
Consignes

La durée de l'épreuve est de **3 heures**. Le poids des parties est donné à titre indicatif. Il est conseillé de lire intégralement l'énoncé et les annexes, puis de traiter le sujet dans l'ordre des questions. Chaque partie est toutefois indépendante.

Sont autorisés : le polycopié, les impressions des présentations et les notes personnelles de cours et TD, calculatrice.

Toute réponse se doit d'être justifiée et concise.

Le sujet est composé d'un document de 5 pages A4 regroupant l'énoncé et les annexes, et d'un document réponse de 5 pages A4. Le **document réponse ne doit pas être dégrafé**.

Toutes les réponses sont à faire sur le document réponse uniquement.

VARIATEUR DE VITESSE

Figure 1 : photo d'un variateur de vitesse

1. Présentation

Le mécanisme étudié est un variateur de vitesse mécanique à friction (par adhérence) produit par la société Galat motorisation. Cet appareil a pour fonction globale de permettre une variation continue de la vitesse de l'arbre récepteur **(1)** pour une rotation constante de l'arbre moteur **(19)**. L'arbre moteur est entraîné par un moteur électrique.

Les variateurs, type MVR permettent un réglage en continu du rapport de vitesse, ni vibration grâce à un mécanisme de déplacement du moteur sur glissières (40 et 42 sur le plan). Un dispositif interne d'étanchéité par soufflet (système breveté) empêche l'introduction de toute matière.

La variation de vitesse peut être effectuée en fonctionnement ou à l'arrêt contrairement à d'autres types de variateurs.

2. Compréhension du système/Technologie (18%)

1. Donner le rôle du ressort de compression (28) (seules les extrémités du ressort sont représentées sur le plan)
2. Indiquer la famille de matériau de la pièce (26) Justifier le choix du constructeur ?
3. Le mécanisme est lubrifié avec de la graisse contenue dans le carter 5. Comment est assurée l'étanchéité entre l'arbre (1) et le carter (5)?
4. Indiquer la famille de matériau des pièces 8 et 9. Préciser le rôle de ces deux pièces.
5. Comment est assurée la mise en position (MIP) et le maintien en position (MAP) de la liaison encastrement entre les pièces 24 et 26.
6. Préciser les types de roulement assurant les guidages en rotation dans le système complet.
7. L'arrêt en translation du plateau (23) par rapport à l'arbre (19) est unidirectionnel. Pourquoi le système reste –t-il fonctionnel ?
8. Pour faciliter le montage, on souhaite ajouter un arrêt axial entre 23 et 19. Proposer une solution sous la forme d'un croquis.
9. Identifier dans le tableau la nature des mouvements des pièces 11, 13 et 14 par rapport à 25.

Pour la question suivante, nous considérons le système de réglage bloqué ($\omega_{11/5} = 0$). On pose : $\overline{EW} = y$ sur le plan.

On pose : $\overline{AB} = R_{26} \cdot \vec{y} + d_1 \cdot \vec{z}$ avec $R_{26} = 60mm$

On considère un roulement sans glissement en A.

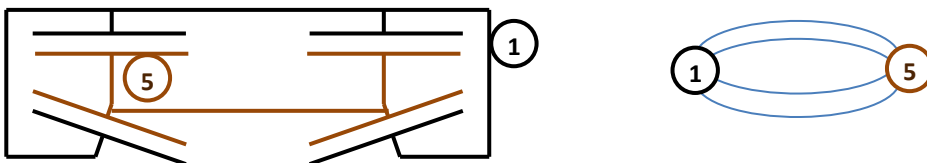
10. Déterminer en justifiant avec rigueur votre démarche, le rapport de réduction défini par $\frac{\omega_{1/5}}{\omega_{19/5}}$ en fonction de la variable « y » et des grandeurs indiquées sur le plan.
Faire l'application numérique en prenant $R_{26} = 60mm$ et $-40mm < y < +20mm$.

