

## Faculté Polytechnique



Dessin technique, métrologie  
dimensionnelle et CAO  
syllabus d'exercices

Edouard RIVIÈRE-LORPHÈVRE  
Service de Génie Mécanique



Ces notes de cours sont exclusivement destinées aux étudiants de la Faculté Polytechnique de Mons. Elles ne peuvent donc être ni reproduites, ni diffusées, sous quelque forme que ce soit, en dehors de ce cercle restreint.

Dernière mise à jour: janvier 2026

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Dessin technique</b>	<b>1</b>
1.1	Généralités . . . . .	1
1.2	Dessin . . . . .	1
1.2.1	e2005s2q1 <sup>1</sup> . . . . .	1
1.2.2	e2011s1q1 . . . . .	3
1.2.3	e2016s1q1 . . . . .	5
1.2.4	e2019s1q4 . . . . .	7
1.2.5	e2021s1q2 . . . . .	7
1.2.5.1	Variante 1 . . . . .	7
1.2.5.2	Variante 2 . . . . .	7
1.2.5.3	Variante 3 . . . . .	8
1.2.5.4	Variante 4 . . . . .	8
1.2.6	e2022s1q1 . . . . .	8
1.3	Elements filetés . . . . .	11
1.3.1	Goujon . . . . .	11
1.3.2	e2020s1q1 . . . . .	11
1.3.3	e2021s1q4 . . . . .	11
1.3.3.1	Variante 1 . . . . .	11
1.3.3.2	Variante 2 . . . . .	11
1.3.3.3	Variante 3 . . . . .	11
1.3.4	e2023s1q2 . . . . .	12
1.3.5	e2025s1q1 . . . . .	12
1.4	Assemblage . . . . .	12
1.4.1	Machine à laver . . . . .	12
1.5	Nomenclature . . . . .	19
1.5.1	Embrayage frein . . . . .	19
1.5.2	Réducteur de vitesse . . . . .	19
1.6	Cotation . . . . .	23

---

1. les titres exxxxxsyqz se rapportent à l'examen de l'année xxxx en session y question z

---

1.6.1	e2005s1q2 . . . . .	23
1.6.2	e2018s1q5 . . . . .	24
<b>2</b>	<b>Tolérances dimensionnelles</b>	<b>26</b>
2.1	Généralités . . . . .	26
2.2	Détermination de tolérances . . . . .	26
2.2.1	Exemple . . . . .	26
2.3	Ajustements . . . . .	26
2.3.1	Calcul d'ajustements . . . . .	26
2.3.2	e2016s1q5 . . . . .	27
2.3.3	e2018s2q6 . . . . .	27
2.4	Principe du maximum de matière . . . . .	27
2.4.1	Calibre virtuel . . . . .	27
2.4.2	e2004s1q5 . . . . .	28
2.4.3	e2006s1q3b . . . . .	29
2.4.4	e2006s1q4 . . . . .	29
2.4.5	e2016s1q4 . . . . .	30
2.4.6	e2017s1q4 . . . . .	30
2.4.7	e2018s1q2 . . . . .	31
2.4.8	e2019s1q6 . . . . .	32
2.5	Tolérances selon ISO GPS . . . . .	33
2.5.1	Réécriture de tolérances . . . . .	33
2.5.2	e2020s1q7 . . . . .	33
2.6	Vérification . . . . .	34
2.6.1	e2007s1q4b . . . . .	34
<b>3</b>	<b>Chaînes de cotes</b>	<b>35</b>
3.1	Généralités . . . . .	35
3.2	Chaînes de cotes . . . . .	35
3.2.1	Machine à laver . . . . .	35
3.2.2	Boîte de vitesse . . . . .	35
3.2.3	Jeu résiduel assemblage fileté . . . . .	35
3.2.4	Pompe péristaltique . . . . .	39
3.2.5	Axe . . . . .	40
3.2.6	e2005s1q6 . . . . .	41
3.2.7	e2005s2q6 . . . . .	41
3.2.8	e2007s1q5 . . . . .	41
3.2.9	e2008s1q5 . . . . .	41

---

3.2.10	e2010s1q6 . . . . .	48
3.2.11	e2011s1q3 . . . . .	48
3.2.12	e2016s1q7 . . . . .	48
3.2.13	e2021s1q3 . . . . .	51
3.3	Transfert de cotes . . . . .	52
3.3.1	Cas de deux cotes . . . . .	52
3.3.2	e2018s1q3 . . . . .	52
3.3.3	e2019s1q3 . . . . .	54
3.3.4	e2020s1q3 . . . . .	55
3.3.5	e2022s1q3 . . . . .	56
3.3.6	e2023s1q1 . . . . .	58
3.3.7	e2024s1q1 . . . . .	59
3.3.8	e2025s1q2 . . . . .	61
3.3.9	e2026s1q3 . . . . .	62
<b>4</b>	<b>Tolérances géométriques</b>	<b>64</b>
4.1	Indication et contrôle . . . . .	64
4.1.1	e2005s2q3 . . . . .	64
4.2	Définition . . . . .	67
4.2.1	Définition de tolérances . . . . .	67
4.2.2	e2008s1q3a . . . . .	68
4.2.3	e2008s1q3b . . . . .	68
4.2.4	e2008s1q3c . . . . .	68
4.2.5	e2018s1q1 . . . . .	69
4.3	Vérification . . . . .	70
4.3.1	e2005s1q4 . . . . .	70
4.3.2	e2006s1q3c . . . . .	71
4.3.3	e2007s1q3b . . . . .	71
4.3.4	e2018s1q4 . . . . .	72
4.3.5	e2020s1q2 . . . . .	73
4.4	Définition et vérification . . . . .	73
4.4.1	Comparaison . . . . .	73
4.4.2	e2006s1q3a . . . . .	74
4.4.3	e2007s1q3c . . . . .	74
4.4.4	e2007s1q4 . . . . .	75
4.4.5	e2008s1q3d . . . . .	76
4.4.6	e2016s1q3 . . . . .	76



---

4.4.7	e2017s1q3 . . . . .	77
4.4.8	e2019s1q5 . . . . .	79
4.4.9	e2020s1q4 . . . . .	79
4.4.10	e2022s1q2 . . . . .	80
4.4.11	e2023s1q3 . . . . .	81
4.4.12	e2024s1q2 . . . . .	82
4.4.13	e2025s1q3 . . . . .	83
4.4.14	e2026s1q1 . . . . .	83
4.5	Calibre virtuel . . . . .	86
4.5.1	Exercice 1 . . . . .	86
4.5.2	Exercice 2 . . . . .	86
<b>5</b>	<b>Incertitude de mesure</b>	<b>88</b>
5.1	introduction . . . . .	88
5.2	Coefficients de sensibilité . . . . .	88
5.2.1	Mesure d'un angle avec des piges . . . . .	88
5.2.2	e2026s1q2 . . . . .	89
5.3	Processus de mesure . . . . .	90
5.3.1	Exemple 1 . . . . .	90
5.3.2	Exemple 2 . . . . .	90
5.3.3	e2005s1q5 . . . . .	91
5.3.4	e2006s1q6 . . . . .	91
5.3.5	e2008s1q4 . . . . .	92
5.3.6	e2016s1q6 . . . . .	92
5.3.7	e2019s1q2 . . . . .	93
5.3.8	e2021s1q5 . . . . .	93
5.3.9	e2022s1q5 . . . . .	94
5.3.10	e2023s1q5 . . . . .	94
5.4	Capabilité . . . . .	95
5.4.1	e2020s1q5 . . . . .	95
<b>6</b>	<b>Rugosité</b>	<b>97</b>
6.1	Calcul des indicateurs . . . . .	97
6.1.1	Sinusoïde . . . . .	97
6.1.2	Triangle . . . . .	97
6.1.3	e2018s1q5 . . . . .	97
6.1.4	e2018s2q5 . . . . .	97
6.1.5	e2019s1q1 . . . . .	98

---

6.1.6	e2023s1q4 . . . . .	98
6.1.7	e2024s1q4 . . . . .	99
6.1.8	e2025s1q6 . . . . .	99
6.2	Interprétation de spécifications . . . . .	100
6.2.1	e2007s1q3d . . . . .	100
<b>7</b>	<b>CAO</b>	<b>101</b>
7.1	Courbes de Bézier . . . . .	101
7.1.1	Point sur courbe . . . . .	101
7.1.2	e2018s1q6 . . . . .	101
7.1.3	e2020s1q6 . . . . .	102
7.1.4	e2021s1q6 . . . . .	102
7.1.5	e2022s1q4 . . . . .	102
7.1.6	e2024s1q5 . . . . .	103
7.1.7	e2025s1q5 . . . . .	103
<b>A</b>	<b>Annexe</b>	<b>104</b>

# Chapitre 1

## Dessin technique

### 1.1 Généralités

Pour les dessins réalisés à la main, utilisez une couleur (idéalement le vert) pour les traits fins. La cotation n'est nécessaire que si elle est explicitement demandée pour l'exercice.

### 1.2 Dessin

#### 1.2.1 e2005s2q1<sup>1</sup>

La figure 1.1 représente un volant plein en alliage léger comportant notamment un moyeu et une jante reliés par un voile plan. On vous demande de représenter cette pièce en projections orthogonales. Vous choisirez le nombre minimum de vues nécessaires à une description claire et complète. Le dessin sera effectué sur le papier A4 avec cartouche qui vous a été fourni. Vous respecterez les règles de représentation du dessin technique. La cotation n'est pas demandée.

---

1. les titres exxxxxsyqz se rapportent à l'examen de l'année xxxx en session y question z

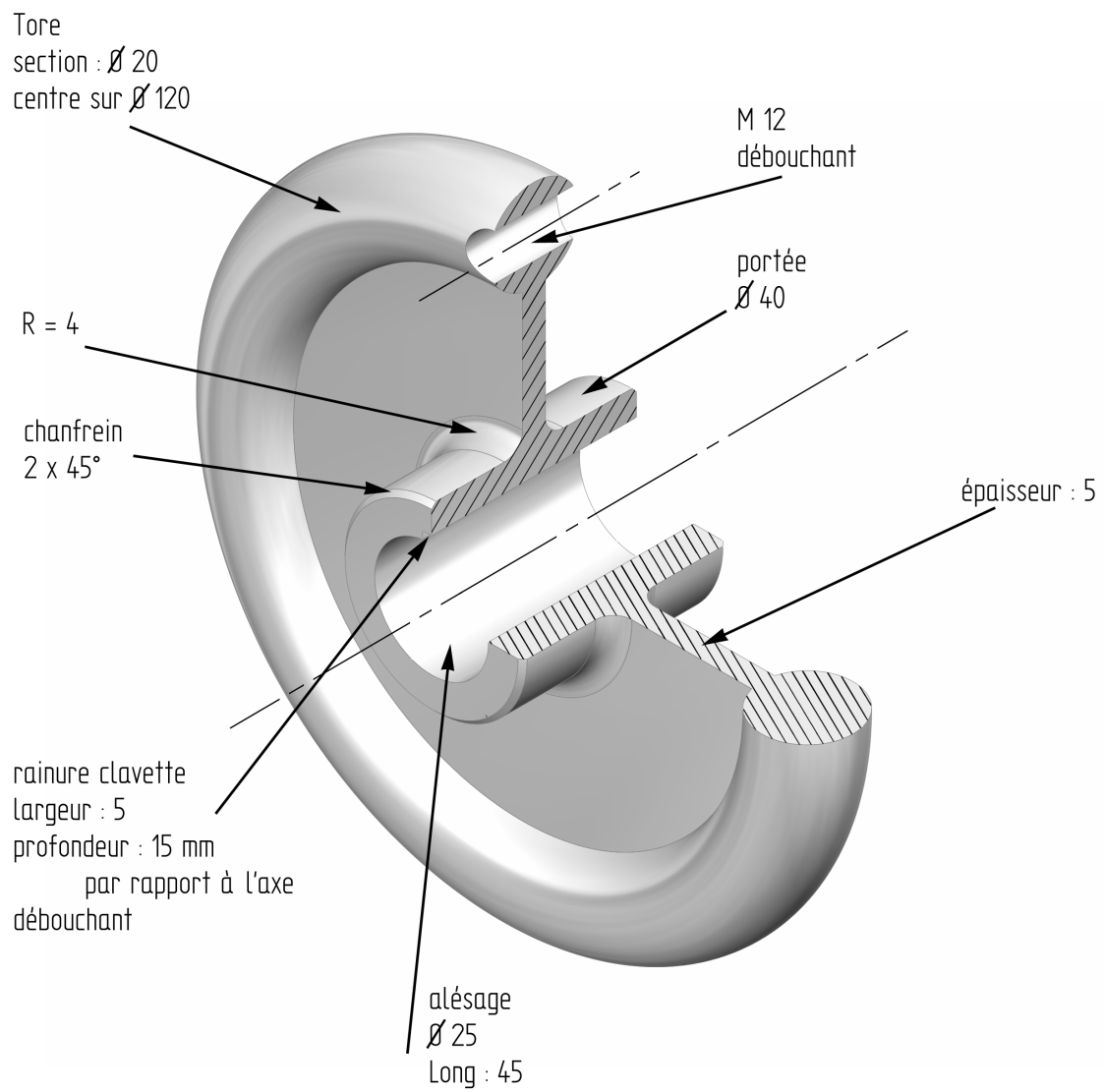


FIGURE 1.1 – Volant à dessiner

### 1.2.2 e2011s1q1

On vous demande de dessiner en projections orthogonales la pièce représentée en figure 1.2. Les dimensions sont données dans la figure 1.3. Vous choisirez le nombre de vues strictement nécessaires à une description claire et complète de la pièce. Le dessin sera effectué sur le papier A3 avec cartouche UMONS.

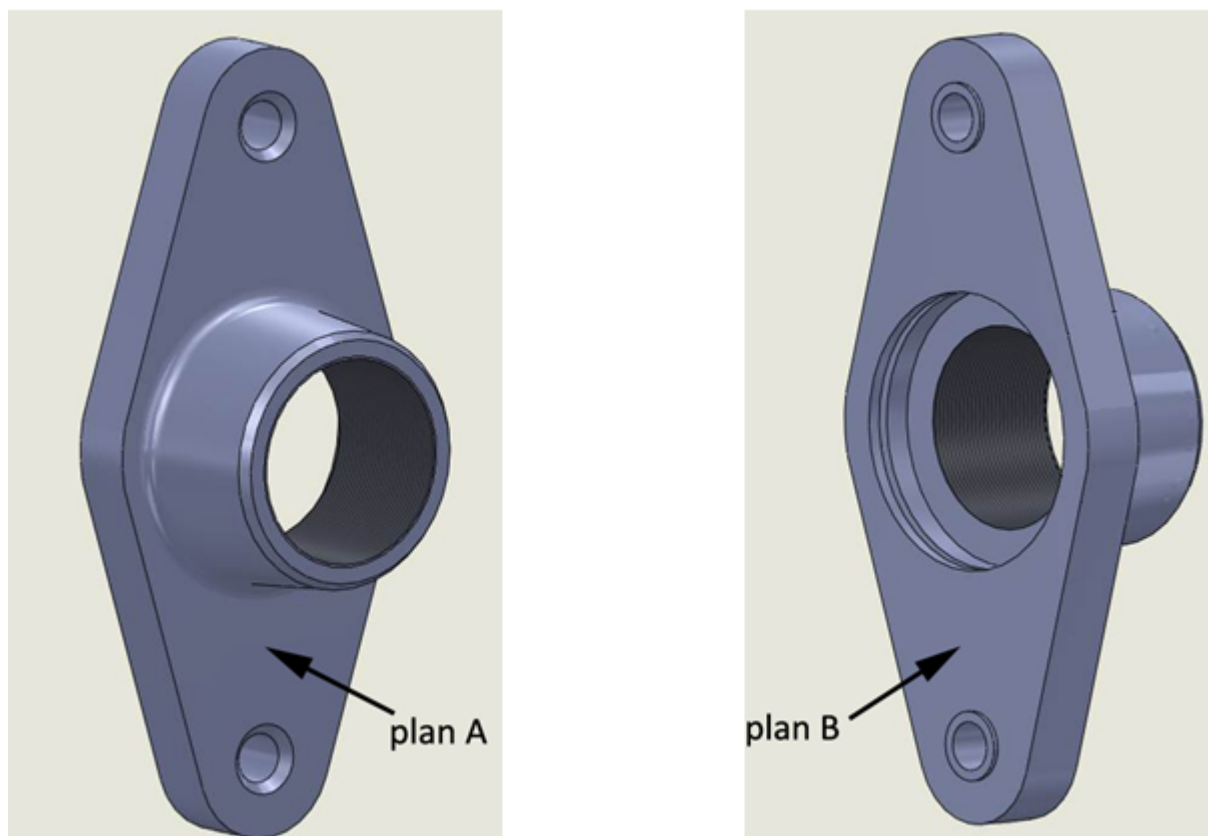


FIGURE 1.2 – Vue en isométrie de la pièce

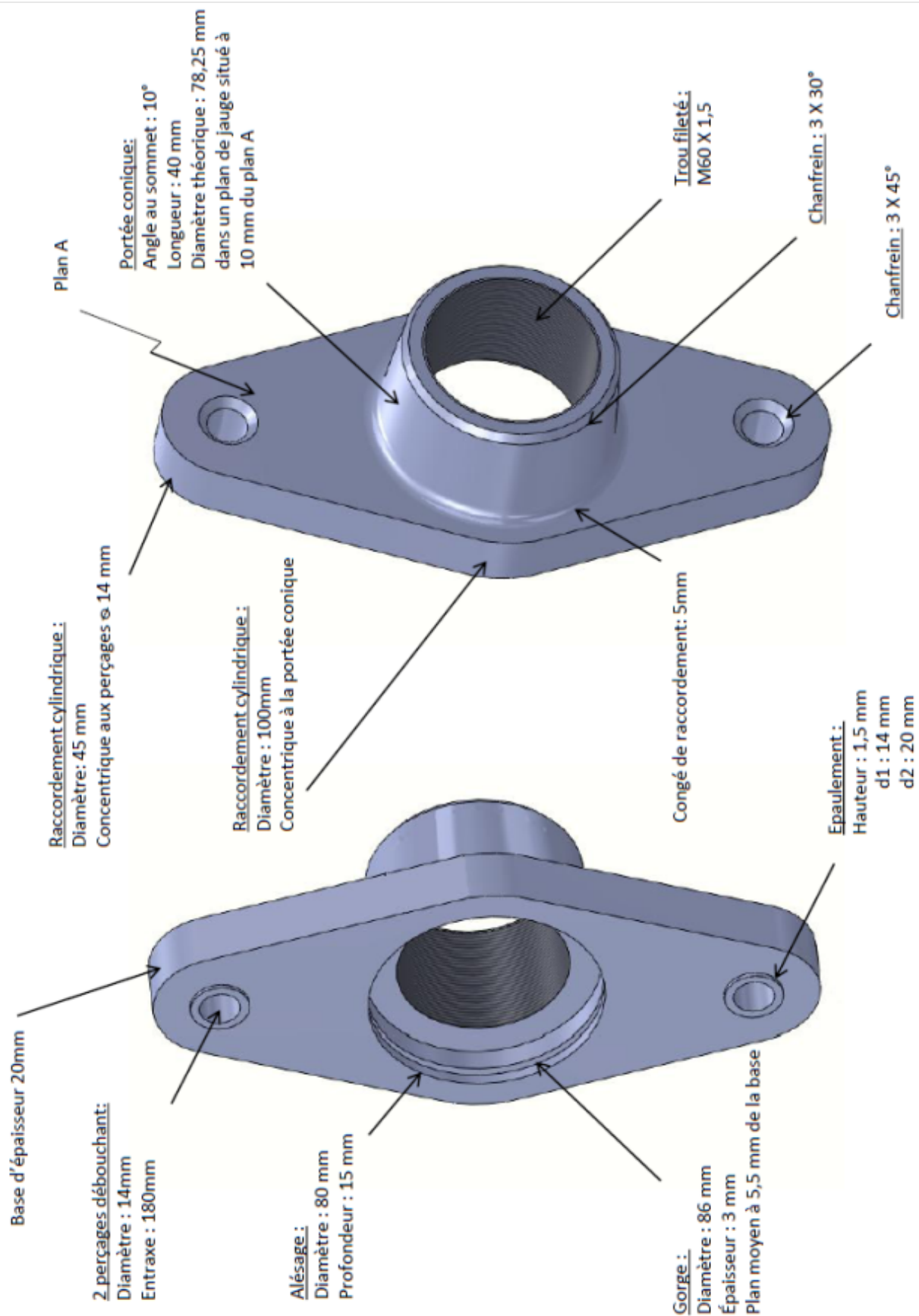


FIGURE 1.3 – Dimensions de la pièce.

---

### 1.2.3 e2016s1q1

On vous demande de dessiner en projections orthogonales la pièce représentée en figure 1.4. Les dimensions sont décrites en figure 1.5 que vous trouverez en annexe. Vous choisirez le nombre de vues strictement nécessaires à une description claire et complète de la pièce. Le dessin sera effectué sur le papier A3 avec cartouche UMONS.

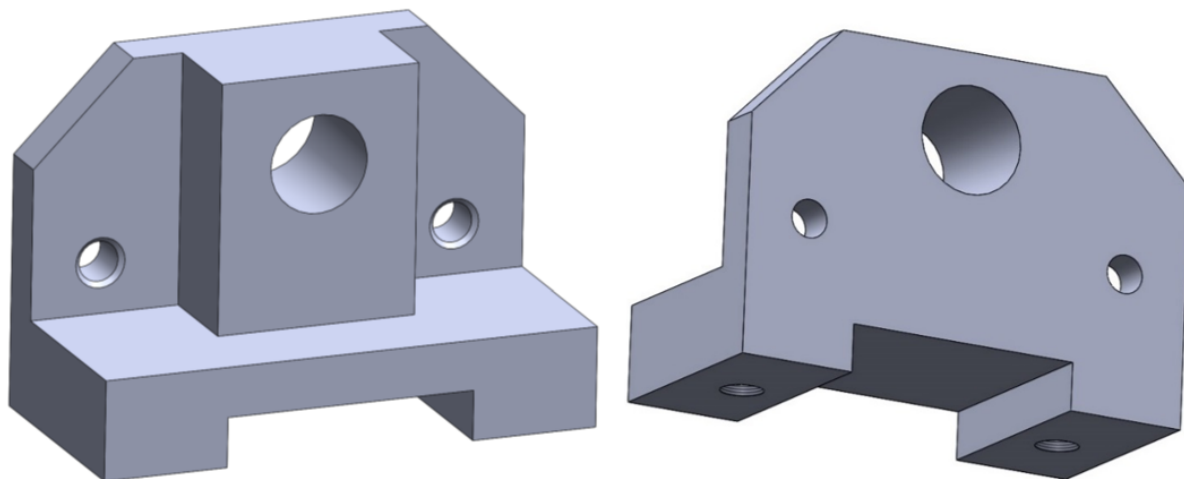
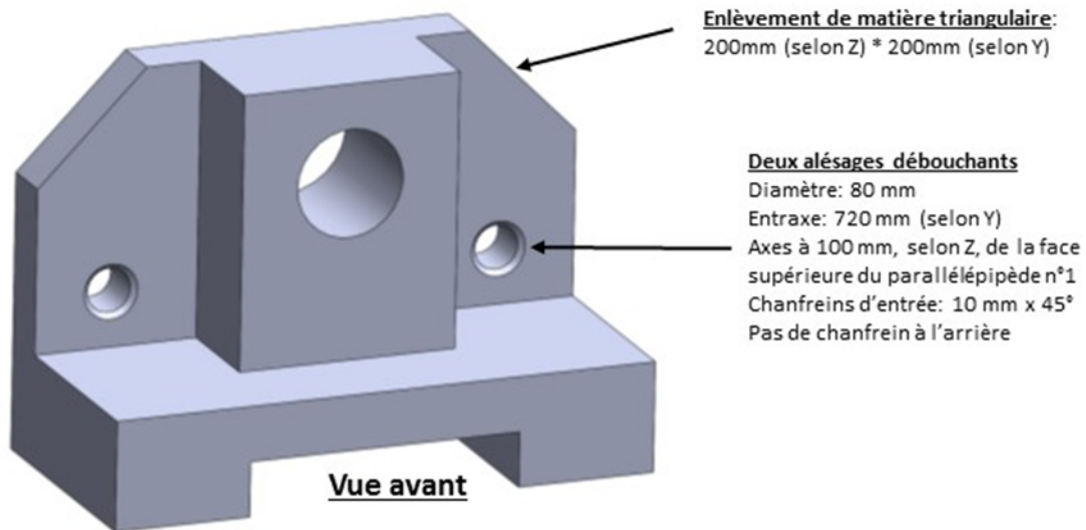


FIGURE 1.4 – Vue en isométrie de la pièce



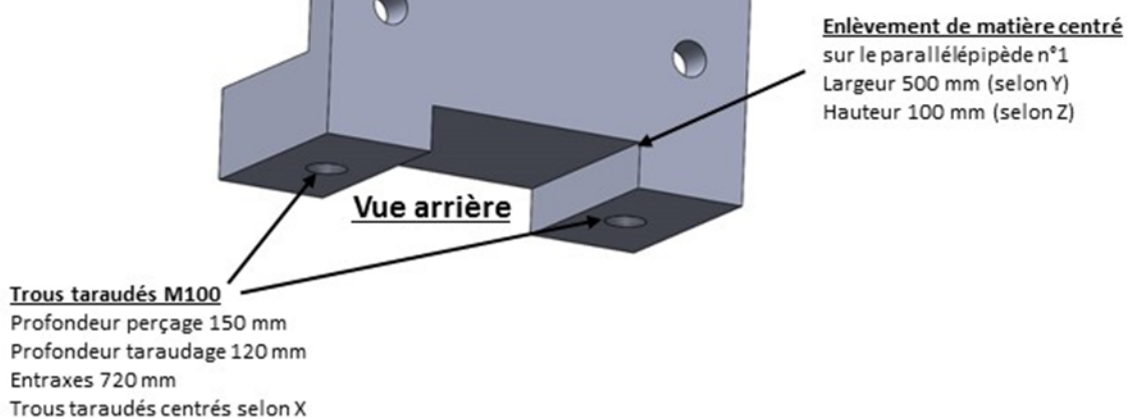
#### Alésage conique

Axe à 320 mm (selon Z) de la face supérieure du parallélépipède n°1

Diamètre 196 mm sur la face avant et 226 mm sur la face arrière

Pour information:

- la conicité est égale à 1:10
- le plan de jauge est situé à 60 mm de la face arrière et le diamètre du cône dans ce plan est égal à 220 mm



#### Forme enveloppe de la pièce

	X	Y	Z
Parallélépipède 1	480	1000	200
Parallélépipède 2	100	1000	500
Parallélépipède 3	200	400	500

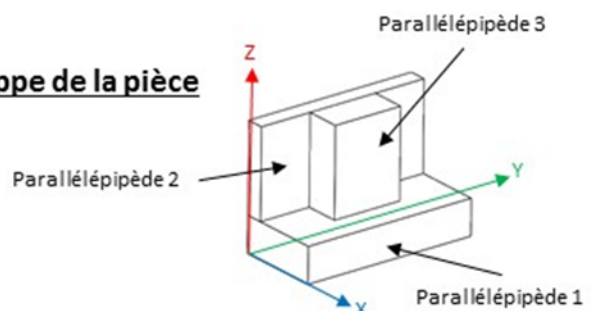


FIGURE 1.5 – Dimensions de la pièce.



---

### 1.2.4 e2019s1q4

Un assemblage simplifié est constitué des deux pièces :

- la première est constituée de deux cylindres pleins coaxiaux d'une longueur de  $15\text{ mm} \pm 0,1$  ; le premier a un diamètre 15g6, le deuxième un diamètre 30g7 ;
- le deuxième est un bloc cubique de  $40\text{ mm} \pm 0,1$  de côté portant sur l'un de ses faces deux alésages cylindriques coaxiaux : le premier de diamètre 35H8 de  $20\text{ mm} \pm 0,1$  de profondeur, le second de diamètre 15H7 qui est débouchant ; l'axe des alésages est centré sur la face du cube.

On demande :

1. de dessiner sur les cartouches fournis en section A les plans cotés/tolérancés des deux pièces en indiquant une rugosité arithmétique générale de  $3,2\text{ }\mu\text{m}$  et une rugosité arithmétique particulière de  $0,8\text{ }\mu\text{m}$  pour les faces cylindriques des deux pièces ;
2. d'indiquer sur quelle portée le contact aura lieu si on assemble les deux pièces avec l'axe des alésages/cylindres horizontal (en considérant que l'axe reste horizontal sous l'effet de la gravité) ;
3. de déterminer l'intervalle de jeu résiduel sur les parties supérieures et inférieures de la deuxième portée.

### 1.2.5 e2021s1q2

Il vous est demandé de faire le plan du solide décrit ci-dessous (les cotes non spécifiées dans l'énoncé doivent être choisies de manière libre). Réalisez la cotation complète. Ensuite, on vous demande d'indiquer la tolérance géométrique mentionnée sur ce plan, de définir cette tolérance (type de tolérance, forme et dimension de la zone de tolérance, ?) et de proposer une méthode de vérification au marbre de cette tolérance en employant le matériel classique (équerres, comparateurs, barre sinus, cales étalon, ?). L'emploi de moyen numérique est exclu. Précisez comment dépouiller les résultats obtenus pour déterminer si la pièce est conforme ou non.

#### 1.2.5.1 Variante 1

La pièce est constituée de deux cylindres concentriques, l'un de diamètre 100 et de longueur 20 et l'autre de diamètre 40 et de longueur 40. La tolérance est une tolérance de battement radial total pour la deuxième portée par rapport à la première d'intervalle 100 microns. La surface cylindrique de diamètre 40 a une rugosité arithmétique de  $0,8\text{ }\mu\text{m}$ . Les autres faces ont une rugosité de  $3,2\text{ }\mu\text{m}$ .

#### 1.2.5.2 Variante 2

la pièce a la forme d'un trapèze (angles intérieurs  $90^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $120^\circ$ ) extrudé. La tolérance est une tolérance d'inclinaison de la face à  $60^\circ$  (par rapport à la face qui fait un angle de  $60^\circ$  avec celle-ci) d'intervalle 100 microns. Cette face a, de plus, une rugosité arithmétique de  $0,8\text{ }\mu\text{m}$ . Les autres faces ont une rugosité de  $3,2\text{ }\mu\text{m}$ .

---

### 1.2.5.3 Variante 3

La pièce est une plaque rectangulaire percée en son centre des deux alésages cylindrique coaxiaux, l'une de diamètre 20 et de profondeur 10 et l'autre de diamètre 15 de profondeur 10. La tolérance est une tolérance de coaxialité d'intervalle 100 microns entre les deux alésages. Les deux faces perpendiculaires à l'axe des perçages ont une rugosité arithmétique de  $0,8 \mu\text{m}$ . Les autres faces ont une rugosité de  $3,2 \mu\text{m}$ .

### 1.2.5.4 Variante 4

La pièce est constituée de deux cylindres concentriques, l'un de diamètre 100 et de longueur 20 et l'autre de diamètre 40 et de longueur 40. La tolérance est une tolérance de battement radial simple pour la deuxième portée par rapport à la première d'intervalle 100 microns. La surface cylindrique de diamètre 40 a une rugosité arithmétique de  $0,8 \mu\text{m}$ . Les autres faces ont une rugosité de  $3,2 \mu\text{m}$ .

## 1.2.6 e2022s1q1

Le plan donnée en figure 1.7 présente la vue principale d'une pièce dont la vue en perspective est donnée en figure 1.6. Les dimensions sont les suivantes :

- la base est un carré de 150 mm de côté extrudé sur 60 mm dont les coins sont chanfreinés ( $10 \times 45^\circ$ ), elle est surmontée d'un bossage cylindrique de 80 mm de diamètre et de 30 mm de hauteur centré sur la base ;
- quatre trous étagés sont réalisés sur les coins de la base : un premier diamètre 16 mm sur une profondeur de 20 mm puis un diamètre 10 mm sur le reste de la hauteur de la base ; le centre des trous est à 15 mm de l'extérieur de la pièce ;
- le centre de la pièce est percé d'un trou étagé : le premier (débutant du côté du bossage) de 60 mm de diamètre et de 40 mm de profondeur suivi d'un second de 90 mm de diamètre continuant sur la hauteur restante de la pièce ; un congé de 5 mm est présent au raccordement entre ces deux cylindres, deux chanfreins de  $2 \times 45^\circ$  sont réalisés sur l'intérieur et l'extérieur de la partie supérieure du bossage ;
- un perçage latéral M12 (profondeur 20 mm, fileté sur 15 mm) a été réalisé au milieu d'une face latérale de la base ; il est prolongé par un trou lisse concentrique de diamètre 6 mm qui débouche dans l'alésage de diamètre 90 décrit précédemment.

On demande :

1. de compléter le cartouche ;
2. d'ajouter les annotations nécessaires (traits d'axes, centrage,...) ;
3. de dessiner la vue en coupe esquissée par les traits mixtes réalisés sur le plan (on considère que le trou taraudé est dans ce plan de coupe).

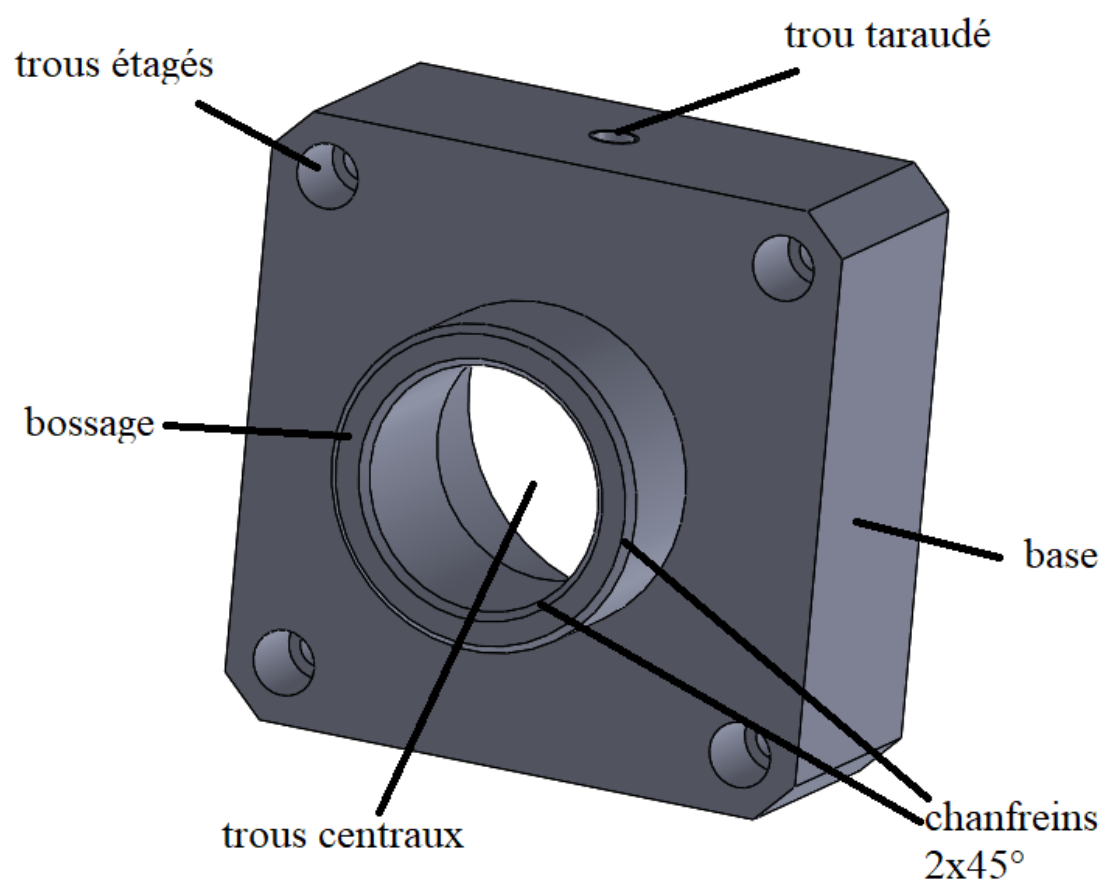
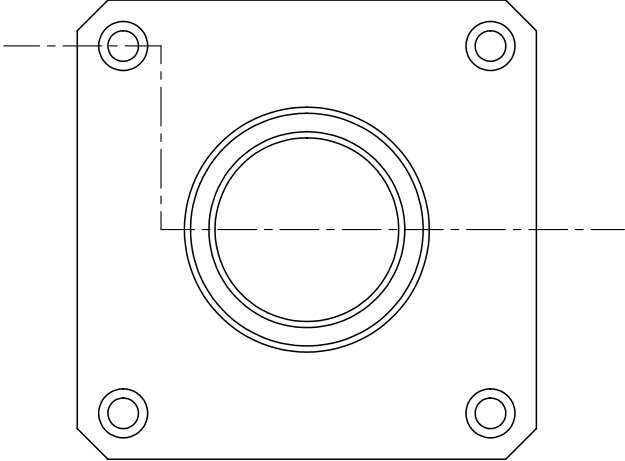


FIGURE 1.6 – Vue en perspective de la pièce.



