

CONCOURS 3^{EME} ANNEE

MECANIQUE

ECOLE NORMALE SUPERIEURE DE CACHAN

COMPOSITION DE MECANIQUE ET CONCEPTION

Durée : 4 Heures

Le sujet comporte 8 pages de texte, 7 pages de document et 1 document réponse format A3.

Nota : l'épreuve comporte 3 parties indépendantes.

Ces parties peuvent être traitées dans un ordre quelconque. Il est vivement conseillé au candidat de répartir son travail de la façon suivante :

Partie 1 : Comportement de la broche	2 heures
Partie 2 : Dispositif d'entraînement de l'axe C	1 heure
Partie 3 : Conception du guidage de la vis sans fin	1 heure

Les parties traitées seront rédigées sur des copies séparées. Il faudra préciser sur chaque copie :

- le titre,
- le repère de l'épreuve,
- la partie de l'épreuve traitée,
- le nombre de feuilles constituant la copie.

Vous veillerez à rendre le document réponse avec les copies correspondantes.

Etudes autour d'une machine UGV 5 axes

Présentation

Les études proposées concernent une machine UGV 5 axes. La première partie porte sur le comportement d'un élément du guidage en rotation de la broche. Les parties 2 et 3 s'intéressent au dispositif de transmission de l'axe C et à son guidage.

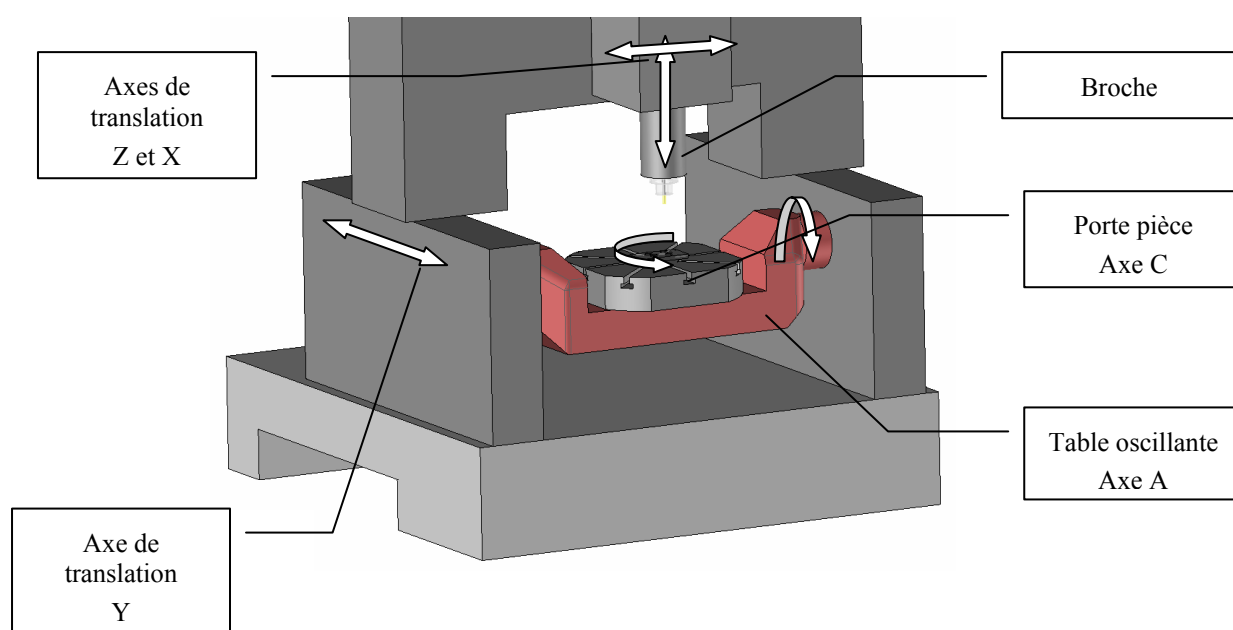


Figure 1 : Définition des axes

Partie 1 : Etude du comportement de la broche

On s'intéresse au comportement de la broche de la machine outils lorsqu'elle est en rotation. Les machines modernes, prévues pour l'UGV, admettent des vitesses de rotation élevées. Aussi il est légitime de poser le problème des conséquences des effets d'inertie dus à la rotation sur la liaison bâti-broche. Celle-ci se fait par un montage avec roulements précontraints.

Ici, il n'est pas question de faire une étude complète, mais d'aborder une démarche (étude simplifiée) qui peut donner une idée de ce qui se passe. Seule la liaison entre la broche (solide 1) et la bague intérieure d'un roulement (solide 2) est étudiée. Le schéma qui suit représente la partie de la broche et la bague intérieure qui sont en liaison, il indique les rayons R_e , R_i , r_e et r_i qui vont intervenir dans l'étude.

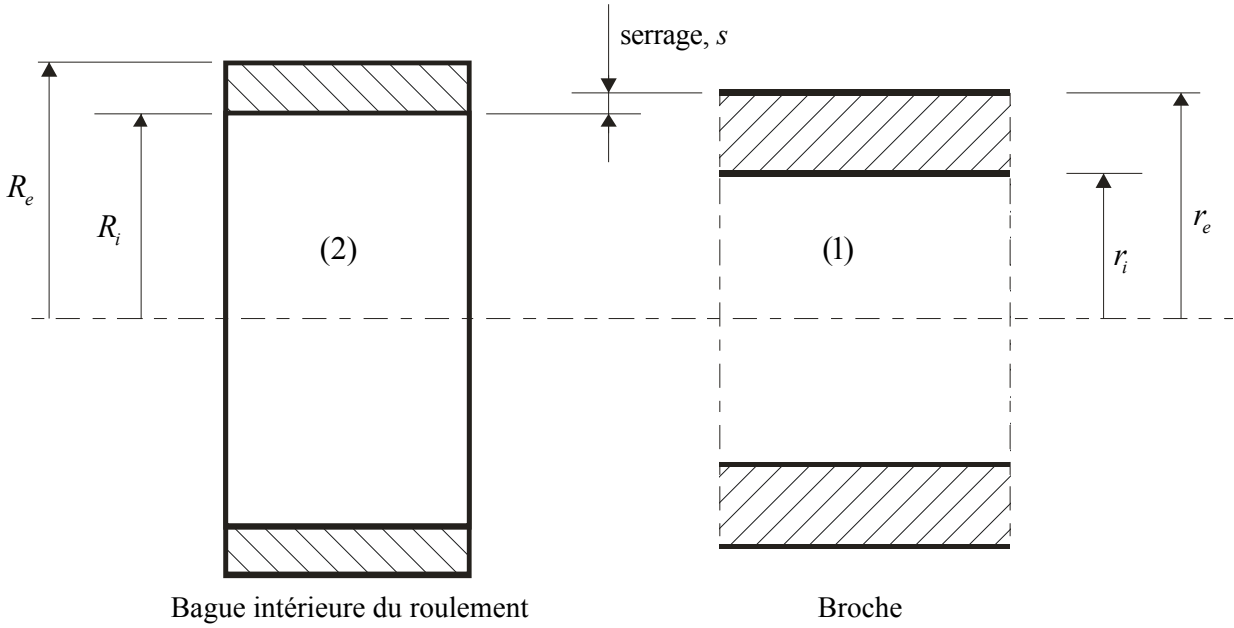


Figure 2 : Dimensions utilisées de la bague intérieure du roulement et de la broche

Au montage, la bague est frettée sur la broche. Après frettage, le serrage et la pression qui s'exercent à l'interface sont respectivement notés « s » et « p_0 ». Plus généralement, le champ de contraintes qui résulte du frettage est noté $\boldsymbol{\sigma}_0$.

