

BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR**INDUSTRIALISATION DES PRODUITS MECANIQUES****E4 : ÉTUDE DE PRÉINDUSTRIALISATION****CORRIGÉ**

Le corrigé se comporte de la façon suivante :

Document(s) de correction	Page(s)
Barème	Pages 2 et 3
DR 1	Page 4
DR 2	Page 5
DR 3	Page 6
DR 4	Page 7
DR 5	Pages 8 et 9
DR 6	Page 10
DR 7	Page 11
DR 8	Page 12
DR 9	Page 13
DR 10	Page 14
DR 11	Page 15
DR 12	Page 16
DR 13	Page 17
DR 14	Page 18
DR 15	Page 19
DR 16	Page 20
DR 17	Page 21
DR 18	Page 22
DR 19	Page 23
DR 20	Page 24

PROPOSITION DE BAREME

PARTIE 1 : ÉTUDE DE LA RELATION

«PRODUIT - PROCÉDÉ - PROCESSUS PRÉVISIONNEL»

Problème 1 :		/ 7 points
Question 1.1 :	/2	
Question 1.2 :	/0.5	
Question 1.3 :	/0.5	
Question 1.4 :	/1	
Question 1.5 :	/2	
Question 1.6 :	/1	
Problème 2 :		/ 6 points
Question 2.1 :	/2 (x3)	
Problème 3 :		/ 5 points
Question 3.1 :	/1	
Question 3.2 :	/1	
Question 3.3 :	/1	
Question 3.4 :	/1	
Question 3.5 :	/1	
Problème 4 :		/ 5 points
Question 4.1 :	/4.5	
Question 4.2 :	/0.5	
Problème 5 :		/ 4 points
Question 5.1 :	/3	
Question 5.2 :	/1	
Problème 6 :		/ 6 points
Question 6.1 :	/2	
Question 6.2 :	/2	
Question 6.3 :	/1	
Question 6.4 :	/0.5	
Question 6.5 :	/0.5	

PARTIE 2 : SPÉCIFICATION TECHNIQUE

Problème 7 :		/ 6 points
Question 7.1 :	/2	
Question 7.2 :	/2	
Question 7.3 :	/2	

Problème 8 :	/ 6 points
---------------------	-------------------

Question 8.1 : /1
Question 8.2 : /1
Question 8.3 : /1
Question 8.4 : /1
Question 8.5 : /1
Question 8.6 : /1

Problème 9 :	/ 6 points
---------------------	-------------------

Question 9.1 : /1
Question 9.2 : /1
Question 9.3 : /1
Question 9.4 : /2
Question 9.5 : /1

Problème 10 :	/ 8 points
----------------------	-------------------

Question 10.1 : /4
Question 10.2 : /1
Question 10.3 : /2.5
Question 10.4 : /0.5

Problème 11 :	/ 5 points
----------------------	-------------------

Question 11.1 : /1
Question 11.2 : /3
Question 11.3 : /1

Problème 12 :	/ 8 points
----------------------	-------------------

Question 12.1 : /1
Question 12.2 : /0.5
Question 12.3 : /1
Question 12.4 : /1
Question 12.5 : /2
Question 12.6 : /2.5

Problème 13 :	/ 8 points
----------------------	-------------------

Question 13.1 : /2
Question 13.2 : /1
Question 13.3 : /1
Question 13.4 : /0.5
Question 13.5 : /1
Question 13.6 : /0.5
Question 13.7 : /1.5
Question 13.8 : /0.5

Total :	/ 80 points
----------------	--------------------

Question 1.1 :

Fonctions techniques	Pièces - Repère	Sous-ensembles - Repère
FT1	Tranquilliseur d'écoulement	
FT2	(1x) Hélice – 41	Hélice assemblée – SE40
FT3	(2x) Coussinet – 33 (2x) Butée – 34 (2x) Axe de pivot – 44	Support palier assemblé – SE30 Hélice assemblée - SE40
FT4	(2x) Capteur à effet hall – 24 (10x) Aimant – 42	Puits capteur assemblé - SE20 Hélice assemblée - SE40
FT10	Corps – Repère 11	

Remarque : les listes de pièces peuvent être plus complètes pour certaines fonctions.