3. Modélisation (21%)

Dans le but de calculer les efforts dans les liaisons et de dimensionner certains composants du système, on se propose d'établir un modèle du système complet. On se place dans la phase de vie de réglage du variateur. Pour cela :

11. Compléter sur le document réponse, les classes d'équivalence du système
12. Indiquer comment sont assurés les arrêts axiaux sur les roulements (29 et 32).
13.
 - a. Pour chaque roulement du mécanisme, préciser le modèle de liaison associé.
 - b. Tracer le graphe de liaisons (technologique) de l'ensemble des CE1 ; CE2 et CE6
 - c. En déduire la liaison équivalente entre CE1 et CE6 (préciser votre démarche)
14. Liaison entre CE1 et CE5 :
 - a. Donner le nom de cette liaison équivalente (préciser centre et axe).

Nous adoptons à partir de la vue en coupe C-C le modèle architectural suivant (4 liaisons appui plan):

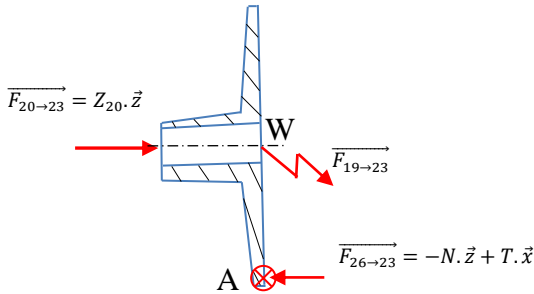


- b. Calculer le degré d'hyperstatisme de ce modèle ?
 - c. Quel élément de réglage permet de gérer le jeu dans la liaison.
15. En vous appuyant sur les réponses précédentes. Compléter le schéma cinématique du doc réponse. Indiquer les numéros de classes d'équivalence sur le schéma.

4. Statique (8%)

On souhaite limiter le couple moteur à 100N.m. On note $[AW] = R_{19}$, R_{19} varie de 80 à 20 mm et on adopte un coefficient de frottement de 0,5 entre 23 et 26.

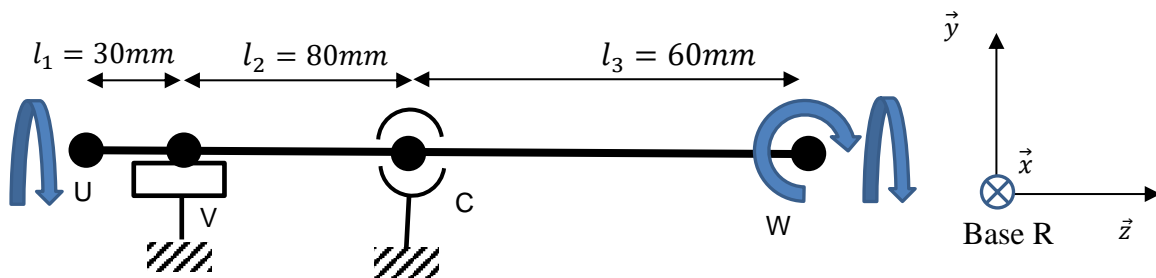
On considère le modèle simplifié de calcul suivant :



16. Déterminer la plage d'effort minimum (à la limite du glissement avec un modèle de coulomb) de N et T pour transmettre un couple de 100N.m. Compléter le tableau du document réponses.

5. Résistance des Matériaux (21%)

L'objectif est de réaliser une étude sur la tenue mécanique de l'arbre 19. On adopte le modèle poutre cylindrique plein (diamètre 40) suivant :