Dans cette étude on ne prend pas en compte le poids de la broche, seules les conséquences des effets d'inertie dus à la rotation « ω » sont analysées.

Etude partielle du frettage élastique de la bague intérieure et de la broche

On suppose qu'au montage, les déplacements sont radiaux et ont la forme suivante :

$$\vec{u}(M) = \left(A \frac{r}{2} + \frac{B}{r} \right) \vec{e}_r ,$$

A et B seront des constantes à déterminer pour chaque pièce.

Sous l'hypothèse des déplacements radiaux, la forme des champs $\boldsymbol{\sigma}_0$ qui existent dans la broche et la bague après montage est la suivante :

$$\boldsymbol{\sigma}_0 \xrightarrow{(\vec{e})} \begin{bmatrix} \sigma_{0r} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{0\theta} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{0z} \end{bmatrix} \text{ avec } \begin{cases} \sigma_{0r} = (\lambda + \mu)A - 2\mu \frac{B}{r^2} \\ \sigma_{0\theta} = (\lambda + \mu)A + 2\mu \frac{B}{r^2} \\ \sigma_{0z} = \lambda A \end{cases}$$

Où (\vec{e}) est la base orthonormée locale associée aux coordonnées cylindriques : \vec{e}_z est orienté suivant l'axe de broche ; \vec{e}_r est le vecteur radial et \vec{e}_θ est tel que $\vec{e}_\theta = \vec{e}_z \wedge \vec{e}_r$.

Afin de préciser les contraintes dans chacune des pièces, on demande :

Question 1. De vérifier, qu'en l'absence d'efforts extérieurs à distance, les contraintes ci-dessus satisfont les équations d'équilibre local suivantes :

$$\begin{aligned}\sigma_{rr,r} + \frac{1}{r}\sigma_{r\theta,\theta} + \sigma_{rz,z} + \frac{\sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta}}{r} + f_r &= 0 \\ \sigma_{r\theta,r} + \frac{1}{r}\sigma_{\theta\theta,\theta} + \sigma_{\theta z,z} + \frac{2\sigma_{r\theta}}{r} + f_\theta &= 0 \\ \sigma_{rz,r} + \frac{1}{r}\sigma_{\theta z,\theta} + \sigma_{zz,z} + \frac{\sigma_{rz}}{r} + f_z &= 0\end{aligned}$$

Question 2. D'exprimer les conditions aux limites sur $\boldsymbol{\sigma}_0$ pour les rayons R_e , R_i , r_e et r_i , et d'en déduire les constantes A_1 et B_1 relatives à la broche et les constantes A_2 et B_2 relatives à la bague ;

Question 3. De calculer les déplacements u_1 et u_2 , déplacements qui sont respectivement le déplacement d'un point de la broche situé au rayon r_e et le déplacement d'un point de la bague situé au rayon R_i . En déduire l'expression de la pression p_0 en fonction du serrage $s = u_2 - u_1$;

Question 4. De donner l'expression du rayon de contact R_0 après montage.

Etude du comportement de la liaison bague intérieure-broche lorsque la broche est en rotation à la vitesse angulaire ω :

En rotation, le champ des contraintes qui s'exerce dans les pièces est noté $\boldsymbol{\sigma} = \boldsymbol{\sigma}_0 + \Delta\boldsymbol{\sigma}$, où $\Delta\boldsymbol{\sigma}$ est le champ des contraintes dû à la rotation ω . On notera aussi $\Delta\vec{u}$ le champ des déplacements et $\Delta\boldsymbol{\epsilon}$ le champ des déformations qui correspondent à $\Delta\boldsymbol{\sigma}$ (donc eux aussi dus à la rotation ω).

On considère les équations de NAVIER écrites sur la base locale :

$$\begin{aligned}(\lambda + 2\mu)(\text{div } \vec{u}(M))_{,r} + f_r &= 0 \\ \frac{1}{r}(\lambda + 2\mu)(\text{div } \vec{u}(M))_{,\theta} + f_\theta &= 0 \\ (\lambda + 2\mu)(\text{div } \vec{u}(M))_{,z} + f_z &= 0\end{aligned} \quad \text{avec} \quad \begin{aligned}\text{div } \vec{u}(M) &= u_{r,r} + \frac{1}{r}(u_{\theta,\theta} + u_r) + u_{z,z} \\ \vec{f}(M) &= \rho \omega^2 r \vec{e}_r\end{aligned}$$

On demande :

- Question 5. De montrer, en admettant que le champ des déplacements est radial et ne dépend que de r lorsque ω est uniforme (soit : $\Delta \vec{u}(M) = u_r(r) \vec{e}_r$), que $\Delta \vec{u}(M)$ vérifie les équations de NAVIER, que seule la première équation scalaire de NAVIER n'est pas identiquement nulle et qu'elle se met sous la forme suivante :

$$\frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (r u_r) \right] = -k r \quad \text{avec : } k = \frac{\rho \omega^2}{(\lambda + 2\mu)}$$

- Question 6. De déterminer la forme de la fonction $u_r(r)$ en intégrant l'équation différentielle précédente. On notera C et D les constantes d'intégration ;

- Question 7. De définir la matrice représentative, sur la base locale (\vec{e}) , du tenseur $\Delta \boldsymbol{\varepsilon}$;

$$\Delta \boldsymbol{\varepsilon} \xrightarrow{(\vec{e})} \begin{bmatrix} u_{r,r} & \frac{u_{r,\theta}}{r} - \frac{u_\theta}{r} & u_{r,z} \\ u_{\theta,r} & \frac{u_{\theta,\theta}}{r} + \frac{u_r}{r} & u_{\theta,z} \\ u_{z,r} & \frac{u_{z,\theta}}{r} & u_{z,z} \end{bmatrix}$$

- Question 8. De définir la matrice représentative, sur la base locale (\vec{e}) , du tenseur $\Delta \boldsymbol{\sigma}$;

- Question 9. D'exprimer les conditions aux limites sur $\Delta \boldsymbol{\sigma}$ pour les rayons R_e et r_i ;