TOLERANCES GÉNÉRALES		MATÉRIAU	ÉCHELLE	UNITES	FORMAT
			1:2	mm	A4
Projection Européenne		AUTEUR	ANNÉE D'ÉTUDE		
TITRE DU COURS/PROJET		TITRE DU PLAN		Remplacé	
DATE				Remplacé par	
				NUMÉRO DE PLAN	



FIGURE 1.7 – Plan à compléter.

---

## 1.3 Elements filetés

### 1.3.1 Goujon

Représenter sur un plan A4 vertical (page 116 et suivantes) l'assemblage de deux plaques par un goujon. La plaque inférieure a une épaisseur de 30 mm et présente un trou borgne M10 de profondeur 20 mm fileté sur 15 mm. La plaque supérieure a une épaisseur de 30 mm et présente un trou débouchant de diamètre 11 mm. Le goujon est de métrique M10, sa longueur totale est de 50 mm, il est fileté sur 15 mm à chaque extrémités. On le visse sur 10 mm dans la plaque inférieure. L'assemblage est assuré par un écrou M10 dont la hauteur est de 8 mm (le côté de l'hexagone est de 9 mm).

### 1.3.2 e2020s1q1

Représenter sur un plan A4 vertical (page 116 et suivantes) l'assemblage de deux plaques d'épaisseur 20 mm par une vis M10 à tête hexagonale et un écrou. La vis a une longueur totale de 50 mm et une longueur filetée de 20 mm. Pour cette métrique, l'hexagone est inscrit dans un cercle de diamètre 18 mm, la tête de vis a une hauteur de 6,4 mm, l'écrou a une hauteur de 8,4 mm. Le trou de passage est de diamètre 11 mm.

### 1.3.3 e2021s1q4

Représenter sur un plan A4 vertical (page 116 et suivantes) l'assemblage fileté décrit ci-dessous. Vous ne devez pas réaliser la cotation. Considérez que les hauteurs d'écrous et de têtes de vis mesurent 0,8 fois le diamètre nominal de l'élément fileté.

#### 1.3.3.1 Variante 1

Assemblage de deux plaques de 20 mm d'épaisseur par une vis M12 et un écrou. La vis a une longueur totale de 55 mm dont 25 mm sont filetés.

#### 1.3.3.2 Variante 2

Assemblage d'une plaque de 20 mm d'épaisseur présentant un trou débouchant sur une plaque de 40 mm d'épaisseur présentant un trou borgne M12 de profondeur totale 20 mm fileté sur 15 mm à l'aide d'une vis. La vis a une longueur totale de 30 mm dont 15 mm sont filetés.

#### 1.3.3.3 Variante 3

Assemblage d'une plaque de 20 mm d'épaisseur présentant un trou débouchant sur une plaque de 40 mm d'épaisseur présentant un trou borgne M12 de profondeur totale 20 mm fileté sur 15 mm par un goujon. Le goujon a une longueur de 40 mm et ses deux extrémités sont filetées sur 15 mm. Le goujon est vissé dans le trou sur 10 mm.

---

### 1.3.4 e2023s1q2

Représenter sur un plan A4 vertical (page 116 et suivantes) l'assemblage de deux plaques de 20 mm d'épaisseur par un boulon M12. la vis à tête hexagonale a une longueur totale de 60 mm et est filetée sur 30 mm. Dans cette métrique, la tête de vis (et l'écrou) est un hexagone régulier inscrit dans un cercle de 20 mm de diamètre. La hauteur de tête de vis est de 8 mm, l'épaisseur de l'écrou vaut 11 mm.

### 1.3.5 e2025s1q1

Représenter sur un plan A4 vertical (page 116 et suivantes) une vue en coupe de l'assemblage de deux plaques d'épaisseur 20 mm par une boulon M16. La vis à tête hexagonale a une longueur de tige (excluant sa tête) de 65 mm et est filetée sur 40 mm. Pour la métrique 16, l'hexagone est inscrit dans un cercle de 28 mm de diamètre. La hauteur de tête de vis est de 10 mm, la hauteur de l'écrou est de 15 mm.

## 1.4 Assemblage

### 1.4.1 Machine à laver

On demande de dessiner, en partant du plan du carter fourni sous forme de feuille A3, le plan d'assemblage de l'axe du tambour d'une machine à laver. La géométrie des différentes pièces est fournie via les plans suivants (pages 13 à 18) :

- Arbre (plan coté figure 1.8)
- Poulie et tambour (plans cotés figures 1.9 et 1.10)
- Entretoise (plan coté figure 1.11)
- Fiches techniques roulements 6306 et 6308 (doc SKF figures 1.12 et 1.13).

La procédure de montage est la suivante :

- Montage sur l'arbre côté gauche :
  - Roulement 6306 calé sur l'épaule de l'arbre
  - Poulie en appui sur le roulement ; la clavette a une largeur de 8 mm, une épaisseur de 7 mm et une longueur de 20 mm
  - Rondelle (diamètre extérieur 40, diamètre intérieur 14, épaisseur 7)
  - Serrage par une vis M12 à tête hexagonale (longueur 30 mm fileté sur toute la longueur)
- Localisation de l'arbre dans le carter
- Placement d'un circlips (diamètre extérieur 76 mm, largeur 2 mm diamètre extérieur 70 mm) dans la gorge qui a une épaisseur de 2,5 mm. La face d'appui est à droite sur le dessin (on pousse l'arbre de la gauche vers la droite)
- Montage de l'arbre côté droit
  - Roulement 6307 calé sur l'épaule du carter
  - Entretoise en appui sur la bague intérieure du roulement (du côté du plus petit diamètre de l'entretoise)
  - Tambour en appui sur l'entretoise
  - Rondelle (diamètre extérieur 50 mm, diamètre intérieur 12 mm, épaisseur 6 mm)
  - Serrage par une vis M10 à tête hexagonale (longueur 20 mm fileté sur toute la longueur)

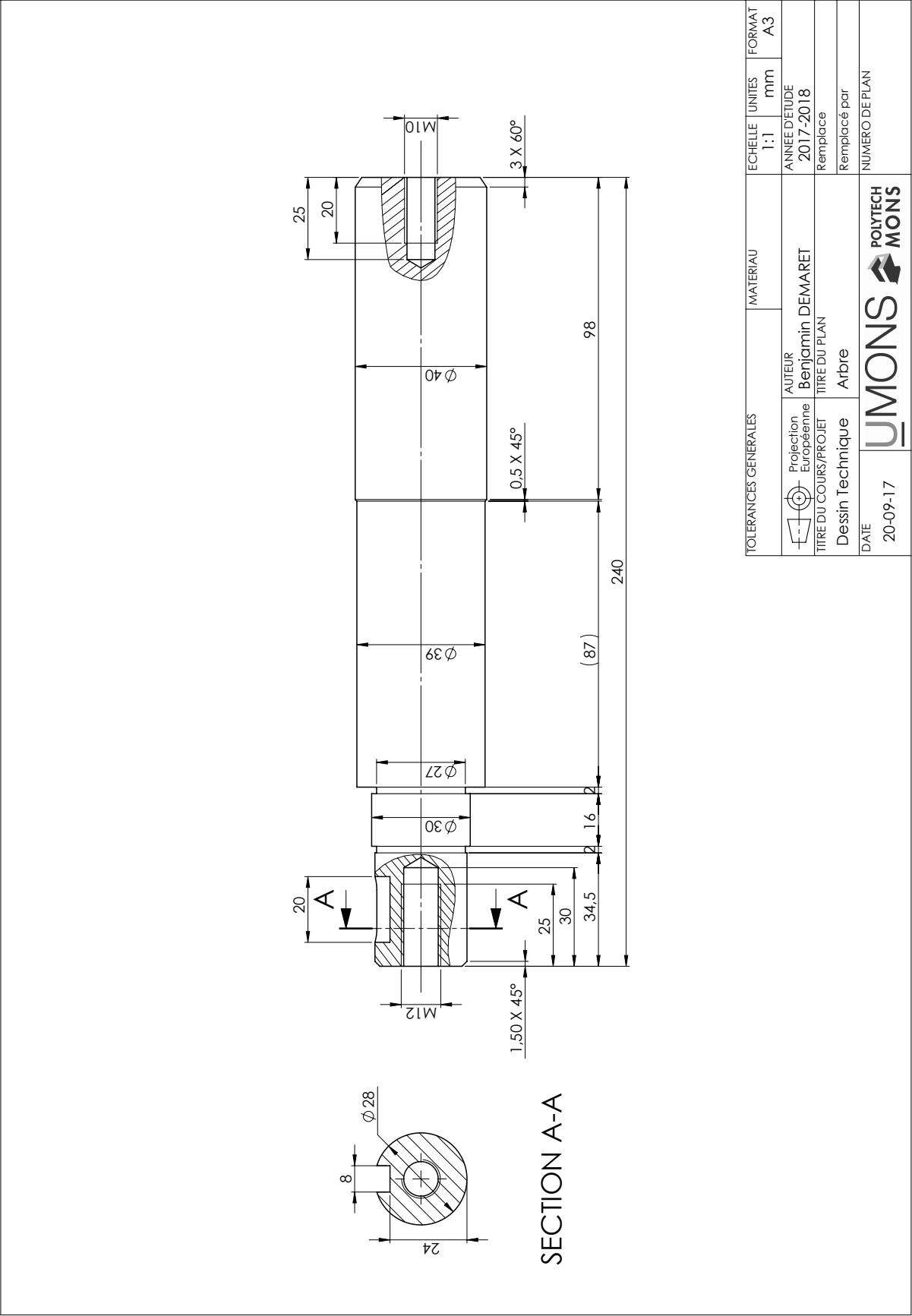


FIGURE 1.8 – Arbre de la machine à laver

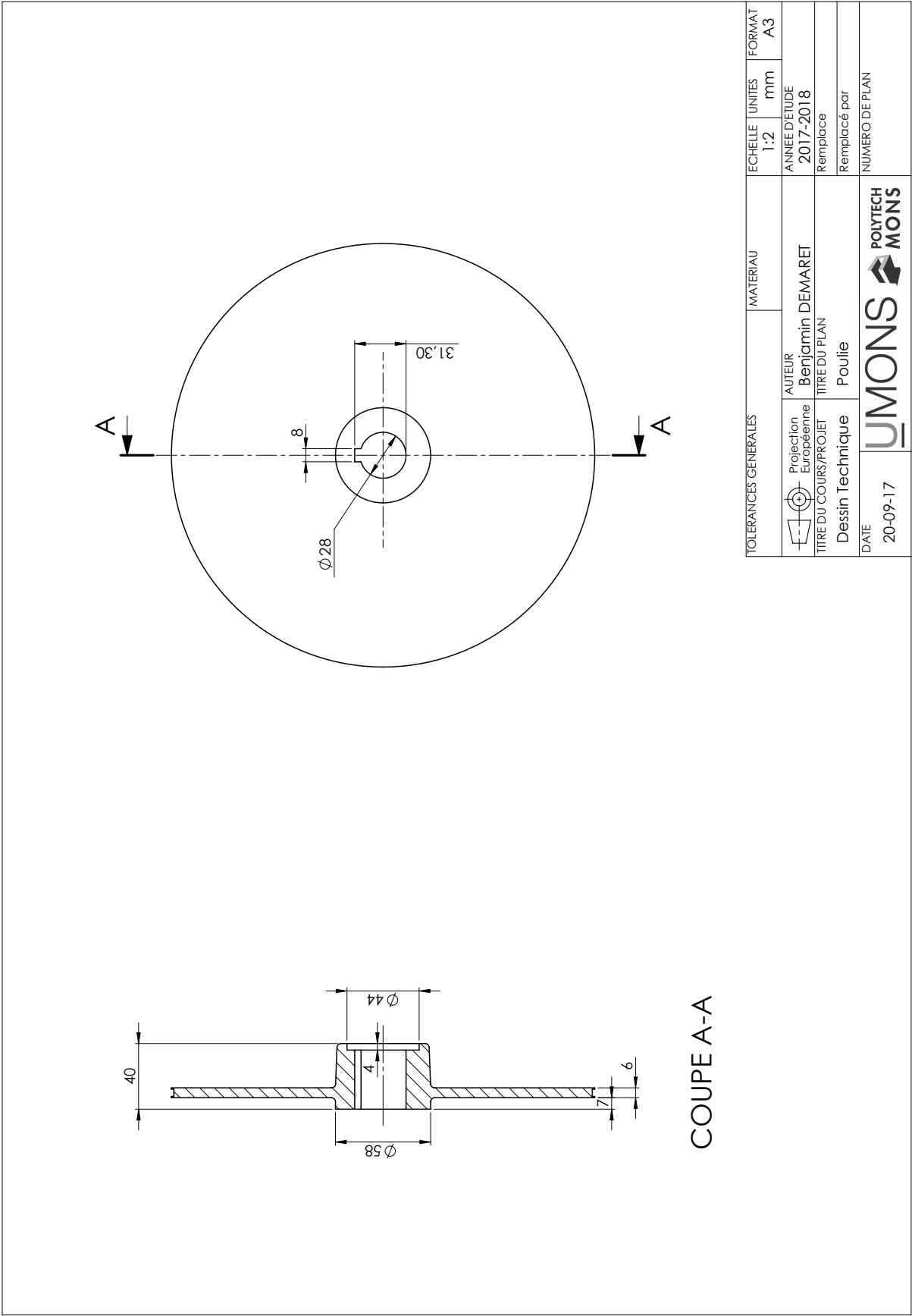
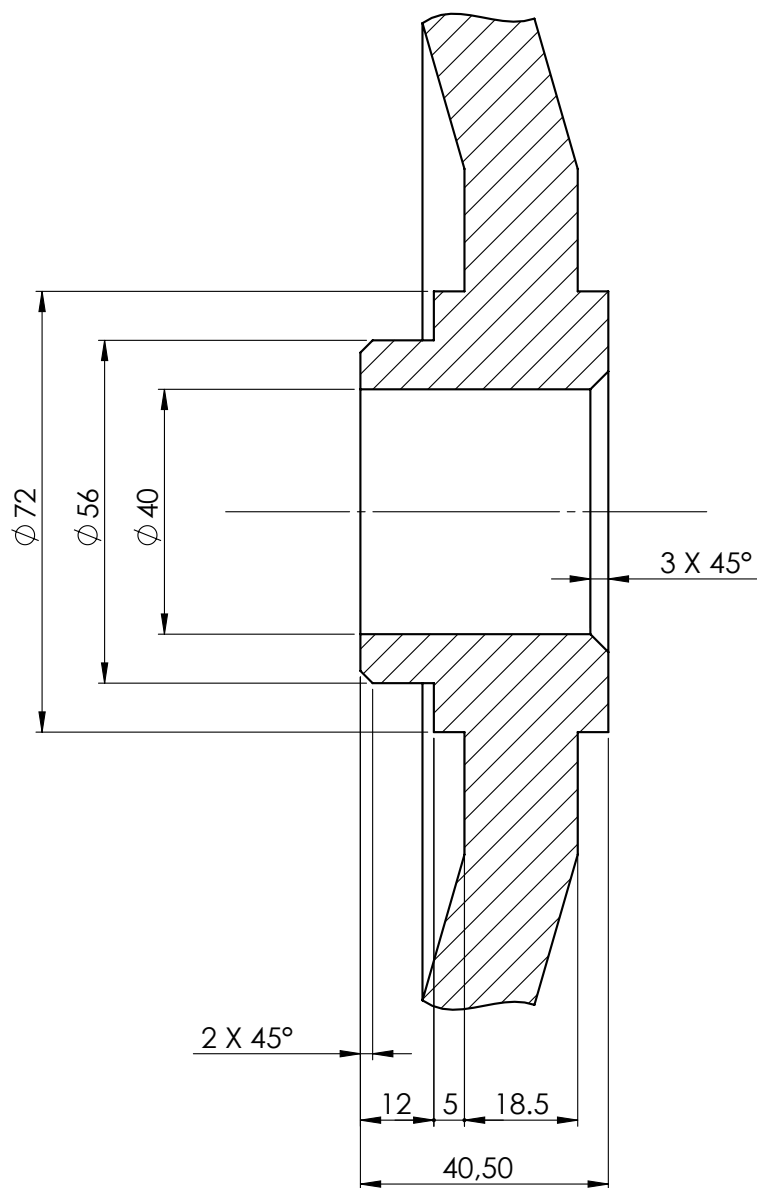


FIGURE 1.9 – Poulie de la machine à laver





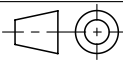


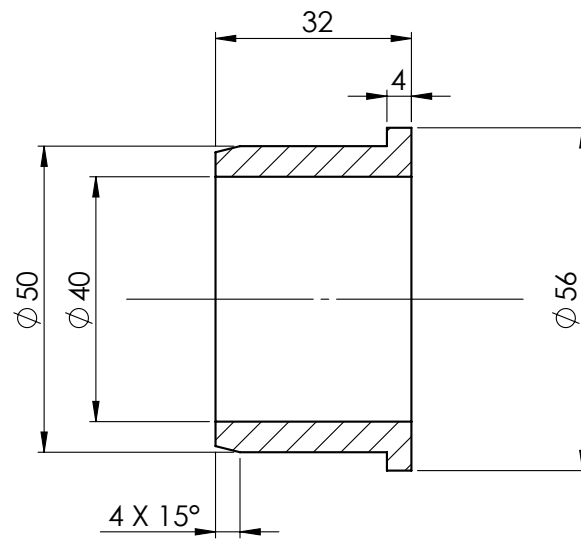
TOLERANCES GENERALES		MATERIAU	ECHELLE 1:1	UNITES mm	FORMAT A4
 Projection Européenne		AUTEUR Benjamin DEMARET	ANNEE D'ETUDE 2017-2018		
TITRE DU COURS/PROJET Dessin Technique		TITRE DU PLAN Tambour	Remplace		
DATE 20-09-17		 		Remplacé par	
				NUMERO DE PLAN	

FIGURE 1.10 – Tambour de la machine à laver



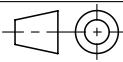


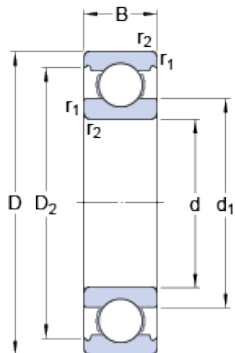
TOLERANCES GENERALES		MATERIAU	ECHELLE 1:1	UNITES mm	FORMAT A4
 Projection Européenne		AUTEUR Benjamin DEMARET	ANNEE D'ETUDE 2017-2018		
TITRE DU COURS/PROJET Dessin Technique		TITRE DU PLAN Entretoise		Remplace	
DATE 20-09-17		 		Remplacé par	
				NUMERO DE PLAN	

FIGURE 1.11 – Entretoise de la machine à laver

## 6306

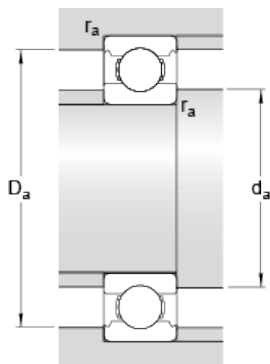
SKF Explorer

### Dimensions



d	30	mm
D	72	mm
B	19	mm
d <sub>1</sub>	≈ 44.6	mm
D <sub>2</sub>	≈ 61.88	mm
r <sub>1,2</sub>	min. 1.1	mm

### Abutment dimensions



d <sub>a</sub>	min. 37	mm
D <sub>a</sub>	max. 65	mm
r <sub>a</sub>	max. 1	mm

### Calculation data

Basic dynamic load rating	C	29.6	kN
Basic static load rating	C <sub>0</sub>	16	kN
Fatigue load limit	P <sub>u</sub>	0.67	kN
Reference speed		20000	r/min
Limiting speed		13000	r/min
Calculation factor	k <sub>r</sub>	0.03	
Calculation factor	f <sub>0</sub>	13.1	

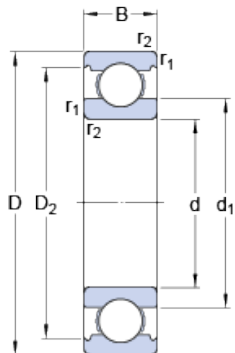
### Mass

Mass bearing	0.35	kg
--------------	------	----

## 6308

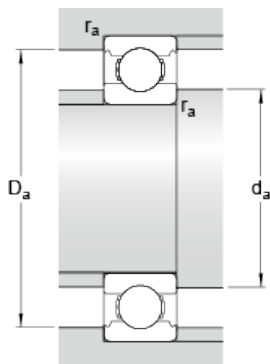
SKF Explorer

### Dimensions



d	40	mm
D	90	mm
B	23	mm
d <sub>1</sub>	≈ 56.11	mm
D <sub>2</sub>	≈ 77.7	mm
r <sub>1,2</sub>	min. 1.5	mm

### Abutment dimensions



d <sub>a</sub>	min. 49	mm
D <sub>a</sub>	max. 81	mm
r <sub>a</sub>	max. 1.5	mm

### Calculation data

Basic dynamic load rating	C	42.3	kN
Basic static load rating	C <sub>0</sub>	24	kN
Fatigue load limit	P <sub>u</sub>	1.02	kN
Reference speed		17000	r/min
Limiting speed		11000	r/min
Calculation factor	k <sub>r</sub>	0.03	
Calculation factor	f <sub>0</sub>	13.2	

### Mass

Mass bearing	0.63	kg
--------------	------	----

---

## **1.5 Nomenclature**

### **1.5.1 Embrayage frein**

Etablissez la nomenclature de l'assemblage proposé sur le plan 1.14 page 20.

### **1.5.2 Réducteur de vitesse**

Etablissez la nomenclature de l'assemblage proposé sur le plan 1.15 page 21 (une vue de détail est proposée en figure 1.16 page 22).

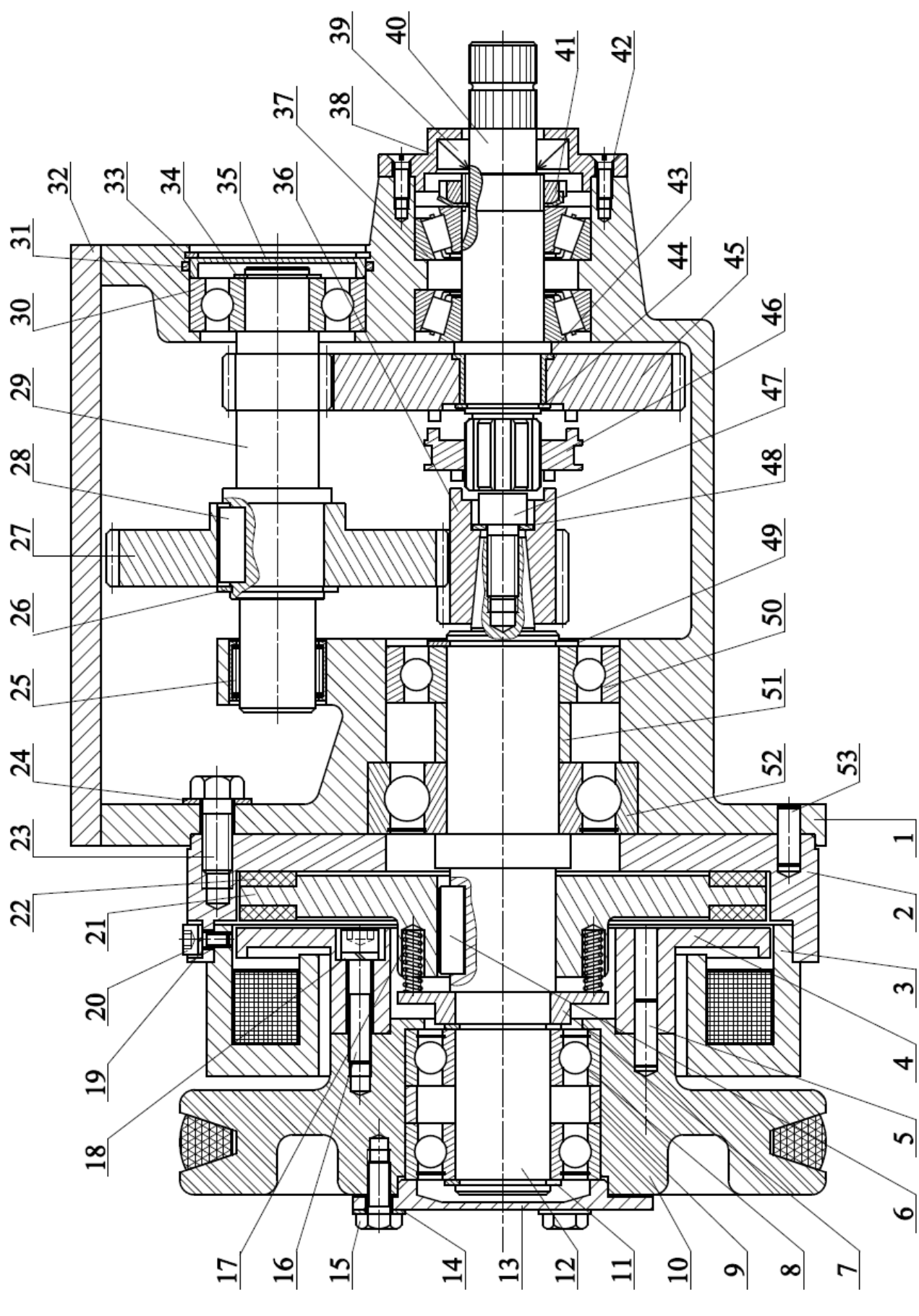


FIGURE 1.14 – Embrayage frein

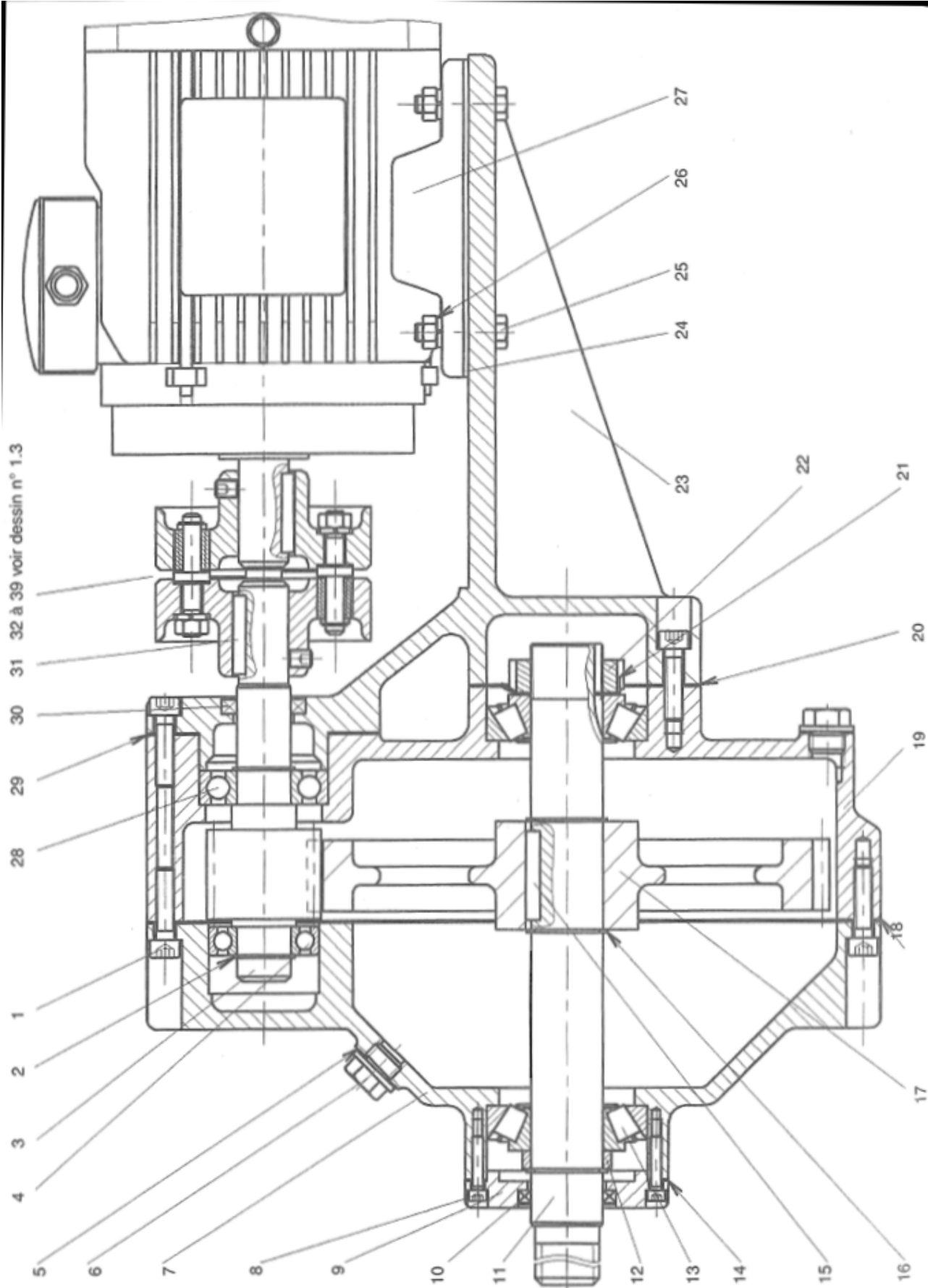


FIGURE 1.15 – Réducteur de vitesse

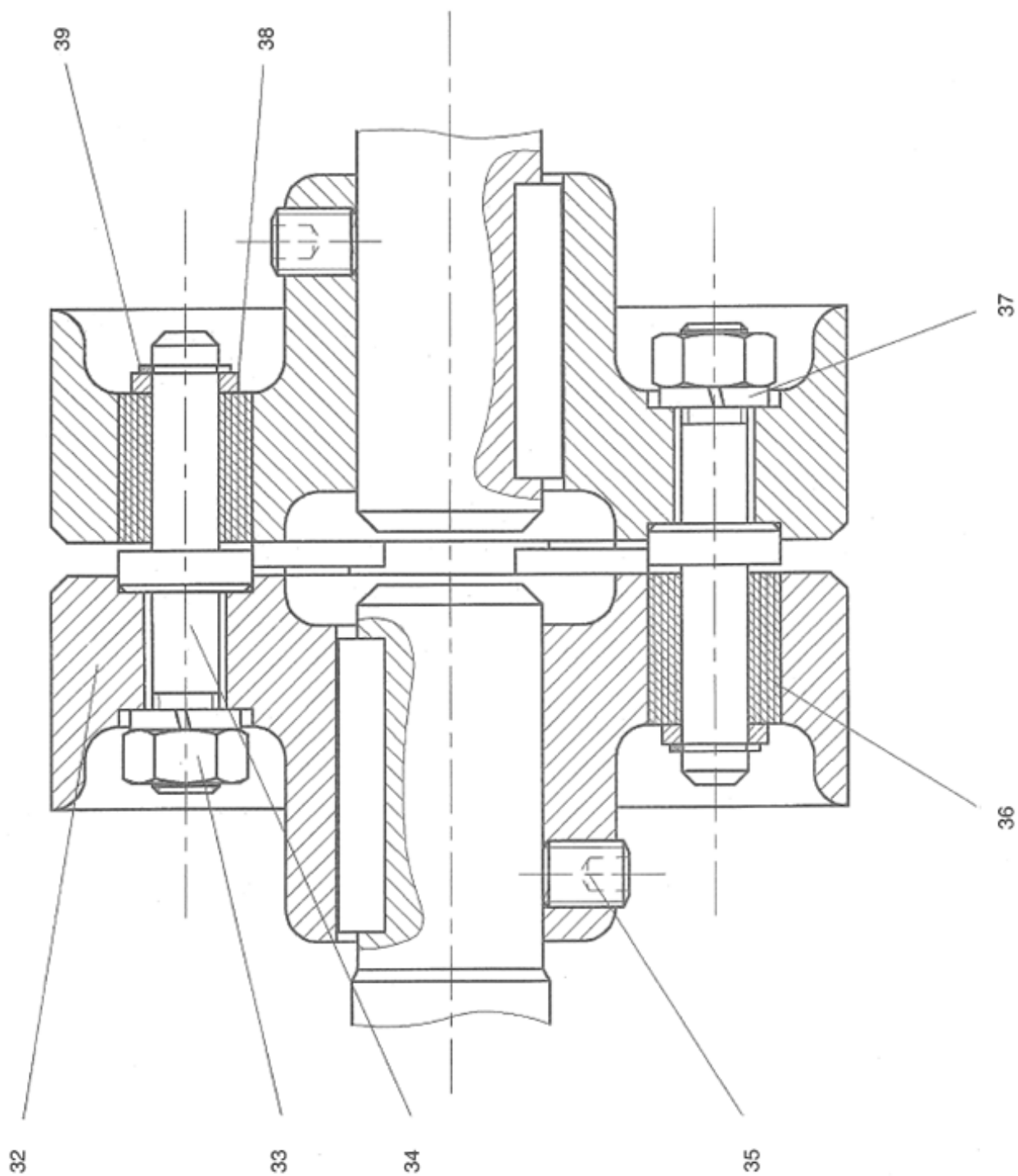
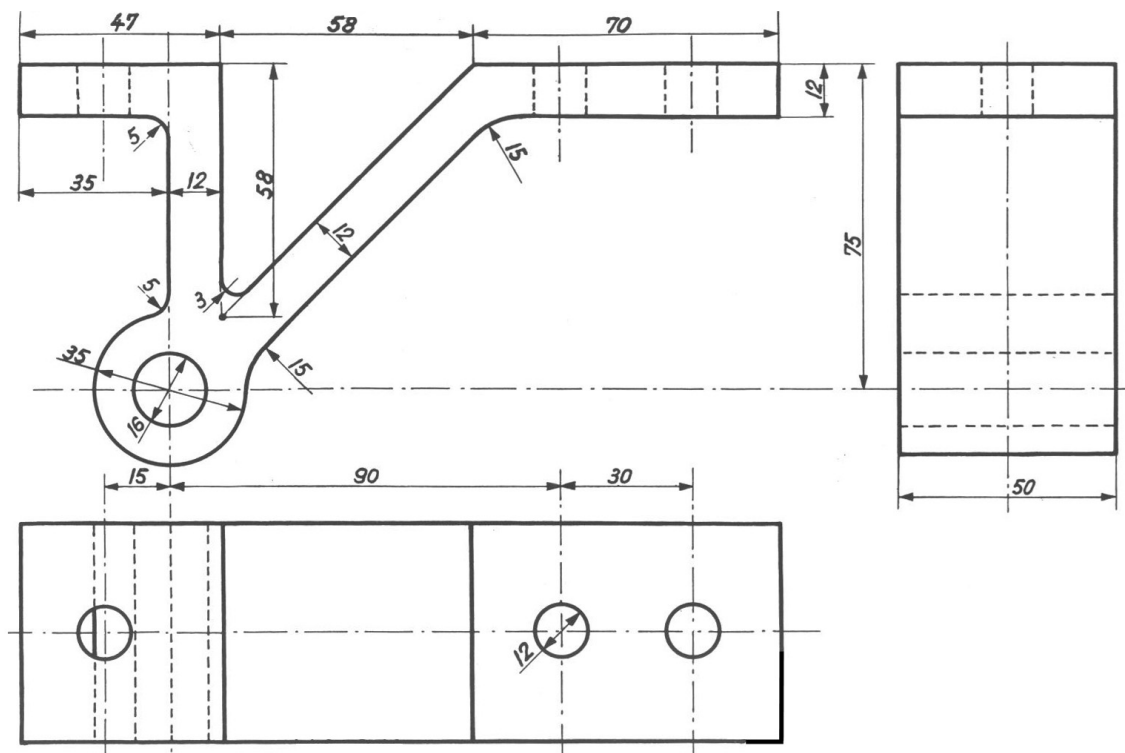


FIGURE 1.16 – Réducteur de vitesse, vue de détail



### 1.6.1 e2005s1q2

- la rugosité arithmétique générale est de  $1,6 \mu m$  ;
- la rugosité arithmétique des surfaces de pose A et B est de  $0,8 \mu m$  ;
- la rugosité arithmétique de l'alésage C est de  $0,4 \mu m$  ;
- les surfaces A et B sont coplanaires (tolérance de  $50 \mu m$ ) ;
- l'axe de l'alésage C est parallèle aux surfaces A et B (tolérance  $100 \mu m$ ).



23

---

### 1.6.2 e2018s1q5

La figure 1.18 (page 25) présente une vue et une coupe permettant de faire le plan d'une pièce mécanique. Les quatre alésages sur la base permettent son assemblage avec une autre pièce via la surface inférieure, l'alésage central permet le passage d'un arbre cylindrique avec un ajustement soigné. On demande :

- de coter complètement la pièce ; la base de la pièce est un carré de 40 x 40 mm, les autres dimensions seront mesurées directement sur le dessin (compte tenu du facteur d'échelle) et arrondies au besoin ;
- d'indiquer quatre propositions de tolérances géométriques à imposer sur le dessin en justifiant leur emploi ;
- d'indiquer que la face inférieure de la pièce présente une rugosité arithmétique de  $0,8 \mu m$  obtenue par usinage et que la face extérieure de la partie cylindrique présente une rugosité arithmétique de  $3,2 \mu m$  obtenue par un traitement d'anodisation.