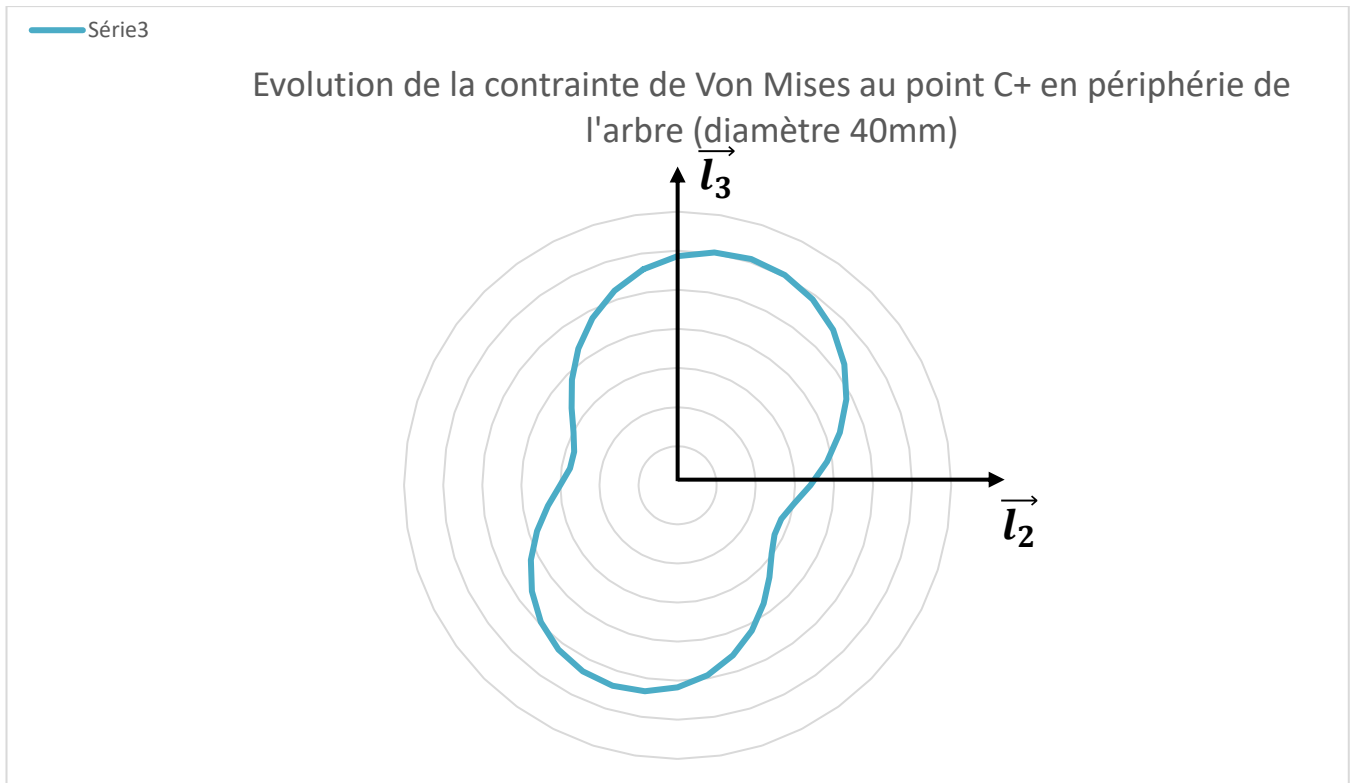
Actions mécaniques du modèle d'environnement retenu (unités en N et N.mm):

- Action de l'axe moteur sur 19 : $\{T_{rotor \rightarrow 19}\}_U = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & N_{rotor} \end{Bmatrix}_{U,R} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 100\,000 \end{Bmatrix}_{U,R}$
- Action du roulement 50 (non visible sur le plan) sur 19: $\{T_{50 \rightarrow 19}\}_V = \begin{Bmatrix} X_{50} & 0 \\ Y_{50} & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{V,R} = \begin{Bmatrix} 3750 & 0 \\ 2500 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{V,R}$
- Action du roulement 20 sur 19 : $\{T_{20 \rightarrow 19}\}_C = \begin{Bmatrix} X_{20} & 0 \\ Y_{20} & 0 \\ Z_{20} & 0 \end{Bmatrix}_{C,R} = \begin{Bmatrix} -8750 & 0 \\ -2500 & 0 \\ 10\,000 & 0 \end{Bmatrix}_{C,R}$
- Action de 23 sur 19 : $\{T_{23 \rightarrow 19}\}_W = \begin{Bmatrix} X_{23} & L_{23} \\ 0 & 0 \\ 0 & N_{23} \end{Bmatrix}_{W,R} = \begin{Bmatrix} 5000 & -200\,000 \\ 0 & 0 \\ 0 & -100\,000 \end{Bmatrix}_{W,R}$
- Masse négligée.