- Question 10. D'exprimer les conditions d'équilibre sur $\Delta \boldsymbol{\sigma}$ pour le rayons R_0 défini question 4 ;

- Question 11. De déduire des trois relations issues des questions 9 et 10 les constantes C_1 et D_1 relatives à la broche et la constante C_2 relative à la bague (ici pour simplifier on admet que $\mathbf{D}_2 = \mathbf{0}$) ;

- Question 12. De calculer la valeur critique de ω à partir de laquelle le contact entre la bague et la broche n'est plus assuré. La condition de rupture du contact est :

$$\sigma_r = \sigma_{0,r} + \Delta \sigma_r \geq 0$$

Partie 2 : Etude du dispositif d'entraînement de l'axe C

L'entraînement final de l'axe C est réalisé par un engrenage à vis sans fin dont les caractéristiques principales sont définies Document 1 et ci-dessous :

- Nombre de filets et angle d'hélice de la vis sans fin : $Z_1=1$; $\beta_1 = 87^\circ$. Pas à droite.
- Nombre de dents et angle d'hélice de la roue : $Z_2=71$; $\beta_2 = 3^\circ$
- Module normal : $m_n=2,75$ mm
- Angle de pression normal : $\alpha_n = 20^\circ$

Quelques formules usuelles sont rappelées Document 1.

Question 1. L'engrenage à vis sans fin peut être irréversible. Expliquez en quelques lignes ce que signifie cette propriété.

La Figure 4 représente l'évolution du rendement du système lorsque la vis est motrice et lorsque la roue est motrice, en fonction de l'angle d'hélice β_1 et pour différents coefficients de frottement.

Question 2. Comment se traduit un fonctionnement irréversible sur l'expression du rendement ?

Question 3. A l'aide du Document 1, Figure 4, déterminez le coefficient de frottement maximal conduisant à un fonctionnement réversible ? Qu'en concluez vous par rapport à la réversibilité du dispositif étudié ?

Question 4. Lors du fonctionnement avec vis motrice, quelle est la valeur numérique du rendement du système pour un coefficient de frottement supposé de 0,09 ?

Dimensions des composants et glissement

Nous allons déterminer les dimensions des diamètres de référence d_2 et d_1 .

Dans la section médiane de la vis (section liée au plan (O_1, \vec{x}, \vec{y})), l'engrènement est similaire à celui d'une crémaillère définie sur (1) avec un pignon (2) (cf. Document 1).

Question 5. En déduire la longueur de l'arc séparant 2 flancs de denture de même courbure sur la roue (2). Cette longueur sera exprimée en fonction des caractéristiques de la vis sans fin m_n et β_1 . En déduire l'expression de d_2 et sa valeur numérique.

Question 6. Déterminez l'expression et la valeur du diamètre de référence de la vis, d_1 , en fonction de m_x et de γ , puis en fonction de m_x et de β_1 . En déduire l'expression de d_2/d_1 en fonction de Z_2 et β_1 .

Soit ω_1 la vitesse de rotation de la vis sans fin par rapport au carter (0) : $\vec{\Omega}_{1/0} = \omega_1 \vec{x}$

Soit ω_2 la vitesse de rotation de la roue telle que : $\vec{\Omega}_{2/0} = \omega_2 \vec{z}$

Soit $v_1 = r_1 \omega_1$ la vitesse tangentielle de référence de la vis. Soit I le centre du contact.

Question 7. Déterminez la vitesse de glissement en I , de la roue par rapport à la vis. Exprimez cette vitesse en fonction de v_1 et β_1 .

Etude du contact et puissance dissipée

On suppose que les actions de contact de (2) sur (1) se modélisent par une force passant par I :

$$\mathcal{F}_{2 \rightarrow 1} = \begin{cases} \vec{F}_{2 \rightarrow 1} = F_a \vec{x} + F_r \vec{y} + F_t \vec{z} \\ \vec{0} \end{cases} \text{ avec, de plus : } \|\vec{F}_{2 \rightarrow 1}\| = F$$

Question 8. On néglige les frottements au contact. Déterminez les rapports F_a/F_t et F/F_t . Faites les applications numériques.

Question 9. Le frottement de contact n'est plus négligé. Il est modélisé par un modèle de Coulomb. Le coefficient de frottement est noté f . Exprimez $\vec{F}_{2 \rightarrow 1}$ dans la base $(\vec{u}, \vec{y}, \vec{w})$ puis déterminez les rapports F_a/F_t et F/F_t . Faites les applications numériques pour $f = 0,09$.

Question 10. Déterminez la puissance dissipée au contact de (1) avec (2) en fonction de la puissance d'entrée $\mathcal{P}_e = C_1 \omega_1$, de f , β_1 et de α_n . En utilisant ce résultat, déterminez le rendement de la transmission. Faites les applications numériques.

Question 11. Quelles sont les conséquences technologiques de ce rendement ?

Partie 3 : Conception du guidage de la vis sans fin

Pour des raisons de qualité d'usinage, le jeu de fonctionnement dans l'engrenage à vis sans fin doit être annulé, ou tout au moins, "rattrapé" au montage. Dans ce but, le constructeur a choisi de réaliser la vis en 2 parties et de régler au montage la position relative de ces 2 parties.

Vous devez concevoir un avant projet du dispositif de guidage de la vis sans fin dans le bâti de la table oscillante (axe A) et du dispositif de rattrapage de jeux associé. Vous vous assurerez :

- que les efforts axiaux provenant de la transmission par vis sans fin sont transmis au carter de l'axe A par des butées à éléments roulants,
- qu'un réglage axial permet la mise en position relative des deux parties de la vis.

Le Document 2 précise la position de la partie à dessiner et les éléments attenants.

Les éléments roulants sont, de préférence, à choisir parmi ceux proposés Document 3.

Le couple moyen sur la vis est de 7 Nm pour une vitesse moyenne de 1500 tr/mn et maximale de 1850 tr/mn.

Question 1. Réalisez un schéma annoté définissant l'architecture de votre solution et les choix technologiques réalisés.