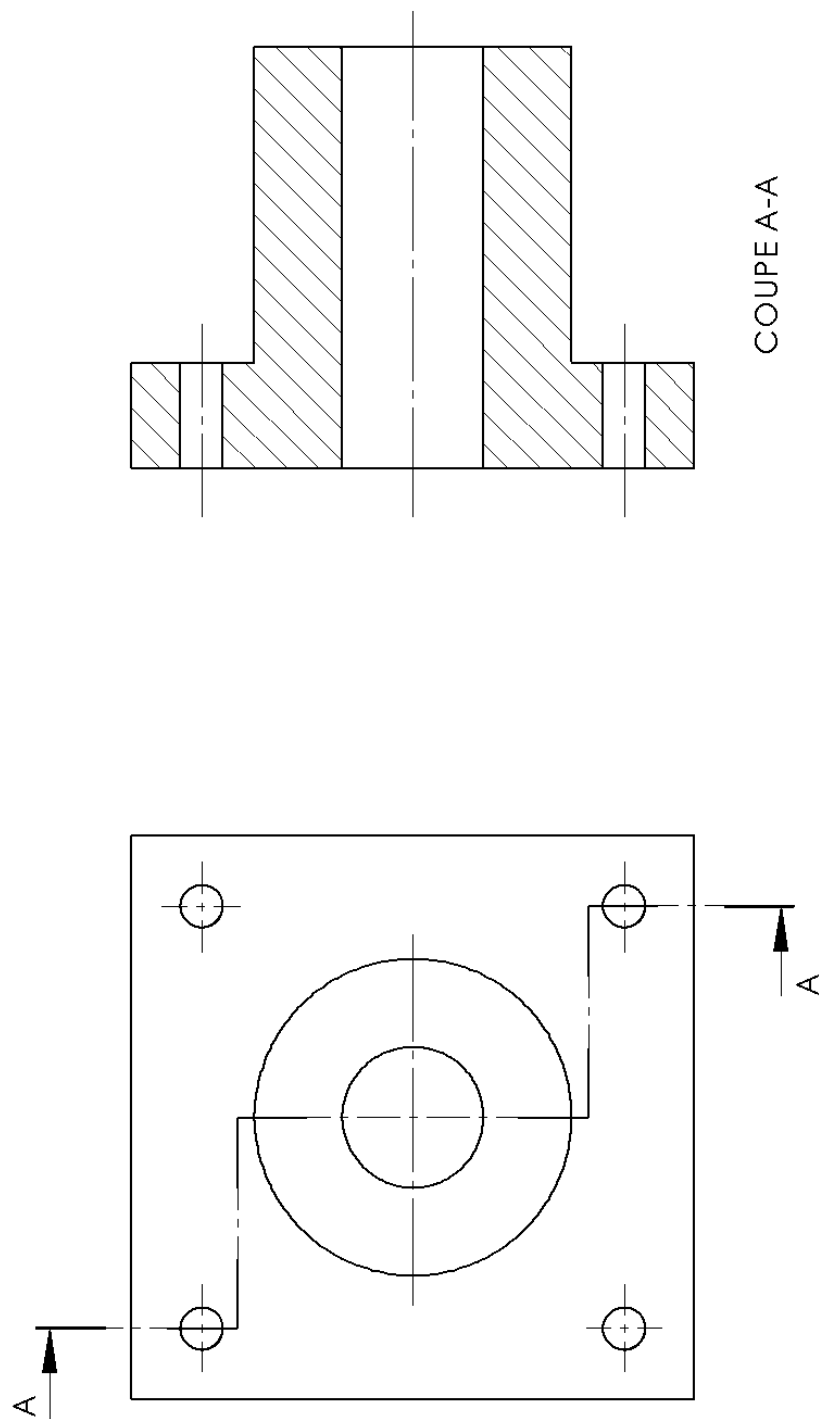


FIGURE 1.18 – Plan à compléter.

# Chapitre 2

## Tolérances dimensionnelles

### 2.1 Généralités

Pour obtenir les données permettant de trouver la position et l'amplitude des intervalles de tolérances ISO, utilisez la norme ISO286 disponible sur moodle ou via le site MyNBN.

### 2.2 Détermination de tolérances

#### 2.2.1 Exemple

Déterminez les tolérances liées aux cotes suivantes :

- 30 H7
- 30 h7
- 30 P6
- 30 p6
- 30 N7
- 30 js8

### 2.3 Ajustements

#### 2.3.1 Calcul d'ajustements

Pour chacun des ajustements suivants, donner les écarts de cote minimal et maximal et indiquer chaque fois s'il s'agit d'un ajustement avec jeu, incertain ou avec serrage :

- 34 H6/k5
- 50 H7/f6
- 75 H7/r6

Quel ajustement suggérez-vous pour un ajustement arbre-alésage de diamètre nominal 30 mm qui doit présenter un serrage compris entre 0  $\mu m$  et 35  $\mu m$  ?

### 2.3.2 e2016s1q5

Pour chacun des ajustements suivants, donner les écarts de cote minimal et maximal et indiquer chaque fois s'il s'agit d'un ajustement avec jeu, incertain ou avec serrage :

- 50 H6/k5
- 60 H8/s7
- 70 F7/h6

Quel ajustement suggérez-vous pour un assemblage arbre-alésage de diamètre nominal 18 mm qui doit présenter un jeu compris entre 0 et 70  $\mu\text{m}$  ?

Quel ajustement suggérez-vous pour un assemblage arbre-alésage de diamètre nominal 18 mm qui doit présenter un serrage compris entre 0 et 11  $\mu\text{m}$  ??

### 2.3.3 e2018s2q6

Déterminer les intervalles de jeu ou de serrage pour les cas de figure suivants :

1.  $\varnothing 15$  H7/g6 ;
2.  $\varnothing 18$  JS8/h6.

## 2.4 Principe du maximum de matière

### 2.4.1 Calibre virtuel

La pièce présentée en figure 2.1 est percée par 4 alésages de diamètre 8 mm (tolérance +0,2mm, +0,1mm). Ces alésages sont situés aux 4 sommets d'un carré de 32 mm de côté. Le motif est centré par rapport à la pièce.

On demande :

- d'indiquer que la tolérance de localisation des axes des alésages les uns par rapport aux autres est de 100  $\mu\text{m}$ , le plan B servant de référence et le principe du maximum de matière étant d'application (vous respecterez les règles de représentation du dessin technique. Les cotes non précisées dans l'énoncé ne seront pas indiquées sur le plan) ;
- de définir le calibre virtuel qui permette de vérifier que les pièces fabriquées respectent la condition de montage.

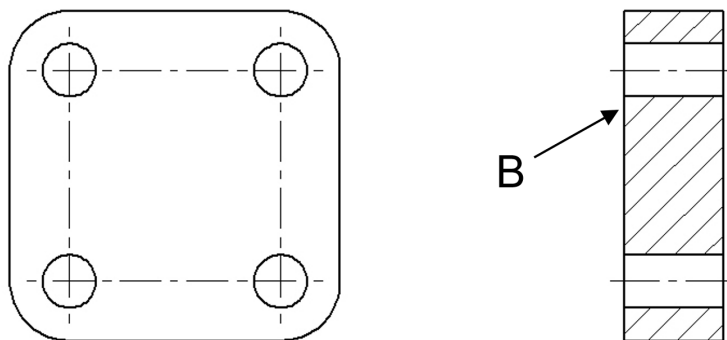


FIGURE 2.1 – Cotation partielle d'une pièce

## 2.4.2 e2004s1q5

Les figures 2.2 et 2.3 représentent deux pièces de révolution qui doivent être assemblées par emboîtement des portées de diamètre 30 et appui sur les surfaces A. On impose donc sur chacune d'elles des tolérances de perpendicularité.

La vérification de ces tolérances géométriques se fait à l'aide de calibres de contrôle dont on vous demande de définir les diamètres D1 et D2 (l'utilisation de la notion d'état virtuel conduit directement aux valeurs demandées). On vous demande également de calculer le jeu diamétral minimal que peut présenter l'assemblage.

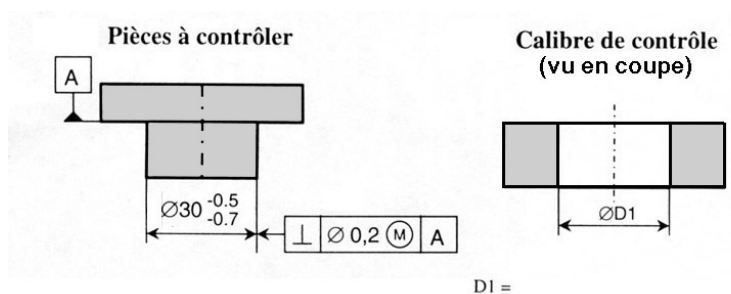


FIGURE 2.2 – Pièce et calibre de contrôle

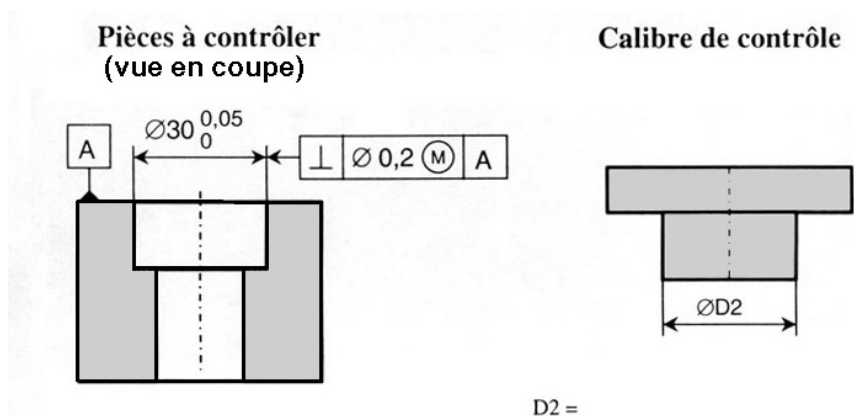


FIGURE 2.3 – Pièce et calibre de contrôle

### 2.4.3 e2006s1q3b

Donnez les 2 diamètres (entre et n'entre pas) du calibre fonctionnel qui permet de s'assurer que les dimensions du cylindre (figure 2.4) sont situées dans les limites de tolérance fixées.

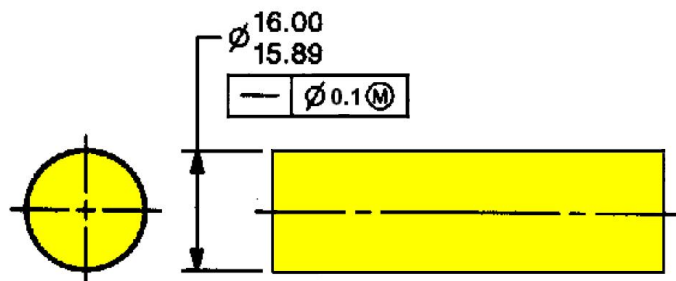


FIGURE 2.4 – Définition de calibre de contrôle

### 2.4.4 e2006s1q4

Calculez le jeu minimum et le jeu maximum de l'assemblage des deux pièces présentées en figure 2.5.

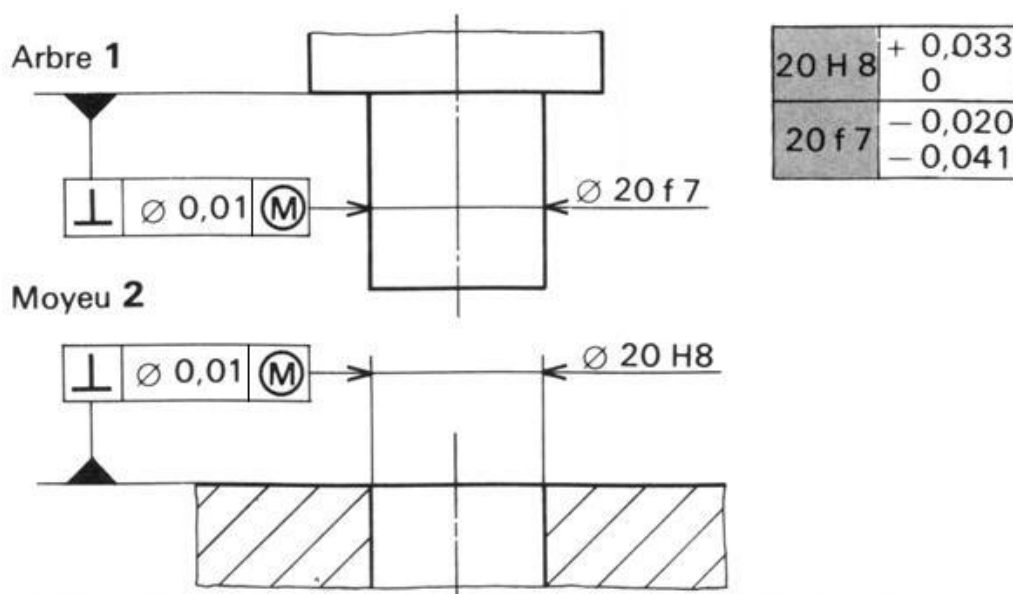


FIGURE 2.5 – Plan des deux pièces

### 2.4.5 e2016s1q4

L'arbre (figure 2.6) est constitué de 2 portées. La portée de gauche a une longueur de  $90 \pm 0,1$  mm et un diamètre de 75 mm (tolérance :  $+0$  et  $-50 \mu m$ ) ; celle de droite a une longueur de  $50 \pm 0,1$  mm et un diamètre de 40 mm (tolérance :  $+0$  et  $-50 \mu m$ ).

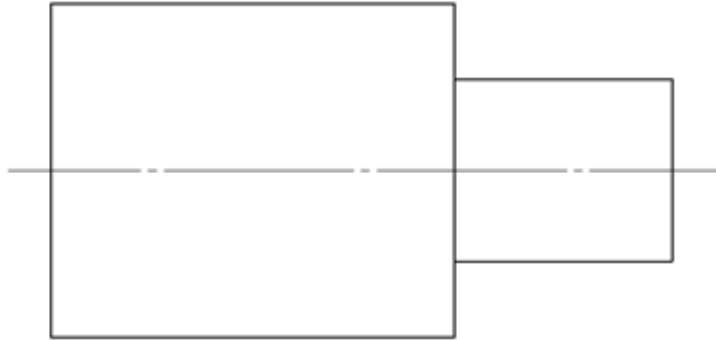


FIGURE 2.6 – Plan de pièce

On vous demande :

- de coter et de tolérancer la figure 4 en annexe en indiquant que l'exigence d'enveloppe s'applique à la portée de gauche (diamètre 75 mm) et en imposant une tolérance de coaxialité de  $40 \mu m$  de la portée de droite par rapport à la portée de gauche sachant que le principe du maximum de matière s'applique. Vous respecterez bien entendu les règles de représentation du dessin technique ;
- de proposer le calibre virtuel qui permet de vérifier que les pièces sont conformes à l'exigence de coaxialité.

### 2.4.6 e2017s1q4

Les deux pièces représentées dans les deux dessins (figures 2.7) sont destinées à être assemblées avec jeu. Les diamètres des 2 portées (dessin de gauche) et des alésages (dessin de droite) sont cotés et tolérancés. Les entraxes sont cotés à leur valeur nominale.

On vous demande d'indiquer sur la figure une tolérance géométrique de localisation de  $30 \mu m$  pour chaque portée du dessin de gauche, la référence étant le plan A et de  $20 \mu m$  pour chaque alésage du dessin de droite, la référence étant le plan B. Le principe du maximum de matière sera chaque fois d'application et la tolérance de localisation sera imposée dans toutes les directions parallèles aux plans de référence.

Une pièce de chaque type a été fabriquée et contrôlée. Voici les résultats des mesures :

- pièce A : diamètres 9,940 et 8,960 ; entraxe 44,020 ;
- pièce B : diamètres 10,040 et 9,040 ; entraxe 43,950.

Pour simplifier l'exercice, on supposera que les incertitudes de mesure sont négligeables. Est-ce que les pièces respectent les tolérances imposées ?

Une fois les pièces assemblées, quel est le jeu d'assemblage suivant l'axe X ? La représentation figure 2.8 est destinée à orienter votre raisonnement.



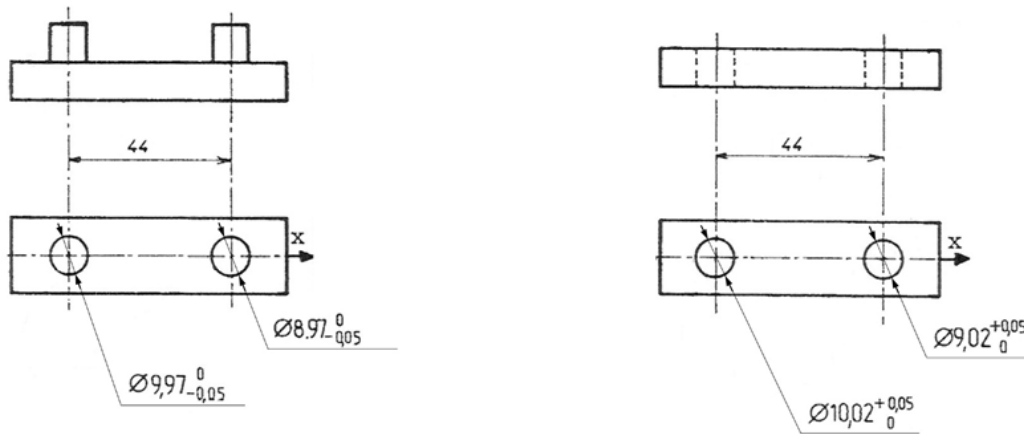


FIGURE 2.7 – Assemblage

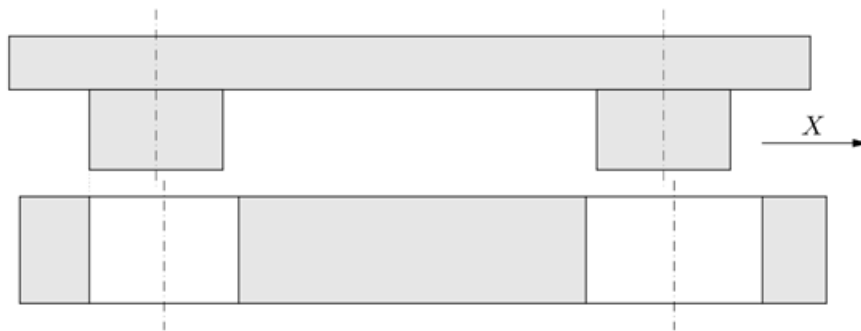


FIGURE 2.8 – Schéma de principe

#### 2.4.7 e2018s1q2

La figure 2.9 présente le dessin d'une plaque présentant un alésage cylindrique. On demande d'y indiquer que l'axe de l'alésage a une tolérance de perpendicularité par rapport au plan de pose de la pièce (situé à gauche de la figure) de 100 microns dans toutes les directions avec application du principe du maximum de matière. Dessinez par ailleurs le diagramme dynamique de tolérance et le plan du calibre virtuel permettant de vérifier la spécification.

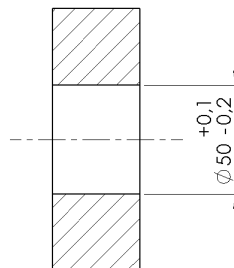


FIGURE 2.9 – Plan de la plaque.

### 2.4.8 e2019s1q6

La pièce dont le plan est donné en figure 2.10 est un parallélépipède percé par 4 alésages. On demande :

- d'indiquer sur la figure 2.10 que la tolérance de localisation des axes des alésages les uns par rapport aux autres est de  $100\ \mu m$ , le plan B servant de référence et le principe du maximum de matière étant d'application ; vous respecterez les règles de représentation du dessin technique ;
- de proposer un calibre virtuel (pièce comportant 4 portées mâles) qui permette de vérifier que les pièces sont conformes à l'exigence de localisation ;
- de proposer une méthode de mesure au marbre pour le contrôle de cette spécification.

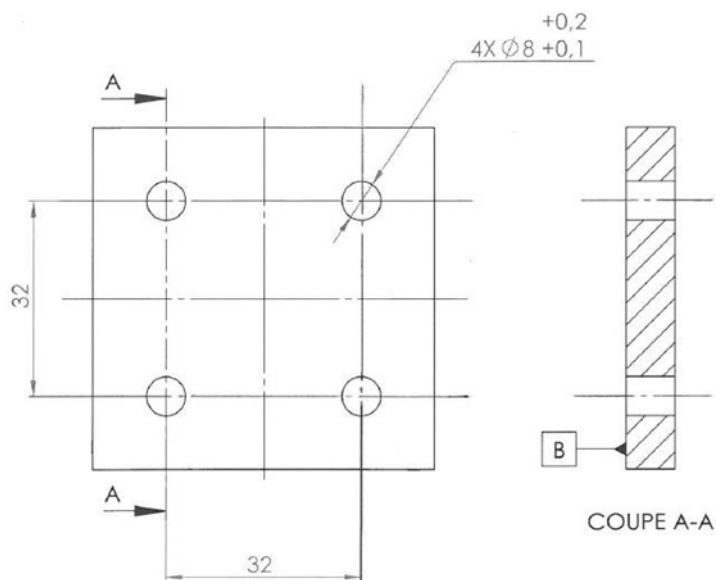


FIGURE 2.10 – Figure pour la question.

## 2.5 Tolérances selon ISO GPS

### 2.5.1 Réécriture de tolérances

La figure 2.11 présente la cotation de l'axe d'un alésage de diamètre 4 mm sur une pièce parallélépipédique. Cette spécification n'est plus conforme aux normes ISO GPS. Proposez une réécriture de cette spécification en accord avec les normes.

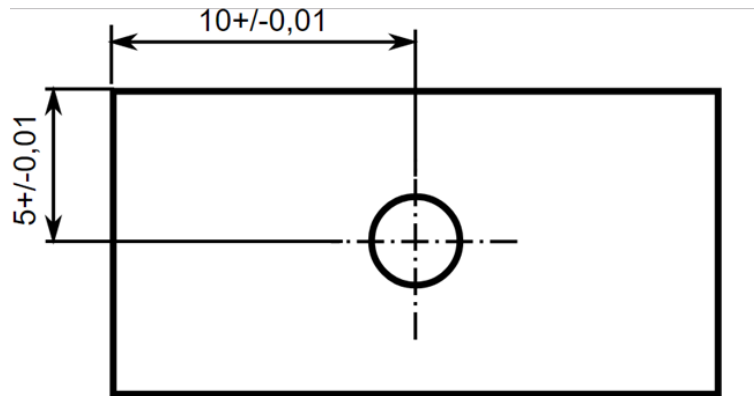


FIGURE 2.11 – Cotation partielle d'une pièce

### 2.5.2 e2020s1q7

La figure 2.12 présente deux cotes assorties de tolérances dimensionnelles présentes sur un ancien plan. On vous demande de donner une proposition de spécification équivalente conforme avec les normes ISO GPS.

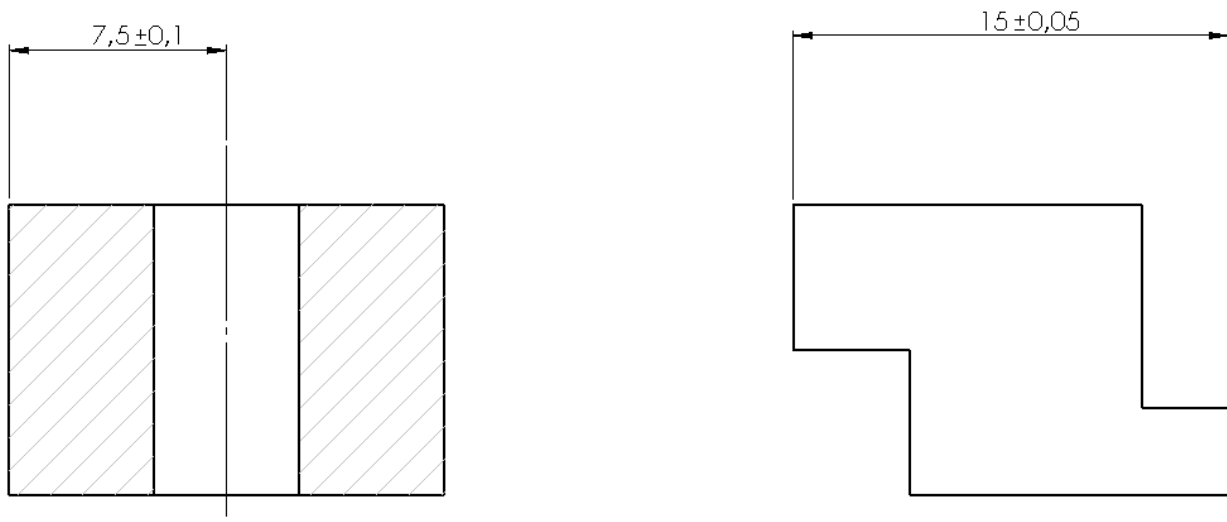


FIGURE 2.12 – Tolérances dimensionnelles.

---

## 2.6 Vérification

### 2.6.1 e2007s1q4b

La conicité d'un alésage conique peut être vérifiée à l'aide de deux sphères de diamètres connus. On vous demande de fournir un dessin explicatif avec toutes les dimensions mesurées ainsi que les calculs appropriés menant à la réponse finale.

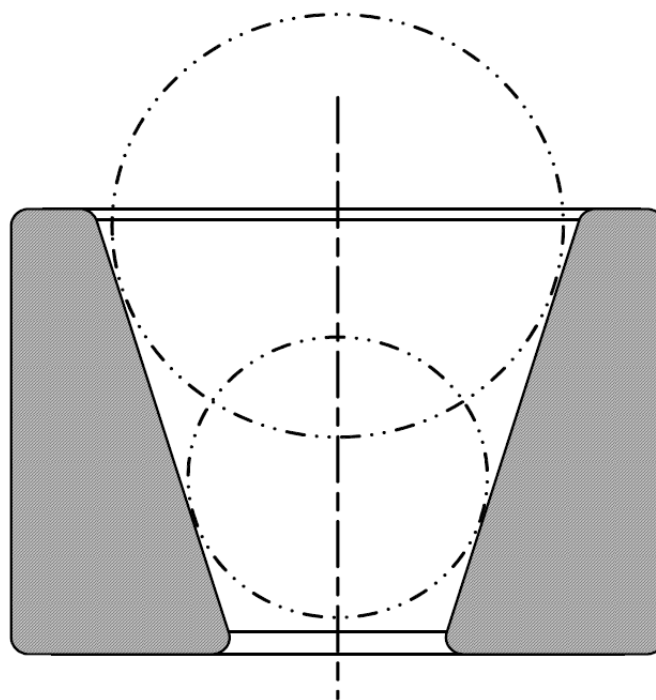


FIGURE 2.13 – Mesure d'une conicité

# Chapitre 3

## Chaînes de cotes

### 3.1 Généralités

Pour obtenir les données permettant de trouver la position et l'amplitude des intervalles de tolérances ISO, utilisez la norme ISO286 disponible sur moodle ou via le site MyNBN.

### 3.2 Chaînes de cotes

#### 3.2.1 Machine à laver

En faisant l'hypothèse que toutes les cotes sur l'exercice de l'arbre de machine à laver (voir section 1.4.1, page 12) sont de JS7 (ou js7), calculer le jeu minimum existant entre le bout de l'arbre et la face arrière de la rondelle assemblant la poulie.

#### 3.2.2 Boîte de vitesse

Le plan 3.1 (page 36) présente une vue en coupe d'une boîte de vitesse. Exprimez les chaînes de cotes permettant de d'exprimer les jeux fonctionnels  $J_a$ ,  $J_b$ ,  $J_c$  et  $J_d$ .

#### 3.2.3 Jeu résiduel assemblage fileté

Etablissez la chaîne de cotes vectorielle permettant de vérifier le jeu fonctionnel  $J_c$  sur la plan 3.2 (page 37).

On donne le plan (simplifié) de l'arbre (figure 3.3 page 38). On a les éléments suivant : écrou épaisseur 10 mm, rondelle épaisseur 5 mm, roue conique cote axiale entre les deux faces en contact 33 mm, roulement à contact oblique 7306 BE (B=19 mm), entretoise longueur 20 mm, roulement à billes 6205 (B=15 mm).

Calculer le jeu minimum et maximum si on considère que toutes les tolérances sont JS7 (ou js7).

En modifiant uniquement la cote de la partie fileté de l'arbre, peut-on atteindre un jeu valant :

- $J_s = 1_{-0,094}^{+0,094}$  ;
- $J_s = 2_{-0,01}^{+0,01}$  ;

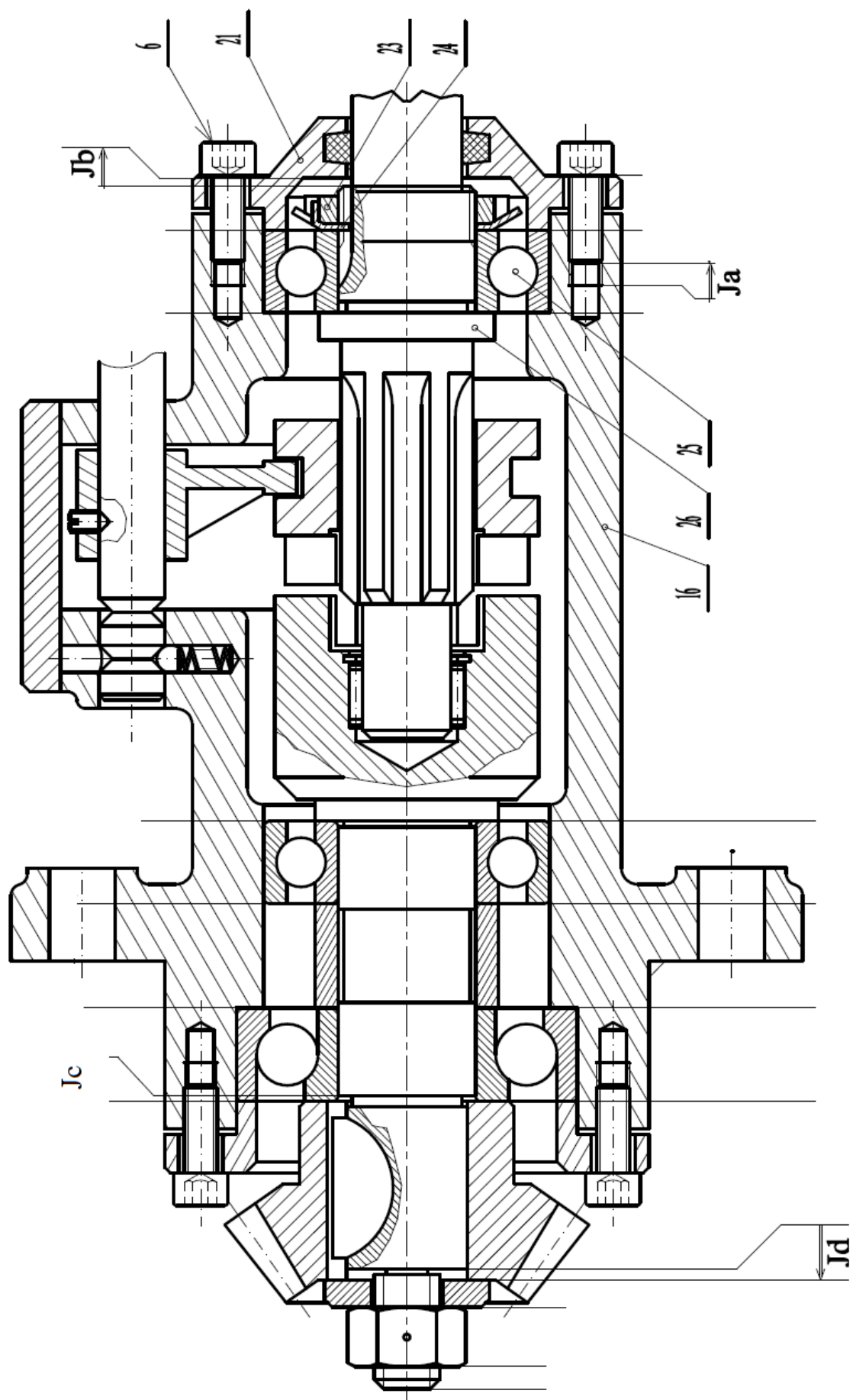


FIGURE 3.1 – Vue en coupe d'un arbre de boîte de vitesse

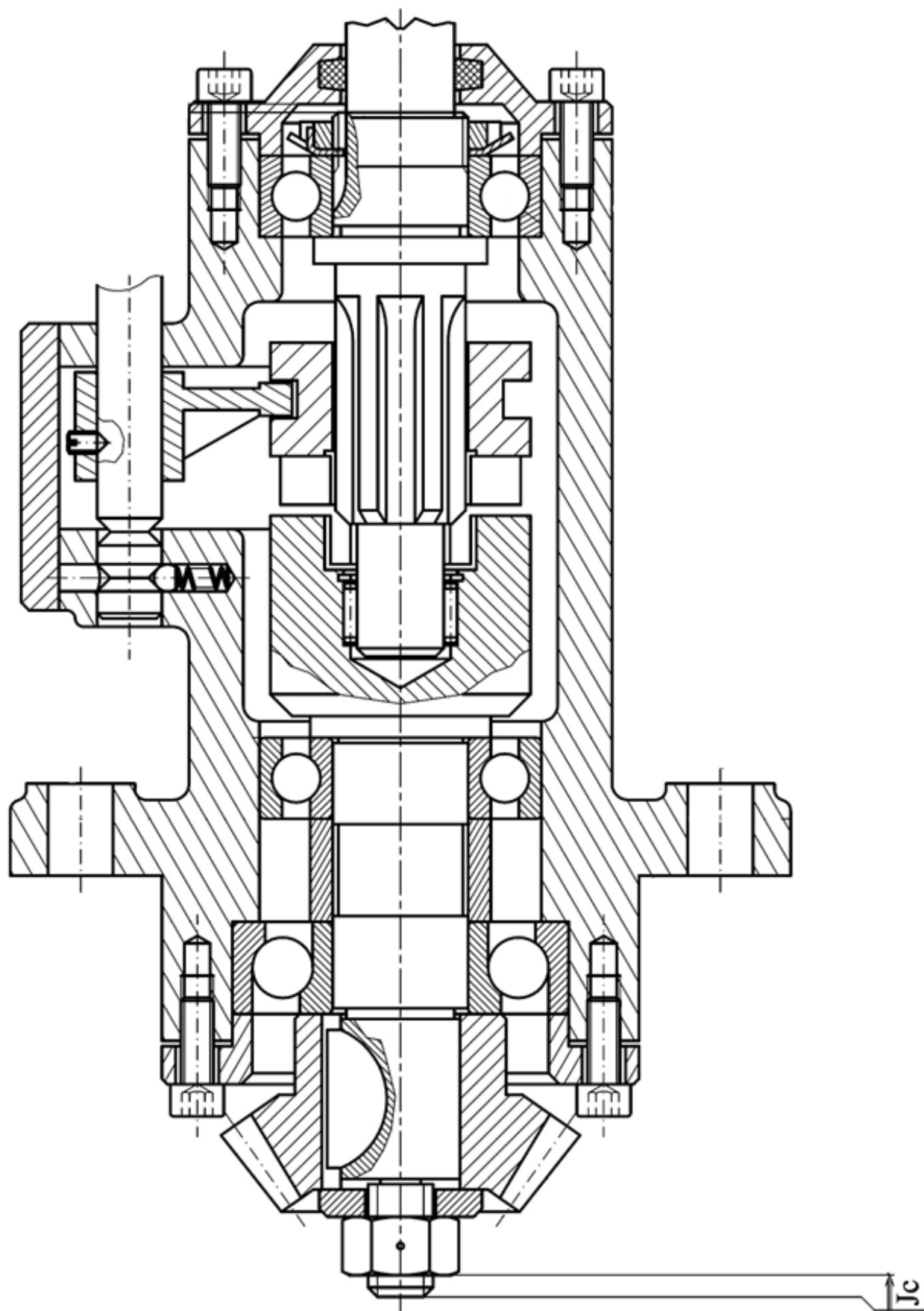


FIGURE 3.2 – Assemblage pour la chaîne de cotes

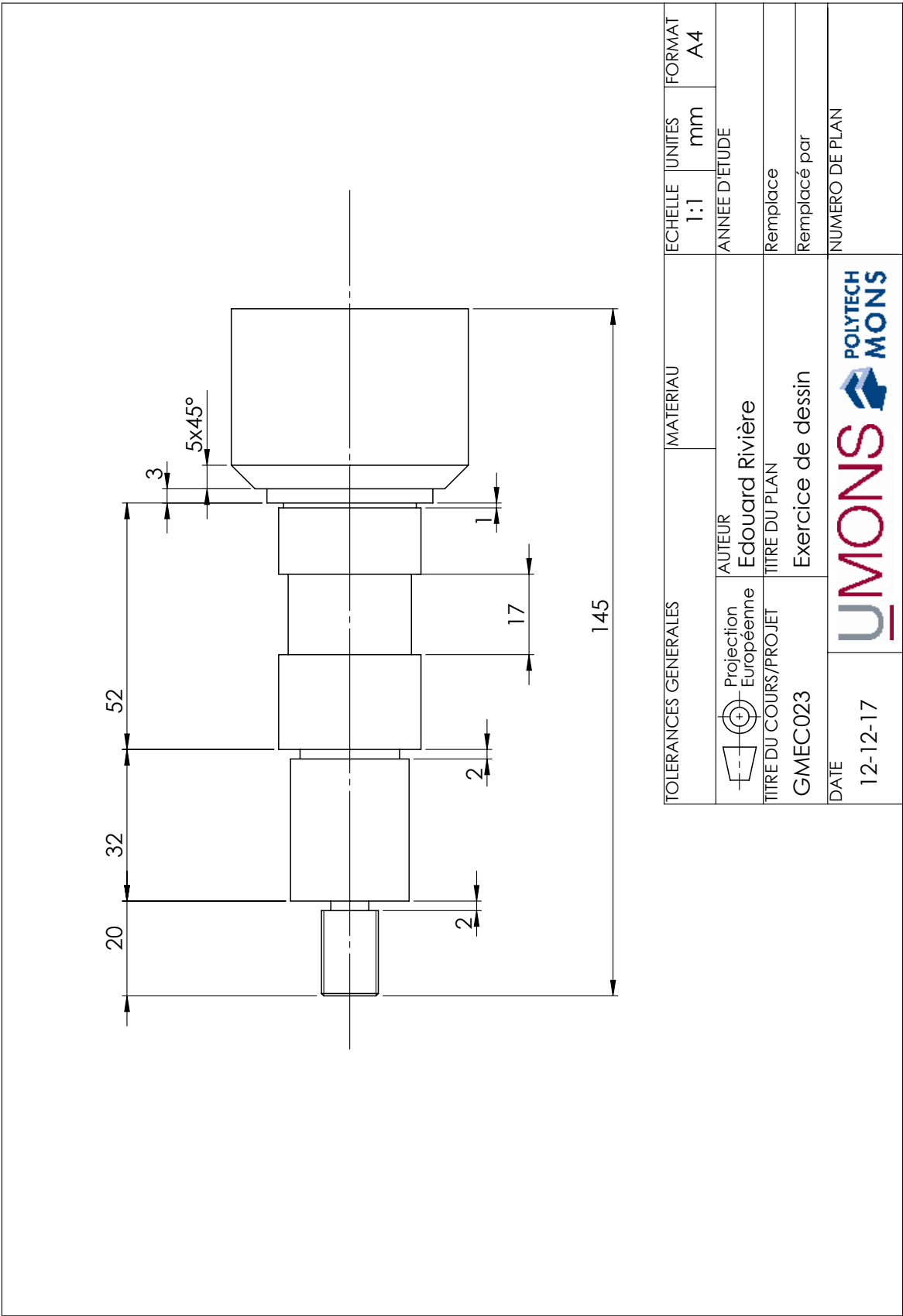


FIGURE 3.3 – Plan simplifié de l'arbre



### 3.2.4 Pompe péristaltique

Le plan 3.4 présente une vue en coupe d'un arbre de pompe péristaltique. Le plateau (2b) est soudé sur l'arbre (2a). On demande d'établir la chaîne de cote permettant de vérifier le jeu fonctionnel entre ce plateau et le carter (1) dans la direction axiale.

