête d'un collectif de charge dynamique.
 Les indications du tableau s'appliquent pour la conception.

$$S_0 = C_0 / (F_{0 \text{ max}}) \quad 12$$

C_0 = capacité de charge statique (N)
 $F_{0 \text{ max}}$ = charge statique maximum (N)
 S_0 = sécurité statique (-)

Conception du facteur de sécurité statique en fonction des cas d'application

Cas d'application	Facteur de sécurité statique S_0
Positions suspendues au-dessus de la tête et applications à haut potentiel de risque	≥ 12
Sollicitation dynamique élevée à l'arrêt, encrassement.	8 - 12
Conception normale des machines et des installations lorsque les paramètres de charge ou les détails des raccords ne sont pas tous connus.	5 - 8
Toutes les données de charge sont connues. Une marche sans heurts est garantie.	3 - 5

En cas de risque pour la santé et la sécurité des personnes, il convient de prévoir un dispositif antichute (voir chapitre Écrou de sécurité).

Calcul

Exemple de calcul de durée de vie

Conditions de fonctionnement

La durée de vie de la machine devra atteindre 40 000 heures de fonctionnement, la vis à billes ayant une durée de fonctionnement de 60 %.

Vis à billes prévue : 63 x 10

$F_1 = 50\,000\text{ N}$ avec $n_1 = 10\text{ min}^{-1}$ pour $q_1 = 6\%$ de la durée de fonct.
 $F_2 = 25\,000\text{ N}$ avec $n_2 = 30\text{ min}^{-1}$ pour $q_2 = 22\%$ de la durée de fonct.
 $F_3 = 8\,000\text{ N}$ avec $n_3 = 100\text{ min}^{-1}$ pour $q_3 = 47\%$ de la durée de fonct.
 $F_4 = 2\,000\text{ N}$ avec $n_4 = 1\,000\text{ min}^{-1}$ pour $q_4 = \frac{25\%}{100\%}$ de la durée de fonct.

Calculs

Vitesse de rotation moyenne n_m

$$n_m = \frac{6}{100} \cdot |10| + \frac{22}{100} \cdot |30| + \frac{47}{100} \cdot |100| + \frac{25}{100} \cdot |1000| \quad 1$$

$$n_m = 304\text{ min}^{-1}$$

Charge moyenne F_m avec charge variable et vitesse de rotation variable

$$F_m = \sqrt[3]{|50000|^3 \cdot \frac{|10|}{304} \cdot \frac{6}{100} + |25000|^3 \cdot \frac{|30|}{304} \cdot \frac{22}{100} + |8000|^3 \cdot \frac{|100|}{304} \cdot \frac{47}{100} + |2000|^3 \cdot \frac{|1000|}{304} \cdot \frac{25}{100}} \quad 3$$

$$F_m = 8\,757\text{ N}$$

Durée de vie souhaitée L (rotations)

La durée de vie L se calcule en modifiant les formules 7 et 8 :

$$L = L_h \cdot n_m \cdot 60$$

$$L_h = L_{h\text{ machine}} \cdot \frac{DU_{\text{BASA}}}{DU_{\text{machine}}}$$

$$L_h = 40\,000 \cdot \frac{60}{100} = 24\,000\text{ h}$$

$$L = 24\,000 \cdot 304 \cdot 60$$

$$L = 437\,760\,000\text{ rotations}$$

Capacité de charge dynamique C

$$C = 8\,757 \cdot \sqrt[3]{\frac{437\,760\,000}{10^6}} \quad 5 \quad C \approx 66\,492\text{ N}$$

Résultat et sélection

On peut maintenant opérer la sélection dans les tableaux :

p. ex. vis à billes, taille 63 x 10 R x 6-6, écrou simple à bride préchargé FEM-E-S, capacité de charge dyn. $C = 106\,600\text{ N}$, référence R1512 640 13, avec classe de tolérance de vis 7.

Attention : Tenir compte de la capacité de charge du palier de vis sélectionné !

⚠ Tenir compte du facteur de correction de la classe de tolérance f_{ac} !
Voir page 141.