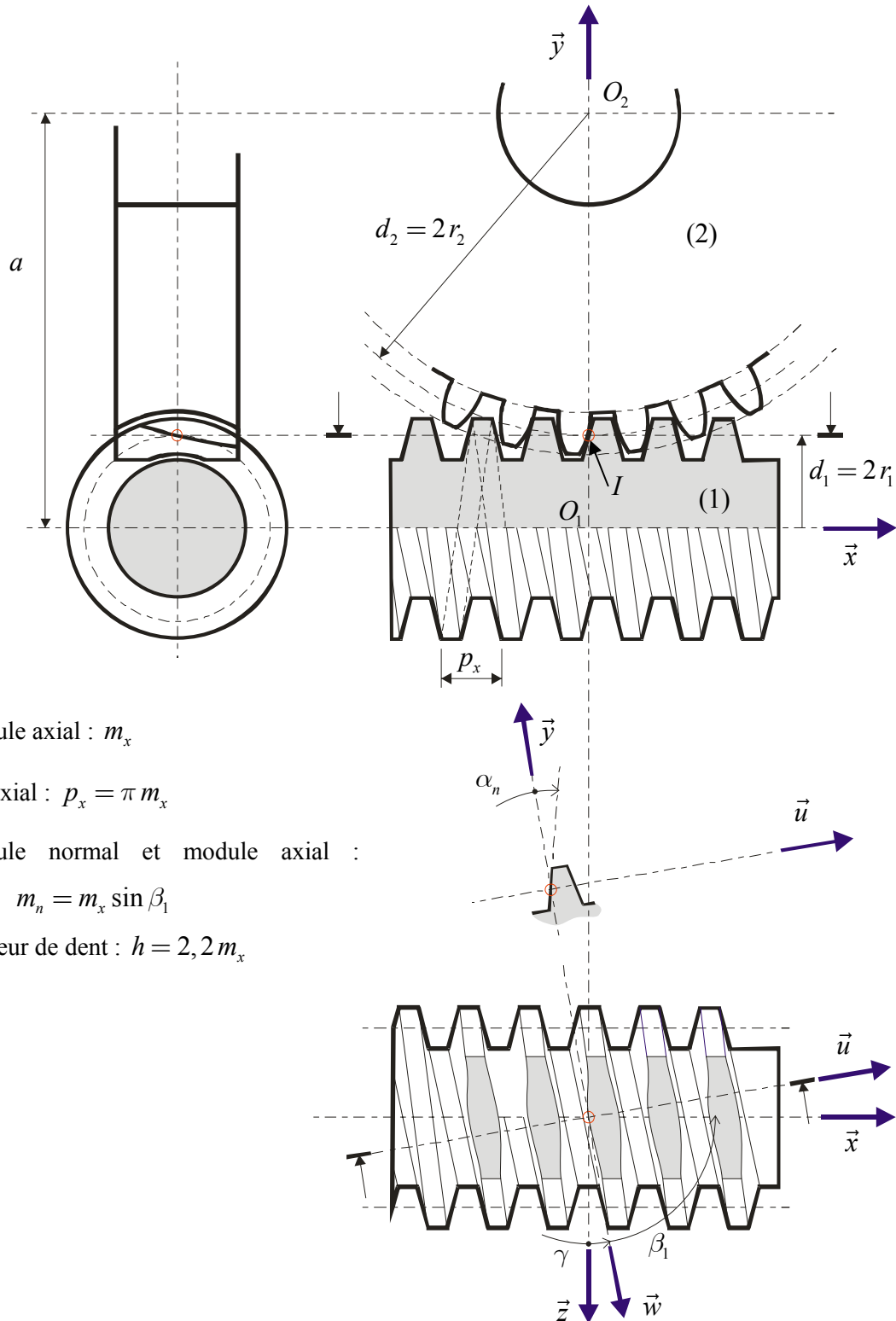
Question 2. Réalisez le dessin d'avant projet sur le document réponse DR1. Vous complétez le document des vues, des éléments de cotation et des définitions des matériaux constitutifs qui vous sembleront nécessaires à la compréhension de votre solution. Indiquer clairement les références des éléments roulants utilisés accompagnées, si nécessaire, d'une notice de choix de ces composants.

DOCUMENT 1 : ENGRENAGE A VIS SANS FIN

La vis sans fin est notée (1) et la roue (2).

(O_1, \vec{x}) est l'axe de rotation de la vis sans fin. (O_2, \vec{z}) est l'axe de rotation de la roue

Le point I est le centre du contact.



Module axial : m_x

Pas axial : $p_x = \pi m_x$

Module normal et module axial :

$$m_n = m_x \sin \beta_1$$

Hauteur de dent : $h = 2,2 m_x$

Figure 3 : Dimensions principales et géométrie du contact de l'engrenage à vis-sans fin