Question 1.2 :

Coussinet 33 et axe de pivot 44 : carbure de tungstène

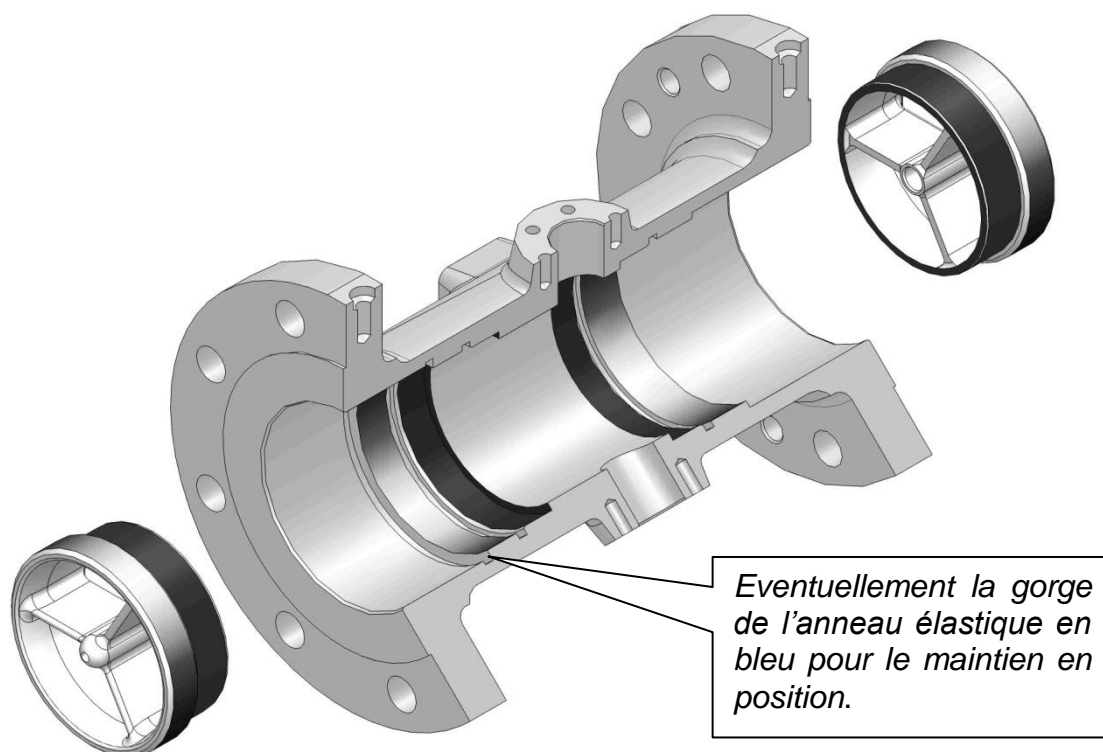
- ⇒ **Matériau de dureté élevée.**
- ⇒ **Résistance à l'usure de la liaison pivot.**

Question 1.3 :

L'alésage Ø3H7 des coussinets 33 et de l'arbre Ø3g6 des axes de pivots 44 :

- ⇒ **Etat de surface : Ra 0,05 (très bon état de surface).**
- ⇒ **Limiter le frottement dans la liaison pivot.**

Question 1.4 :



Question 1.5 :

	Spécifications dimensionnelles	Spécifications géométriques
Support de palier (repère 31)	A $\varnothing 98\ f7\ (E)$ B M106x3 - 8g	perpendicularité 0,05 / A coaxialité $\varnothing 0,1 / A$
Corps (repère 11)	(2x) A $\varnothing 98\ H7\ (E)$ (2x) B (2x) M106x3 - 6G	rectitude $\varnothing 0,02\ CZ$ (2x) perpendicularité 0,05 / A (2x) coaxialité $\varnothing 0,1 / A$

Remarque : pour le corps on peut compléter par les spécifications concernant la gorge de l'anneau élastique.

Question 1.6 :