17. Combien de tronçons sont à étudier ?
18. Expliquer la forme du torseur de l'action de 23 sur 19. Justifier la valeur nulle de l'effort Z_{23} . D'où provient l'effort $Z_{20} = 10\,000N$.
19. Calculer le torseur de cohésion dans le tronçon CW. Exprimer le torseur en fonction des efforts Y_{20} , Z_{20} , N_{rotor} et des caractéristiques géométriques de l'étude. Un schéma du modèle retenu est obligatoire.
20. Compléter sur le document réponse, le diagramme des efforts.
21. Déterminer la section la plus sollicitée

22.

- a. A partir du graphique ci-dessous, la contrainte est maximum sur la périphérie de l'arbre pour $\theta = 18^\circ$
En déduire les coordonnées du point M(0 ; x_2 ; x_3) où la contrainte est maximum sur la périphérie de l'arbre.
- b. Donner les contraintes $\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}$ en ce point.
- c. Calculer en ce point, la contrainte équivalente de Von Mises



23. Sous les hypothèses simplificatrices, calculer le coefficient de sécurité sachant que l'arbre a une limite élastique de 240 MPa.

6. Eco conception (8%)

On souhaite proposer un matériau minimisant l'énergie grise totale liée à la fabrication du matériau (notée Q) tout en respectant le critère de résistance de l'arbre suivant $\frac{16\sqrt{3} M_1}{\pi d^3} < R_g$ correspondant à de la torsion pure. Nous noterons q_u l'énergie grise massique.

24.

- Montrer que l'indice de performance a la forme suivante : $\frac{R_g^{\frac{2}{3}}}{\rho \cdot q_u}$. Vous présenterez avec rigueur votre démarche.
- Indiquer sur le graphique du document réponse la zone des matériaux équivalents à l'acier de l'arbre 19 pour cet indice de performance.
- Parmi ceux qui sont retenus, indiquer graphiquement les matériaux éligibles pour assurer la résistance de l'arbre en abaissant le coefficient de **sécurité à 1.3 (correspondant à une limite élastique de 80MPa)**. Conclure sur la pertinence de choisir un acier pour la pièce étudiée.

7. Cotation (10%)

Le dessin de définition de la pièce 30 est proposé en annexe. Une des fonctions de cette pièce est d'assurer son guidage en rotation avec le bâti.

25. A partir du plan proposé :

- Indiquer la ou les cotation(s) mise(s) en place pour assurer la fonction de guidage en rotation.
- Décoder cette cotation en précisant s'il s'agit d'une cotation dimensionnelle ou géométrique ou les deux. Préciser comment est assuré le contrôle de cette pièce (un schéma est le bienvenu !)
- Décoder avec le tableau proposé dans le document réponses la spécification de localisation de la gorge qui accueille l'anneau élastique 21.

8. Roulement (14%)

Dans cette partie, nous souhaitons déterminer la durée de vie du roulement 32. Nous faisons l'hypothèse que les pièces 1 et 24 sont considérées liées et rigides.

On choisit aussi d'adopter un modèle isostatique. Pour cela, nous modéliserons la liaison entre 29 et 30 par une liaison linéaire annulaire.

26. Construire le modèle filaire permettant de déterminer les efforts dans les roulements 29 et 32.

On rappelle que l'action de 23 sur 26 s'exprime par le torseur $\{T_{23 \rightarrow 26}\} = \begin{Bmatrix} -T & 0 \\ 0 & 0 \\ N & 0 \end{Bmatrix}_{A,R}$ et que l'action du récepteur

sur l'arbre 1 est un couple pur $\{T_{recepteur \rightarrow 1}\} = \begin{Bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & C_m = 300N \cdot m \end{Bmatrix}_{B,R}$.