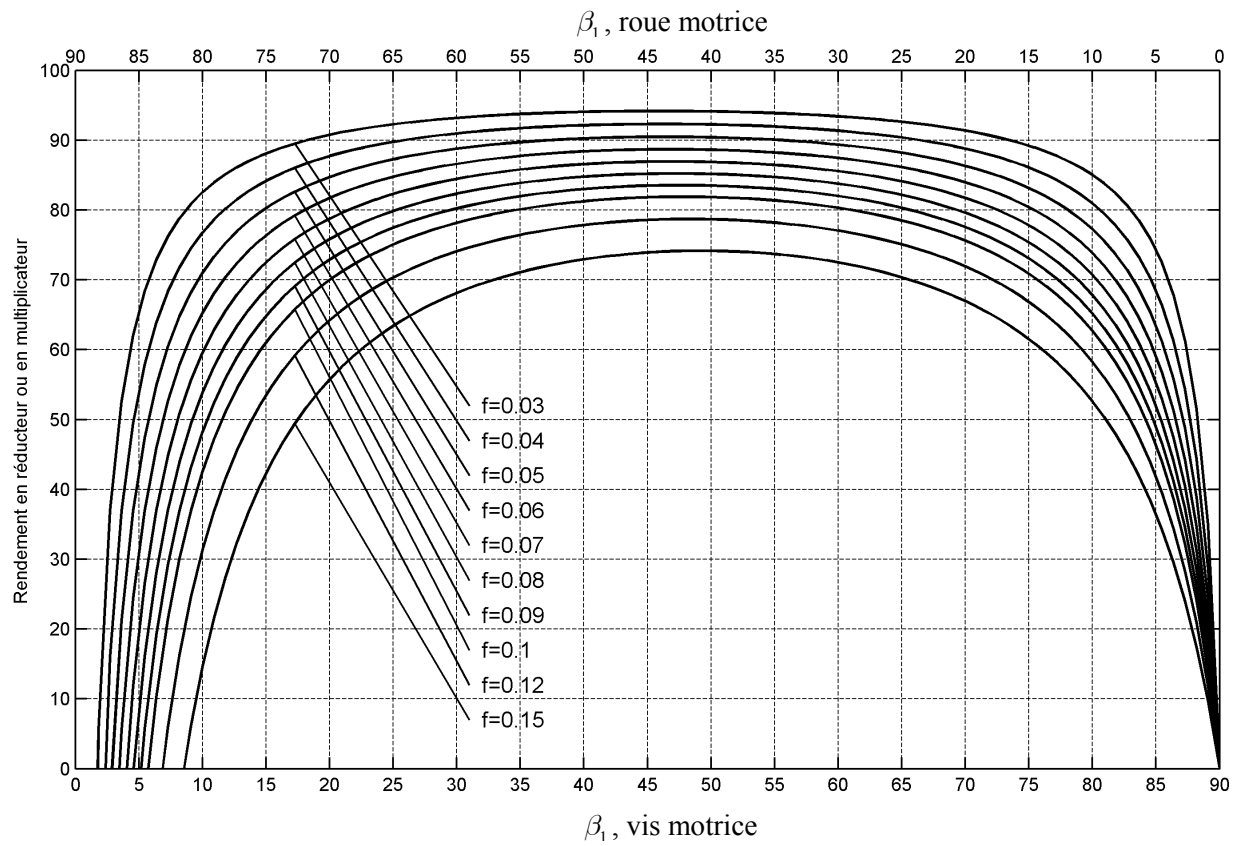
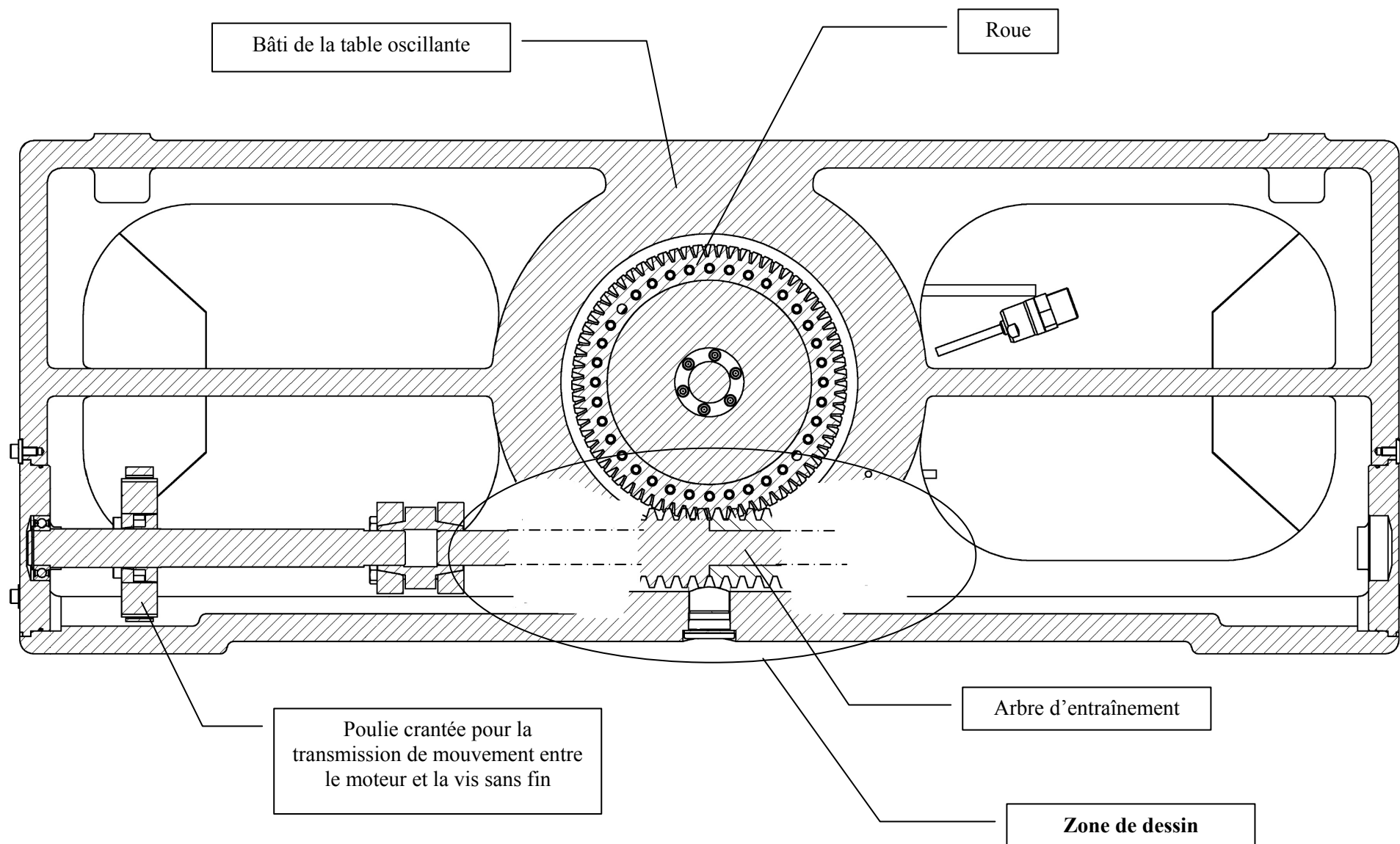


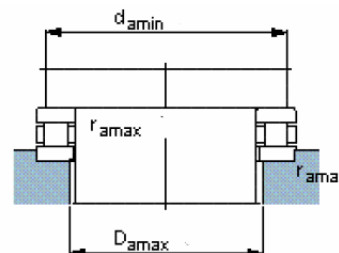
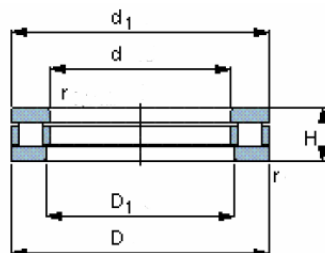
Figure 4 : Rendement d'un engrenage à vis sans fin en fonction de l'angle d'hélice de la vis, lorsque la vis est motrice et lorsque la roue est motrice. f est le coefficient de frottement entre les matériaux constitutifs du couple roue - vis sans fin.

DOCUMENT 2 : IMPLANTATION DE LA VIS SANS FIN

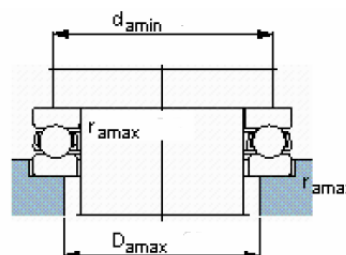
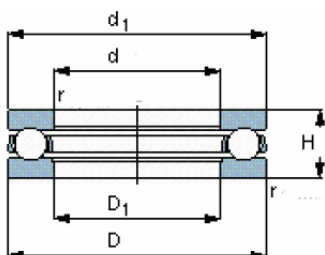


DOCUMENT 3 : ELEMENTS ROULANTS

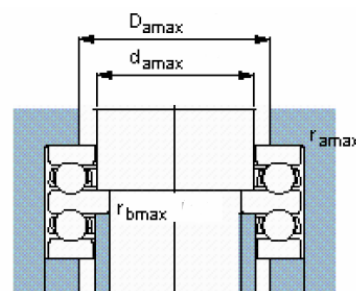
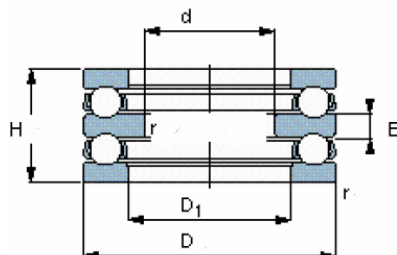
Butées à rouleaux
cylindrique