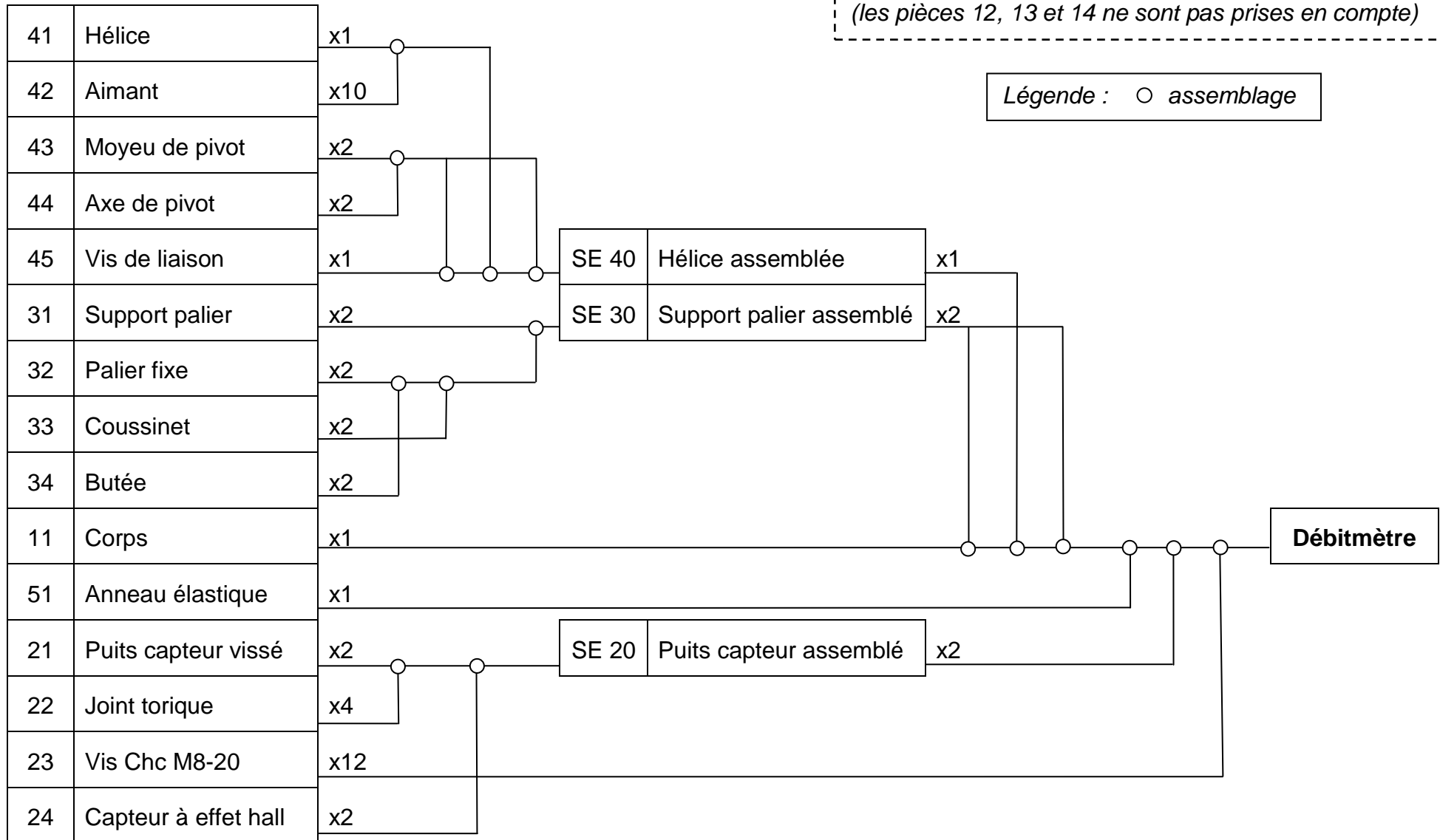
- ⇒ **Eviter un dysfonctionnement du débitmètre en cas de desserrage du support palier assemblé – SE30.**
- ⇒ **A cause du sens d'écoulement du fluide.**
- ⇒ **Filetage pas à droite : il n'y a pas de risque de desserrage en amont, par contre le risque existe coté aval, d'où la présence de l'anneau élastique.**

Question 2.1 :

Graphe de montage (partiel)

(les pièces 12, 13 et 14 ne sont pas prises en compte)

Légende : ○ assemblage



Question 3.1

Question 3.2

Question 3.3

Caractéristiques des matériels			Caractéristiques des produits					
N°	Plage de couple de serrage	Masse	Couples de serrage					
			M8	M82x2	M106x3	M158x3	M210x3	M260x3
			28,7	120	150	210	260	330
1	9-35 N.m	1,4 kg	X					
2	14-55 N.m	1,6 kg	X					
3	20-80 N.m	2,1 kg	X					
4	28-100 N.m	2,3 kg	X					
5	40-160 N.m	2,8 kg		X	X			
6	53-210 N.m	3 kg		X	X	X		
7	70-270 N.m	7,1 kg		X	X	X	X	
8	95-370 N.m	7,1 kg		X	X	X	X	X
9	115-450 N.m	11,6 kg		X	X	X	X	X
10	150-600 N.m	11,6 kg			X	X	X	X

Question 3.4

Question 3.5 :

DT1 : vis Chc M8-20 (inox) classe 80 → couple de serrage préconisé 28,7 N.m

pour les vis M8 : Choix 1 → Tensor ETV DS 72 – 30 - 10

pour le SE30 : Choix 8 → Tensor ETV DS 92 – 370 - 20

les 2 modèles répondent aux critères d'utilisation, couple disponible et d'ergonomie, matériel léger.

Question 4.1 : (suite)

Remarque : « les 3 croisillons à 120 » ont une épaisseur de 4 mm

La douille de vissage doit permettre le montage et le démontage.

Le couple de serrage doit être transmis sur le plus grand diamètre possible, afin de ne pas déformer les croisillons.

⇒ La solution proposée sur le document DR5, 3 rainures de 6 mm à 120° permet un contact surfacique pour limiter les risques de matage.