On pose :

$$\overrightarrow{AD} = d_1 \cdot \vec{z} + R_{26} \cdot \vec{y} \quad \overrightarrow{DB} = d_2 \cdot \vec{z} \quad \text{AN} : R_{26} = 60\text{mm} ; d_1 = 55\text{mm} ; d_2 = 55\text{mm} ; T = 5000\text{N} \text{ et } N = 10\,000\text{N}.$$

27. Calculer les efforts dans les roulements 29 et 32.

Quel que soit la réponse à la question précédente, on prendra les torseurs d'actions mécaniques suivants pour le roulement 32 qui correspondent à une vitesse de rotation de 330 tr/min de l'arbre récepteur (1).

$$\{T_{23 \rightarrow 26}\} = \begin{Bmatrix} -T & 0 \\ 0 & 0 \\ N & 0 \end{Bmatrix}_{A,R} \quad \{T_{D5 \rightarrow 30}\} = \begin{Bmatrix} 10000 & 0 \\ 10900 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{D,R} \quad \{T_{B5 \rightarrow 1}\} = \begin{Bmatrix} -5000 & 0 \\ -10900 & 0 \\ -10000 & 0 \end{Bmatrix}_{B,R}$$

On suppose un cas de charge unique

28. Calculer la durée de vie (L_{10}) sur le roulement 32 (caractéristiques technique en annexe) en Mtr et en heures

En réalité le variateur a plusieurs points de fonctionnement définis par le tableau suivant :

	Cas de charge 1	Cas de charge 2	Cas de charge 3	Cas de charge 4	
% utilisation en temps	30	40	20	10	
Vitesse arbre récepteur	330	1000	1400	2000	<i>tr/min</i>
Charge équivalente Pi	20588	13716	11141	4285	N

29. Que devient la durée de vie du roulement 32 en Mtr?

ANNEXES :

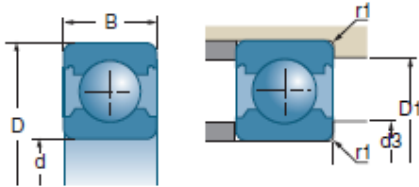
ANNEXE 1 : Nomenclature

42	1	Patin fixe	Acier non allié 0,4% de carbone	
41	4	Vis CHc M6 16.14	Acier non allié 0,4% de carbone	
40	1	Patin réglable	Acier non allié 0,4% de carbone	
39	2	Écrou HM6	Acier non allié 0,4% de carbone	
38	2			
37	2	Vis CHc M6 20.16	Acier non allié 0,4% de carbone	
36	1	Chapeau de manœuvre	Alliage aluminium silicium (13%)	
35	3	Vis CHc M8 24.20	Acier non allié 0,4% de carbone	
34	1	Chapeau de sortie	Alliage aluminium silicium (13%)	
33	1	Anneau élastique	Acier non allié 0,8% de carbone	
32	1	Roulement	Acier faiblement allié 1% de carbone et chrome	Réf. 6405
31	1	Entretoise	Acier de construction métallique Re=235MPa	
30	1	Coulisseau du galet	Acier de construction métallique Re=355MPa	Soudé sur (24)
29	1	Roulement à aiguilles	Acier faiblement allié 1% de carbone et chrome	
28	1	Ressort de compression	Acier non allié 0,8% de carbone	
27	5	Vis CHc M6 16.14	Acier non allié 0,4% de carbone	
26	1	Garniture du galet		
25	1	Glissière de réglage	Fonte à graphite lamellaire de Rm=200MPa	
24	1	Galet récepteur	Acier de construction métallique Re=355MPa	Soudé sur (30)
23	1	Plateau moteur	Acier de construction métallique Re=355MPa	
22	1	Bouchon	Acier de construction métallique Re=235MPa	
21	1	Anneau élastique	Acier non allié 0,8% de carbone	
20	1	Roulement	Acier faiblement allié 1% de carbone et chrome	
19	1	Arbre moteur	Acier non allié 0,2% de carbone	
18	1	Clavette	Acier non allié 0,4% de carbone	
17	1	Anneau élastique	Acier non allié 0,8% de carbone	
16	1	Vis CHc M6 18.15	Acier non allié 0,4% de carbone	
15	1	Carter moteur	Alliage aluminium silicium (13%)	
14	1	Vis de manœuvre	Acier faiblement allié 1% de carbone et chrome	
13	1	Écrou d'entraînement	Alliage Cuivre-Etain (16%)	
12	1	Anneau élastique	Acier non allié 0,8% de carbone	
11	1	Volant de manœuvre	Alliage aluminium silicium (13%)	
10	1	Clavette	Acier non allié 0,4% de carbone	
9	1	Coussinet à collerette		
8	1	Anneau de frottement	Alliage Cuivre-Etain (16%)	
7	1	Anneau élastique	Acier non allié 0,8% de carbone	
6	1	Clavette	Acier non allié 0,2% de carbone	
5	1	Carter récepteur		
4	1	Vis CHc M6 45.40	Acier non allié 0,4% de carbone	
3	1	Joint d'étanchéité		
2	1	Clavette	Acier non allié 0,2% de carbone	
1	1	Arbre récepteur		
Rep	Nb	Désignation	Matière	Observations