Butées à billes,
Simple effet



Butées à billes,
Double effet



Butées à rouleaux cylindriques

Dimensions d'encombrement			Charges de base		Limite de fatigue	Facteur de charge axiale	Vitesses de base		Masse	Désignation
d	D	H	dynamique	statique			Vitesse de référence	Vitesse limite		
mm			kN	C ₀	P _u	A	tr/min	kg	-	
15	28	9	11,2	27	2,45	0,00058	4300	8500	0,024	81102 TN
17	30	9	12,2	31,5	2,85	0,00079	4300	8500	0,027	81103 TN
20	35	10	18,6	48	4,65	0,0018	3800	7500	0,037	81104 TN
25	42	11	25	69,5	6,8	0,0039	3200	6300	0,053	81105 TN
30	47	11	27	78	7,65	0,0049	3000	6000	0,057	81106 TN
30	52	16	50	134	13,4	0,014	2400	4800	0,12	81206 TN
30	60	18	47,5	160	16	0,02	2600	5300	0,24	89306 TN
35	52	12	29	93	9,15	0,0069	2800	5600	0,073	81107 TN
35	62	18	62	190	19,3	0,029	2000	4000	0,2	81207 TN
35	68	20	58,5	208	20,8	0,035	2400	4800	0,34	89307 TN
40	60	13	42,5	137	13,7	0,015	2400	5000	0,11	81108 TN
40	68	19	83	255	26,5	0,052	1900	3800	0,25	81208 TN
40	78	22	95	365	36,5	0,1	2000	4000	0,48	89308 TN
45	65	14	40,5	132	13,2	0,014	2200	4500	0,13	81109 TN
45	73	20	86,5	270	28	0,058	1800	3600	0,29	81209 TN
45	85	24	108	425	43	0,1	1800	3600	0,62	89309 TN
50	70	14	47,5	166	16,6	0,022	2200	4300	0,14	81110 TN
50	78	22	91,5	300	31	0,072	1700	3400	0,36	81210 TN
50	95	27	129	530	54	0,22	1600	3200	0,89	89310 TN
55	78	16	69,5	285	29	0,065	1900	3800	0,22	81111 TN
55	90	25	122	390	40	0,12	1800	3600	0,57	81211 TN
55	105	30	143	570	58,5	0,25	1500	3000	1,2	89311 TN
60	85	17	80	300	30,5	0,072	1800	3600	0,27	81112 TN
60	95	26	137	465	47,5	0,17	1400	2800	0,64	81212 TN
60	110	30	146	600	62	0,28	1400	2800	1,25	89312 TN

Butées à billes, simple effet

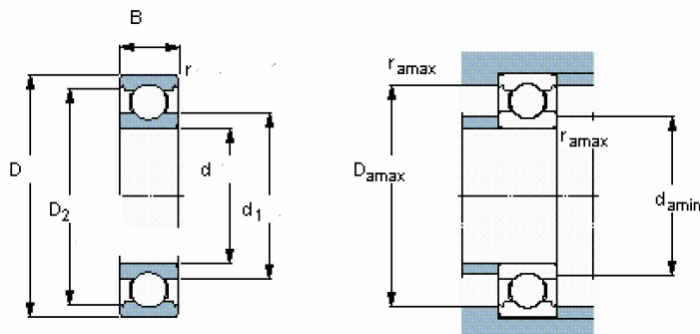
Dimensions d'encombrement			Charges de base		Limite de fatigue P _u	Facteur de charge axiale A	Vitesses de base		Masse	Désignation
d	D	H	dynamique C	statique C ₀			Vitesse de référence	Vitesse limite		
mm			kN		kN	-	tr/min		kg	-
15	28	9	10,6	18,3	0,67	0,0017	8500	12000	0,024	51102
15	32	12	16,5	27	1	0,0038	7000	10000	0,045	51202
17	30	9	11,4	21,2	0,78	0,0023	8500	12000	0,026	51103
17	35	12	17,2	30	1,1	0,0047	6700	9500	0,053	51203
20	35	10	15,1	29	1,08	0,0044	7500	10000	0,039	51104
20	40	14	22,5	40,5	1,53	0,0085	6000	8000	0,082	51204
25	42	11	18,2	39	1,43	0,0079	6300	9000	0,06	51105
25	47	15	27,6	55	2,04	0,015	5300	7500	0,11	51205
25	52	18	34,5	60	2,24	0,018	4500	6300	0,12	51305
25	60	24	55,3	96,5	3,6	0,048	3600	5000	0,34	51405
30	47	11	19	43	1,6	0,0096	6000	8500	0,069	51106
30	52	16	25,5	51	1,9	0,013	4800	6700	0,13	51206
30	60	21	37,7	71	2,65	0,026	3800	5300	0,26	51306
30	70	28	72,8	137	5,1	0,097	3000	4300	0,52	51406
35	52	12	19,9	51	1,86	0,013	5600	7500	0,08	51107
35	62	18	35,1	73,5	2,7	0,028	4000	5600	0,22	51207
35	68	24	49,4	96,5	3,55	0,048	3200	4500	0,39	51307
35	80	32	87,1	170	6,2	0,15	2600	3800	0,74	51407
40	60	13	26	63	2,32	0,02	5000	7000	0,12	51108
40	68	19	46,8	106	4	0,058	3800	5300	0,27	51208
40	78	26	61,8	122	4,5	0,077	3000	4300	0,53	51308
40	90	36	112	224	8,3	0,26	2400	3400	1,1	51408
45	65	14	26,5	69,5	2,55	0,025	4500	6300	0,15	51109
45	73	20	39	86,5	3,2	0,038	3600	5000	0,32	51209
45	85	28	76,1	153	5,6	0,12	2800	4000	0,66	51309
45	100	39	130	265	9,8	0,37	2200	3000	1,42	51409
50	70	14	27	75	2,8	0,029	4300	6300	0,16	51110
50	78	22	49,4	116	4,3	0,069	3400	4500	0,37	51210
50	95	31	88,4	190	6,95	0,19	2600	3600	0,94	51310
50	110	43	159	340	12,5	0,6	2000	2800	2	51410
55	78	16	30,7	85	3,1	0,039	3800	5300	0,24	51111
55	90	25	61,8	146	5,4	0,11	2800	4000	0,59	51211
55	105	35	104	224	8,3	0,26	2200	3200	1,3	51311
55	120	48	178	390	14,3	0,79	1800	2400	2,55	51411
60	85	17	41,6	122	4,55	0,077	3600	5000	0,3	51112
60	95	26	62,4	150	5,6	0,12	2800	3800	0,65	51212
60	110	35	101	224	8,3	0,26	2200	3000	1,35	51312
60	130	51	199	430	16	0,96	1600	2200	3,1	51412 M