⇒ Une autre solution est envisageable avec 3 cylindres à 120° (ou pîges). Elle permet un contact linéique.

Question 5.1 :

Matériau envisagé	Famille de matériaux	Masse volumique (kg.m ⁻³)	Plage des températures maximales d'utilisation (...°C à ...°C)	Exigence de résistance à la température respectée (OUI ou NON)
EN AW 2024	Alliages d'aluminium	2700	120 à 220	Non
NiCr21Mo	Alliages de nickel	8900	500 à 1200	Oui
Ti (Titane)	Alliages de titane	4600	300 à 500	Oui
X6CrNiMo 19- 11-2	Aciers inoxydables	7800	750 à 820	Oui

Question 5.2 :

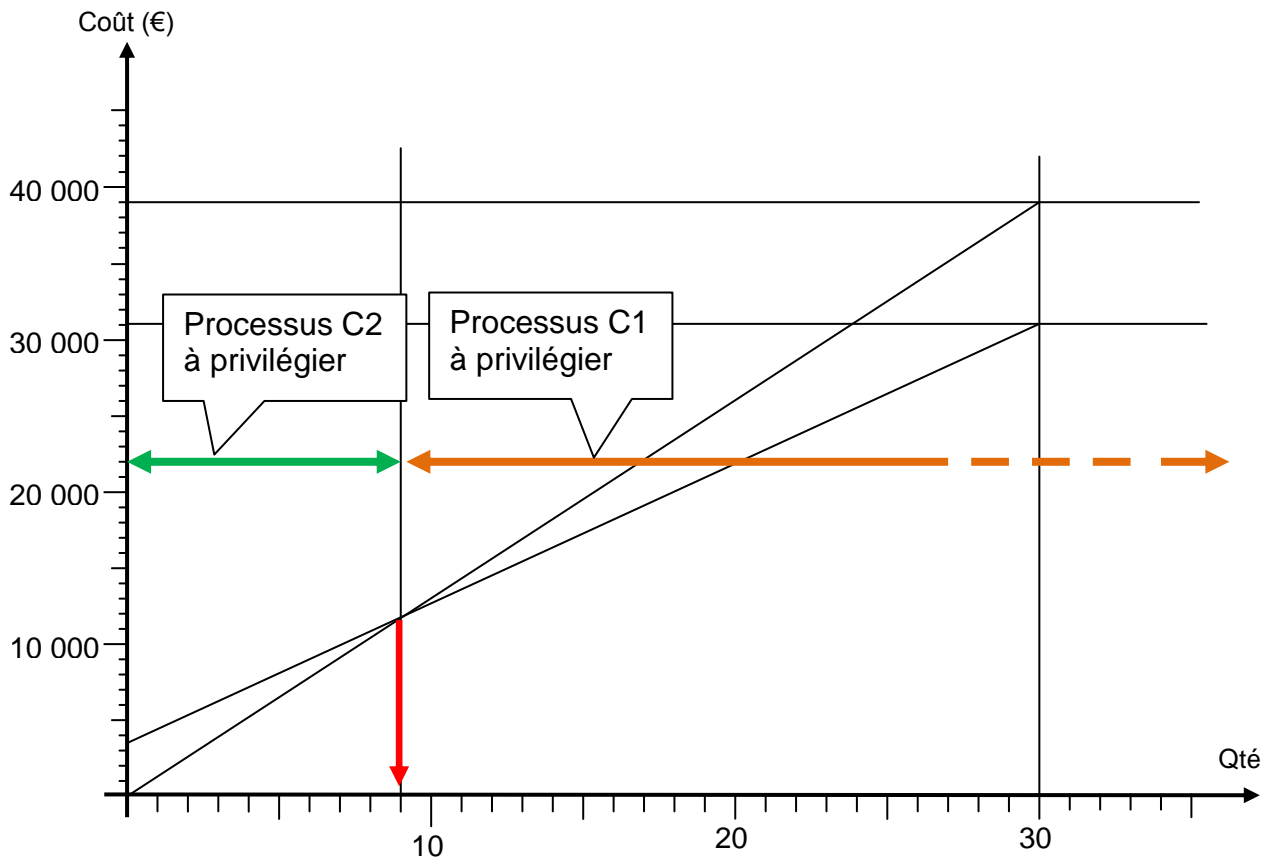
Le titane répond aux critères FT2 et FT9 :

- **Masse volumique la plus faible.**
- **Plage de température.**

Question 6.1 : (formules littérales et calculs intermédiaires exigés)