SNR. Roulements à une rangée de billes à contact radial

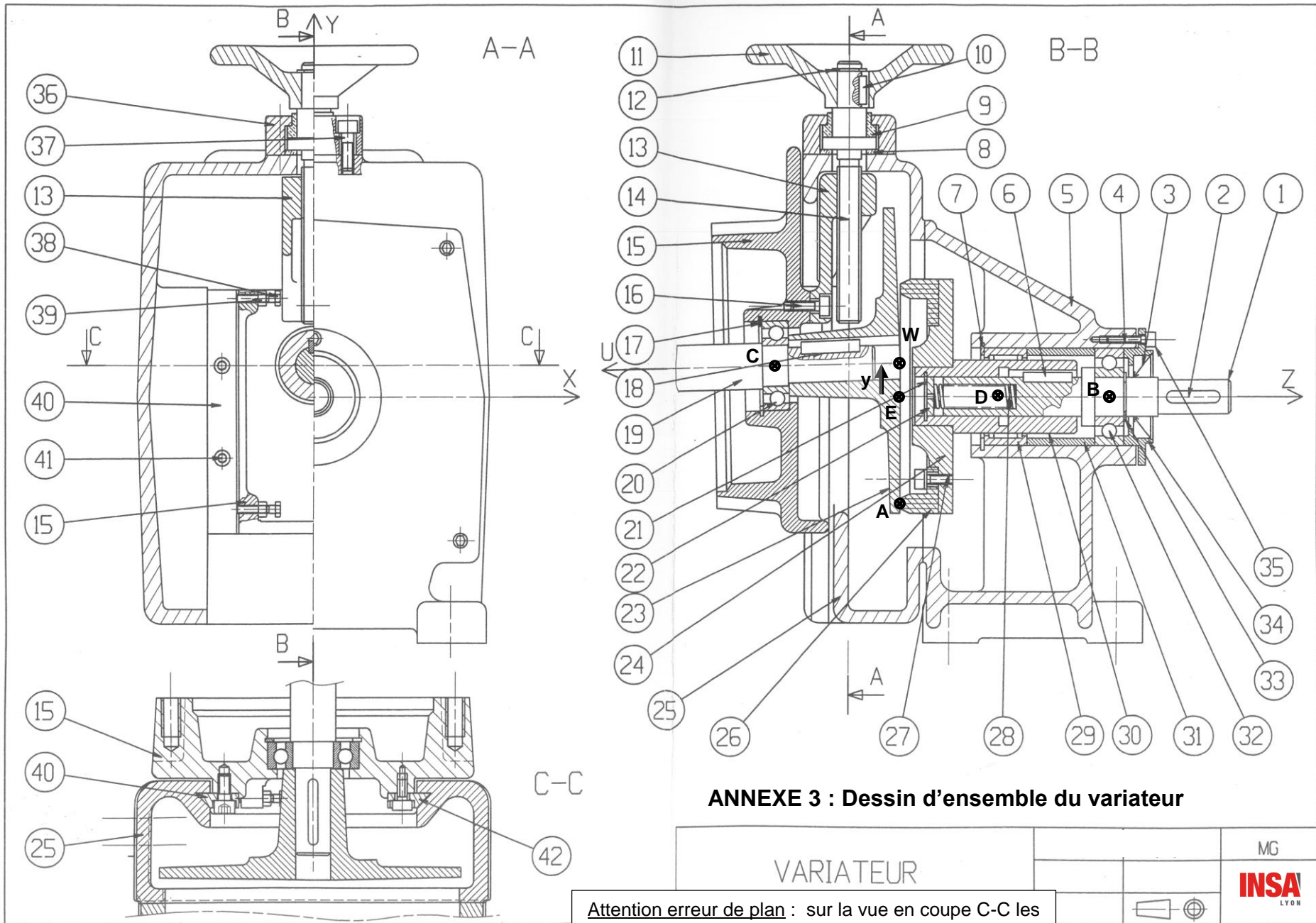
ANNEXE 2 : Extrait de catalogue de roulement SNR