Butées à billes, double effet

Dimensions d'encombrement			Charges de base		Limite de fatigue P _u	Facteur de charge axiale A	Vitesses de base		Masse	Désignation
d	D	H	dynamique C	statique C ₀			Vitesse de référence	Vitesse limite		
mm			kN		kN	-	tr/min		kg	-
15	40	26	22,5	40,5	1,53	0,0085	6000	8000	0,15	52204
20	47	28	27,6	55	2,04	0,015	5300	7500	0,22	52205
20	52	34	34,5	60	2,24	0,018	4500	6300	0,33	52305
20	70	52	72,8	137	5,1	0,097	3000	4300	1	52406
25	52	29	25,5	51	1,9	0,013	4800	6700	0,25	52206
25	60	38	37,7	71	2,65	0,026	3800	5300	0,45	52306
25	80	59	87,1	170	6,2	0,15	2600	3800	1,37	52407
30	62	34	35,1	73,5	2,7	0,028	4000	5600	0,41	52207
30	68	36	46,8	106	4	0,058	3800	5300	0,55	52208
30	68	44	49,4	96,5	3,55	0,048	3200	4500	0,68	52307
30	78	49	61,8	122	4,5	0,077	3000	4300	1,05	52308
30	90	65	112	224	8,3	0,26	2400	3400	2,05	52408
35	73	37	39	86,5	3,2	0,038	3600	5000	0,6	52209
35	85	52	76,1	153	5,6	0,12	2800	4000	1,24	52309
35	100	72	130	265	9,8	0,37	2200	3000	2,7	52409
40	78	39	49,4	116	4,3	0,069	3400	4500	0,67	52210
40	95	58	88,4	190	6,95	0,19	2600	3600	1,75	52310
45	90	45	61,8	146	5,4	0,26	2800	4000	1,1	52211
45	105	64	104	224	8,3	0,79	2200	3200	2,4	52311
45	120	87	178	390	14,3	0,12	1800	2400	4,7	52411
50	95	46	62,4	150	5,6	0,26	2800	3800	1,16	52212
50	110	64	101	224	8,3	0,96	2200	3000	2,55	52312
50	130	93	199	430	16	0,14	1600	2200	6,35	52412 M
55	100	47	63,7	163	6	0,16	2600	3600	1,35	52213
55	105	47	65	173	6,4	0,3	2600	3600	1,5	52214
55	115	65	106	240	8,8	0,53	2000	3000	2,75	52313
55	125	72	135	320	11,8	1,6	1900	2600	3,65	52314
55	150	107	234	550	19,3	1,6	1400	2000	9,7	52414 M
60	110	47	67,6	183	6,8	0,17	2400	3400	1,55	52215
60	135	79	163	390	14	0,79	1700	2400	4,8	52315

Roulements rigides à billes, à une rangée

Dimensions d'encombrement			Charges		Limite de fatigue P_u	Vitesses		Masse kg	Désignation
d	D	B	dynamique C	statique C_0		Vitesse limite tr/mn	Vitesse limite		
mm			kN		kN				
20	32	7	4,03	2,32	0,104	45000	28000	0,018	61804
20	37	9	6,37	3,65	0,156	43000	26000	0,038	61904
20	42	8	7,28	4,05	0,173	38000	24000	0,05	16004
20	42	12	9,95	5	0,212	38000	24000	0,069	6004
20	47	14	13,5	6,55	0,28	32000	20000	0,11	6204
20	52	15	16,8	7,8	0,335	30000	19000	0,14	6304
20	72	19	30,7	15	0,64	24000	15000	0,4	6404
25	37	7	4,36	2,6	0,125	38000	24000	0,022	61805
25	42	9	7,02	4,3	0,193	36000	22000	0,045	61905
25	47	8	8,06	4,75	0,212	32000	20000	0,06	16005
25	47	12	11,9	6,55	0,275	32000	20000	0,08	6005
25	52	9	10,6	6,55	0,28	28000	18000	0,078	98205
25	52	15	14,8	7,8	0,335	28000	18000	0,13	6205
25	62	17	23,4	11,6	0,49	24000	16000	0,23	6305
25	80	21	35,8	19,3	0,815	20000	13000	0,53	6405
30	42	7	4,49	2,9	0,146	32000	20000	0,027	61806
30	47	9	7,28	4,55	0,212	30000	19000	0,051	61906
30	55	9	11,9	7,35	0,31	28000	17000	0,085	16006
30	55	13	13,8	8,3	0,355	28000	17000	0,12	6006
30	62	16	20,3	11,2	0,475	24000	15000	0,2	6206
30	72	19	29,6	16	0,67	20000	13000	0,35	6306
30	90	23	43,6	23,6	1	18000	11000	0,74	6406
35	47	7	4,75	3,2	0,166	28000	18000	0,03	61807
35	55	10	9,56	6,8	0,29	26000	16000	0,08	61907
35	62	9	13	8,15	0,375	24000	15000	0,11	16007
35	62	14	16,8	10,2	0,44	24000	15000	0,16	6007
35	72	17	27	15,3	0,655	20000	13000	0,29	6207
35	80	21	35,1	19	0,815	19000	12000	0,46	6307
35	100	25	55,3	31	1,29	16000	10000	0,95	6407
40	52	7	4,94	3,45	0,186	26000	16000	0,034	61808
40	62	12	13,8	10	0,425	24000	14000	0,12	61908
40	68	9	13,8	9,15	0,44	22000	14000	0,13	16008
40	68	15	17,8	11,6	0,49	22000	14000	0,19	6008
40	80	18	32,5	19	0,8	18000	11000	0,37	6208
40	90	23	42,3	24	1,02	17000	11000	0,63	6308
40	110	27	63,7	36,5	1,53	14000	9000	1,25	6408
45	58	7	6,63	6,1	0,26	22000	14000	0,04	61809
45	68	12	14	10,8	0,465	20000	13000	0,14	61909
45	75	10	16,5	10,8	0,52	20000	12000	0,17	16009
45	75	16	22,1	14,6	0,64	20000	12000	0,25	6009
45	85	19	35,1	21,6	0,915	17000	11000	0,41	6209
45	100	25	55,3	31,5	1,34	15000	9500	0,83	6309
45	120	29	76,1	45	1,9	13000	8500	1,55	6409
50	65	7	6,76	6,8	0,285	20000	13000	0,052	61810
50	72	12	14,6	11,8	0,5	19000	12000	0,14	61910
50	80	10	16,8	11,4	0,56	18000	11000	0,18	16010
50	80	16	22,9	16	0,71	18000	11000	0,26	6010
50	90	20	37,1	23,2	0,98	15000	10000	0,46	6210
50	110	27	65	38	1,6	13000	8500	1,05	6310
50	130	31	87,1	52	2,2	12000	7500	1,9	6410
55	72	9	9,04	8,8	0,375	19000	12000	0,083	61811
55	80	13	16,5	14	0,6	17000	11000	0,19	61911
55	90	11	20,3	14	0,695	16000	10000	0,26	16011
55	90	18	29,6	21,2	0,9	16000	10000	0,39	6011
55	100	21	46,2	29	1,25	14000	9000	0,61	6211
55	120	29	74,1	45	1,9	12000	8000	1,35	6311
55	140	33	99,5	62	2,6	11000	7000	2,3	6411
60	78	10	11,9	11,4	0,49	17000	11000	0,11	61812
60	85	13	16,5	14,3	0,6	16000	10000	0,2	61912
60	95	11	20,8	15	0,735	15000	9500	0,28	16012