Processus C1 avec procédé de moulage	<p align="center">Coût de revient de n pièces</p> <p>$C_{P1}(n) = \text{coût outillage} + n \cdot [\text{moulage} + \text{usinage}]$</p> <p>$C_{P1}(n) = 3500 + n \cdot [780 + 140] \text{ €}$</p> <p>$C_{P1}(n) = 3500 + n \cdot [920] \text{ €}$</p>
Processus C2 avec procédé de soudage	<p align="center">Coût de revient de n pièces</p> <p>$C_{P2}(n) = n \cdot [\text{coût assemblage soudé} + \text{usinage}]$</p> <p>$C_{P2}(n) = n \cdot [1250 + 60]$</p> <p>$C_{P2}(n) = n \cdot 1310 \text{ €}$</p> <p align="center"><u>Pour info</u> : Rentabilité du moulage</p> <p>$3500 + n \cdot 920 = n \cdot 1310$ d'où $n = 3500 / (1310 - 920)$ $n = 8.97$ pièce soit à partir de $n = 9$ pièces</p>

Question 6.2 et 6.3 :




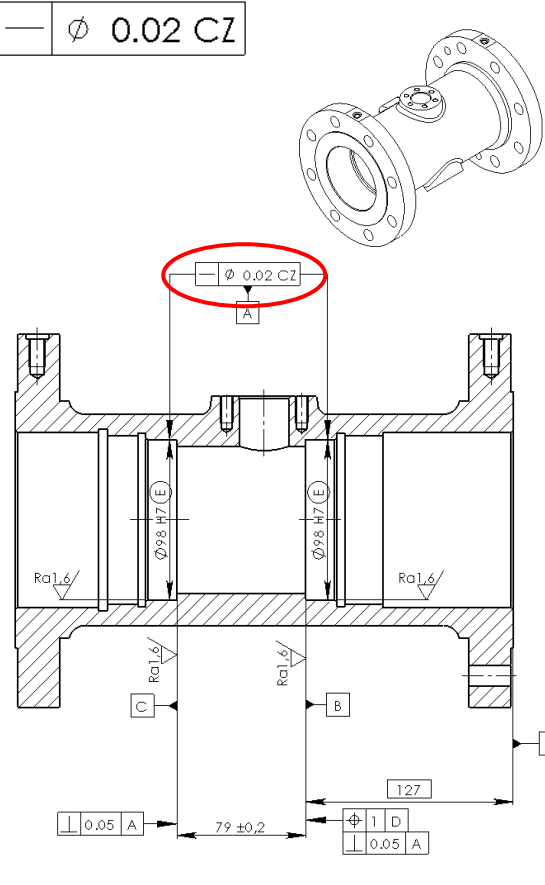
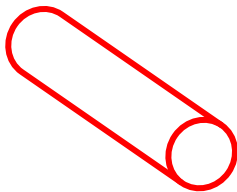
Question 6.4 :

Le processus C1 utilisant moulage est le plus rentable dès la neuvième pièce. Pour une série de 250 pièces il faut donc choisir ce procédé.


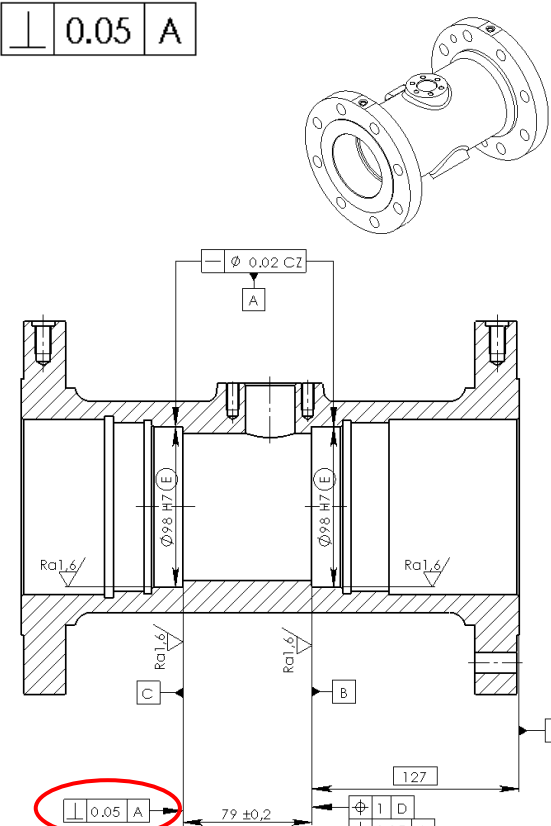
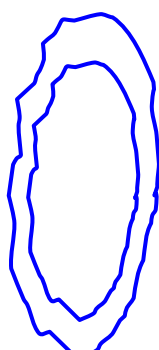
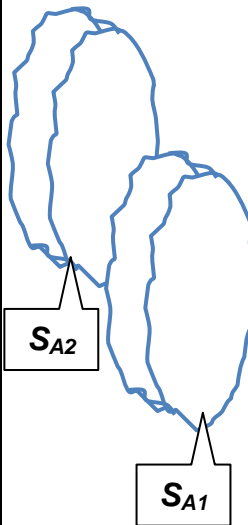
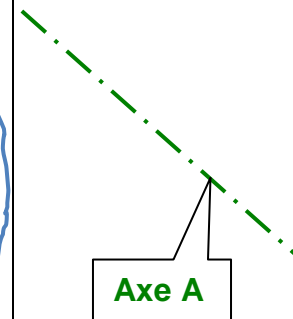
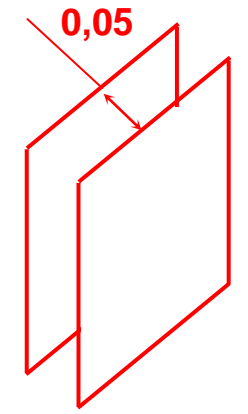
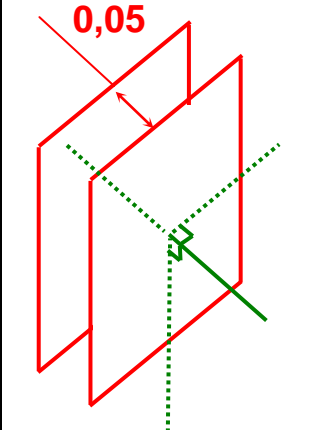
Question 6.5 :