Vérification

On peut maintenant opérer la sélection dans les tableaux de produits :

Taille pour 63 x 10 R x 6-6

Jeu axial (C0)

**Précharge
(classe de précharge C3)**

Vis à billes BASA

FEM-E-S, avec jeu axial standard
Capacité de charge $C_{dyn} = 106\ 560\ N$
Facteur de correction $f_{ac} = 0,9$
Vérification
Durée de vie de la vis à billes sélectionnée en nombre de rotations

$$L = \left[\frac{0,9 \cdot 106\ 560}{8\ 757} \right]^3 \cdot 10^6$$

$$L \approx 1\ 314 \cdot 10^6 \text{ rotations}$$

Durée de vie en heures de fonctionnement L_h

$$L_h = \frac{1\ 314 \cdot 10^6}{304 \cdot 60}$$

$$L_h \approx 72\ 039 \text{ heures}$$

FEM-E-S, avec classe de précharge C3
Capacité de charge $C_{dyn} = 106\ 560\ N$
Facteur de correction $f_{ac} = 0,9$
Force de précharge = 4 400 N
Vérification
Pour la charge effective équivalente des paliers, appliquer :

$$F > 2,8 \cdot F_{pr} \quad F_{eff\ n} = |F_n|$$

$$F \leq 2,8 \cdot F_{pr} \quad F_{eff\ n} = \left[\frac{|F_n|}{2,8 \cdot F_{pr}} + 1 \right]^{\frac{3}{2}} \cdot F_{pr}$$

C = capacité de charge dynamique (N)
 $F_{eff\ n}$ = charge axiale effective équivalente lors de la phase n (N)
 F_n = charge axiale lors de la phase n (N)
 F_{pr} = force de précharge (voir tableau pages 148/151) (N)

$$2,8 \times F_{pr} = 2,8 \times 4\ 440\ N = 12\ 432\ N$$

$$- F_1 = 50\ 000\ N > 12\ 432\ N \Rightarrow F_{eff1} = 50\ 000\ N$$

$$- F_2 = 25\ 000\ N > 12\ 432\ N \Rightarrow F_{eff2} = 25\ 000\ N$$

$$- F_3 = 8\ 000\ N < 12\ 432\ N \Rightarrow F_{eff3} = \left(\frac{8\ 000}{12\ 432} + 1 \right)^{1,5} \cdot 4\ 440\ N = 9\ 355\ N$$

$$- F_4 = 2\ 000\ N < 12\ 432\ N \Rightarrow F_{eff4} = \left(\frac{2\ 000}{12\ 432} + 1 \right)^{1,5} \cdot 4\ 440\ N = 5\ 553\ N$$

$$F_m = \sqrt[3]{|50000|^3 \cdot \frac{10}{304} \cdot \frac{6}{100} + |25000|^3 \cdot \frac{30}{304} \cdot \frac{22}{100} + |9355|^3 \cdot \frac{100}{304} \cdot \frac{47}{100} + |5553|^3 \cdot \frac{1000}{304} \cdot \frac{25}{100}}$$

$$F_m = 9\ 485\ N$$

$$L = \left[\frac{0,9 \cdot 106\ 560}{9\ 485} \right]^3 \cdot 10^6 = 1\ 034 \cdot 10^6 \text{ rotations}$$

$$L_h = \frac{1\ 034 \cdot 10^6}{304 \cdot 60} = 56\ 689 \text{ heures}$$

La durée de vie des 2 BASA (avec jeu axial standard C0/avec classe de facteur de précharge C3) est supérieure à la durée de vie requise de $40\ 000 \times 60\ \% = 24\ 000$ heures. Il est donc possible de sélectionner une BASA plus petite, moyennant une vérification.

Vitesse critique de rotation n_{cr}

La vitesse critique de rotation n_{cr} est fonction du diamètre de la vis, du type de montage et de la longueur l_{cr} . On ne doit pas tenir

compte d'un guide d'écrou avec jeu axial. La vitesse de fonctionnement ne doit pas dépasser 80 % de la vitesse critique.