Roulements à une rangée de billes à contact radial (suite)



d		D	B				
mm	Références	mm	mm	10 ⁴ N	10 ⁶ N	tr/mn*	tr/mn*
17	6203	40	12	9,60	4,80	16000	19000
	6303	47	14	13,60	6,60	14000	17000
	6403	62	17	22,70	10,80	12000	14000
20	61804	32	7	2,95	1,87	19500	23500
	61904	37	9	6,40	3,70	17500	20500
	16004	42	8	6,80	4,10	17000	20000
	6004	42	12	9,40	5,00	16000	20000
	6204	47	14	12,80	6,70	13000	16000
	6304	52	15	15,90	7,90	12000	15000
	6404	72	19	29,50	15,50	9600	12000
25	61805	37	7	4,30	2,95	17000	20000
	61905	42	9	7,00	4,55	15000	18000
	16005	47	8	10,10	5,90	14000	17000
	6005	47	12	10,10	5,90	13000	17000
	6205	52	15	14,00	7,90	12000	14000
	6305	62	17	22,40	11,50	10000	13000
	6405	80	21	36,00	19,30	8600	11000
30	61806	42	7	4,55	3,40	14500	17500
	61906	47	9	7,20	4,35	13500	16000
	16006	55	9	11,20	7,40	11000	14000
	6006	55	13	13,20	8,30	11000	14000
	6206	62	16	19,50	11,30	10000	12000
	6306	72	19	28,00	15,80	8900	10000
	6406	90	23	43,50	23,80	7600	9300
35	61807	47	7	4,75	3,80	13000	15500
	61907	55	10	9,60	5,90	11500	14000
	16007	62	9	12,10	8,80	10000	12000
	6007	62	14	16,00	10,30	10000	12000
	6207	72	17	25,50	15,30	8900	10000
	6307	80	21	33,50	19,20	8000	9800
	6407	100	25	55,00	31,00	6800	8300
40	61808	52	7	4,90	4,15	11500	14000
	61908	62	12	12,20	7,70	10000	12000
	16008	68	9	13,20	10,30	9800	11000
	6008	68	15	16,80	11,50	9200	11000
	6208	80	18	29,00	17,90	7800	9100
	6308	90	23	40,50	23,90	7000	8200
	6408	110	27	63,00	36,50	6200	7600

Type	Coupe	Série	Angle de contact	F _a /C ₀	e	F _a / F _r ≤ e		F _a / F _r > e	
						X	Y	X	Y
Roulements à billes à contact radial à 1 ou 2 rangées de billes		60-62-63-64 160-618-619 622-623 42-43		0,014	0,19	1	0	0,56	2,30
				0,028	0,22				1,99
				0,056	0,26				1,71
				0,084	0,28				1,55
				0,110	0,30				1,45
				0,170	0,34				1,31
				0,280	0,38				1,15
				0,420	0,42				1,04
				0,560	0,44				1,00



Attention erreur de plan : sur la vue en coupe C-C les hachures des pièces 15 et 25 ne correspondent pas !

ANNEXE 4 : Dessin de définition de la pièce 30