Pour la demande de deux corps non standards, on ne peut pas utiliser le moule existant mais on peut répondre positivement grâce au processus C2 utilisant un assemblage mécano-soudé. Le coût unitaire d'un corps sera de 1310 € et le délai de fabrication sera de 3 semaines et 4 jours, soit environ quatre semaines.

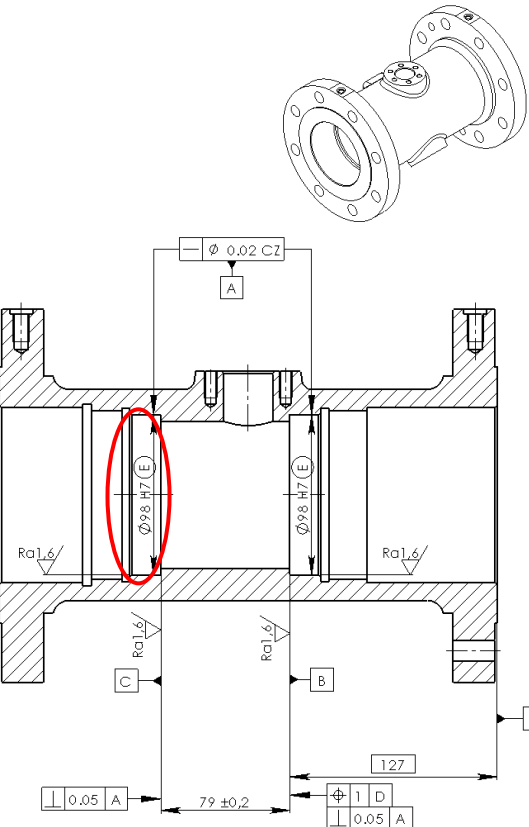
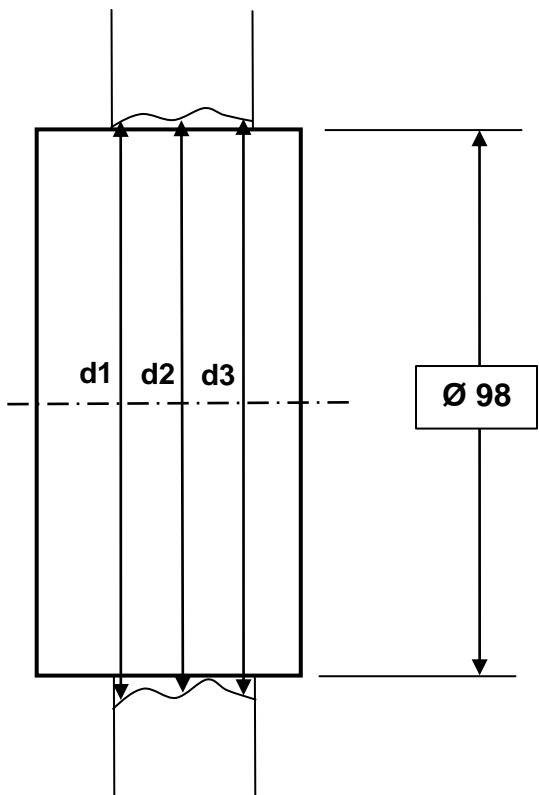
Document réponse DR8