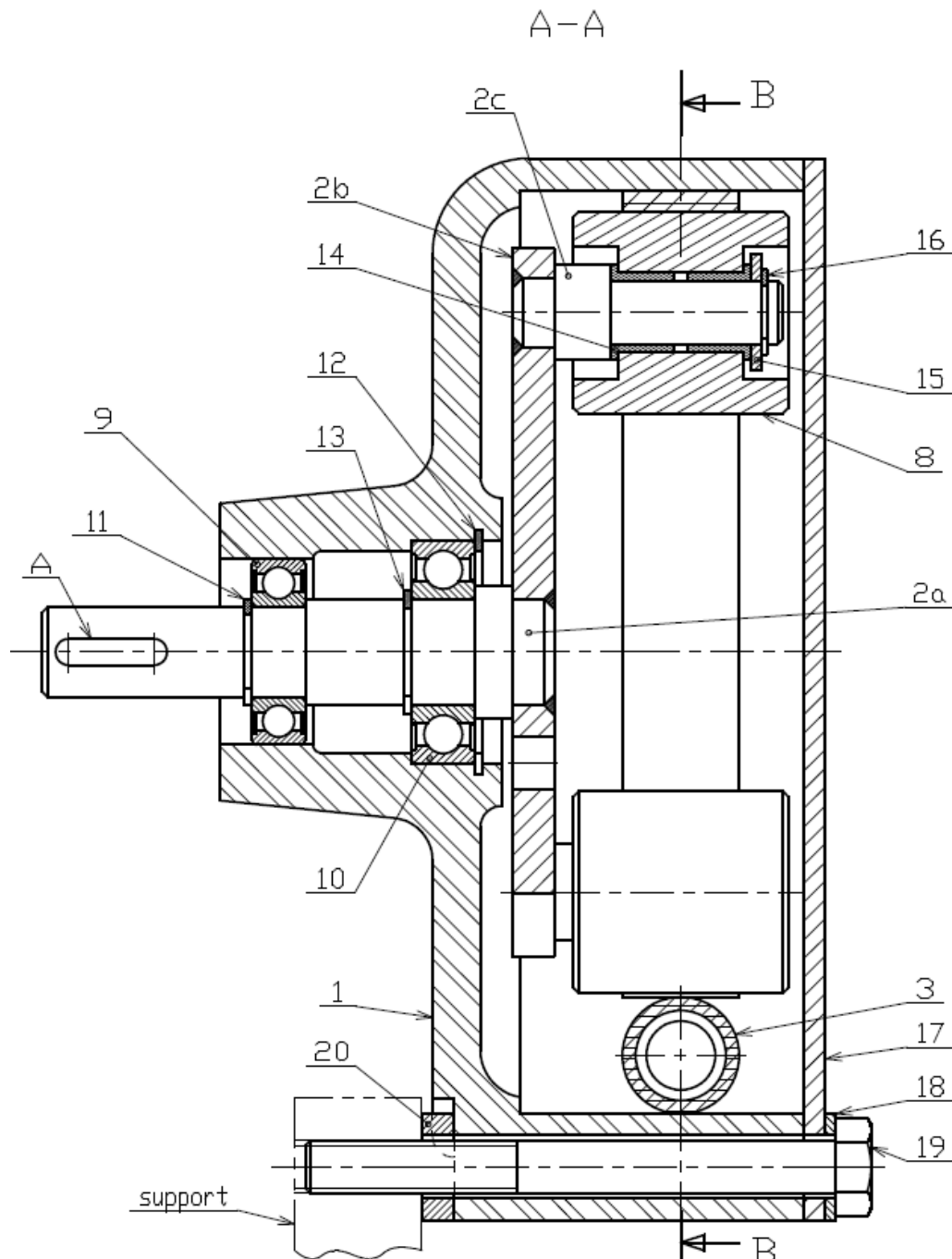


FIGURE 3.4 – vue en coupe de l'arbre d'une pompe péristaltique

### 3.2.5 Axe

Le plan 3.5 représente un axe de machine. On demande d'établir la nomenclature des pièces A à G. Etablissez ensuite la chaîne de cote permettant de calculer le jeu fonctionnel  $e$ .

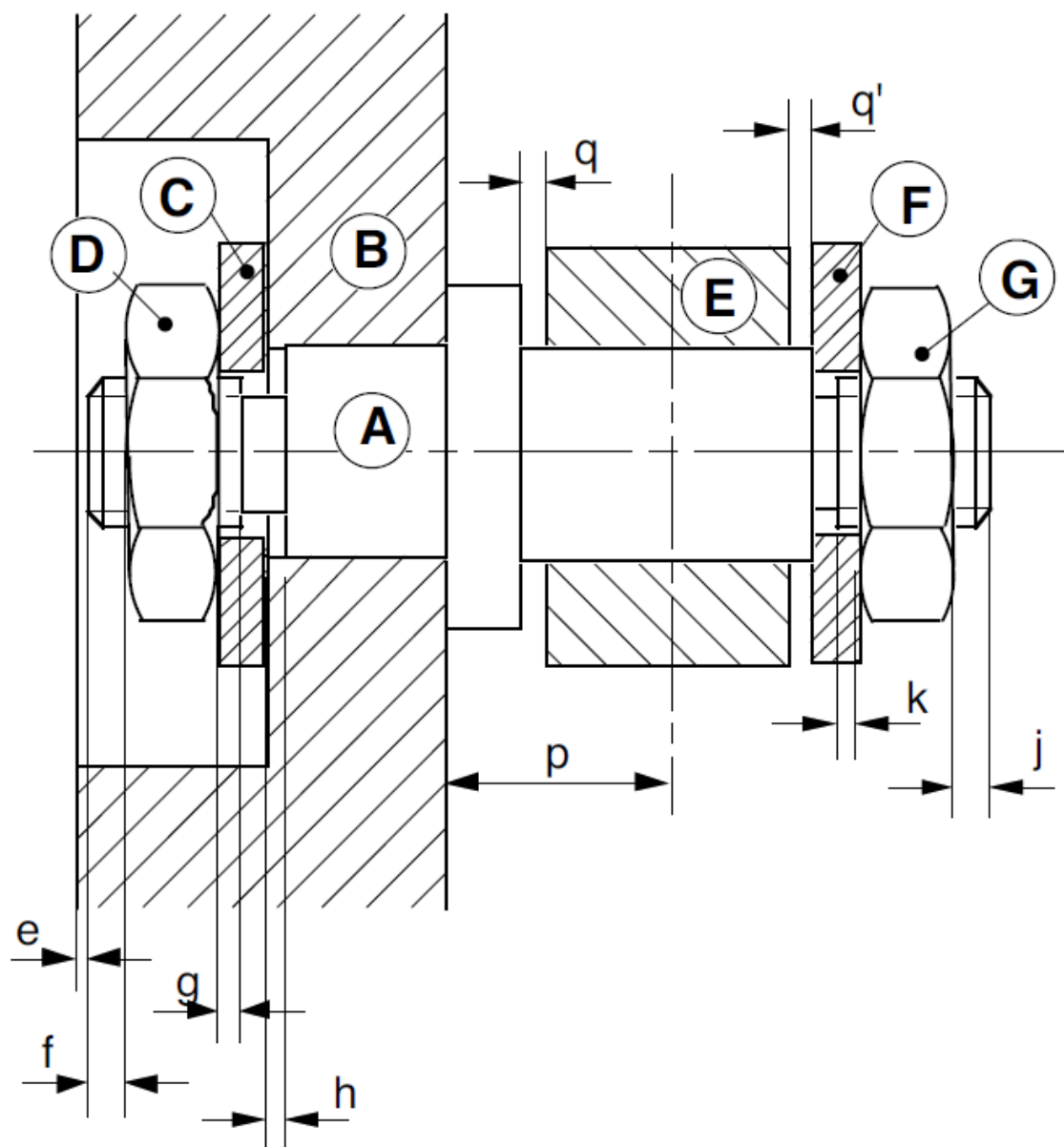


FIGURE 3.5 – Vue en coupe d'un axe

---

### 3.2.6 e2005s1q6

On représente sur la figure 3.6 (page 42) la coupe partielle d'un arbre creux (moyeu) 5 recevant sa puissance d'une roue dentée 10. Le guidage en rotation de cet arbre 5 vis-à-vis d'un carter résultant de l'assemblage des pièces 9 et 13 est assuré par les roulements à billes 6 et 12. On demande d'établir les chaînes de cotes vectorielles relatives :

- au jeu B entre la face extérieure de l'obturateur 16 et la face intérieure du couvercle 15 ;
- au jeu D entre la surface latérale gauche de la roue dentée 10 et la surface intérieure du demi-carter 9.

On établira les relations algébriques permettant l'expression de  $B_{min}$  et de  $D_{max}$ .

### 3.2.7 e2005s2q6

La figure 3.7 (page 43) représente une coupe partielle d'un arbre moteur creux (5), supporté par deux roulements à billes 6 et 12 vis-à-vis d'un carter en deux parties (9 et 13). Une roue dentée 10 est montée sur cet arbre 5. On demande de définir pour les jeux fonctionnels A et B :

- les chaînes de cotes vectorielles indépendantes (le jeu B ne peut intervenir dans la définition de l'expression de A, et réciproquement), en les définissant par tracé sur les figures 3.8 et 3.9 respectivement (pages 44 et 45) ;
- les expressions algébriques des limites maximales et minimales de ces jeux.

Le jeu A est un jeu fonctionnel positif entre la face intérieure du couvercle 7 et la bague extérieure du roulement à billes 6. Le jeu B est un jeu fonctionnel positif entre l'obturateur 16 monté serré sur l'arbre creux 5 et le couvercle 15.

### 3.2.8 e2007s1q5

On représente sur la figure 3.10 (page 46) deux vues en coupe identiques d'un assemblage de divers éléments. On demande d'établir les chaînes de cotes vectorielles relatives :

- au jeu fonctionnel  $JD$  garantissant une longueur de sortie de tige 2 suffisante ;
- au jeu fonctionnel  $JE$  entre la surface terminale droite de l'élément 6 et la surface d'appui intérieure de la cloche 4.

On établira ensuite les relations algébriques permettant l'expression de  $JD_{max}$  et de  $JE_{min}$  en fonction des cotes maximales et minimales des éléments matériels.

### 3.2.9 e2008s1q5

La figure 3.11 (page 47) présente la coupe longitudinale de l'arbre d'entrée (2) d'un réducteur supporté par un roulement à aiguilles (4) et un roulement à billes (5). Une poulie (3) est montée à l'extrémité droite de cet arbre.

La poulie est bloquée sur l'arbre en rotation et en translation. Définir en les nommant et en les référençant sur le plan (ajouter les repères comme on le ferait pour dresser une nomenclature) les éléments qui contribuent à l'immobilisation de la poulie relativement à l'arbre.

Le jeu J est défini comme la distance séparant la face latérale gauche de la poulie et la face latérale droite de la bague (6).

Définir une chaîne vectorielle de cotes mettant le jeu J en relation avec des cotes des éléments de ce réducteur. En déduire les expressions algébriques de  $J_{min}$  et  $J_{max}$ .

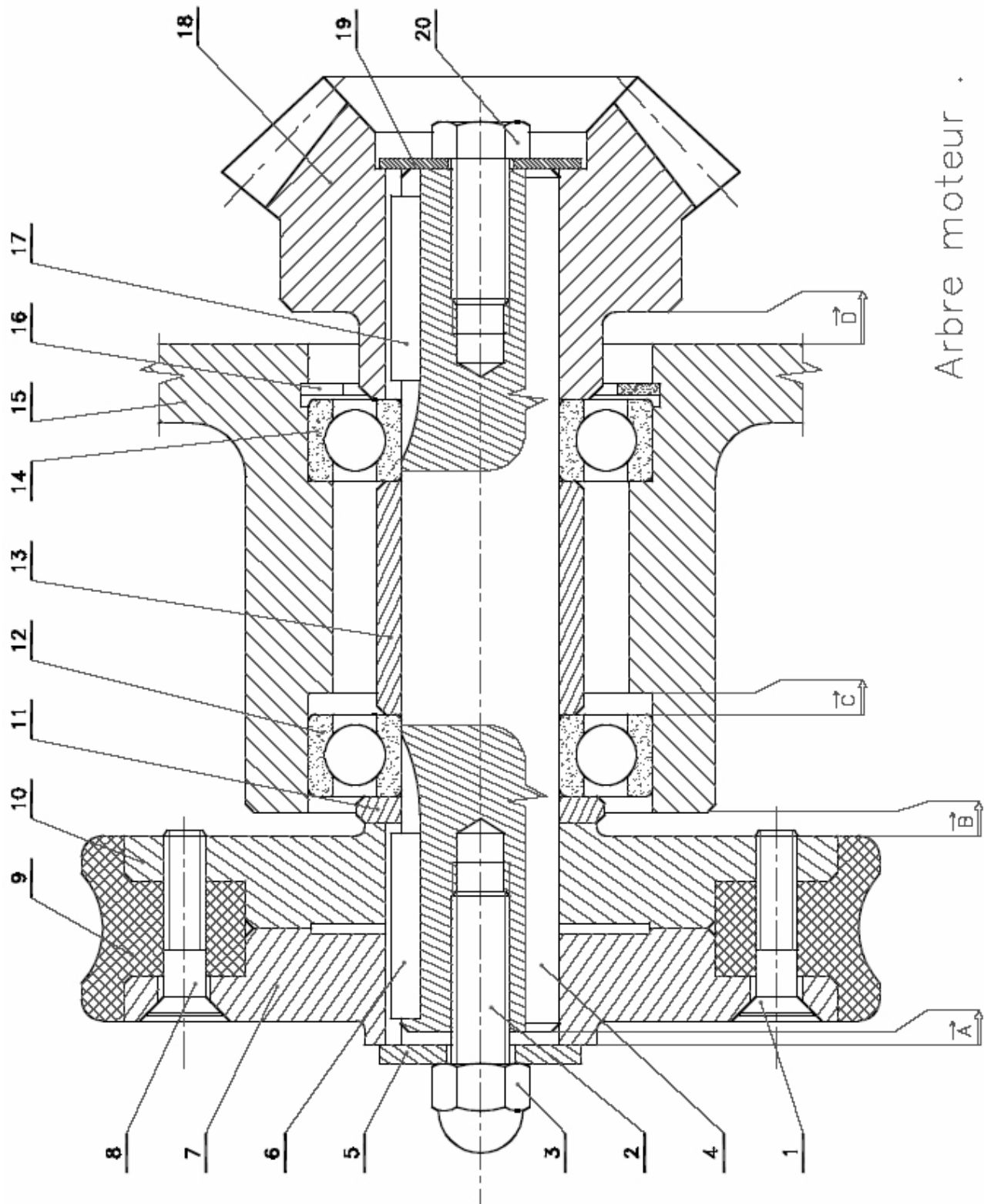


FIGURE 3.6 – Assemblage complet

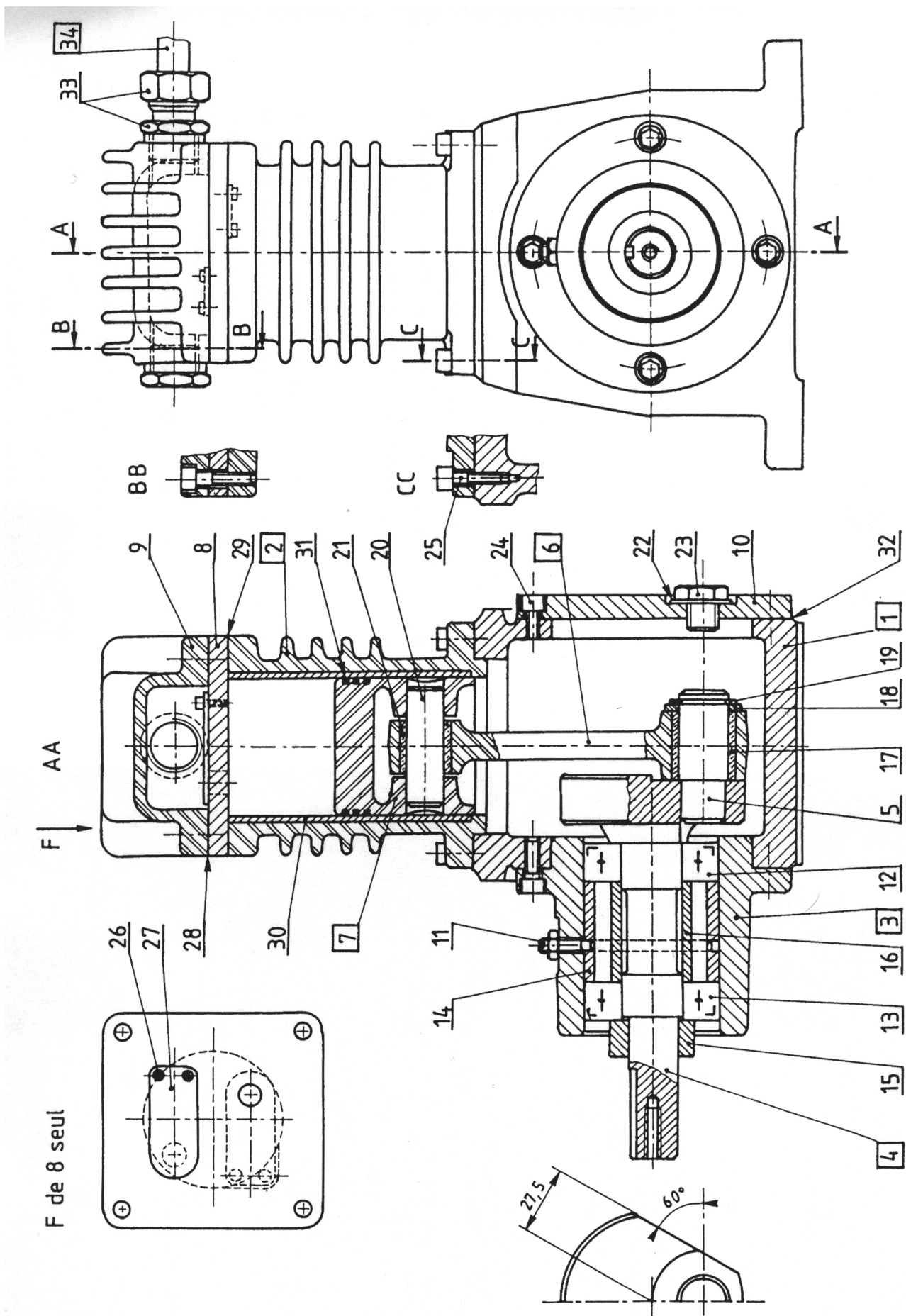


FIGURE 3.7 – Assemblage complet

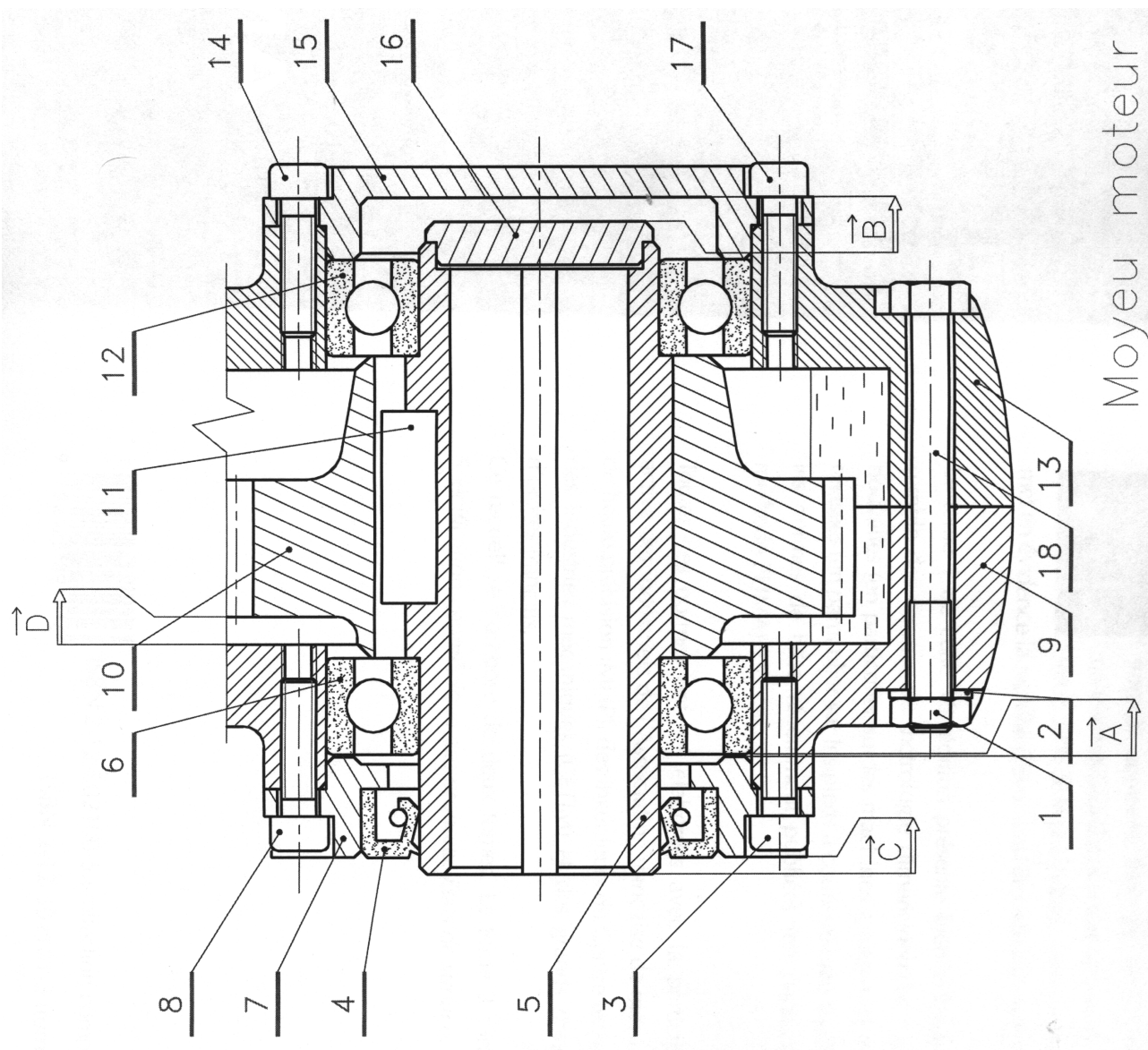


FIGURE 3.8 – Zoom sur l'arbre



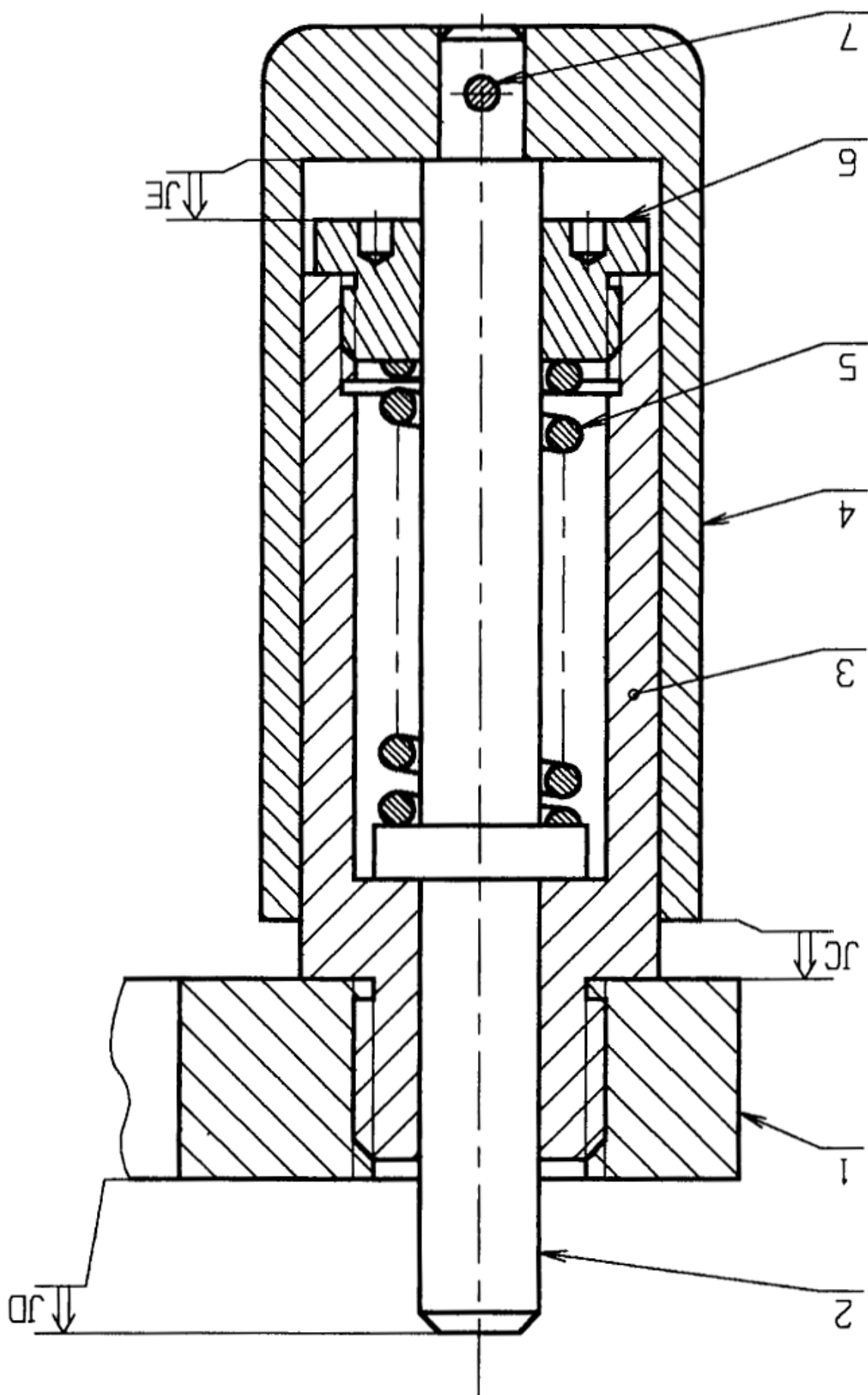


FIGURE 3.10 – Coupe de vérin



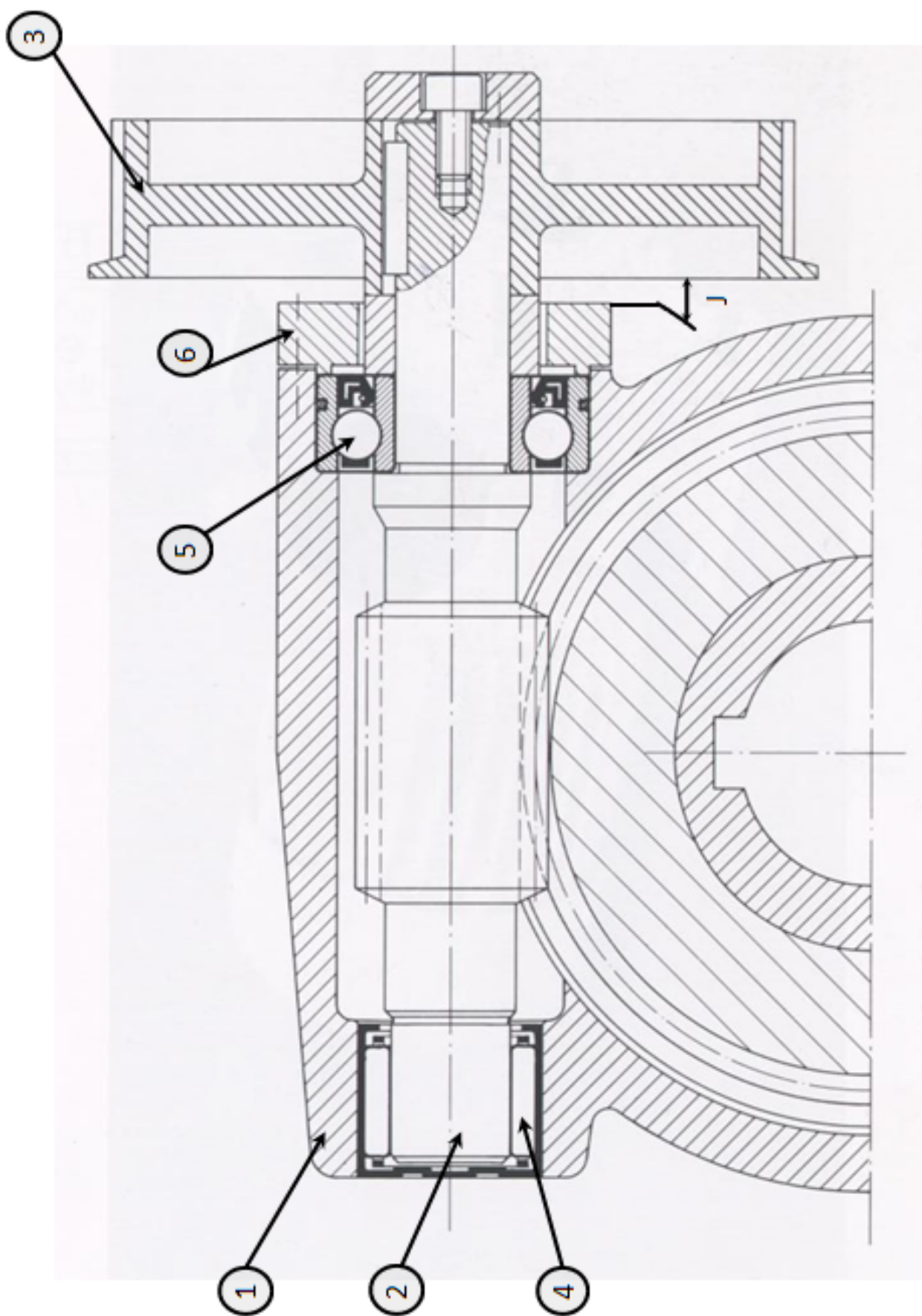


FIGURE 3.11 – Réducteur à vis sans fin

### 3.2.10 e2010s1q6

La figure 3.13 (page 49) présente la coupe longitudinale d'un carter maintenu par deux pattes élastiques séparées par une entretoise. La déformation des pattes lors du serrage permet de compenser les tolérances dimensionnelles du carter. La procédure d'assemblage prévoit que l'on serre la vis de la patte de gauche avant de serrer la vis de la patte de droite. La figure représente le moment où on va serrer la vis de droite et on veut qu'existe alors un jeu  $J$  entre le carter et la patte de droite. On vous demande de définir une chaîne vectorielle de cotes mettant le jeu  $J$  en relation avec des cotes des éléments de cet assemblage puis d'en déduire les expressions algébriques de  $J_{min}$  et  $J_{max}$ .

### 3.2.11 e2011s1q3

La figure 3.12 présente un assemblage de deux pièces constituées de cylindres coaxiaux mâle et femelle. En supposant que l'exigence d'enveloppe est d'application, on demande de calculer les valeurs extrêmes des jeux  $I$  et  $J$ .

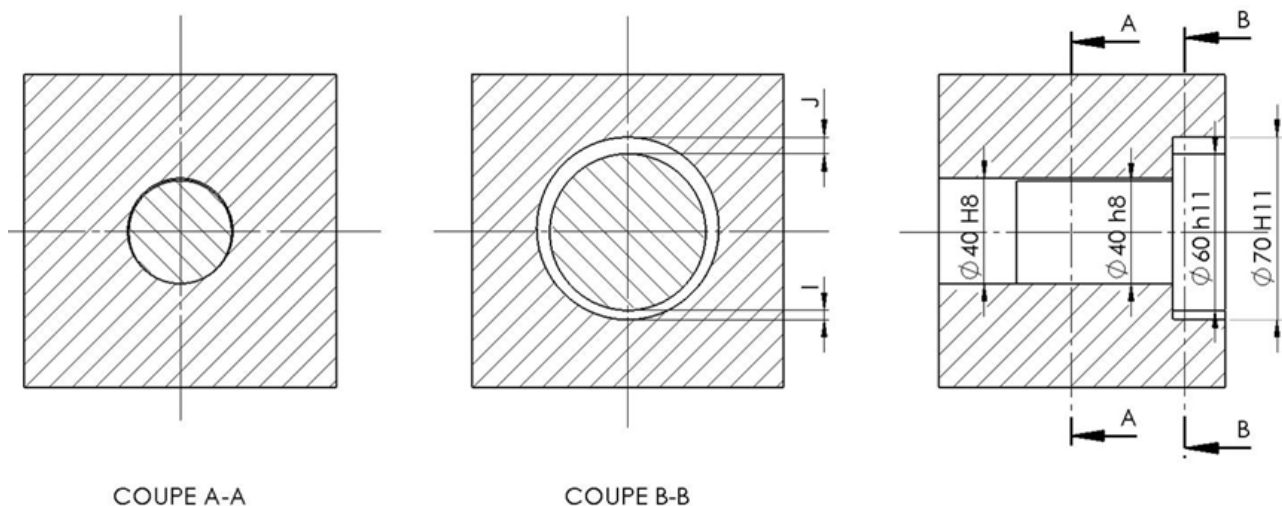


FIGURE 3.12 – Assemblage vu en coupe

### 3.2.12 e2016s1q7

La figure 3.14 (page 50) présente la coupe longitudinale d'une partie d'un réducteur de vitesse. On vous demande de définir les chaînes vectorielles de cotes mettant les conditions de fonctionnement  $J_1$ ,  $J_2$  et  $J_3$  en relation avec les cotes des éléments de cet assemblage et d'en déduire les expressions algébriques de leurs valeurs minimales et maximales. La condition  $J_3$  concerne le jeu entre le roulement à billes 4 et la roue dentée 20.

Pour rappel, un roulement à billes est constitué de plusieurs éléments (bagues, billes, cage,...). Dans ce type d'exercice, on considère cependant que sa géométrie est équivalente à celle d'un tore monobloc dont la section rectangulaire enveloppe le roulement et dont la forme géométrique est parfaite (voir figure 3.15 page 50).