Roulements à billes à contact oblique, à une rangée

Dimensions d'encombrement			Charges dynamique		Limite de fatigue P_u	Vitesse		Masse	Désignation
d	D	B	C	C_0		Vitesse de référence	Vitesse limite		
mm			kN		kN	tr/mn	kg		
20	47	14	13,3	7,65	0,325	18000	19000	0,11	7204 BECBM
20	47	14	14	8,3	0,355	18000	18000	0,11	7204 BECBY
20	47	14	14,3	8,15	0,345	19000	19000	0,11	7204 BEGBP
20	47	14	13,3	7,65	0,325	18000	18000	0,11	7204 BEP
20	52	15	19	10	0,425	18000	18000	0,15	7304 BECBM
20	52	15	19	10	0,425	18000	18000	0,14	7304 BECBP
20	52	15	19	10	0,425	18000	18000	0,14	7304 BEGAP
20	52	15	19	10	0,425	18000	18000	0,14	7304 BEGBP
20	52	15	17,4	9,5	0,4	16000	16000	0,14	7304 BEP
25	52	15	15,6	10	0,43	17000	17000	0,14	7205 BECBM
25	52	15	15,6	10	0,43	17000	17000	0,13	7205 BEGAP
25	52	15	15,6	10,2	0,43	15000	15000	0,13	7205 BEGBY
25	52	15	15,6	10	0,43	17000	17000	0,13	7205 BEGCP
25	52	15	14,8	9,3	0,4	15000	15000	0,13	7205 BEP
25	62	17	26,5	15,3	0,655	15000	15000	0,24	7305 BECBM
25	62	17	26,5	15,3	0,655	15000	15000	0,23	7305 BEGAP
25	62	17	26	15,6	0,655	14000	14000	0,24	7305 BEGBY
25	62	17	24,2	14	0,6	14000	14000	0,23	7305 BEP
25	80	21	39,7	23,6	1	11000	11000	0,61	7405 BCBM
25	80	21	39,7	23,6	1	11000	11000	0,61	7405 BGAM
25	80	21	39,7	23,6	1	11000	11000	0,61	7405 BM
30	62	16	24	15,6	0,655	14000	14000	0,19	7206 BECAP
30	62	16	24	15,6	0,655	14000	14000	0,19	7206 BEGAP
30	62	16	24	15,6	0,655	14000	14000	0,19	7206 BEGBP
30	62	16	22,5	14,3	0,61	13000	13000	0,19	7206 BEP
30	72	19	35,5	21,2	0,9	13000	13000	0,37	7306 BECBM
30	72	19	35,5	21,2	0,9	13000	13000	0,37	7306 BEGAM
30	72	19	35,5	21,2	0,9	13000	13000	0,33	7306 BEGBP
30	72	19	32,5	19,3	0,815	12000	12000	0,33	7306 BEP
30	90	23	47,5	29	1,22	10000	10000	0,85	7406 BCBM
30	90	23	47,5	29	1,22	10000	10000	0,85	7406 BM
35	72	17	31	20,8	0,88	12000	12000	0,3	7207 BECBM
35	72	17	31	20,8	0,88	12000	12000	0,3	7207 BEGAM
35	72	17	31	20,8	0,88	12000	12000	0,28	7207 BEGBP
35	72	17	29,1	19	0,815	11000	11000	0,28	7207 BEP
35	80	21	41,5	26,5	1,14	11000	11000	0,49	7307 BECBM
35	80	21	41,5	26,5	1,14	11000	11000	0,45	7307 BEGAP
35	80	21	41,5	26,5	1,14	11000	11000	0,45	7307 BEGBP
35	80	21	39	24,5	1,04	10000	10000	0,45	7307 BEP
35	100	25	60,5	38	1,6	8500	9000	1,1	7407 BCBM
35	100	25	60,5	38	1,6	8500	9000	1,1	7407 BM
40	80	18	36,4	26	1,1	10000	10000	0,38	7208 BECBY
40	80	18	36,5	26	1,1	11000	11000	0,39	7208 BEGAM
40	80	18	36,4	26	1,1	10000	10000	0,38	7208 BEGAY
40	80	18	36,4	26	1,1	10000	10000	0,38	7208 BEGBY
40	80	18	34,5	24	1,02	10000	10000	0,37	7208 BEP
40	90	23	50	32,5	1,37	10000	10000	0,61	7308 BECAP
40	90	23	50	32,5	1,37	10000	10000	0,61	7308 BECBP
40	90	23	49,4	33,5	1,4	9000	9000	0,64	7308 BECCY
40	90	23	50	32,5	1,37	10000	10000	0,61	7308 BEGAP
40	90	23	50	32,5	1,37	10000	10000	0,61	7308 BEGBP
40	90	23	46,2	30,5	1,13	9000	9000	0,61	7308 BEP
40	110	27	70,2	45	1,9	8000	8000	1,4	7408 BCBM
40	110	27	70,2	45	1,9	8000	8000	1,4	7408 BGBM
40	110	27	70,2	45	1,9	8000	8000	1,4	7408 BM
45	85	19	38	28,5	1,22	10000	10000	0,42	7209 BECBP
45	85	19	38	28,5	1,22	10000	10000	0,42	7209 BEGAP
45	85	19	37,7	28	1,2	9000	9000	0,43	7209 BEGBY
45	85	19	35,8	26	1,12	9000	9000	0,42	7209 BEP
45	100	25	61	40,5	1,73	9000	9000	0,82	7309 BECAP
45	100	25	61	40,5	1,73	9000	9000	0,82	7309 BECBP
45	100	25	60,5	41,5	1,73	8000	8000	0,86	7309 BECBY
45	100	25	61	40,5	1,73	9000	9000	0,82	7309 BEGAP
45	100	25	61	40,5	1,73	9000	9000	0,82	7309 BEGBP
45	100	25	55,9	37,5	1,6	8000	8000	0,82	7309 BEP
45	120	29	85,2	55	2,36	7000	7500	1,8	7409 BCBM
45	120	29	85,2	55	2,36	7000	7500	1,8	7409 BGBM
45	120	29	85,2	55	2,36	7000	7500	1,8	7409 BGM
50	90	20	40	31	1,32	9000	9000	0,47	7210 BECBP