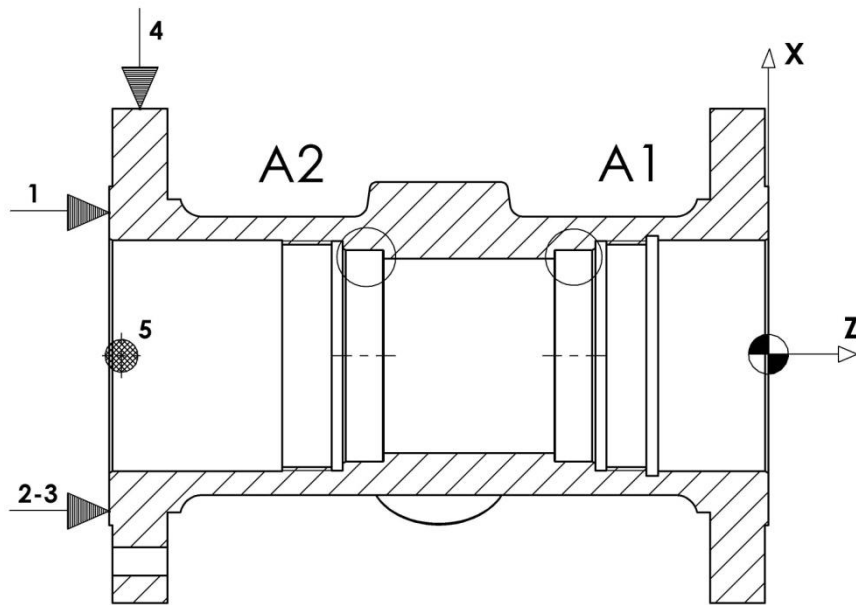
TOLERANCEMENT NORMALISE		Question 7.1 : Analyse d'une spécification par zone de tolérance			
Symbole de la spécification :  Désignation : Rectitude (en zone commune)	Eléments non Idéaux extraits de « Skin Modèle »		Eléments Idéaux		
	Type de spécification : <input type="checkbox"/> Forme <input type="checkbox"/> Orientation <input type="checkbox"/> Position <input type="checkbox"/> Battement	Elément(s) tolérance(s) unique <u>groupe</u>	Elément(s) de Référence unique multiples	Référence(s) Spécifiée(s) simple commune système	Zone de Tolérance <u>simple</u> composée Contraintes d'orientation et ou position par rapport à la Référence Spécifiée
Schéma extrait du dessin de définition 		<p>Deux lignes médianes extraites de deux surfaces nominalement cylindriques S_{A1} et S_{A2}.</p>			
		<p>Volume limité par un cylindre de diamètre 0,02</p> 			
		<p>Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance</p>			

Document réponse DR9

TOLERANCEMENT NORMALISE	Question 7.2 : Analyse d'une spécification par zone de tolérance				
Symbole de la spécification :  Désignation : <i>Perpendicularité</i>	<i>Eléments non Idéaux</i> extraits de « Skin Modèle »		<i>Eléments Idéaux</i>		
	Elément(s) tolérance(s) <i>unique</i> <i>groupe</i>	Elément(s) de Référence <i>unique</i> <i>multiples</i>	Référence(s) Spécifiée(s) <i>simple</i> <i>commune</i> <i>système</i>	Zone de Tolérance <i>simple</i> <i>composée</i>	<i>Contraintes</i> <i>d'orientation et ou position</i> <i>par rapport à la</i> <i>Référence Spécifiée</i>
Type de spécification : <input type="checkbox"/> Forme <input type="checkbox"/> Orientation <input type="checkbox"/> Position <input type="checkbox"/> Battement Schéma extrait du dessin de définition 	<i>Une surface</i> <i>nominalement</i> <i>plane.</i> 	<i>Deux surfaces</i> <i>nominalement</i> <i>cylindriques</i> <i>S_{A1} et S_{A2}.</i> 	<i>Axe A</i> du plus grand cylindre tangent aux deux surfaces <i>S_{A1}</i> et <i>S_{A2}</i> , coté libre de la matière et qui minimise le défaut de forme. 	<i>Volume</i> limité par 2 plans parallèles et distants de 0,05 	Les 2 plans de la zone de tolérance doivent être perpendiculaire à l'axe de référence A.  <div data-bbox="1507 1300 2134 1422"> Condition de conformité : <i>L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance</i> </div>