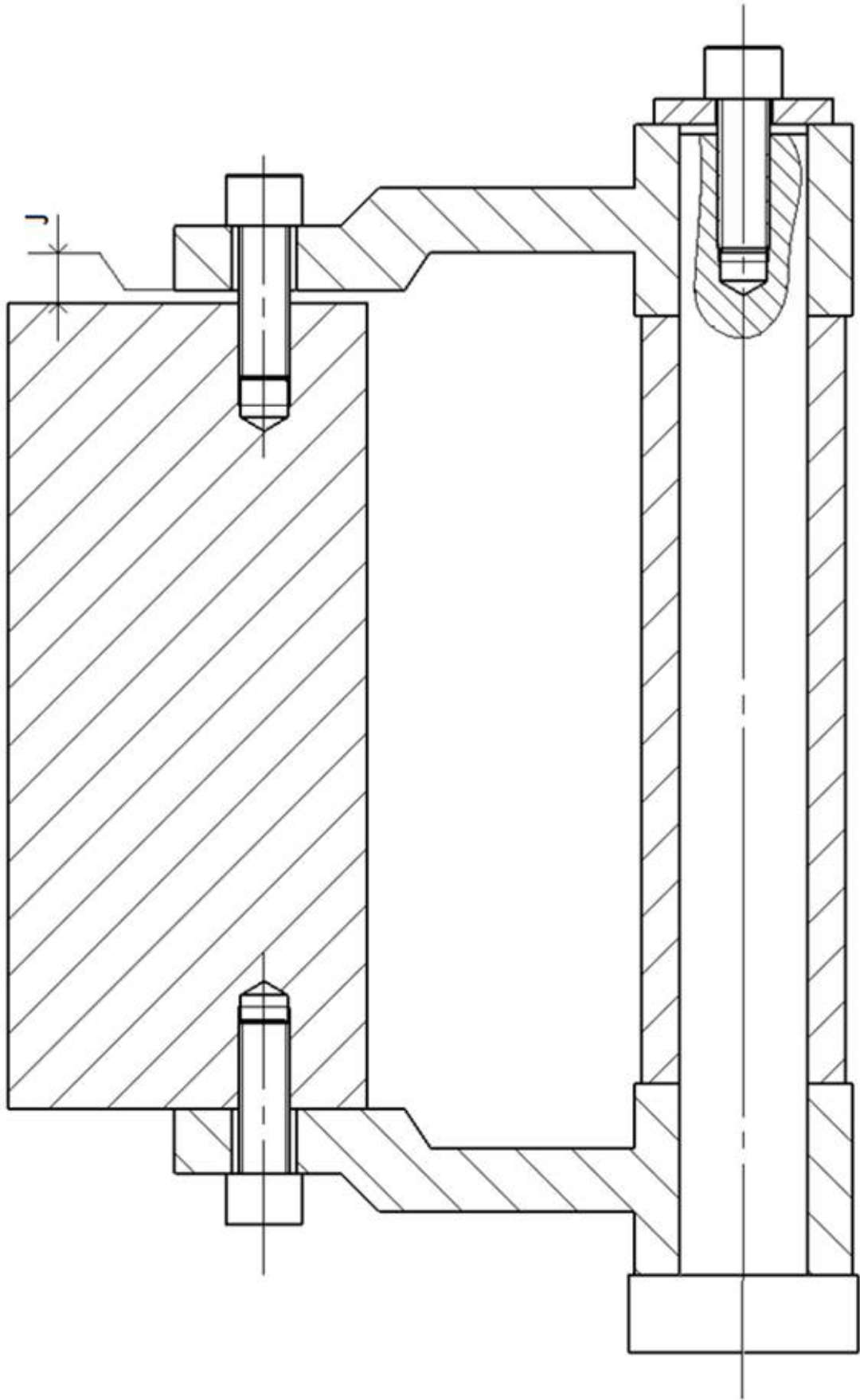


FIGURE 3.13 – Carter.

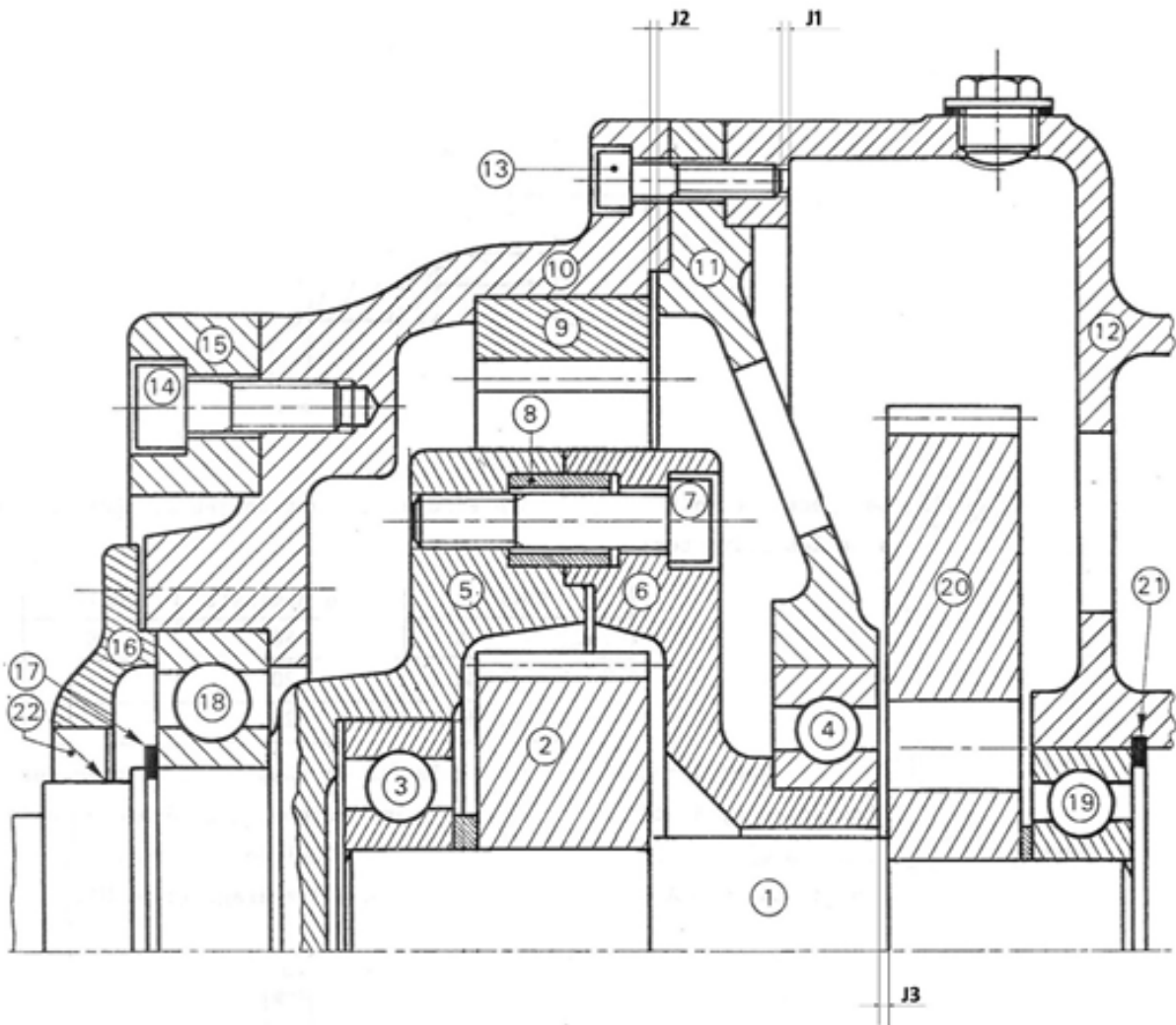


FIGURE 3.14 – Coupe d'étude.

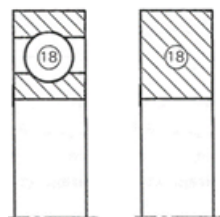


FIGURE 3.15 – Prise en compte d'un roulement.

### 3.2.13 e2021s1q3

On donne le plan simplifié de deux pièces destinées à être assemblées (figure 3.16. On demande :

1. D'écrire les trois inéquations permettant d'assurer que l'assemblage est possible
  - (a) Les tenons cylindriques s'insèrent dans les alésages
  - (b) La cote  $X_1$  est toujours inférieure à la cote  $X_2$
  - (c) La cote  $Y_1$  est toujours supérieure à la cote  $Y_2$
2. De proposer des valeurs possibles pour les cotes manquantes en utilisant les valeurs chiffrées qui vous sont fournies dans le tableau 3.1 (chaque variante est un exercice distinct)
3. Pour les valeurs que vous proposez, de déterminer le débattement latéral maximum qui peut être rencontré lors de l'assemblage de ces deux pièces.

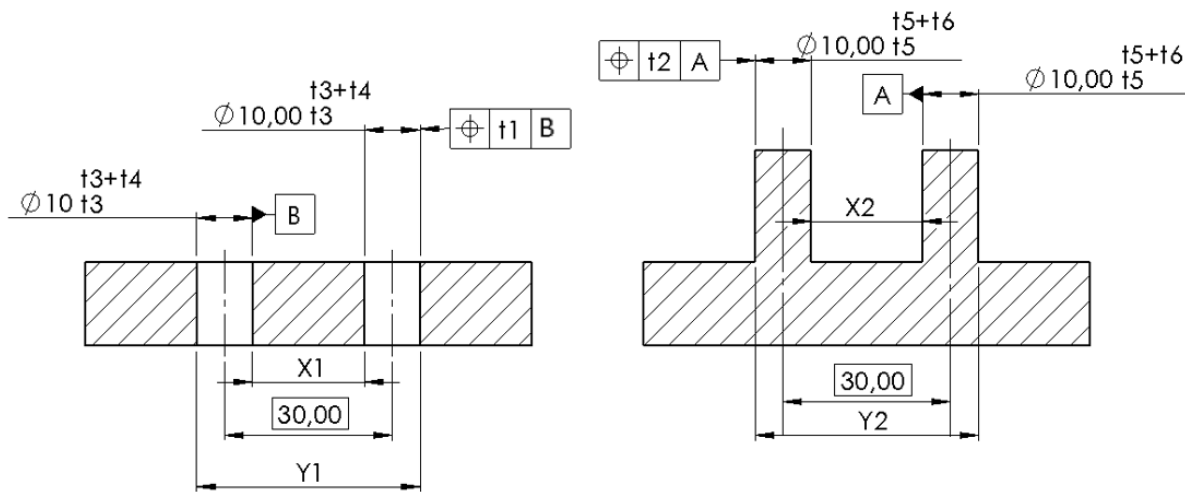


FIGURE 3.16 – Plan simplifié des deux pièces à assembler

variantes	t1 (mm)	t2 (mm)	t3 (mm)	t4 (mm)	t5 (mm)	t6 (mm)
1	0,1	0,1	/	0,2	/	0,2
2	0,2	0,3	0,4	/	-0,4	/
3	0,3	/	/	0,2	-0,5	0,2
4	0,1	0,1	0,1	0,3	/	/
5	0,1	0,1	/	/	-0,3	0,3
6	0,2	/	/	0,1	-0,2	0,1
7	0,3	0,2	/	0,1	/	0,1

TABLE 3.1 – Valeurs chiffrées pour l'exercice

## 3.3 Transfert de cotes

### 3.3.1 Cas de deux cotes

On a une imposition sur la cote  $X$  à respecter alors que la pièce (figure 3.17) est cotée en parallèle. Quelle tolérance doit-on transférer au niveau de la cote  $Y$  pour les trois cas de figure suivants :

- $30^{+0,4}$
- $10^{+0,1}$
- $20^{+0,05}$

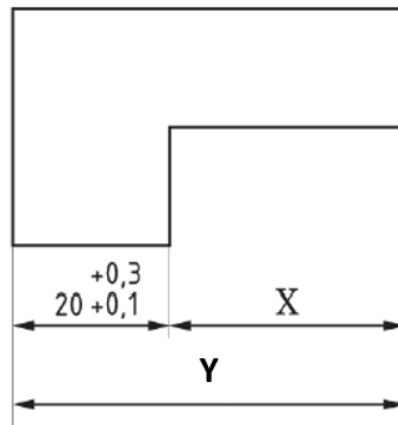


FIGURE 3.17 – Vue en coupe d'un axe

### 3.3.2 e2018s1q3

Les figures 3.18 à 3.20 (page 53) présentent le plan de trois pièces assemblées entre elles. On demande :

- de donner l'intervalle de jeu ou de serrage entre la pièce intermédiaire et la vis au niveau de la portée de diamètre 15 ;
- d'exprimer la chaîne de cotes permettant de vérifier qu'il subsiste un jeu fonctionnel axial compris entre 0,7 et 1,3 mm entre la pièce intermédiaire et la tête de la vis (dessinez en couleur les cotes intermédiaires prises sur les différentes pièces) ;
- d'effectuer le transfert de cotes permettant d'exprimer la cote inconnue  $X$  sur la figure 3.20 (page 53) et de calculer sa valeur.

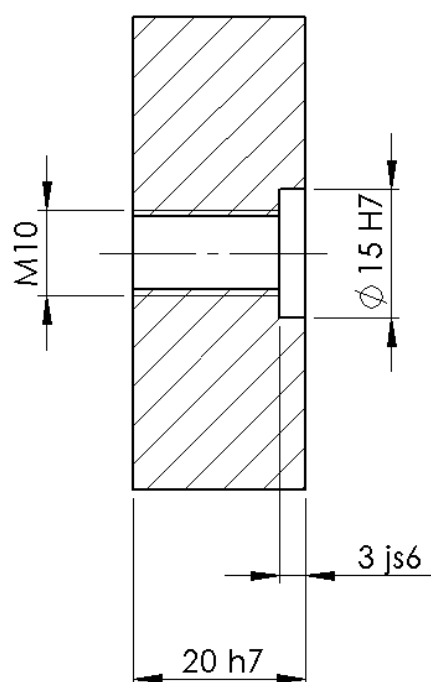


FIGURE 3.18 – Pièce inférieure.

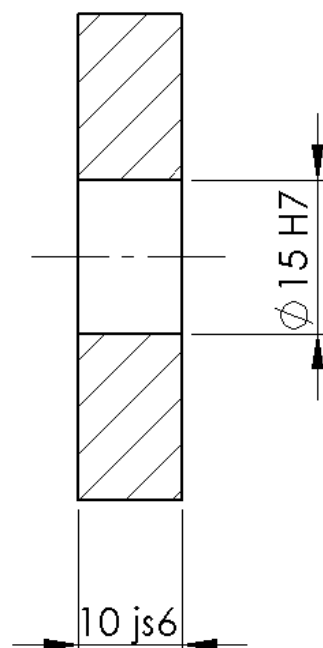


FIGURE 3.19 – Pièce intermédiaire.

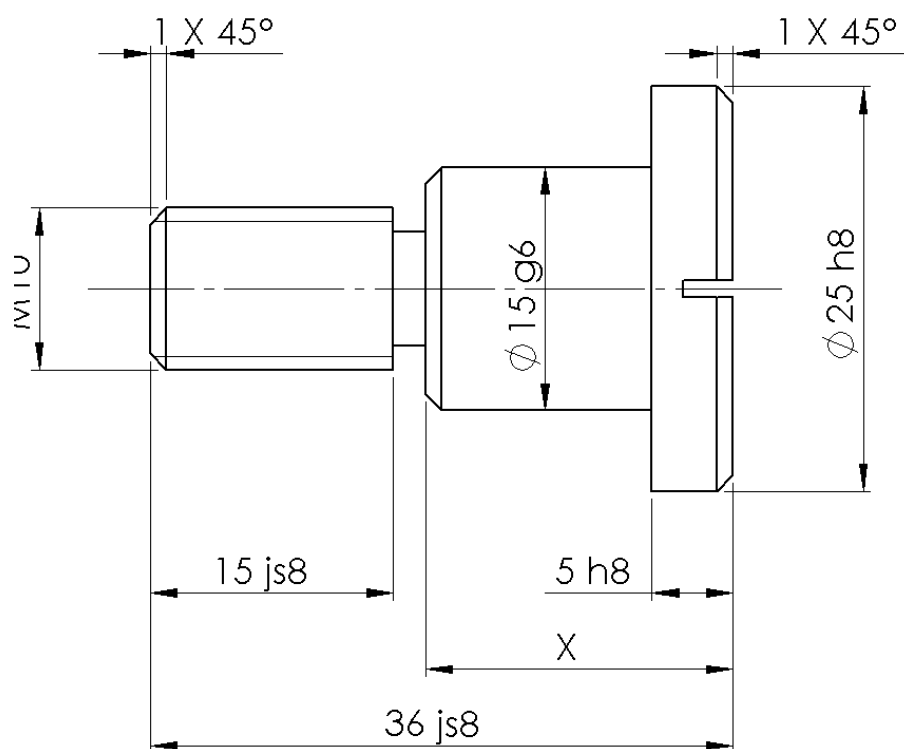


FIGURE 3.20 – Vis.

### 3.3.3 e2019s1q3

La figure 3.21 présente une vue partielle de l'assemblage de quatre pièces à l'aide d'une vis. La pièce 3 a une épaisseur de  $10JS8$ , la pièce 4 une épaisseur  $15JS7$ . On demande de déterminer la cote inconnue  $X$  (valeur nominale et intervalle de tolérance) pour que le jeu  $j$  soit compris entre 0,1 et 0,3 mm.

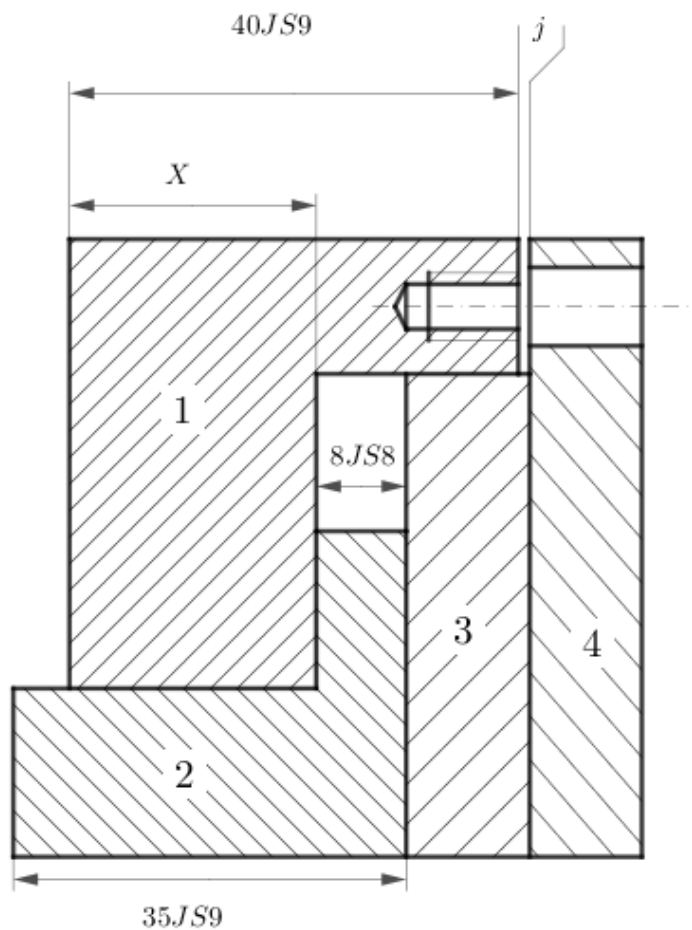


FIGURE 3.21 – Figure pour la question sur les chaînes de cotes.



### 3.3.4 e2020s1q3

La figure 3.22 présente une vue schématique d'une presse permettant la production de pièces frittées. On remplit la partie creuse (matrice) de poudre qui est compactée par les deux poinçons pour obtenir une pièce brute appelée 'vert'.

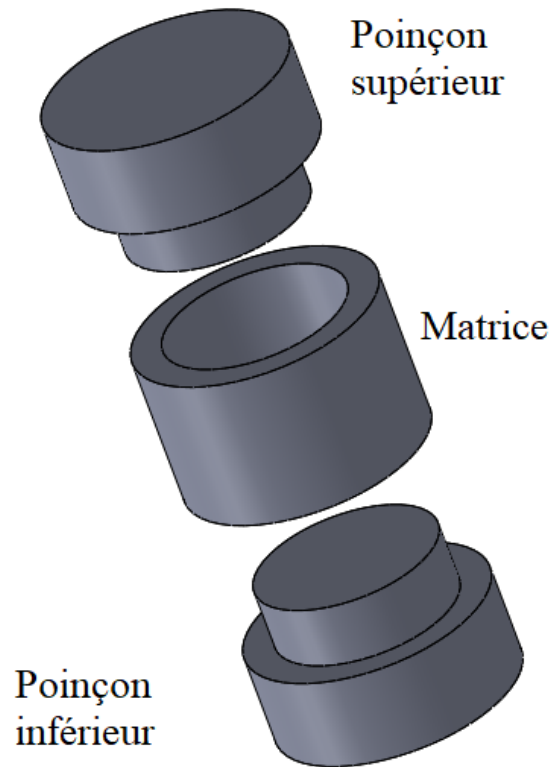


FIGURE 3.22 – Assemblage matrice/poinçon.

La matrice est un anneau de diamètre extérieur 80 mm et de diamètre intérieur 60 mm. Les deux poinçons sont identiques et constitués de deux cylindres concentriques de diamètre 60 mm et 80 mm. On peut relever les dimensions suivantes : hauteur totale de la matrice :  $50^{\pm 0,01}$ , hauteur totale du poinçon :  $50^{\pm 0,03}$ , hauteur du cylindre de diamètre 80 sur le poinçon :  $30^{\pm 0,02}$ . On demande :

- de déterminer l'intervalle de tolérance attendu sur le vert (qui correspond à la hauteur résiduelle dans la chambre de la matrice une fois les deux pistons assemblés) ;
- de déterminer la nouvelle tolérance à indiquer sur la hauteur totale du poinçon pour garantir une tolérance de  $\pm 0,1$  sur le vert ;
- d'expliquer comment choisir les tolérances sur le poinçon pour garantir une tolérance de  $\pm 0,05$  sur le vert (éventuellement en revoyant la façon de coter la pièce).

### 3.3.5 e2022s1q3

La figure 3.23 présente la vue partielle de l'assemblage d'une poulie sur un arbre de machine (1 : arbre ; 2 : roulement, 3 : entretoise ; 4 : poulie ; 5 : couvercle). Le roulement a une épaisseur de  $15h7$ , l'entretoise une hauteur totale de  $40h8$ , la poulie une largeur totale  $50h8$ . La distance entre l'extrémité gauche de l'arbre et l'épaulement sur lequel s'appuie le roulement est  $98js7$ . Un plan simplifié de du couvercle est donné en figure 3.23. On demande :

1. d'exprimer la chaîne de cote vectorielle permettant de déterminer le jeu  $j$  (les vecteurs seront représentés sur le figure 3.24) ;
2. de donner la cote 'x' manquante sur le plan du couvercle pour que le jeu minimal soit de 1 mm (prenez une largeur de l'intervalle de tolérance IT7 pour x) ;
3. de déterminer le jeu maximum qui résulte de ce choix.

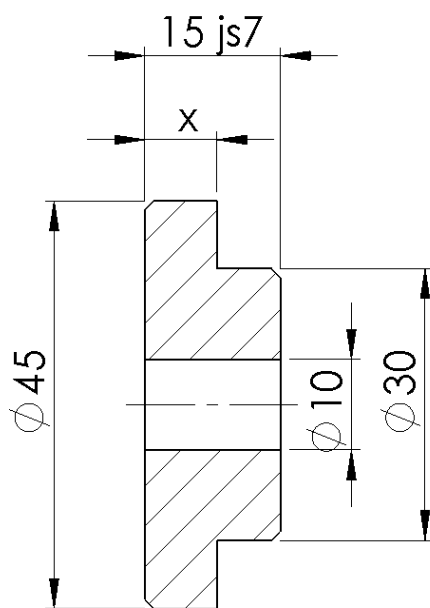


FIGURE 3.23 – plan simplifié du couvercle.

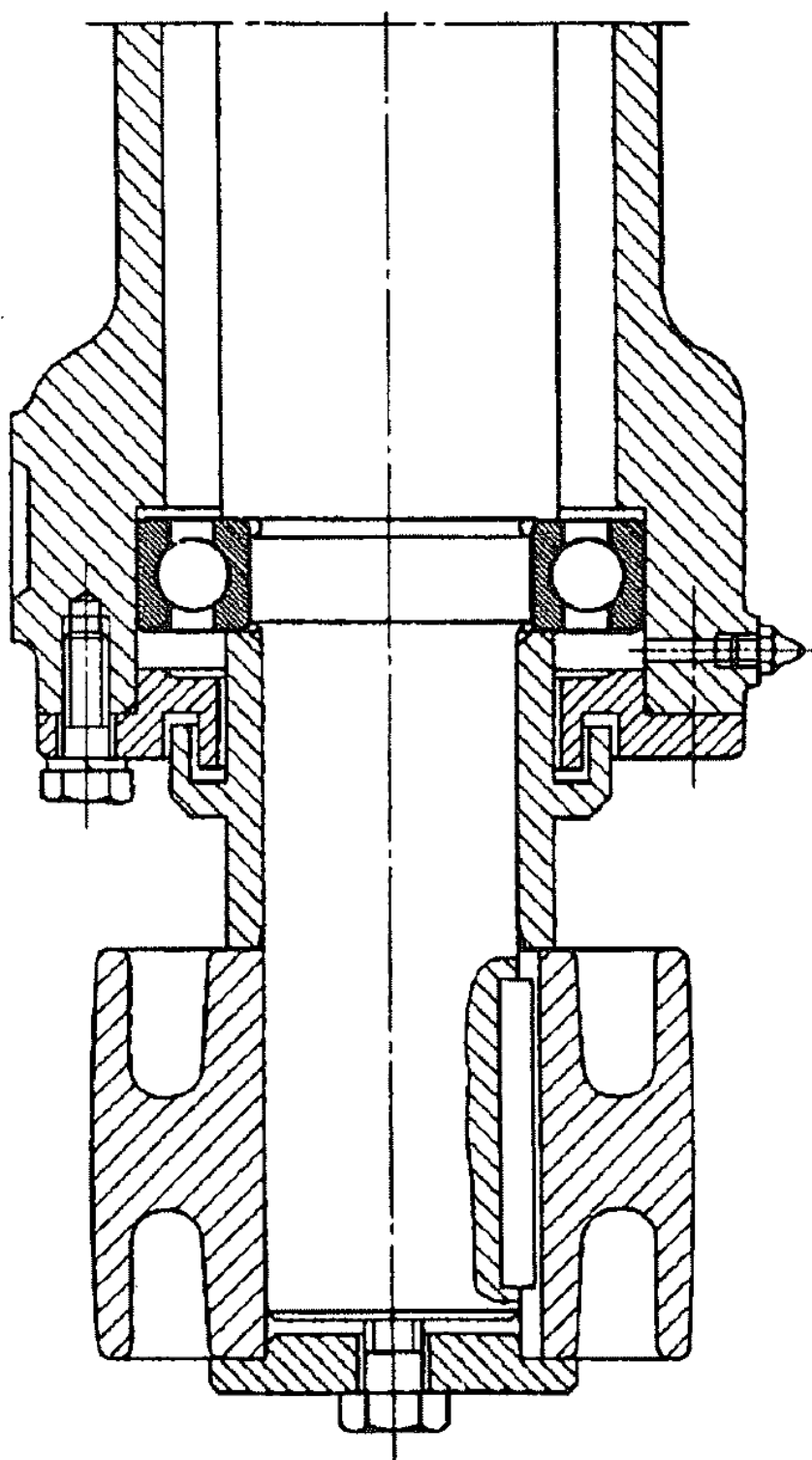


FIGURE 3.24 – plan partiel d'un arbre de machine.

### 3.3.6 e2023s1q1

On réalise l'assemblage de trois pièces comme mentionné à la figure 3.25. La pièce noire a une largeur (mesurée dans le sens horizontal) de  $20 \pm 0,05$  mm. Les deux autres pièces sont produites avec les tolérances mentionnées sur le plan simplifié donnée en figure 3.26.

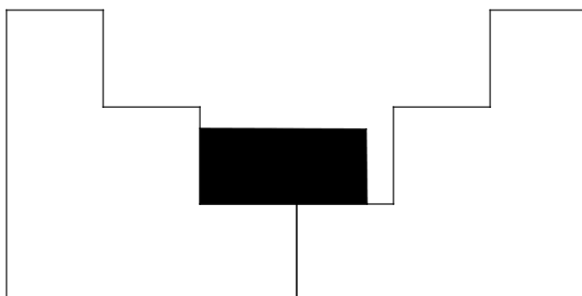


FIGURE 3.25 – Assemblage.

On demande :

1. de déterminer la valeur nominale de la cote 'X' pour que le jeu soit au minimum de 0,1 mm
2. si on considère un intervalle de tolérance sur 'X' suivant un IT8, de déterminer la valeur du jeu maximum.

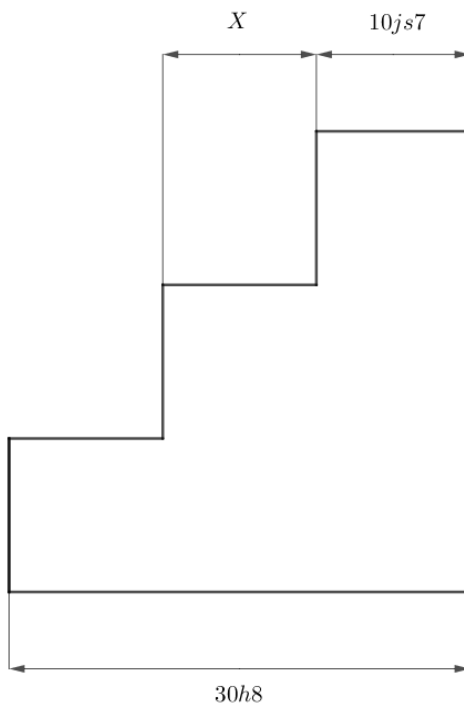


FIGURE 3.26 – Plan simplifié.

### 3.3.7 e2024s1q1

La figure 3.28 présente l'extrait du plan d'un arbre portant une poulie. Voici les cotes axiales des éléments principaux :

- portée de l'arbre à droite  $82js7$ ;
- entretoise  $43 \pm 0,1$
- poulie  $45h7$

On demande de déterminer la cote inconnue  $X$  sur le couvercle (plan simplifié figure 3.27) pour garantir un jeu minimum entre le couvercle et l'arbre de 4 mm. En considérant un intervalle de tolérance IT8 sur la cote  $X$ , quelle serait la valeur du jeu maximum ?

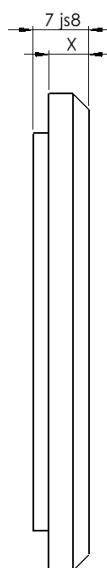


FIGURE 3.27 – Plan simplifié du couvercle.

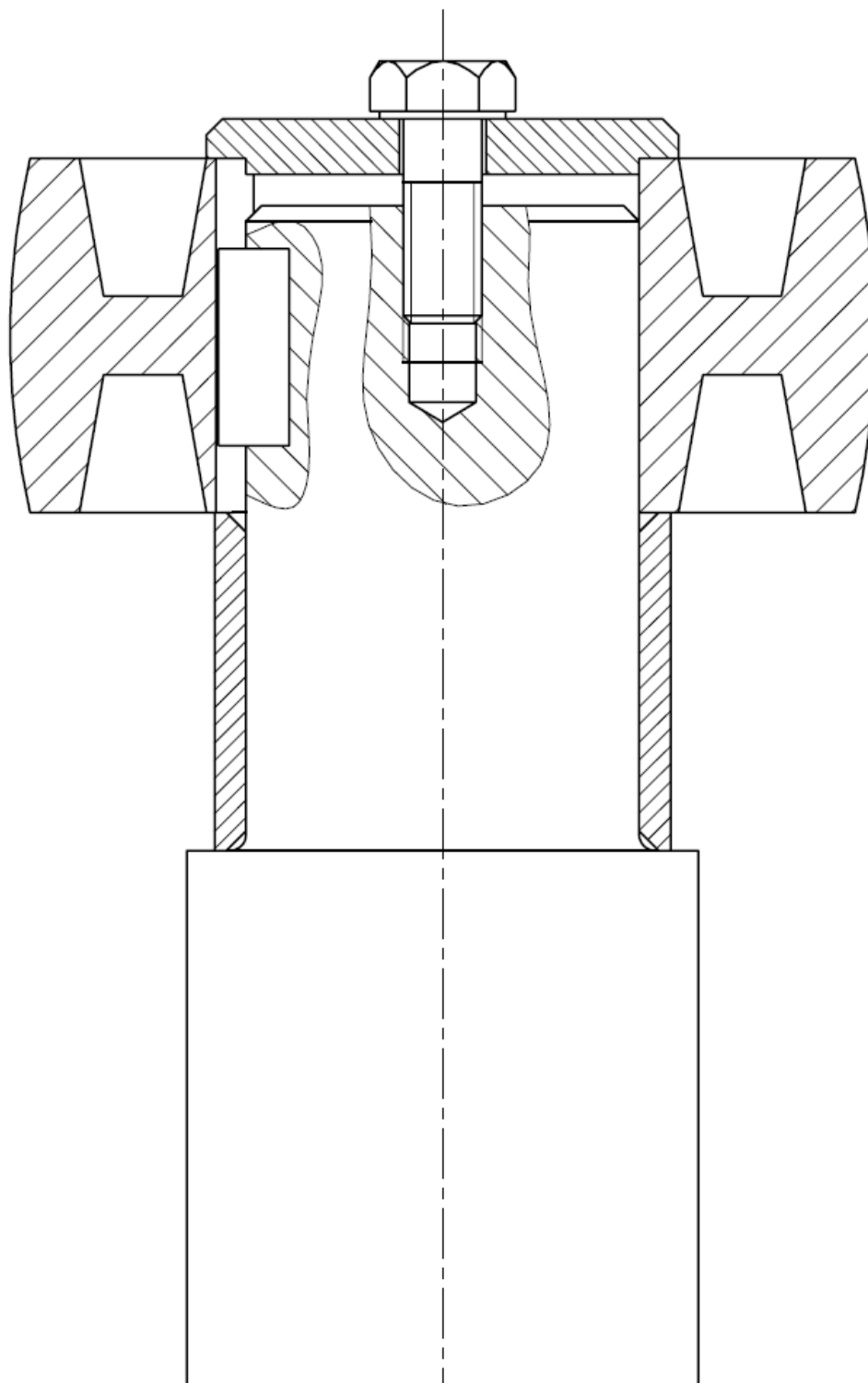


FIGURE 3.28 – Extrait de plan.

### 3.3.8 e2025s1q2

La figure 3.29 présente l'assemblage d'une bielle (30) sur un bâti (26). Le mouvement de rotation est assuré par un axe (27) bloqué axialement par un circlips (28) et par deux paliers lisses à collerette (29). Les paliers lisses (figure 3.31) ont pour référence GFM-203328-15 avec les dimensions principales suivantes tirées du catalogue fournisseur :  $d_1=20E10$   $d_2=23d13$ ,  $d_3=28d13$ ,  $b_1=15h13$ ,  $b_2=1,5h13$ . La bielle a une largeur (mesurée dans le sens vertical de la figure 1) cotée  $30js7$ . On demande :

1. de déterminer la cote 'X' sur le châssis pour que le jeu  $J_b$  ait une valeur minimale de 2 mm ;
2. de déterminer la valeur maximale de ce même jeu ;
3. de proposer deux mesures différentes qui pourraient être prises pour réduire l'intervalle entre le jeu minimum et le jeu maximum.

Vous ferez l'hypothèse que la cote X a une tolérance IT 7 selon ISO 286.

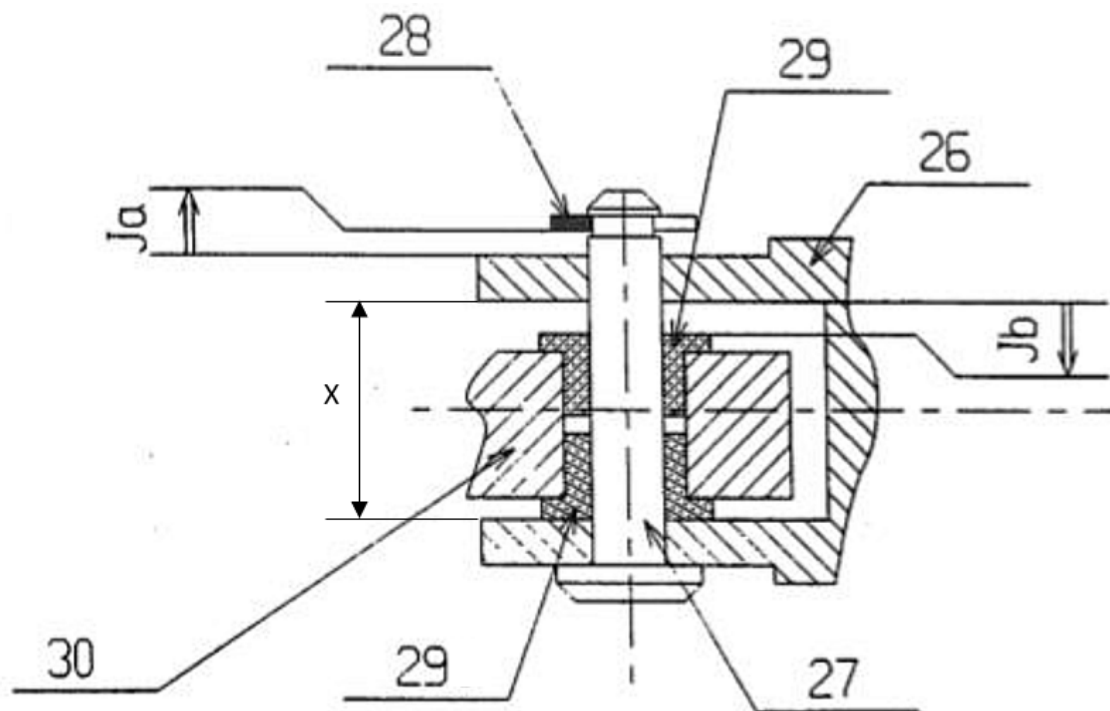


FIGURE 3.29 – Assemblage pour la question e2025s1q2.