Respecter la vitesse de rotation nominale ou la vitesse linéaire max. admissible, voir « Indications techniques » à la page 140.

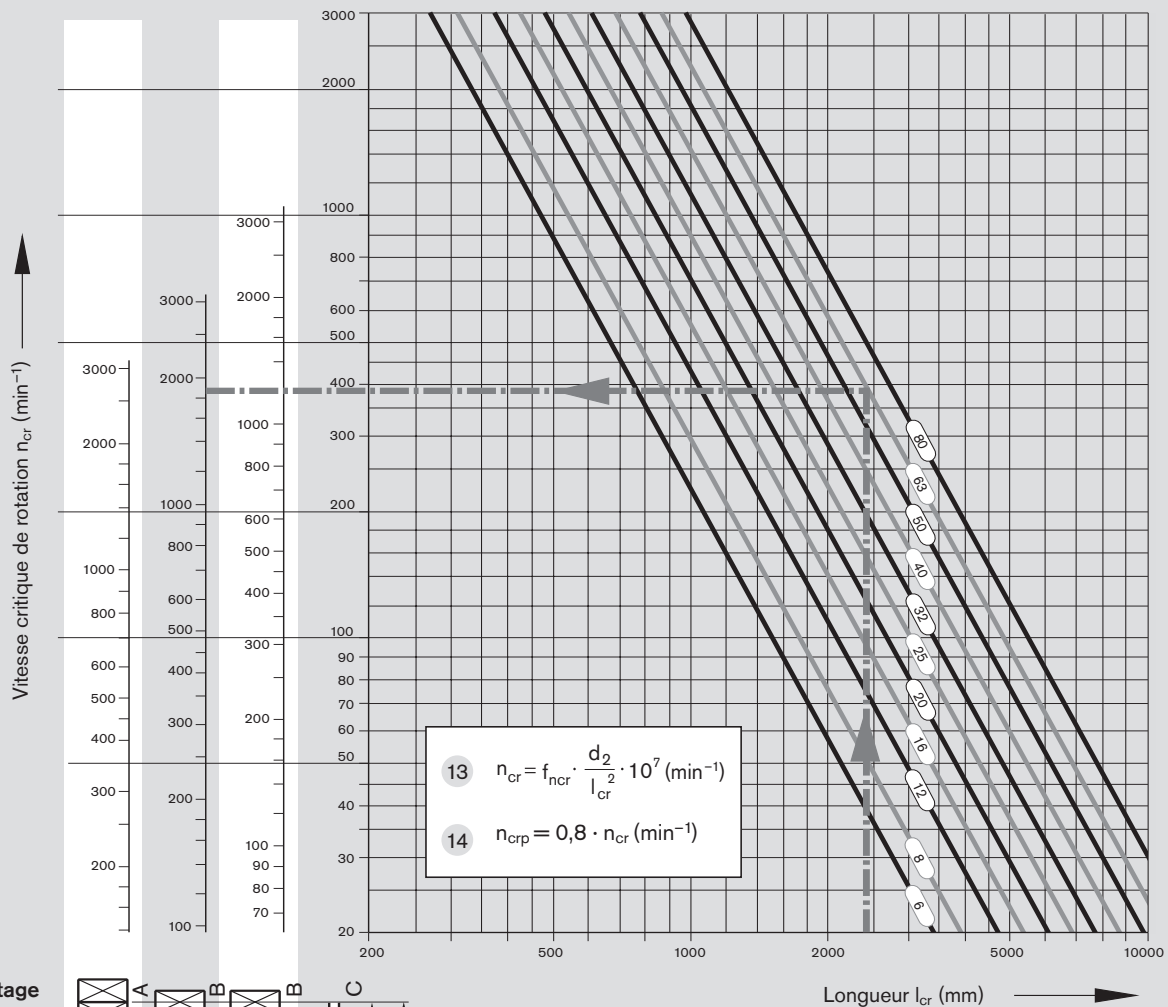
Exemple

Diamètre de la vis = 63 mm
Longueur l_{cr} = 2,4 m
Type de montage II (palier fixe - palier libre)

D'après l'illustration, la vitesse critique de rotation est de 1 850 min^{-1} .