### 3.3.9 e2026s1q3

La figure 3.30 représente le principe d'assemblage à l'extrémité d'un vérin pneumatique. La chape (1) accueille un axe (2) sur lequel est montée une rondelle (3) et une goupille (4). Les dimensions sont les suivantes :

- La chape a une largeur totale cotée  $8h8$ , le trou de passage est coté  $5H8$  ;
- un plan simplifié de l'axe est fourni en figure 3.32 ;
- la rondelle a une épaisseur  $1 \pm 0,1$  ;

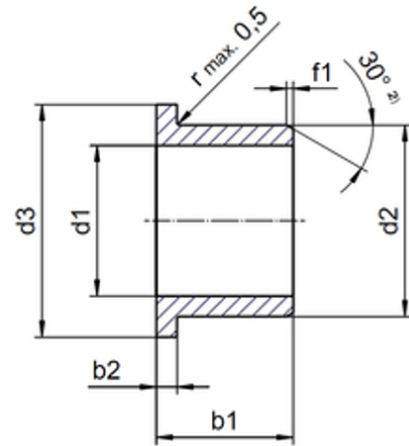
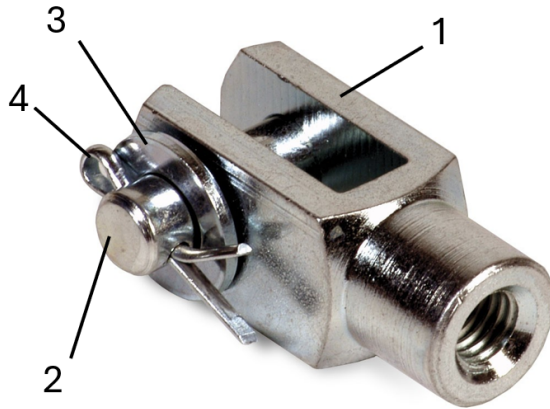


FIGURE 3.30 – Assemblage à l'extrémité d'un vérin.

FIGURE 3.31 – Extrait de catalogue de palier lisse.

On demande :

- de déterminer l'intervalle de jeu ou de serrage résultant de l'ajustement  $5H8/g7$  ;
- de faire un plan simplifié en vue de côté de l'assemblage chape/axe/rondelle/goupille (vous pouvez représenter une simple goupille cylindrique, pour simplifier l'exercice, on supposera que la goupille s'ajuste parfaitement sans jeu dans le trou de diamètre 2 réalisé sur l'axe).
- de déterminer la cote  $X$  minimale pour que le jeu soit d'au moins 0,2 mm après assemblage de la goupille ;
- si la cote  $X$  a un intervalle de tolérance IT8 selon ISO 256, quel sera le jeu maximum ?



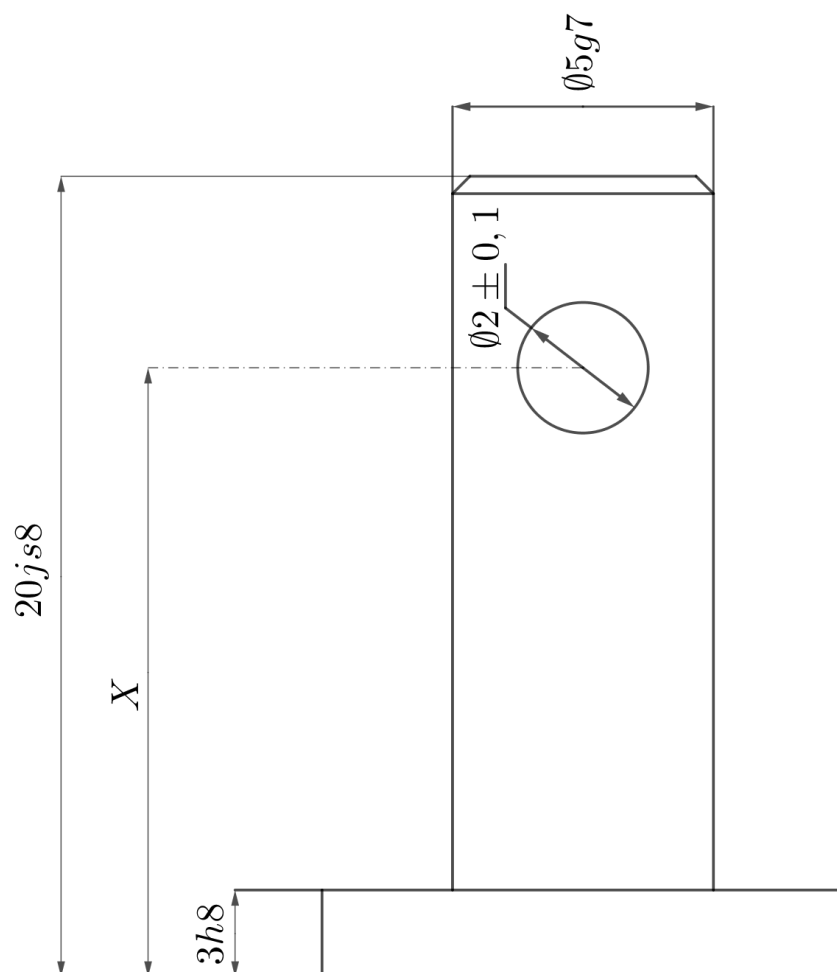


FIGURE 3.32 – Plan simplifié de l'axe.

# Chapitre 4

## Tolérances géométriques

### 4.1 Indication et contrôle

#### 4.1.1 e2005s2q3

La figure 4.1 représente une pièce type se prêtant à la définition de nombreuses spécifications fonctionnelles. On demande d'indiquer sur la figure 4.2 les tolérances géométriques suivantes :

- la tolérance de cylindricité du cylindre  $\varnothing 22g6$  est de  $10 \mu m$  ;
- la tolérance de concentricité des cylindres  $\varnothing 22g6$  et  $\varnothing 30$  est de  $100 \mu m$  ;
- la tolérance de battement total de la surface B par rapport à l'axe A est de  $50 \mu m$  dans la direction axiale.

On demande ensuite de proposer un enchaînement logique d'opérations de contrôle des trois exigences géométriques définies ci-dessus, ainsi que des trois exigences dimensionnelles suivantes :

- $38 \pm 1$  ;
- $\varnothing 30 \pm 0,2$  ;
- $\varnothing 10H7$  (degré de tolérance  $IT7=15\mu m$ ).

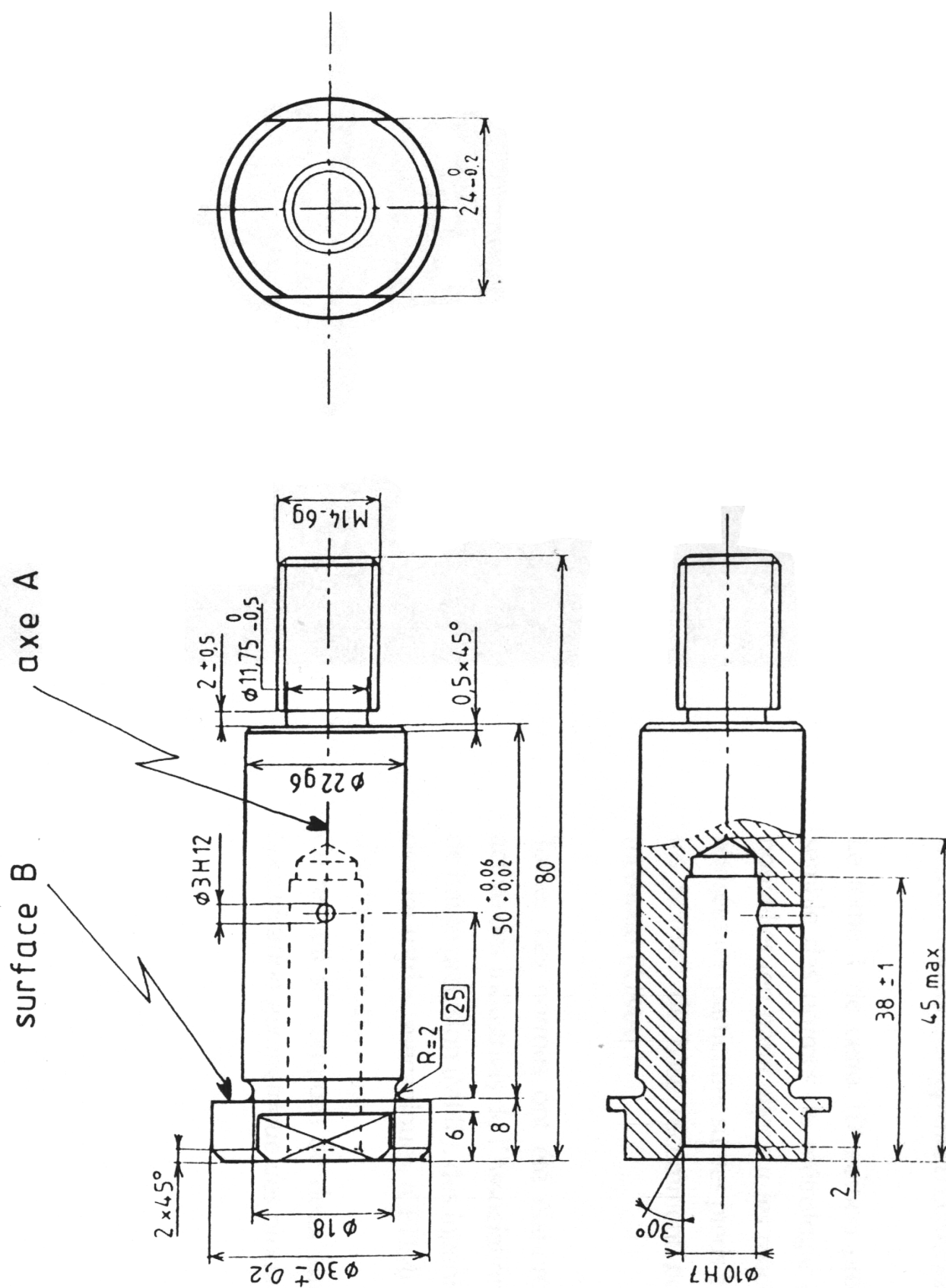


FIGURE 4.1 – Pièce à tolérancer

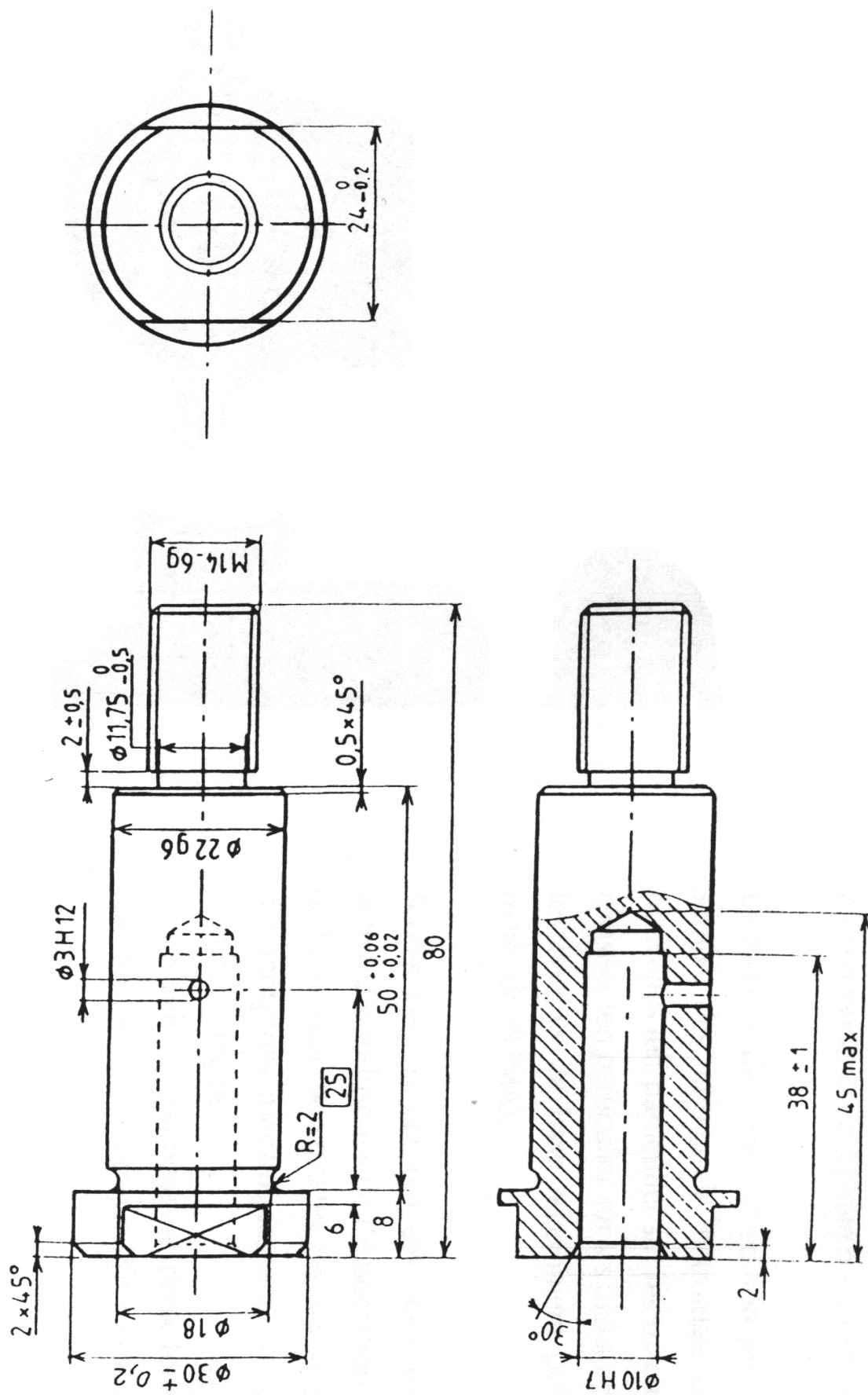


FIGURE 4.2 – Pièce à tolérancer

## 4.2 Définition

### 4.2.1 Définition de tolérances

Pour les différentes indications de tolérances géométriques suivantes préciser le type de tolérance (forme, orientation, position, battement), l'élément qui est tolérancé et la forme et la taille de la zone de tolérance.

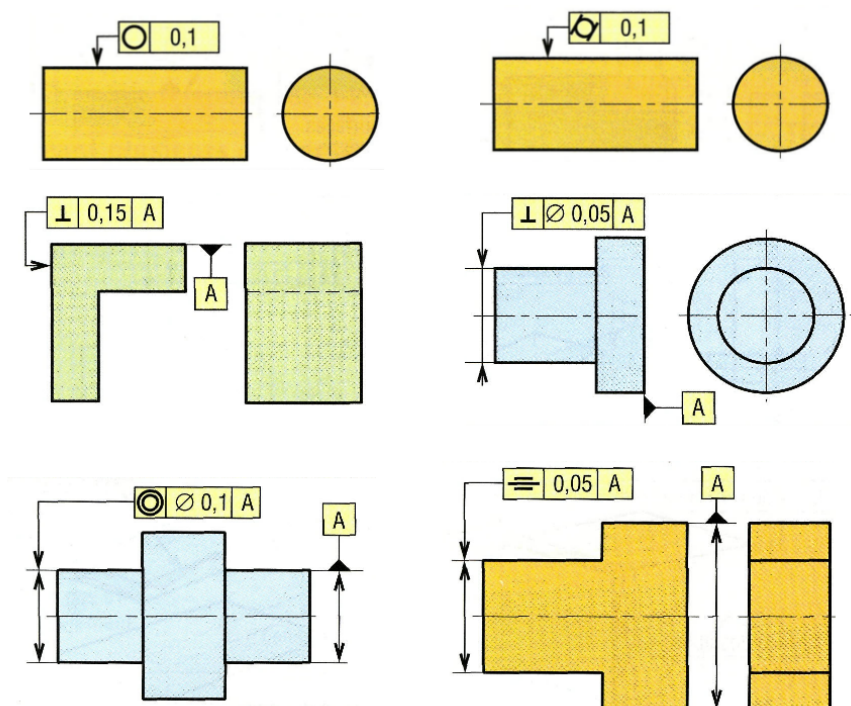


FIGURE 4.3 – Exemples de tolérances géométriques

### 4.2.2 e2008s1q3a

Indiquez sur la figure 4.4 l'exigence géométrique suivante : l'axe de la portée de petit diamètre (12 mm) est coaxial à l'axe de la portée de grand diamètre (25 mm). La tolérance géométrique est de 0,05 mm dans toutes les directions perpendiculaires à l'axe de référence.

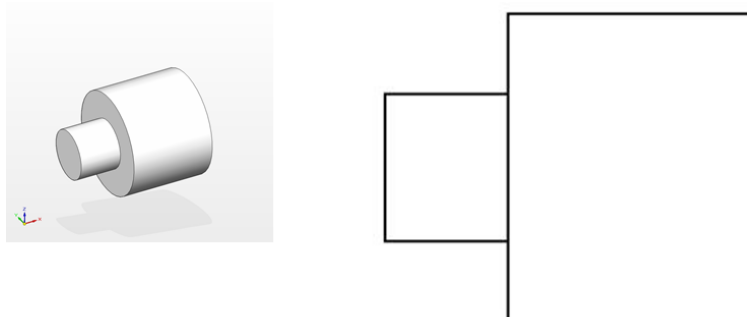


FIGURE 4.4 – Coaxialité.

### 4.2.3 e2008s1q3b

Indiquez sur la figure 4.5 l'exigence géométrique suivante : le plan oblique est incliné de  $30^\circ$  par rapport à la face opposée (plan de pose de la pièce). La tolérance est égale à 0,1 mm.

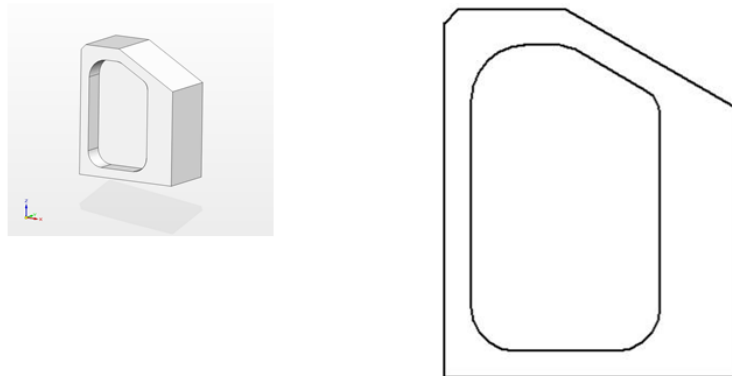


FIGURE 4.5 – Plan oblique.

### 4.2.4 e2008s1q3c

Indiquez sur la figure 4.6 l'exigence géométrique suivante : le battement simple radial de la portée diamètre 31 mm ne doit pas dépasser 0,05 mm. La référence spécifiée est l'axe de la portée diamètre 7 mm.

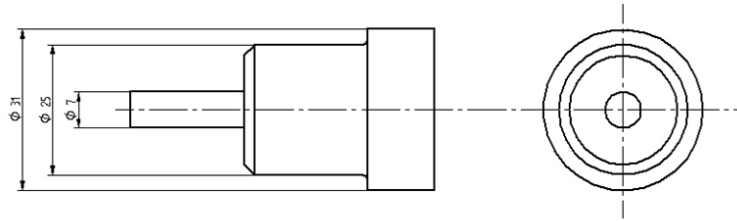


FIGURE 4.6 – Plan oblique.

#### 4.2.5 e2018s1q1

Les figures 4.7 et 4.8 présentent une partie du plan de pièces. Indiquez l'interprétation de la tolérance géométrique présente à gauche du dessin (type de tolérance, zone de tolérance) et comparez par rapport à l'indication à droite pour chacun de deux cas.

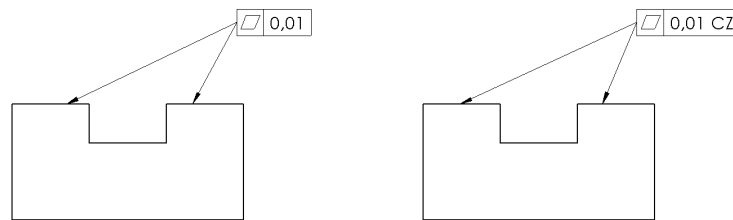


FIGURE 4.7 – Exemple de tolérance géométrique.

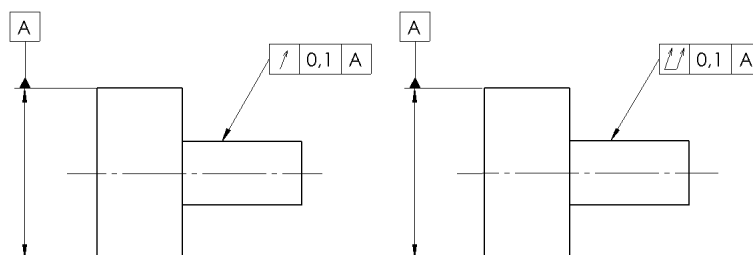


FIGURE 4.8 – Exemple de tolérance géométrique.

## 4.3 Vérification

### 4.3.1 e2005s1q4

Une pièce mâle cylindrique de révolution fait l'objet d'une tolérance de circularité de  $100\ \mu m$ . Un opérateur a effectué son contrôle géométrique à l'aide d'un capteur à plateau tournant et il vous donne, en figure 4.9, les variations radiales de sa mesure dans une même section sur une révolution complète (une mesure tous les  $60^\circ$ ). On vous demande :

- de quantifier l'erreur de circularité (vous détaillerez votre raisonnement) ;
- d'indiquer si la pièce est acceptable.

Peut-on procéder sans risques à la vérification de cette pièce avec un micromètre ?

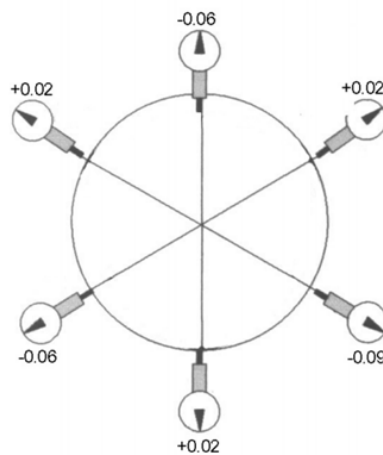


FIGURE 4.9 – Mesure de circularité par comparaison de rayon.



### 4.3.2 e2006s1q3c

Évaluez l'erreur de circularité du profil figure 4.10. Ce profil a été mesuré sur un arbre (pièce mâle).

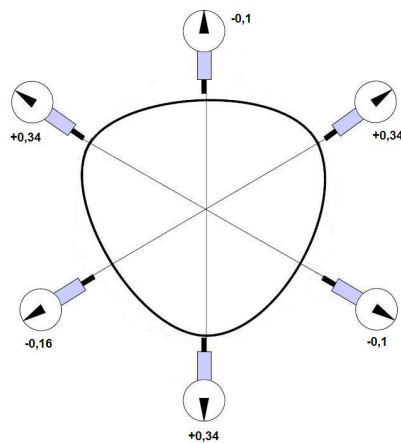


FIGURE 4.10 – Mesure de circularité par comparaison de rayon.

### 4.3.3 e2007s1q3b

On vous demande de trouver l'écart de rectitude de la pièce présentée en figure 4.11.

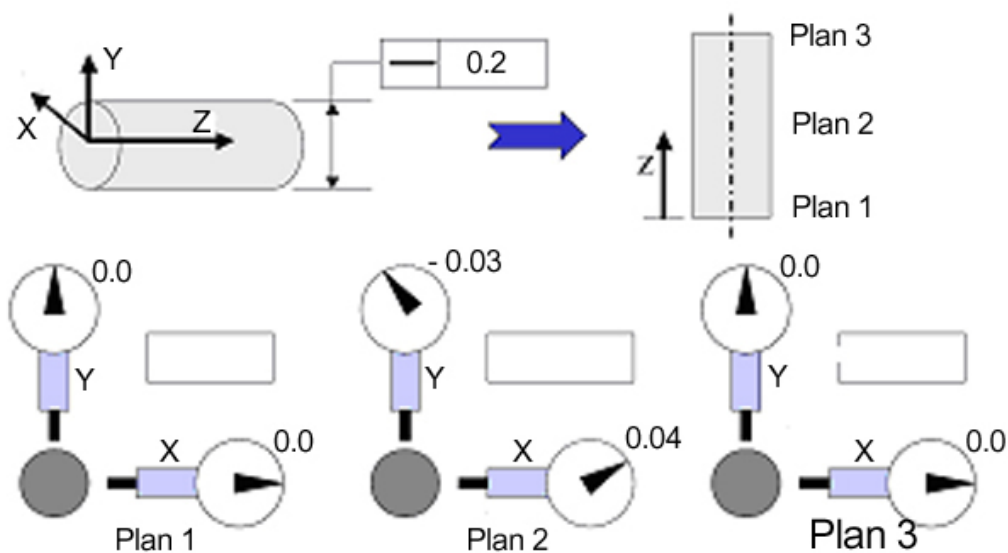


FIGURE 4.11 – Mesure de rectitude.

### 4.3.4 e2018s1q4

On a mesuré un ensemble de points sur la face supérieure d'une pièce parallélépipédique, tous les points sont situés dans un plan d'équation (toutes les cotes sont données en mm) :

$$0,0014 \cdot x + 0,0004 \cdot y - z + 29,98 = 0 \quad (0 \leq x \leq 20, 0 \leq y \leq 50) \quad (4.1)$$

On demande de vérifier si la pièce respecte les tolérances présentées en figure 4.12 en donnant à chaque fois la valeur de l'écart.

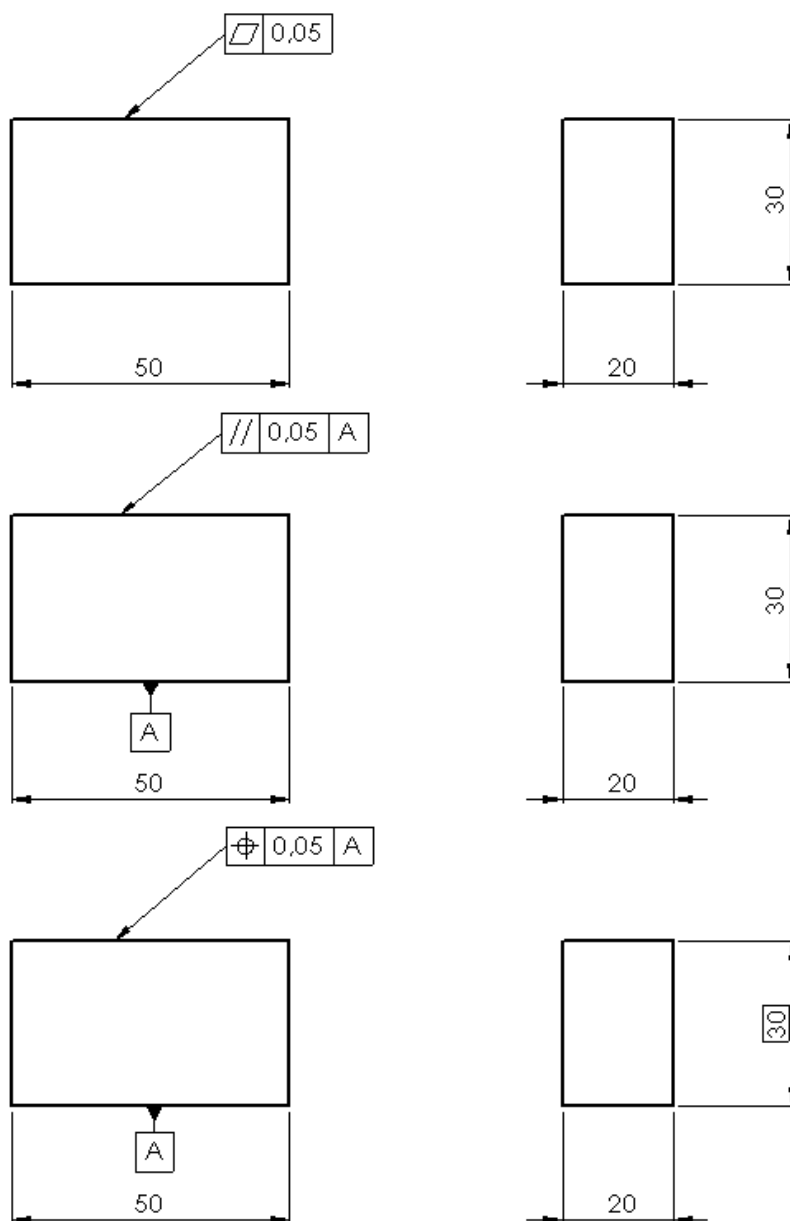


FIGURE 4.12 – Définition des tolérances.

### 4.3.5 e2020s1q2

Un métrologue installe une pièce parallélépipédique sur un marbre de métrologie. Il règle un comparateur à tige radiale pour que sa déviation soit nulle lorsqu'il palpe une cale étalon de 30 mm. Les mesures lues sur huit points de la face supérieure de la pièce sont reprises dans le tableau suivant :

numéro	1	2	3	4	5	6	7	8
mesure (mm)	30,012	30,001	30,008	29,998	30,007	30,011	29,999	30,004

On demande :

- d'estimer les écarts par rapport aux trois tolérances géométriques présentés en figure 4.13 (si un écart ne peut être déterminé, expliquez pourquoi et donnez-en une borne supérieure ou inférieure) ;
- de dire si la pièce est conforme par rapport à chacune des trois spécifications reprises sur la figure.

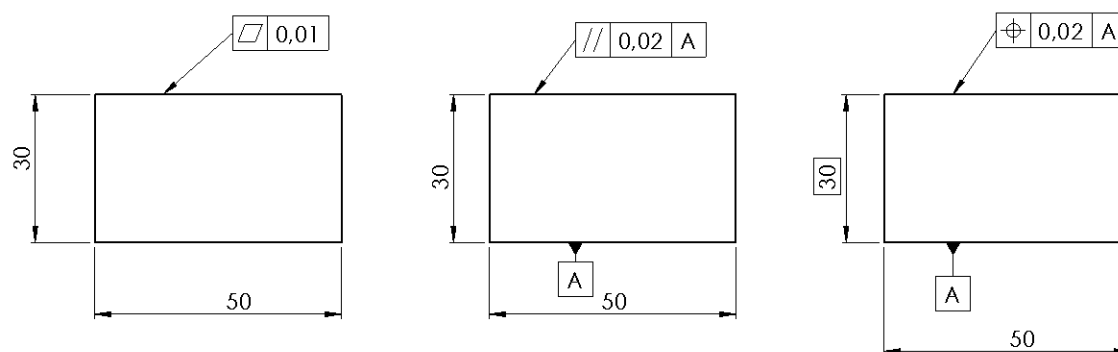


FIGURE 4.13 – Tolérances géométriques.

## 4.4 Définition et vérification

### 4.4.1 Comparaison

La figure 4.14 présente deux spécifications géométriques différentes. On demande :

- de définir précisément les deux spécifications ;
- d'indiquer la différence entre ces deux spécifications ;
- de proposer une méthode de vérification au marbre de ces deux spécifications.

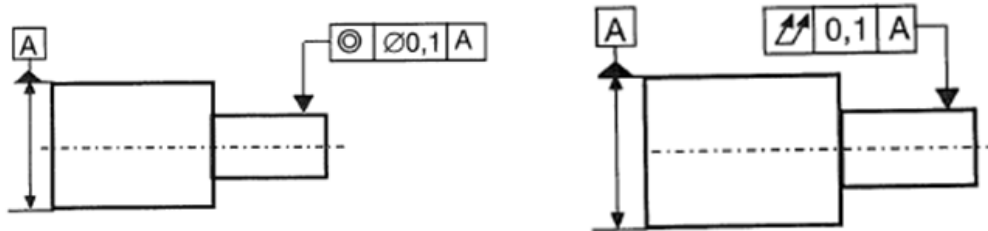


FIGURE 4.14 – Exemple de tolérances géométriques.

#### 4.4.2 e2006s1q3a

On vous donne, sur la figure 4.15, un ensemble de points de mesure relevés le long d'une droite appartenant à un plan sur une pièce. On vous demande de calculer l'erreur de rectitude.

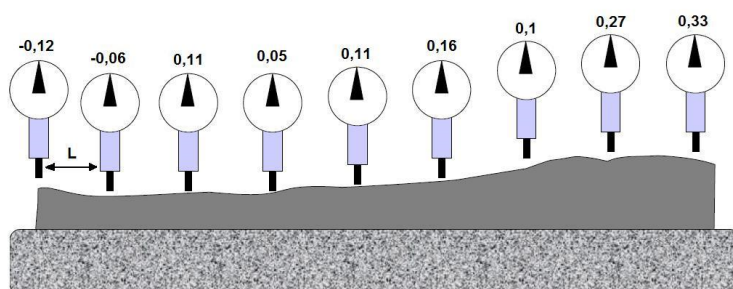


FIGURE 4.15 – Tolérancement d'assemblage.

#### 4.4.3 e2007s1q3c

L'assemblage figure 4.16 tourne à grande vitesse (3000 tr/min) ; l'adaptateur est centré sur la pièce 1 par sa portée de diamètre 50 mm. On vous demande d'ajouter sur la figure les tolérances géométriques qui vous paraissent nécessaires pour le bon fonctionnement de l'ensemble. Vous ne devez pas quantifier les tolérances (pour leurs valeurs, vous indiquerez XXX dans le cadre de tolérance).

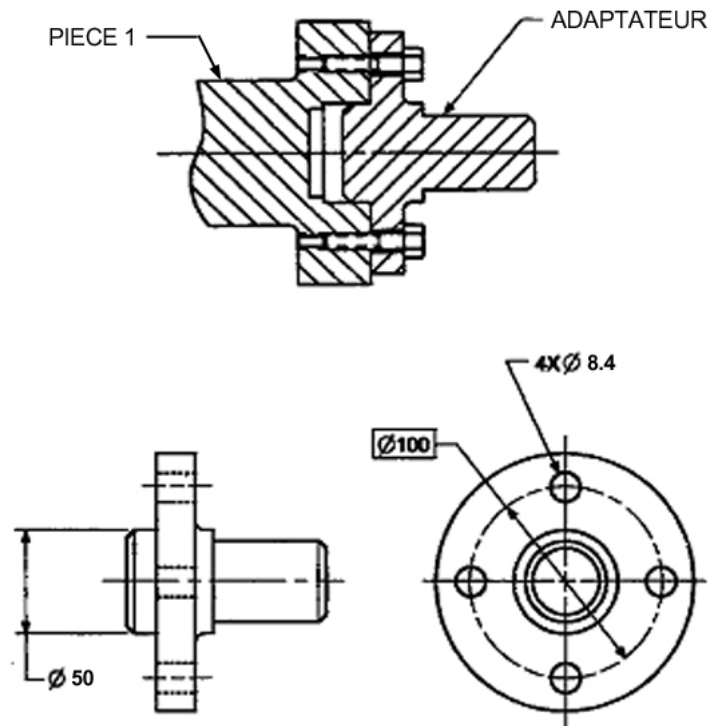


FIGURE 4.16 – Tolérancement d'assemblage.

#### 4.4.4 e2007s1q4

Les figures 4.17 et 4.18 représentent une pièce parallélépipédique (100 x 80 x 50) comportant une rainure (largeur 14, profondeur 15) sur sa face supérieure. La face inférieure est identifiée par la lettre A et la face de gauche par la lettre B. Le plan médian de la rainure est situé à 30 mm du plan B.

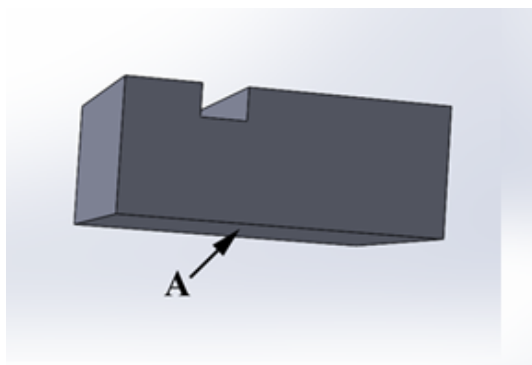


FIGURE 4.17 – définition du plan A.

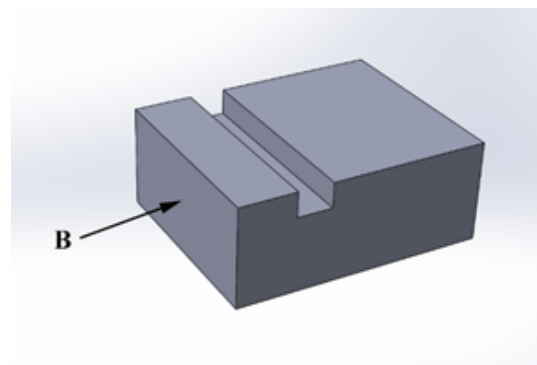


FIGURE 4.18 – Définition du plan B.

On vous demande :

1. de faire un plan de la pièce ;
2. d'y indiquer une tolérance de localisation du plan médian de la rainure de  $200\ \mu m$  sachant que la référence primaire est le plan A et la référence secondaire le plan B ;
3. de proposer une procédure de vérification au marbre de cette tolérance

#### 4.4.5 e2008s1q3d

On vous demande de proposer une méthode de mesure pour la vérification de chacune des spécifications donnée en sections 4.2.2 à 4.2.4 (page 68). Ces méthodes de mesure utiliseront un marbre, des instruments de mesure adéquats et, éventuellement, des éléments auxiliaires (équerres, vés, etc.). Vous définirez la position de la pièce et des moyens de mesure à l'aide de dessins à main levée. Vous préciserez les étapes de la méthode de mesure et les points palpés.

#### 4.4.6 e2016s1q3

La figure 4.19 représente une pièce parallélépipédique : largeur  $85 \text{ mm} \pm 100 \mu\text{m}$ , hauteur  $70 \text{ mm} \pm 100 \mu\text{m}$ , épaisseur  $40 \text{ mm} \pm 100 \mu\text{m}$ . Sa face inférieure est identifiée par la lettre A et sa face de gauche par la lettre B. La tolérance de planéité du plan A est de  $10 \mu\text{m}$  et la tolérance de perpendicularité de plan B par rapport au plan A est de  $10 \mu\text{m}$ . La pièce est percée d'un alésage débouchant de diamètre  $35 \text{ mm} \pm 10 \mu\text{m}$  positionné à  $42 \text{ mm}$  de la face A et à  $56 \text{ mm}$  de la face B.

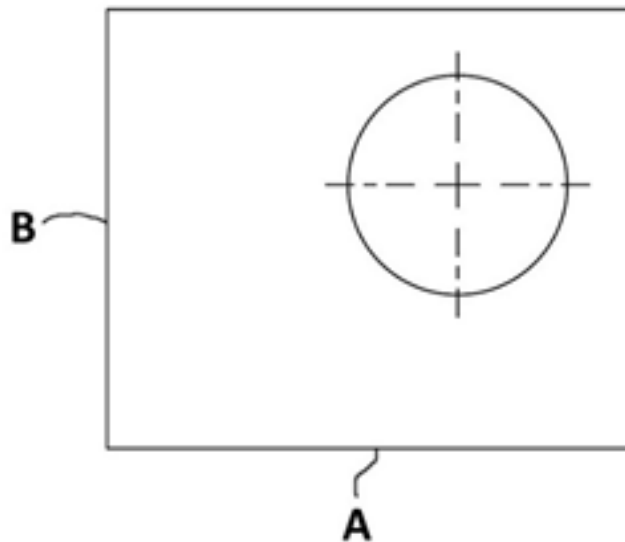


FIGURE 4.19 – Plan de la pièce.

On vous demande :

- de coter la figure et d'y indiquer que la tolérance de localisation de l'axe de l'alésage est de  $50 \mu\text{m}$  par rapport au plan A et au plan B sachant que la référence primaire est le plan A et la référence secondaire le plan B ;
- d'indiquer une méthode de mesure de cette spécification de localisation. Elle se basera sur l'utilisation d'un marbre, d'un comparateur à levier, de cales étalons et d'éventuels éléments auxiliaires. Vous définirez la position de la pièce et des moyens de mesure à l'aide de dessins à main levée, vous préciserez les méthodes de mesure et les points palpés ; vous indiquerez enfin les calculs à effectuer pour vérifier que la pièce respecte la tolérance de localisation.

#### 4.4.7 e2017s1q3

On vous demande d'inscrire sur la figure 4.21 les conditions géométriques nécessaires à son bon fonctionnement (cf figure 4.20).

- les surfaces planes B et C sont perpendiculaires à l'axe du cylindre A avec une tolérance de  $40\ \mu m$  ;
- l'axe du cylindre E est parallèle à l'axe du cylindre A avec une tolérance de  $50\ \mu m$  dans les plans XZ et XY ;
- les surfaces planes F et G sont perpendiculaires à l'axe du cylindre E avec une tolérance de  $15\ \mu m$ .

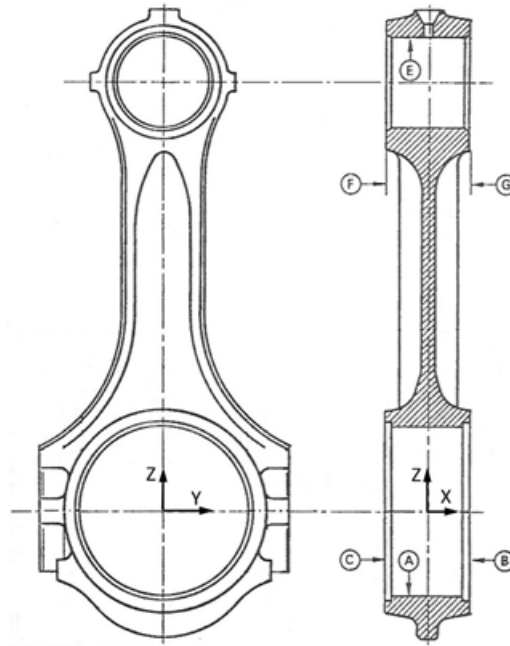


FIGURE 4.20 – Bielle.

On vous demande par ailleurs de définir une méthode de vérification de la spécification de parallélisme entre les axes des cylindres A et E. Elle se basera sur l'utilisation d'un marbre et de tous les moyens de mesure et tous les accessoires nécessaires. Vous définirez la position de la pièce et des moyens de mesure à l'aide de dessins à main levée, vous préciserez les méthodes de mesure et les points palpés ; vous indiquerez enfin les éventuels calculs à effectuer pour vérifier que la pièce respecte la tolérance de parallélisme.

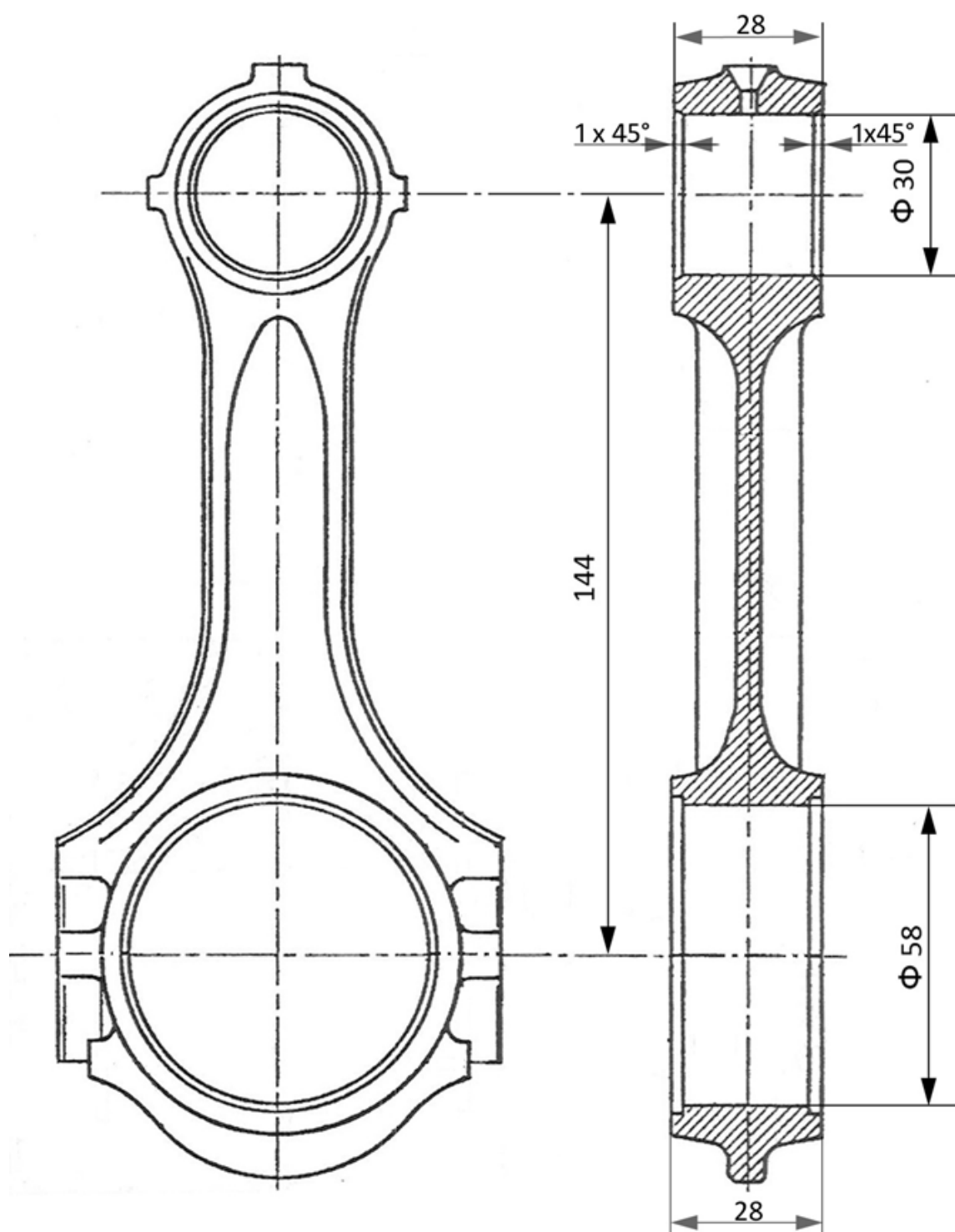


FIGURE 4.21 – Bielle.



#### 4.4.8 e2019s1q5

Définissez la tolérance indiquée à la figure 4.22 à gauche. Schématisez une procédure de mesure sur un arbre présentant deux portées cylindriques coaxiales et expliquez le dépouillement des mesures. Comparez cette indication avec la figure 4.22 à droite en terme de dépouillement des mesures.

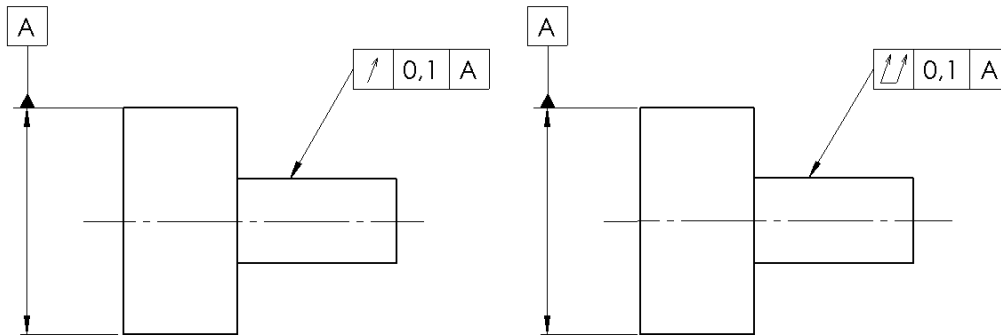


FIGURE 4.22 – Exemples de tolérances.

#### 4.4.9 e2020s1q4

La figure 4.23 présente une tolérance géométrique appliquée à une pièce prismatique. On demande :

- d'indiquer la signification de cette tolérance (type de tolérance, élément tolérancé,...) ;
- de déterminer la forme de la zone de tolérance associée à cette indication (une représentation graphique est la bienvenue) ;
- de proposer une méthode de vérification de cette tolérance en utilisant la métrologie au marbre (présentez à la fois le matériel employé et la procédure de dépouillement des mesures).

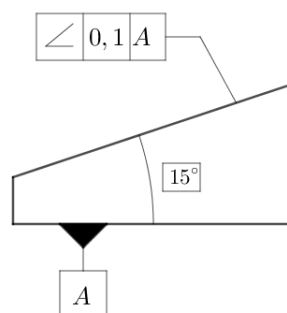


FIGURE 4.23 – Tolérances géométriques.

#### 4.4.10 e2022s1q2

La figure 4.24 donne le plan simplifié d'une pièce mécanique. On demande :

1. de décrire les deux tolérances géométriques qui sont présentées :
  - élément tolérancé ;
  - type de tolérance ;
  - forme de la zone de tolérance ;
  - dimensions de la zone de tolérance à l'aide d'un croquis en isométrie.
2. de proposer une procédure de vérification de la tolérance référencée (2) en métrologie au marbre à l'aide d'une colonne à mesurer
3. d'expliquer le dépouillement des mesures pour conclure à l'acceptation ou au rejet de la pièce pour cette même tolérance.

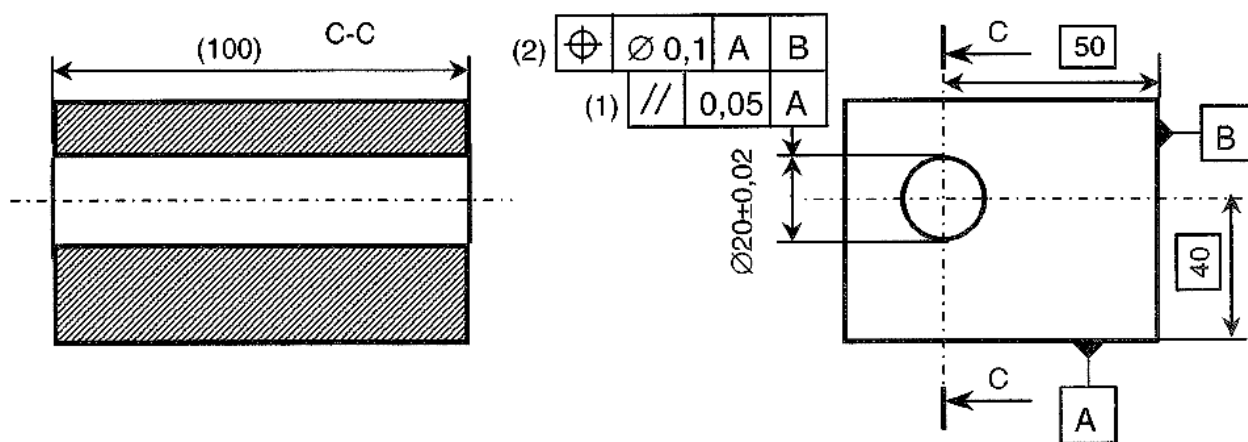


FIGURE 4.24 – Plan simplifié d'une pièce.

### 4.4.11 e2023s1q3

On donne l'extrait de plan en figure 4.25. On demande de décrire la tolérance géométrique indiquée (élément tolérancé, type de tolérance, forme de la zone de tolérance, dimensions de la zone de tolérance).

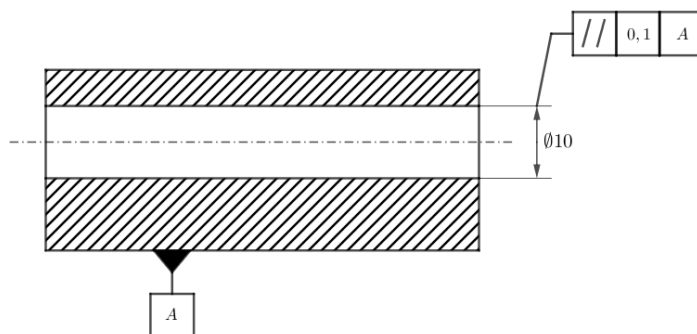


FIGURE 4.25 – Question 3 - extrait de plan.

On réalise la procédure de mesure suivante :

- mise à zéro d'un comparateur sur une cale étalon de 10 mm ;
- on palpe des points sur la génératrice inférieure de l'alésage renseignées  $M_1$  dans le tableau 4.1 (l'écart est positif quand on s'éloigne du marbre) ;
- retournement du support de comparateur ;
- mise à zéro d'un comparateur sur une cale étalon de 20 mm ;
- on palpe des points sur la génératrice supérieure de l'alésage renseignées  $M_2$  dans le tableau 4.1 (l'écart est positif quand on s'approche du marbre), en se plaçant dans les mêmes sections que précédemment ;

section	1	2	3	4	5	
$M_1$	0,02	- 0,03	0,04	0,01	-0,02	0,04
$M_2$	-0,02	- 0,04	0,01	-0,05	-0,02	-0,01

TABLE 4.1 – Mesures de la tolérance géométrique

On demande de déterminer la valeur de l'écart à la tolérance et de statuer sur la validité de la pièce mesurée par rapport à cette tolérance.

#### 4.4.12 e2024s1q2

La figure 4.26 présente quatre tolérances géométriques appliquées à deux surfaces planes d'un profilé extrudé. On pose la face de référence A sur un marbre de métrologie, on fait ensuite les 'zéro' d'un comparateur avec une cale étalon de 25 mm puis on mesure un ensemble de points sur les deux surfaces. On relève :

- sur la surface de gauche des mesures (en microns) de +12, +15, +8, +5 et +14;
- sur la surface de droite des mesures (en microns) de +2, +7, +1, +6, +5.

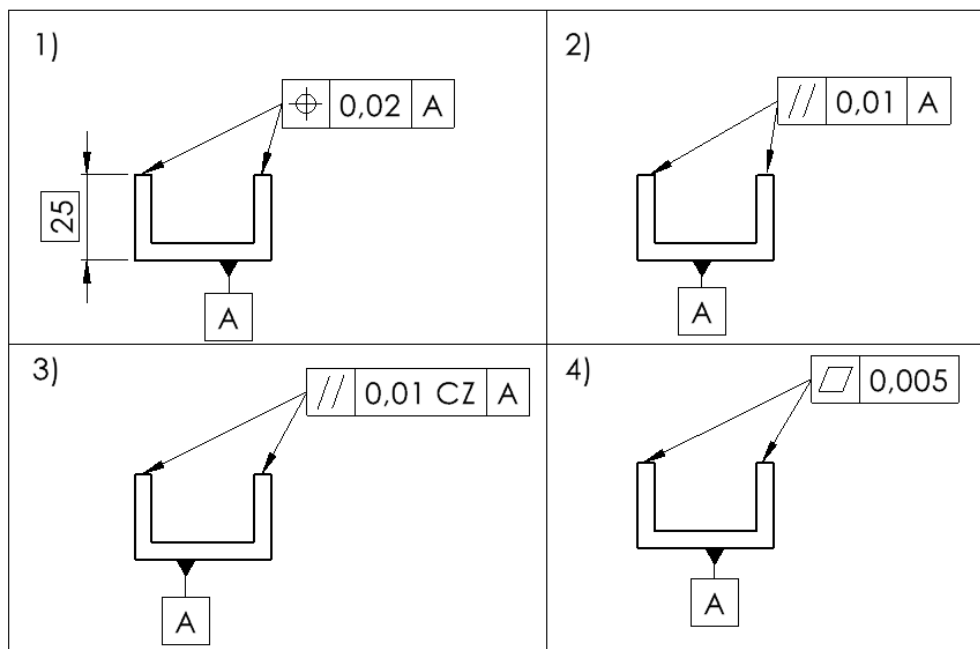


FIGURE 4.26 – Tolérances géométriques.

On demande :

- de définir les quatre tolérances géométriques (type de tolérance, élément tolérance, forme de la zone de tolérance, taille de la zone de tolérance).
- de déterminer pour chacun des quatre cas si la pièce est conforme ou non vis-à-vis de la tolérance (ou si les mesures ne permettent pas de conclure) en justifiant votre réponse.

#### 4.4.13 e2025s1q3

La figure 4.27 représente un étau de précision. En actionnant la poignée 1, la tige filetée 2 provoque le déplacement axial de la mâchoire 3 qui coulisse sur la base 4. Un plan simplifié de la mâchoire est donné en figure 4.28. On demande :

1. de proposer trois tolérances géométriques (une de forme, une d'orientation et une de localisation) qui vous semblent pertinentes à appliquer sur la mâchoire en justifiant leur utilité
2. d'indiquer ces tolérances sur le plan (utilisez  $t_1$ ,  $t_2$  et  $t_3$  pour les valeurs des tolérances comme les données du problème ne vous permettent pas de déterminer des valeurs chiffrées pour ces éléments) ;
3. de proposer une méthode de contrôle précise pour ces trois tolérances en utilisant la métrologie au marbre (vous disposez des éléments standards : équerres, supports, comparateurs, cales étalons,...)
4. d'expliquer pour ces trois cas comment les mesures seront dépouillées pour conclure à l'acceptation ou au rejet de la pièce.

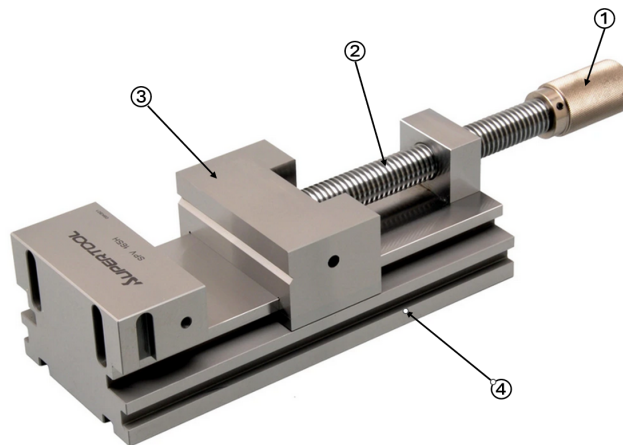
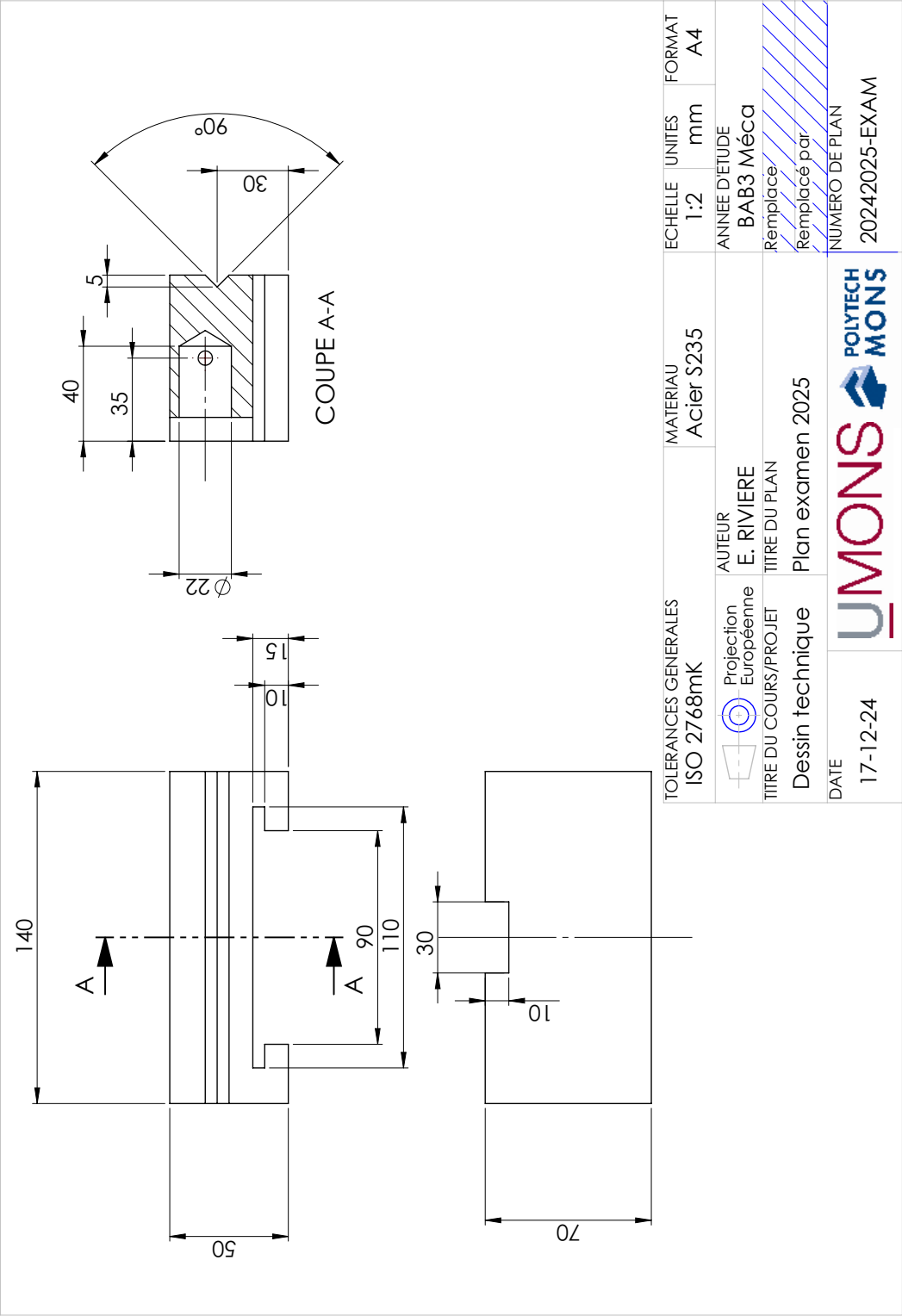


FIGURE 4.27 – Vue de l'assemblage.

#### 4.4.14 e2026s1q1

Une pièce est constituée d'une semelle parallélépipédique et d'un cylindre. Le plan simplifié est donné en figure 4.29. On demande de définir complètement les deux indications de tolérances géométriques et de proposer pour chacune d'entre elles une procédure de vérification au marbre (à l'aide d'un ou plusieurs comparateurs). Votre explication doit nécessairement s'appuyer sur un ou plusieurs schémas.



Produit d'éducation SOLIDWORKS – A titre éducatif uniquement.

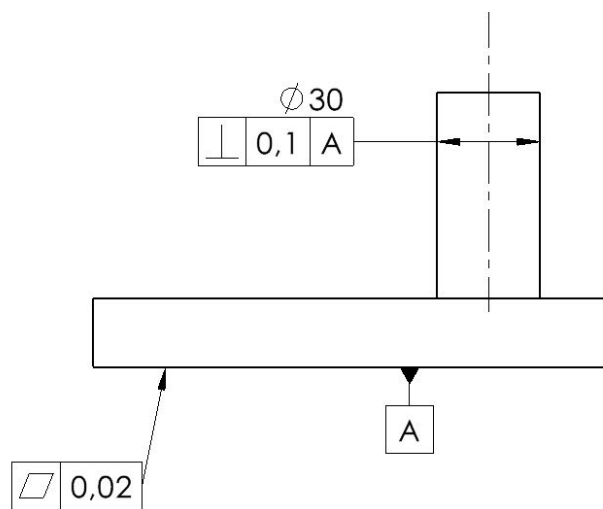


FIGURE 4.29 – Plan simplifié avec tolérance géométrique.

## 4.5 Calibre virtuel

### 4.5.1 Exercice 1

La pièce donnée en figure est percée par 4 alésages de diamètre 8 mm (tolérance  $+0,2$  mm,  $+0,1$  mm). Ces alésages sont situés aux 4 sommets d'un carré de 32 mm de côté. Le motif est centré par rapport à la pièce.

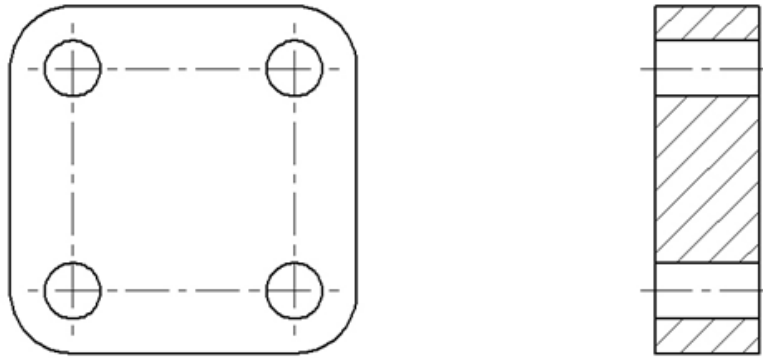


FIGURE 4.30 – Pièce

On demande :

1. d'indiquer que la tolérance de localisation des axes des alésages les uns par rapport aux autres est de  $100\ \mu\text{m}$ , le plan B servant de référence et le principe du maximum de matière étant d'application ; vous respecterez les règles de représentation du dessin technique. Les cotes non précisées dans l'énoncé ne seront pas indiquées sur le plan ;
2. de définir le calibre virtuel qui permette de vérifier que les pièces fabriquées respectent la condition de montage.

### 4.5.2 Exercice 2

Sur la figure 4.31, on demande d'exprimer l'exigence géométrique suivante : l'axe de l'alésage doit être perpendiculaire à la surface inférieure, dans toutes les directions perpendiculaire à l'axe, avec une tolérance de  $0,03$  mm, le principe du maximum de matière étant d'application. On demande également de déterminer les dimensions du calibre virtuel et de dessiner le diagramme dynamique de tolérance associé.



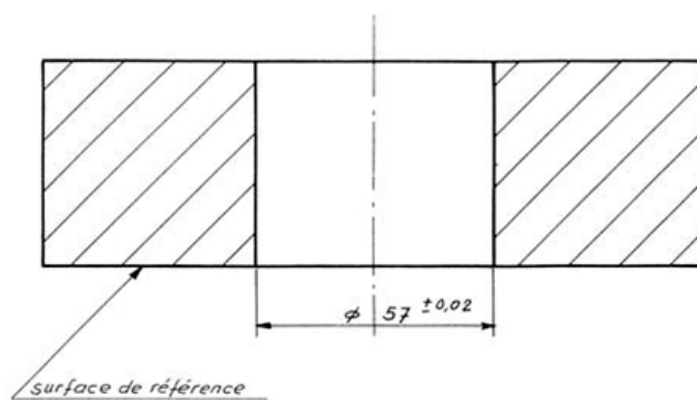


FIGURE 4.31 – Pièce

# Chapitre 5

## Incertitude de mesure

### 5.1 introduction

Les formules utiles pour cette partie sont reprises dans les tables 5.1 et 5.2.

moyenne	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$
écart type expérimental	$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$
écart type estimé	$\sigma_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$

TABLE 5.1 – Estimateurs statistiques

Loi	Etendue	Variance	Ecart type
normale	$\pm k \cdot \delta$ ( $2k\delta$ )	$\delta^2/k^2$	$\delta/k$
uniforme	$\pm \delta$ ( $2\delta$ )	$\delta^2/3$	$\delta/\sqrt{3}$
dérivée arcsinus	$\pm \delta$ ( $2\delta$ )	$\delta^2/2$	$\delta/\sqrt{2}$

TABLE 5.2 – Ecart type de différentes lois statistiques

### 5.2 Coefficients de sensibilité

#### 5.2.1 Mesure d'un angle avec des piges

Une méthode de mesure angulaire consiste à utiliser des piges (cylindres de diamètres calibrés). Connaissant les diamètres des deux piges ( $d_1 = 2r_1$  et  $d_2 = 2r_2$ ), il suffit de mesurer les distances  $m_1$  et  $m_2$  entre un plan de références et le plan tangent aux deux piges. On peut calculer la valeur de  $x$  selon :

$$\tan x = \frac{r_2 - r_1}{(m_2 - m_1) - (r_2 - r_1)} \quad (5.1)$$

L'angle  $2x$  est obtenu en multipliant par deux cette valeur.

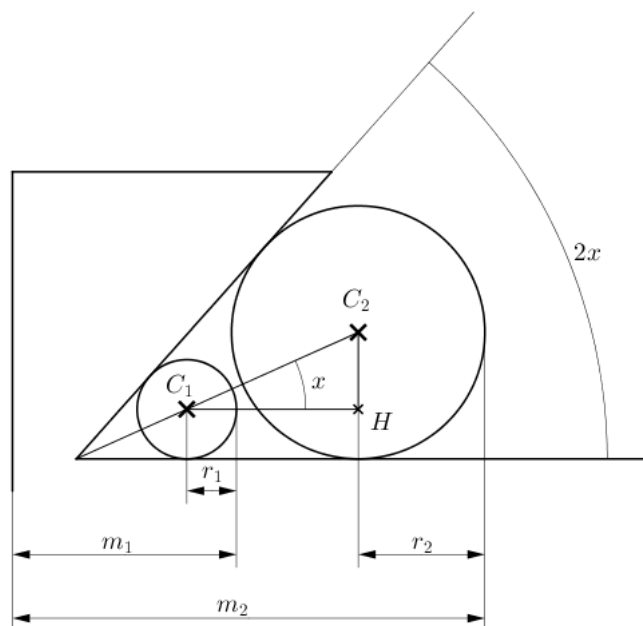


FIGURE 5.1 – Mesure d'un angle avec deux piges de diamètres différents.

On a pris les mesures suivantes :

- $r_1 = 7,54 \text{ mm}$
- $r_2 = 20,04 \text{ mm}$
- $m_1 = 81,68 \text{ mm}$
- $m_2 = 112,20 \text{ mm}$

On demande :

1. Quelle est la valeur annoncée ?
2. Quelles sont les coefficients de sensibilité pour les différentes variables d'entrée ?
3. Si les mesures ont été prises avec un pied à coulisse (on considère que l'incertitude élémentaire vaut  $0,01 \text{ mm}$  selon une loi normale,  $k=3$ ), quel résultat doit-on annoncer
  - Si on considère les mesures non corrélées
  - Si on considère les mesures corrélées

### 5.2.2 e2026s1q2

Pour estimer l'angle  $\alpha$  d'une pièce prismatique dont la section est un triangle rectangle, on mesure avec un pied à coulisse les longueurs  $L_1$  et  $L_2$  (figure 5.2). On demande :

- de déterminer l'expression permettant de calculer l'angle alpha (en degrés) à partir de  $L_1$  et  $L_2$  (*attention, les fonctions trigonométriques inverses donnent par défaut le résultat en radians*) ;
- d'établir l'expression permettant de calculer l'incertitude composée en considérant que les deux mesures (indépendantes) ont été effectuées avec une incertitude élémentaire  $i$  ;
- de déterminer la valeur de  $\alpha$  et l'incertitude élargie (utilisez  $k=3$ ) si on mesure  $L_1 = 100,12 \text{ mm}$  et  $L_2 = 84,08 \text{ mm}$  avec un pied à coulisse dont l'incertitude élémentaire est de  $20 \mu\text{m}$  et d'annoncer le résultat conformément aux normes en vigueur ;
- si le plan mentionne pour l'angle  $\alpha$  la valeur  $40^\circ \pm 0^\circ 20'$ , que peut-on dire de l'acceptation de la pièce ?

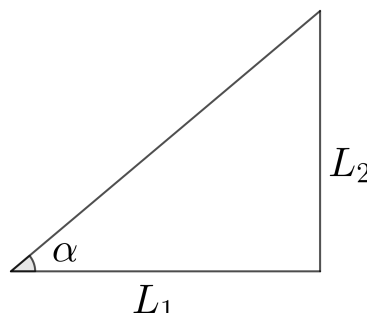


FIGURE 5.2 – Mesure d’un angle à partir de deux.

## 5.3 Processus de mesure

### 5.3.1 Exemple 1

Un métrologue est chargé de mesurer la hauteur d’une pièce en aluminium ( $\lambda = 23 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ ) à l’aide d’un pied à coulisse au centièmes de mm. Il effectue pour cela une série de dix mesures reprises dans le tableau 5.3. L’erreur de résolution suit une loi uniforme. Le certificat d’étalonnage du pied à coulisse indique une erreur de justesse de  $\pm 0,015$  mm. Cette erreur suit une loi normale dont le coefficient d’élargissement vaut 2. La température du local de mesure varie dans l’intervalle  $21^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$  selon une loi normale ( $k=1$ ). La variation de température étant lente, on considère qu’à tout instant la température de la pièce et du pied à coulisse ( $\lambda = 12 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ ) mesurée équivaut à la température du local de mesure.

Il vous est demandé de calculer la valeur de la mesure et de l’incertitude (à 99%) que doit annoncer le métrologue et d’indiquer la notation exacte de cette information.

mesure	valeur	mesure	valeur
1	250,03 mm	6	249,99 mm
2	249,99 mm	7	249,98 mm
3	250,00 mm	8	250,01 mm
4	250,02 mm	9	250,02 mm
5	250,03 mm	10	250,03 mm

TABLE 5.3 – Tableau de mesures

### 5.3.2 Exemple 2

Un métrologue mesure une pièce d’une longueur  $L$  (75 mm environ) à l’aide d’un pied à coulisse digital étalonné. Le certificat d’étalonnage de l’instrument définit l’erreur de justesse de celui-ci par son incertitude élargie  $U = 0,012$  mm avec un coefficient d’élargissement  $k = 2$ . L’affichage numérique du pied à coulisse est caractérisé par une incertitude de résolution qui est de 1/100 mm. Une série de 15 mesures est réalisée par le métrologue (table 5.4).

Les mesures sont réalisées dans un local où la température est de  $20^{\circ}C$  à  $\pm 1^{\circ}C$  (Régulation). Sachant que le coefficient de dilatation du matériau est de  $11,5 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ , l’incertitude liée aux variations de température du milieu ambiant sur la dilatation thermique de l’instrument est considérée comme négligeable. On considère également que les causes d’erreur liées à la main-d’oeuvre négligeable.

On demande de calculer la valeur annoncée et l’incertitude associée liées à cette mesure.

Mesure	Résultat	Mesure	Résultat	Mesure	Résultat
1	74,98	6	74,99	11	75
2	74,99	7	75	12	75,02
3	75,01	8	75,01	13	75,01
4	75,01	9	74,98	14	75
5	75,01	10	75	15	75,01

TABLE 5.4 – Tableau de mesures

### 5.3.3 e2005s1q5

Un métrologue est chargé de vérifier le diamètre d'un cylindre à l'aide d'un micromètre. Il effectue pour cela une série de six mesures (50,001 mm ; 50,001 mm ; 49,998 mm ; 50,001 mm ; 49,998 mm ; 50,003 mm). Le certificat d'étalonnage du micromètre utilisé indique que l'erreur de justesse est de  $\pm 2\mu\text{m}$  et est caractérisée par une loi normale dont le coefficient d'élargissement est égal à 3. La température du local de mesure varie de façon cyclique dans l'intervalle  $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  selon une loi sinusoïdale. Cette variation étant lente, on supposera qu'à tout instant la température du cylindre faisant l'objet de la mesure est égale à la température du local de mesure. Les instruments de mesure sont en acier (coefficient de dilatation thermique égal à  $11,5 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ ) et le cylindre à mesurer est en aluminium (coefficient de dilatation thermique égal à  $23 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ ). Il vous est demandé de calculer la valeur de la mesure que le métrologue doit annoncer ainsi que l'incertitude de mesure associée. Les facteurs influençant cette incertitude seront considérés comme non-corrélés.