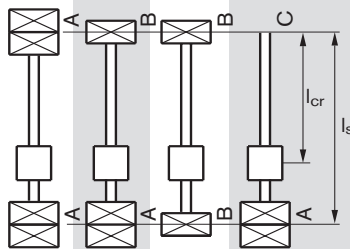
La vitesse de fonctionnement admissible est de $1\ 850\ \text{min}^{-1} \times 0,8 = 1\ 480\ \text{min}^{-1}$.

Dans l'exemple de calcul, la vitesse de rotation maximale de $n_4 = 1\ 000\ \text{min}^{-1}$ est donc inférieure à la vitesse de fonctionnement admissible.



Type de montage de la vis :

A = palier fixe
B = palier libre
C = sans palier



Type de montage	I	II	III	IV
Valeur f_{ncr}	27,4	18,9	12,1	4,3

n_{cr} = vitesse critique de rotation (min^{-1})
 n_{crp} = vitesse de fonctionnement admissible (min^{-1})
 f_{ncr} = valeur de correction dépendante des paliers
 d_2 = diamètre à fond de filet (voir tableaux de dimensionnement) (mm)
 l_{cr} = longueur critique pour systèmes d'écrous préchargés (mm)
 l_s = écartement palier - palier (mm)
 Pour systèmes d'écrous sans précharge : $l_{cr} = l_s$
 L'hypothèse « type de montage fixe » peut être adoptée pour l'extrémité de vis, forme 31.

Attention : type de montage IV (fixe/non fixe) En cas de position de montage horizontale, uniquement recommandé pour des longueurs de construction courtes. Un support de l'extrémité non fixe est nécessaire pour les longueurs de construction longues. Pour toute question, veuillez vous adresser à notre service technique.

Charge axiale admissible de la vis F_c (flambage)

La charge axiale admissible de la vis F_c est fonction du diamètre de la vis, du type de

montage et de la longueur non supportée l_c .

Pour le calcul de charge axiale, utiliser un coefficient de sécurité de $s \geq 2$.

Exemple

- Diamètre de la vis = 63 mm
- Pas = 10 mm,
- Longueur l_c = 2,4 m
- Type de montage IV (palier fixe - palier libre)

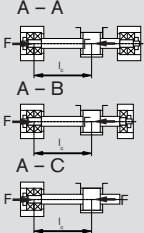
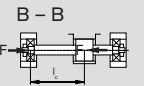
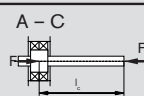
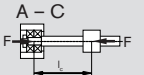
D'après l'illustration, la charge axiale théorique admissible est de 360 kN. Avec un coefficient de sécurité de 2, on obtient une charge axiale en fonctionnement admissible de la vis de 360 kN : $2 = 180$ kN.

Elle est donc supérieure à la charge de fonctionnement maximale $F_1 = 50$ kN dans l'exemple de calcul.

15 $F_c = f_{Fc} \cdot \frac{d_2^4}{l_c^2} \cdot 10^4 \text{ (N)}$

16 $F_{cp} = \frac{F_c}{2} \text{ (N)}$

- F_c = charge axiale théorique admissible de la vis (N)
- F_{cp} = charge axiale en fonctionnement admissible de la vis (N)
- f_{Fc} = valeur de correction dépendante des paliers
- d_2 = diamètre à fond de filet, voir tableaux de dimensionnement (mm)
- l_c = longueur de filetage non supportée (mm)

Type de montage de la vis:	Valeur de correction f_{Fc}	
	Écrou fixe	Écrou non fixe
	Type de montage I 40,6	Type de montage IV 20,4
	Type de montage II 20,4	Type de montage V 10,2
	Type de montage III 2,6	
		Type de montage VI 2,6

Valeur f_{Fc}	Type de montage
2,6	III / VI
10,2	V
20,4	II / IV
40,6	I

Type de montage de la vis:

- A = palier fixe
- B = palier libre
- C = sans palier