### 5.3.4 e2006s1q6

Un métrologue est chargé de mesurer la longueur d'un arbre de machine à l'aide d'un pied à coulisse de grande dimension. Il effectue pour cela une série de huit mesures dont les valeurs sont indiquées dans le tableau 5.5.

mesure	valeur	mesure	valeur
1	300,02 mm	5	300,00 mm
2	300,02 mm	6	300,03 mm
3	300,03 mm	7	300,02 mm
4	299,97 mm	8	299,99 mm

TABLE 5.5 – Tableau de mesures

Le certificat d'étalonnage du pied à coulisse indique que l'erreur de justesse de celui-ci est de  $\pm 0,01\text{ mm}$  et est caractérisé par une loi normale dont le coefficient d'élargissement est égal à 3. La température du local de mesure varie de façon cyclique dans l'intervalle  $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$  selon une loi sinusoïdale. Cette variation étant lente, on supposera qu'à tout instant la température de l'arbre faisant l'objet de la mesure est égale à la température du local de mesure. Le pied à coulisse est en acier (coefficient de dilatation thermique égal à  $11,5 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ ) et l'arbre mesuré est en aluminium (coefficient de dilatation thermique égal à  $23 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ ). Il vous est demandé de calculer la valeur de la mesure que le métrologue doit annoncer ainsi que l'incertitude de mesure associée. Les facteurs influençant cette incertitude sont considérés comme non-corrélés.

### 5.3.5 e2008s1q4

Un métrologue est chargé de mesurer la longueur d'un arbre de machine en acier ( $\lambda = 12 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ ) à l'aide d'un pied à coulisse au centième de mm. Il effectue pour cela une série de dix mesures reprises dans le tableau .

mesure	valeur	mesure	valeur
1	80,04 mm	6	79,99 mm
2	79,98 mm	7	79,98 mm
3	80,02 mm	8	80,01 mm
4	80,04 mm	9	80,02 mm
5	79,99 mm	10	80,03 mm

TABLE 5.6 – Tableau de mesures

L'erreur de résolution suit une loi uniforme. Le certificat d'étalonnage du pied à coulisse indique une erreur de justesse de  $\pm 0,005$  mm. Cette erreur suit une loi normale dont le coefficient d'élargissement vaut 2. La température du local de mesure varie dans l'intervalle  $21^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$  selon une loi normale ( $k=2$ ). La variation de température étant lente, on considère qu'à tout instant la température de la pièce mesurée équivaut à la température du local de mesure. L'incertitude liée aux variations de température du milieu ambiant sur la dilatation thermique de l'instrument est considérée comme négligeable. Il vous est demandé de calculer la valeur de la mesure et de l'incertitude que doit annoncer le métrologue et d'indiquer la notation exacte de cette information.

### 5.3.6 e2016s1q6

Vous devez vérifier une cote de  $100 \text{ mm} \pm 0,03 \text{ mm}$  d'une pièce en acier ( $\lambda = 12 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ ). Vous disposez d'un micromètre au centième de mm dont l'erreur de résolution suit une loi uniforme et vous avez effectué une série de 10 mesures listées dans le tableau 5.7.

Le micromètre est en acier ( $\lambda = 12 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ ). Son certificat d'étalonnage indique que l'erreur de justesse vaut  $\pm 0,015$  mm (micromètre de classe III). Cette erreur est caractérisée par une loi normale dont le coefficient d'élargissement vaut 2. La température du local de mesure est égale à  $21^{\circ}C$  et ne varie pas. Vous considèrerez que les températures de la pièce et du micromètre sont stabilisées et que les facteurs influençant l'incertitude de mesure ne sont pas corrélés. Il vous est demandé :

- de calculer la valeur de la mesure et de l'incertitude que vous allez annoncer ;
- de calculer la capabilité du processus de mesure ;
- de faire un commentaire sur l'acceptation de la pièce.

mesure	valeur	mesure	valeur
1	99,83 mm	6	99,84 mm
2	99,84 mm	7	99,85 mm
3	99,86 mm	8	99,86 mm
4	99,87 mm	9	99,84 mm
5	99,86 mm	10	99,85 mm

TABLE 5.7 – Tableau de mesures

### 5.3.7 e2019s1q2

Un métrologue est chargé de mesurer la hauteur d'une pièce en aluminium ( $\lambda = 23 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ ) à l'aide d'un pied à coulisse numérique au centièmes de mm en acier ( $\lambda = 11 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ ). Il effectue pour cela une série de dix mesures reprises dans le tableau 5.8.

mesure	valeur	mesure	valeur	mesure	valeur
1	250,03 mm	5	250,03 mm	8	250,01 mm
2	249,99 mm	6	249,99 mm	9	250,02 mm
3	250,00 mm	7	249,98 mm	10	250,03 mm
4	250,02 mm				

TABLE 5.8 – Mesures successives au pied à coulisse

L'erreur de résolution suit une loi uniforme. Le certificat d'étalonnage du pied à coulisse indique une erreur de justesse de  $\pm 0,015$  mm. Cette erreur suit une loi normale dont le coefficient d'élargissement vaut 2. La température du local de mesure varie dans l'intervalle  $22^\circ C \pm 2^\circ C$  selon une loi normale ( $k=2$ ). La variation de température étant lente, on considère qu'à tout instant les températures de la pièce mesurée et de l'instrument sont en équilibre avec la température du local de mesure. Il vous est demandé de calculer la valeur de la mesure et de l'incertitude que doit annoncer le métrologue et d'indiquer la notation exacte de cette information. La tolérance sur le plan est  $250\text{ mm} \pm 0,05$ , commentez l'acceptation de la pièce et la capabilité du procédé de mesure.

### 5.3.8 e2021s1q5

Vous devez vérifier la cote  $C$  d'une pièce réalisée dans un matériau  $M$ . Vous disposez d'un micromètre numérique en acier au centième de mm. Son certificat d'étalonnage indique que l'erreur de justesse vaut  $\pm 0,015$  mm (micromètre de classe III). Cette erreur est caractérisée par une loi normale dont le coefficient d'élargissement vaut 2.

Vous avez effectué une série de 10 mesures listées dans le tableau 5.9. La température du local de mesure varie autour de la température  $T$  avec un intervalle de  $\pm 1^\circ C$  selon une loi normale dont le coefficient d'élargissement vaut 3. Vous considèrerez que les températures de la pièce et du micromètre sont stabilisées et que les facteurs influençant l'incertitude de mesure ne sont pas corrélés. Il vous est demandé :

- de calculer la valeur de la mesure et de l'incertitude que vous allez annoncer ;
- de faire un commentaire sur la capabilité du processus de mesure et sur l'acceptation de la pièce.

mesure	valeur	mesure	valeur
1	99,83 mm	6	99,84 mm
2	99,84 mm	7	99,85 mm
3	99,86 mm	8	99,86 mm
4	99,87 mm	9	99,84 mm
5	99,86 mm	10	99,85 mm

TABLE 5.9 – Mesures successives au pied à coulisse

Les valeurs de  $C$ ,  $M$  et  $T$  sont données dans le tableau 5.10.

Variante	$C$	$M$	$T$
1	$100 \pm 0,03$	Aluminium	19
2	$100 \pm 0,02$	Titane	20
3	$100 \pm 0,1$	Aluminium	21
4	$100 \pm 0,03$	Titane	20
5	$100 \pm 0,05$	Aluminium	19

TABLE 5.10 – Variantes pour l'exercice

Les coefficients de dilatation thermique à prendre en compte sont : acier  $12 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ , aluminium  $23 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ , titane  $9 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ .

### 5.3.9 e2022s1q5

Vous devez vérifier une cote de  $15 \text{ mm} \pm 0,003 \text{ mm}$  sur une pièce en titane ( $\lambda = 8,6 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ ). Vous disposez d'un micromètre numérique affichant trois décimales (l'erreur de résolution suit une loi uniforme) et vous avez effectué une série de 10 mesures listées dans le tableau 5.11. Le micromètre est en acier ( $\lambda = 12 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ ). Son certificat d'étalonnage indique que l'erreur de justesse vaut  $\pm 0,0015 \text{ mm}$ , cette erreur est caractérisée par une loi normale dont le coefficient d'élargissement vaut 2. La température du local de mesure est égale à  $21^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$  (variation selon une loi normale avec un coefficient d'élargissement de 2). Vous considèrerez que les températures de la pièce et du micromètre sont stabilisées et que les facteurs influençant l'incertitude de mesure ne sont pas corrélés. Il vous est demandé :

- de calculer la valeur de la mesure et de l'incertitude que vous allez annoncer ;
- d'indiquer votre position sur l'acceptation de la pièce.

mesure	valeur	mesure	valeur
1	14,998 mm	6	14,997 mm
2	14,999 mm	7	14,998 mm
3	14,999 mm	8	14,999 mm
4	14,999 mm	9	14,996 mm
5	15,000 mm	10	14,997 mm

TABLE 5.11 – Tableau de mesures

### 5.3.10 e2023s1q5

On souhaite vérifier une cote tolérancée  $120 \text{ js}7$  d'une pièce en aluminium. On a réalisé une série de 10 mesures, reprises dans le tableau 5.12 avec un micromètre analogique en acier (erreur de justesse de 1 micron selon une loi normale avec un coefficient d'élargissement de 2). La température du local varie selon  $18^\circ \pm 2^\circ$  selon une loi sinusoïdale. Les coefficients de dilatation de l'aluminium et de l'acier sont respectivement de  $23 \cdot 10^{-6} K^{-1}$  et  $11,5 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ .

On demande :

1. de déterminer le résultat annoncé et l'incertitude de mesure si on considère un coefficient d'élargissement de 3 ;
2. de déterminer la position à prendre pour l'acceptation ou non de la pièce sur base de ces résultats.



---

n°	mesure	n°	mesure
1	119,970 mm	6	120,007 mm
2	119,990 mm	7	120,040 mm
3	119,982 mm	8	120,012 mm
4	119,966 mm	9	119,954 mm
5	120,028 mm	10	119,996 mm

TABLE 5.12 – Série de mesures

## 5.4 Capabilité

### 5.4.1 e2020s1q5

On s'intéresse à un tour à commande numérique sur lequel une étude de capabilité est réalisée à la demande du service qualité. Pour cela, 50 pièces ont été usinées sur la machine avec le même réglage, les mêmes conditions, le même lot de matière et le même opérateur. Le processus est considéré stable (pas de cause assignable).

La spécification est  $\varnothing 100js8$  ( $IT8 = 0,054$  mm pour une cote de 100 mm). Elle est relative à une portée tournée sur un arbre de transmission.

La moyenne des dimensions des 50 pièces est de 100,016 mm. L'écart-type de la distribution des dimensions est de 0,005 mm. On demande :

- de calculer le pourcentage de pièces non-conformes produites dans cette situation ; utilisez pour cela la table 5.13, n'oubliez pas que
  - l'aire totale en-dessous de la courbe vaut 1 ;
  - la loi normale est symétrique, ce qui implique que  $P(x > \alpha) = 1 - P(x < \alpha)$
- de calculer les valeurs de  $C_p$  et  $C_{pk}$  et de donner votre interprétation de la situation à partir de ces valeurs ;
- de donner vos recommandations pour ce système.

x	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,1	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,2	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,4	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998
3,5	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998
3,6	0,9998	0,9998	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
3,7	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
3,8	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
3,9	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

TABLE 5.13 – Aire de la loi normale (moyenne 0, écart type 1) à gauche de x (les lignes donnent les unités et les dixièmes, les colonnes les centièmes, par exemple la valeur en troisième ligne et cinquième colonne s’interprète comme : l’aire sous-tendue par la loi normale à gauche de 0,24 est de 0,5948)

# Chapitre 6

## Rugosité

### 6.1 Calcul des indicateurs

#### 6.1.1 Sinusoïde

Le profil de rugosité d'une surface est mesuré, on obtient un signal sinusoïdal d'amplitude  $10 \mu m$ . Calculez les indicateurs  $R_t$ ,  $R_a$  et  $R_q$ .

#### 6.1.2 Triangle

Le profil de rugosité d'une surface est mesuré, on obtient un signal triangulaire allant de  $+5 \mu m$  à  $-5 \mu m$ . Calculez les indicateurs  $R_t$ ,  $R_a$  et  $R_q$ .

#### 6.1.3 e2018s1q5

Une surface a été mesurée avec un rugosimètre et le profil mesuré présente une évolution donnée par la fonction ci-dessous :

$$Z(x) = \frac{1}{L^2} \cdot \left(x - \frac{L}{2}\right)^2 \quad 0 \leq x < L \quad (6.1)$$

On demande de calculer la valeur de la rugosité totale et de la rugosité arithmétique de cette portée.

#### 6.1.4 e2018s2q5

Une surface a été mesurée avec un rugosimètre et le profil mesuré présente une évolution donnée par la fonction ci-dessous :

$$Z(x) = 3 + 2 \cdot \sin\left(\frac{2\pi x}{L}\right) \quad 0 \leq x < 4L \quad (6.2)$$

On demande de calculer la valeur de la rugosité totale et de la rugosité arithmétique de cette portée.

### 6.1.5 e2019s1q1

Calculez la valeur des indicateurs  $R_t$ ,  $R_a$  et  $R_q$  pour le profil périodique théorique présenté en figure 6.1.

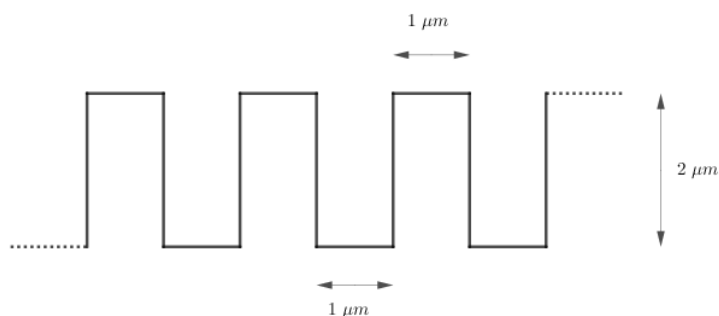


FIGURE 6.1 – Figure pour la mesure de rugosité.

### 6.1.6 e2023s1q4

On veut définir les caractéristiques d'un échantillon permettant d'étalonner un rugosimètre avec des valeurs données. Le profil est constitué d'une onde triangulaire périodique dont la base dans la direction de la mesure vaut  $L/10$  (avec  $L$  la longueur de base). les triangles sont isocèles de hauteur  $h$  (figure 6.2). On vise une rugosité arithmétique de  $3,2 \mu\text{m}$ , que vaudra alors la rugosité totale en micromètres ?

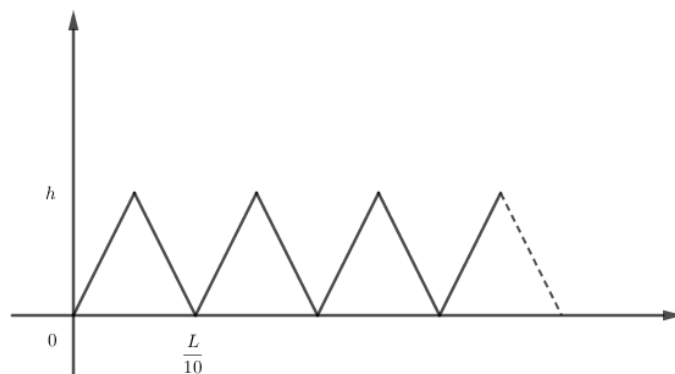


FIGURE 6.2 – Question 4 - Profil de rugosité.

### 6.1.7 e2024s1q4

On veut définir les indicateurs de rugosité d'un échantillon permettant d'étalonner un rugosimètre. Le profil est constitué d'un profil trapézoïdal périodique tel que représenté en figure 6.3 ( $L$  représente la longueur de base). La rugosité totale vaut 10 microns, quelle est la valeur de la rugosité arithmétique ?

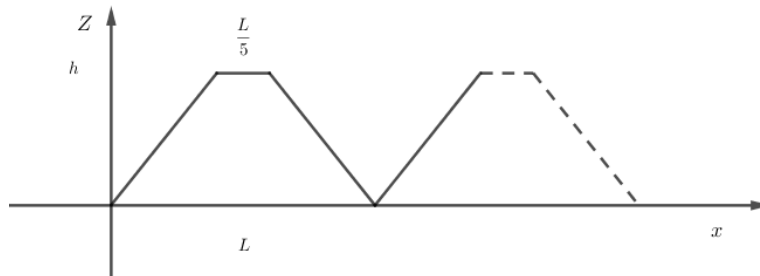


FIGURE 6.3 – Profil de rugosité.

### 6.1.8 e2025s1q6

Un étalon de rugosité est fabriqué pour avoir une profil parabolique périodique (figure 6.4,  $L$  représente la longueur de base). Déterminez la valeur de la rugosité totale et la position de la ligne moyenne. Expliquez ensuite comment calculer la valeur de la rugosité arithmétique (le résultat du calcul n'est pas demandé).

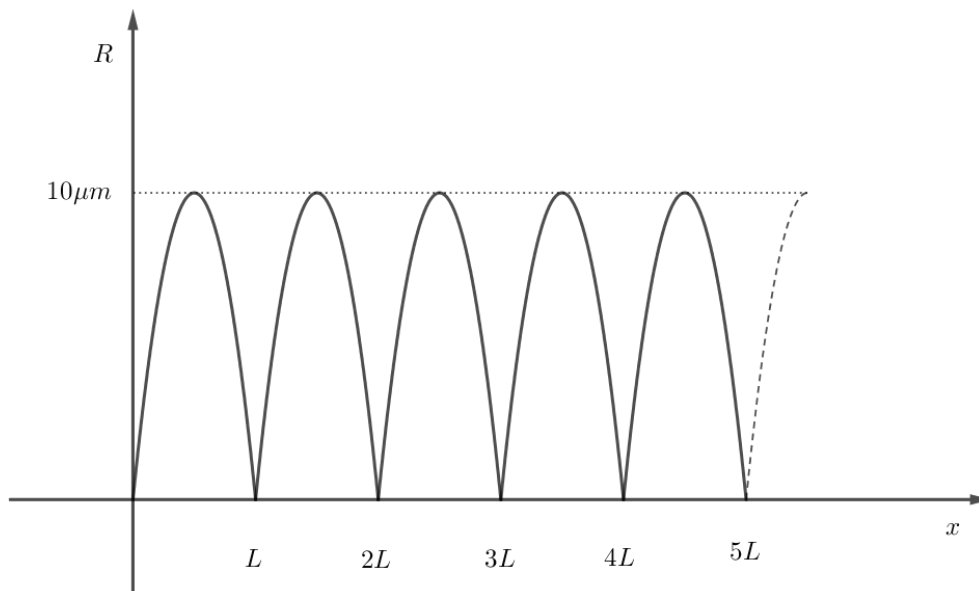


FIGURE 6.4 – Forme de l'étalon de rugosité.

## 6.2 Interprétation de spécifications

### 6.2.1 e2007s1q3d

Explicitez la spécification imposée sur la rugosité de la surface supérieure de la pièce représentée figure 6.5 en projections orthogonales. Aidez-vous de la vue 3D figure 6.6 pour illustrer schématiquement l'une ou l'autre spécification.

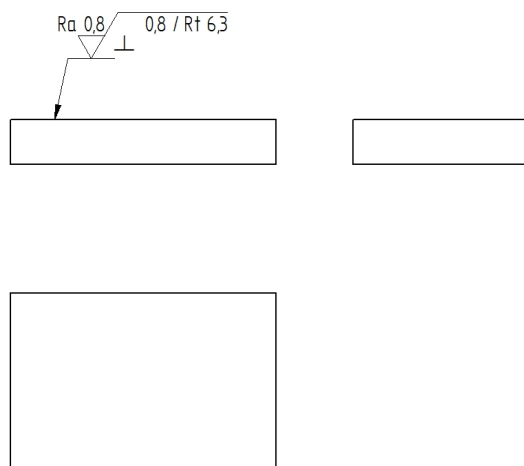


FIGURE 6.5 – Indication de rugosité

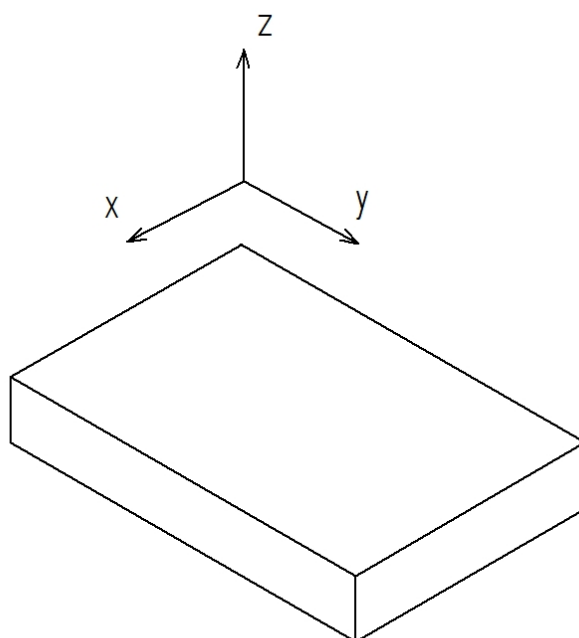


FIGURE 6.6 – Explication de rugosité

# Chapitre 7

## CAO

### 7.1 Courbes de Bézier

La formule suivante permet de calculer la position d'un point pour une valeur de paramètre  $t$  sur une courbe de Bézier définie à l'aides des  $n + 1$  pôles  $P_i$ .

$$\overrightarrow{OM}(t) = \sum_{i=0}^n B_n^i(t) \overrightarrow{OP_i} \quad (7.1)$$

$B_n^i(t)$  est le  $i^e$  polynôme de Bernstein de degré  $n$ , on le calcule via :

$$B_n^i = C_n^i t^i (1-t)^{n-i} = \frac{n!}{i!(n-i)!} t^i (1-t)^{n-i} \quad (7.2)$$

L'algorithme de Casteljau permet de calculer la position d'un point sur une courbe de Bézier via la relation de récurrence :

$$\overrightarrow{OP_j^{(k)}}(t) = (1-t) \cdot \overrightarrow{OP_j^{(k-1)}}(t) + t \cdot \overrightarrow{OP_{j+1}^{(k-1)}}(t) \quad (7.3)$$

avec

$$\overrightarrow{OP_j^{(k)}}(t) \begin{cases} 0 \leq k \leq n-1 \\ 0 \leq j \leq n-k-1 \end{cases} \quad (7.4)$$

#### 7.1.1 Point sur courbe

Soient les points  $P_0 = (2, 1)$ ,  $P_1 = (3, 4)$ ,  $P_2 = (6, 3)$  et  $P_4 = (8, 1)$ . Recherchez les coordonnées du point en  $t=1/4$  sur un spline de Bézier :

1. par la définition des courbes de Bézier (équation 7.1) via les polynômes de Bernstein (équation 7.2) ;
2. avec l'algorithme de Casteljau (équations 7.4 et 7.3).

#### 7.1.2 e2018s1q6

Esquissez la forme générale d'une courbe de Bézier utilisant les points (0,0), (1,1) (2,1) et (3,0) comme pôles. Donnez-en les caractéristiques géométriques générales. Indiquez les limitations du modèle de Bézier ayant conduit à l'introduction des NURBS.

### 7.1.3 e2020s1q6

On a une courbe de Bézier définie par les pôles suivants :

- $P_0 = (0, 0)$  ;
- $P_1 = (1, 1)$  ;
- $P_2 = (2, 1)$  ;
- $P_3 = (3, 0)$  ;

On demande :

- d'esquisser la représentation de cette courbe et d'énoncer ses propriétés principales ;
- d'illustrer graphiquement et de calculer la coordonnée du point en  $t=0,5$  sur cette courbe à l'aide de l'algorithme de Castejau (les relations mathématiques sont rappelées aux équations 7.4 et 7.3).

### 7.1.4 e2021s1q6

On définit un spline de Bézier qui passe par les points  $P_1(x_1, y_1)$ ,  $P_2(x_2, y_2)$ ,  $P_3(x_3, y_3)$  et  $P_4(x_4, y_4)$  dont les coordonnées sont données dans le tableau 7.1. On demande :

- D'esquisser la forme générale de cette courbe et de donner ses caractéristiques principales
- De retrouver les coordonnées des pôles de cette courbe si on fait l'hypothèse d'une paramétrisation uniforme.

variante	$x_1$	$y_1$	$x_2$	$y_2$	$x_3$	$y_3$	$x_4$	$y_4$
1	0	0	1	1	2	3	4	4
2	0	0	3	1	5	2	2	2
3	0	0	2	3	3	4	5	5
4	0	0	1	4	3	2	1	1
5	0	0	3	2	1	3	2	2
6	0	0	2	2	1	3	0	1
7	0	0	1	1	2	1	3	1
8	0	0	2	2	3	2	4	2
9	0	0	1	5	2	3	3	4
10	0	0	2	1	3	2	4	3

TABLE 7.1 – Ecart type de différentes lois statistiques

### 7.1.5 e2022s1q4

Esquissez la forme générale d'une courbe de Bézier utilisant les points  $(0,0)$ ,  $(1,1)$   $(3,-2)$   $(5,5)$  et  $(2,4)$  comme pôles. Donnez-en les caractéristiques géométriques principales. Calculez à l'aide de l'algorithme de Castejau, les coordonnées du point en  $t=0,3$  et représentez la construction graphique associée (employez un dessin à l'échelle).



### 7.1.6 e2024s1q5

Soient quatre points dans le plan  $Oxy$   $P_0 = (1, 1)$ ,  $P_1 = (-1, 3)$ ,  $P_2 = (2, 5)$  et  $P_3 = (-1, -1)$ . On définit  $C$  la courbe de Bézier qui admet ces quatre points comme pôles. On demande :

- de donner les caractéristiques principales de cette courbe
- d'esquisser la forme de cette courbe sur un graphique en vraie grandeur ;
- de calculer les coordonnées du point en  $t=0,5$  à l'aide de l'algorithme de Castejau ;
- de donner les avantages d'une courbe NURBS par rapport à une courbe de Bézier.

### 7.1.7 e2025s1q5

La figure 7.1 représente quatre tentatives de représentation d'une courbe de Bézier définie par les pôles  $P_0$  à  $P_4$ . La courbe est à chaque fois représentée pour les valeurs du paramètre  $t$  allant de zéro à un. Indiquez pour chacun des cas si les courbes sont correctes ou, si ce n'est pas le cas, tous les éléments qui sont problématiques.

Donnez ensuite les avantages d'employer le formalisme NURBS plutôt qu'une courbe de Bézier dans une utilisation industrielle. Quelle fonction volumique de base de solidworks ne serait pas réalisation sans l'emploi de surface NURBS ?

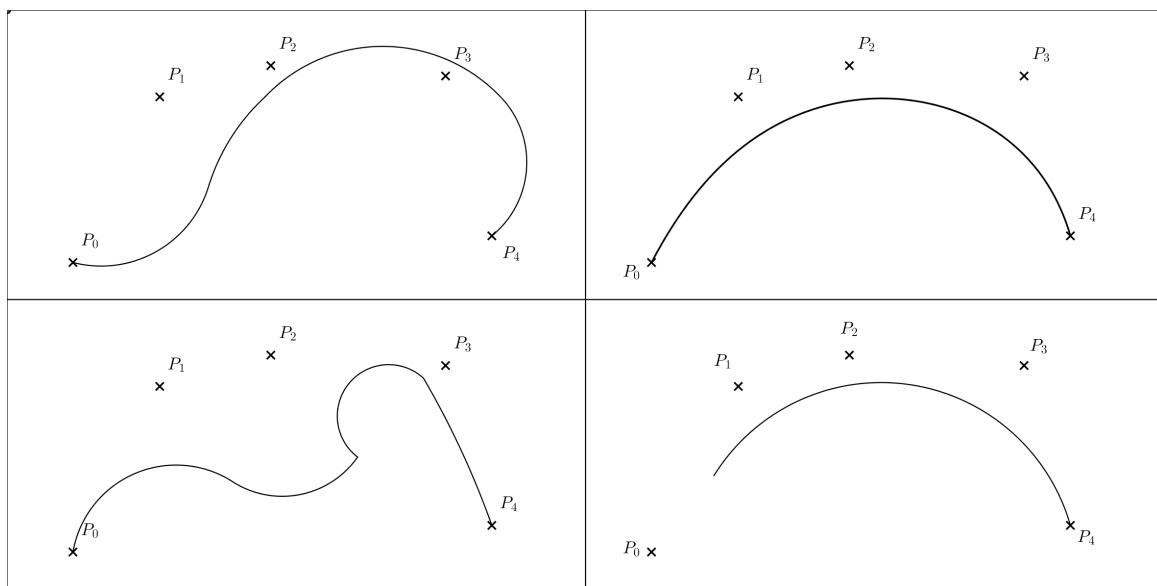


FIGURE 7.1 – Courbes.

## Annexe A

### Plans au format UMONS



				TOLERANCES GENERALES		MATERIAU	ECHELLE	UNITES	FORMAT
				 Projection Européenne	AUTEUR	ANNEE D'ETUDE	mm	A4	
					TITRE DU COURS/PROJET				
				TITRE DU PLAN		Remplace			
				DATE			Remplacé par	NUMERO DE PLAN	

FIGURE A.1 – Cartouche A4 horizontal.



				TOLERANCES GENERALES		MATERIAU	ECHELLE	UNITES	FORMAT
				 Projection Européenne		AUTEUR	ANNEE D'ETUDE	A4	
				TITRE DU COURS/PROJET		TITRE DU PLAN			
				DATE				Remplace	Remplacé par

FIGURE A.2 – Cartouche A4 horizontal.



				TOLERANCES GENERALES		MATERIAU	ECHELLE	UNITES	FORMAT	
					Projection Européenne	AUTEUR	ANNEE D'ETUDE			
				TITRE DU COURS/PROJET		TITRE DU PLAN		Remplace		
								Remplacé par		
				DATE				NUMERO DE PLAN		

FIGURE A.3 – Cartouche A4 horizontal.



				TOLERANCES GENERALES		MATERIAU	ECHELLE	UNITES	FORMAT	
					Projection Européenne	AUTEUR	ANNEE D'ETUDE			
				TITRE DU COURS/PROJET		TITRE DU PLAN		Remplace		
								Remplacé par		
				DATE				NUMERO DE PLAN		

FIGURE A.4 – Cartouche A4 horizontal.



				TOLERANCES GENERALES		MATERIAU	ECHELLE	UNITES	FORMAT
				 Projection Européenne	AUTEUR	ANNEE D'ETUDE	mm	A4	
					TITRE DU COURS/PROJET				
				TITRE DU PLAN		Remplace			
				DATE			Remplacé par		NUMERO DE PLAN

FIGURE A.5 – Cartouche A4 horizontal.



				TOLERANCES GENERALES		MATERIAU	ECHELLE	UNITES	FORMAT
				 Projection Européenne	AUTEUR	ANNEE D'ETUDE	mm	A4	
					TITRE DU COURS/PROJET				TITRE DU PLAN
				DATE				Remplace	Remplacé par
								NUMERO DE PLAN	

FIGURE A.6 – Cartouche A4 horizontal.





				TOLERANCES GENERALES		MATERIAU	ECHELLE	UNITES	FORMAT
				 Projection Européenne	AUTEUR	ANNEE D'ETUDE	mm	A4	
					TITRE DU COURS/PROJET				TITRE DU PLAN
				DATE				Remplace	
								Remplacé par	
NUMERO DE PLAN									

FIGURE A.7 – Cartouche A4 horizontal.




				TOLERANCES GENERALES		MATERIAU	ECHELLE	UNITES	FORMAT
				 Projection Européenne		AUTEUR	ANNEE D'ETUDE	A4	
				TITRE DU COURS/PROJET		TITRE DU PLAN			
						Remplace			
				DATE		Remplacé par		NUMERO DE PLAN	
				 					

FIGURE A.8 – Cartouche A4 horizontal.



				TOLERANCES GENERALES		MATERIAU	ECHELLE	UNITES	FORMAT
				 Projection Européenne		AUTEUR	ANNEE D'ETUDE	A4	
				TITRE DU COURS/PROJET		TITRE DU PLAN			
				DATE		Remplace		Remplacé par	
						 NUMERO DE PLAN			

FIGURE A.9 – Cartouche A4 horizontal.




				TOLERANCES GENERALES		MATERIAU	ECHELLE	UNITES	FORMAT
				 Projection Européenne		AUTEUR	ANNEE D'ETUDE	A4	
				TITRE DU COURS/PROJET		TITRE DU PLAN			
						Remplace			
				DATE		Remplacé par		NUMERO DE PLAN	
									

FIGURE A.10 – Cartouche A4 horizontal.

				TOLERANCES GENERALES		MATERIAU	ECHELLE	UNITES	FORMAT
				 Projection Européenne		AUTEUR	ANNEE D'ETUDE	A4	
				TITRE DU COURS/PROJET		TITRE DU PLAN			
				DATE		Remplace		Remplacé par	
						NUMERO DE PLAN			



**UMONS**
  
 POLYTECH
   
 MONS

FIGURE A.11 – Cartouche A4 horizontal.

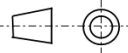


TOLERANCES GENERALES		MATERIAU	ECHELLE	UNITES mm	FORMAT A4
	Projection Européenne	AUTEUR		ANNEE D'ETUDE	
TITRE DU COURS/PROJET		TITRE DU PLAN		Remplace	
				Remplacé par	
DATE	 			NUMERO DE PLAN	

FIGURE A.12 – Cartouche A4 vertical .





TOLERANCES GENERALES		MATERIAU	ECHELLE	UNITES mm	FORMAT A4
	 Projection Européenne	AUTEUR	ANNEE D'ETUDE		
TITRE DU COURS/PROJET		TITRE DU PLAN	Remplace		
			Remplacé par		
DATE	 		NUMERO DE PLAN		

FIGURE A.13 – Cartouche A4 vertical .

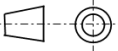


TOLERANCES GENERALES		MATERIAU	ECHELLE	UNITES mm	FORMAT A4
	Projection Européenne	AUTEUR		ANNEE D'ETUDE	
TITRE DU COURS/PROJET		TITRE DU PLAN		Remplace	
				Remplacé par	
DATE		 		NUMERO DE PLAN	

FIGURE A.14 – Cartouche A4 vertical .









TOLERANCES GENERALES		MATERIAU	ECHELLE	UNITES mm	FORMAT A4
	 Projection Européenne	AUTEUR	ANNEE D'ETUDE		
TITRE DU COURS/PROJET		TITRE DU PLAN	Remplace		
			Remplacé par		
DATE	 		NUMERO DE PLAN		

FIGURE A.16 – Cartouche A4 vertical .





TOLERANCES GENERALES		MATERIAU	ECHELLE	UNITES mm	FORMAT A4
	 Projection Européenne	AUTEUR	ANNEE D'ETUDE		
TITRE DU COURS/PROJET		TITRE DU PLAN	Remplace		
			Remplacé par		
DATE	 		NUMERO DE PLAN		

FIGURE A.17 – Cartouche A4 vertical .





TOLERANCES GENERALES		MATERIAU	ECHELLE	UNITES mm	FORMAT A4
	 Projection Européenne	AUTEUR	ANNEE D'ETUDE		
TITRE DU COURS/PROJET		TITRE DU PLAN	Remplace		
			Remplacé par		
DATE	 		NUMERO DE PLAN		

FIGURE A.18 – Cartouche A4 vertical .





TOLERANCES GENERALES		MATERIAU	ECHELLE	UNITES mm	FORMAT A4
	 Projection Européenne	AUTEUR	ANNEE D'ETUDE		
TITRE DU COURS/PROJET		TITRE DU PLAN	Remplace		
			Remplacé par		
DATE	 		NUMERO DE PLAN		

FIGURE A.19 – Cartouche A4 vertical .





TOLERANCES GENERALES		MATERIAU	ECHELLE	UNITES mm	FORMAT A4
	 Projection Européenne	AUTEUR	ANNEE D'ETUDE		
TITRE DU COURS/PROJET		TITRE DU PLAN	Remplace		
			Remplacé par		
DATE	 		NUMERO DE PLAN		

FIGURE A.20 – Cartouche A4 vertical .





TOLERANCES GENERALES		MATERIAU	ECHELLE	UNITES mm	FORMAT A4
	 Projection Européenne	AUTEUR	ANNEE D'ETUDE		
TITRE DU COURS/PROJET		TITRE DU PLAN	Remplace		
			Remplacé par		
DATE	 		NUMERO DE PLAN		

FIGURE A.21 – Cartouche A4 vertical .





TOLERANCES GENERALES		MATERIAU	ECHELLE	UNITES mm	FORMAT A4
	 Projection Européenne	AUTEUR	ANNEE D'ETUDE		
TITRE DU COURS/PROJET		TITRE DU PLAN	Remplace		
			Remplacé par		
DATE	 		NUMERO DE PLAN		

FIGURE A.22 – Cartouche A4 vertical .