Document réponse DR10

TOLERANCEMENT NORMALISE	Question 7.3 : Analyse d'une spécification par dimension	
<p align="center">Ø 98 H7 (E)</p> <p>Désignation : <i>Spécification d'un alésage selon l'exigence de l'enveloppe</i></p> <p>Schéma extrait du dessin de définition</p>  <p align="right">+35 98 H7 : IT 0</p>	<p>Schéma :</p> <p align="center"><i>d1, d2, d3, ... dn : dimensions locales</i></p> 	<p>Condition de conformité : l'élément tolérancé sera conforme si :</p> <p align="center">Ø 98 H7 (E)</p> <p><i>Spécification d'un alésage selon l'exigence de l'enveloppe :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ⇒ <i>L'alésage doit pouvoir contenir un cylindre de diamètre au maximum de matière (Ø 98).</i> ⇒ <i>Toutes les dimensions locales doivent être comprises dans l'intervalle de tolérance.</i> <p align="center">$98 \leq d_i \leq 98,035$</p>

**Question 8.1 : alésage A1**

- ⇒ Porte plaquette S...-MWLNR/L -- Plaquette WN... $\epsilon_r=80^\circ$
- ⇒ Porte plaquette S...-PCLNR/L -- Plaquette CN... $\epsilon_r=80^\circ$
- Angle de direction d'arrête permettant de remonter la face à 90°
- Angle de pointe maxi → plaquette plus « robuste »
- La plaquette WN... est plus économique (6 arrêtes de coupe) qu'une plaquette CN... (4 arrêtes de coupe)

D'autre choix sont acceptables mais pas judicieux sur le plan technique et économique, S...-PSKNR/L et A...-PTFNR/L ne sont pas acceptable.

Question 8.3 : alésage A2

- ⇒ Porte plaquette A...-PDYNR/L -- Plaquette DN... $\epsilon_r=55^\circ$
- Angle de direction d'arrête permettant de remonter la face à 90°
- Angle de pointe maxi → plaquette plus « robuste »

Autre choix acceptable S...-MVYNR/L -- Plaquette VN... $\epsilon_r=35^\circ$ mais pas judicieux sur le plan technique.

Question 8.5 :

Sur le document DT10 → rayon de raccordement : 0.5 maxi

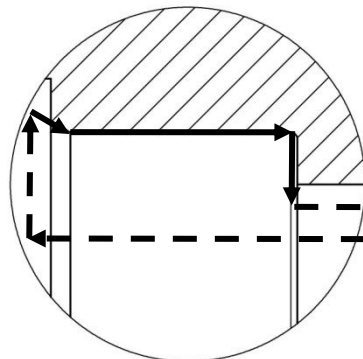
- ⇒ Rayon de pointe des 2 outils $R\epsilon \leq 0.5$
- ⇒ Choix $R\epsilon = 0.4$

Question 8.6 :

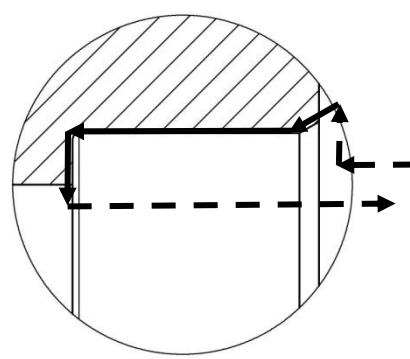
En usinant les 2 alésages A1 et A2 dans la même phase :

- ⇒ on s'affranchit des dispersions de mise en position
- ⇒ on garantit le respect des spécifications géométriques :
 - rectitude $\varnothing 0.02$ cz (alignement des 2 axes)
 - les 2 perpendicularités (des faces / A)

- ⇒ Les spécifications dimensionnelles $\varnothing 98$ H7 dépendent uniquement de la capacité procédé et/ou machine.

Question 8.4

DÉTAIL A2
ECHELLE 2 : 1

Question 8.2

DÉTAIL A1
ECHELLE 2 : 1

Remarque : les chanfreins peuvent éventuellement être réalisés en ébauche. Les sens des trajectoires sont les plus judicieux.

Questions 9.1, 9.2, 9.3

Questions 9.4

Caractéristiques nécessaires à l'utilisation du foret Ø29	Caractéristiques disponibles de la machine	Validé Non validé
$N = 1000 V_c / \pi \cdot D$ $N = 1000 \cdot 200 / \pi \cdot 29$ $N = 2195 \text{ tr/min}$	Broche « standard » : 8000 tr/min Broche « option » : 12000 tr/min	Validé Validé
$V_f = N \cdot f$ $V_f = 2195 \cdot 0,12$ $V_f = 263 \text{ mm/min}$	Avance travail maxi : 12,7 m/min	Validé
Effort d'avance : 2300 N	Axe Z : 20462 N	Validé
Puissance absorbée : 8 kW	Broche « standard » : 14,9 kW Broche « option » : 22,4 kW	Validé Validé
Liquide de coupe 28 L /min – 4,5 bars	Option 1	Non validé
	Option 2 ou 3	Validé

Question 9.5 :

Broche « standard » (14,9 kW – 8000 tr/min)

**Option arrosage au centre nécessaire
pour une utilisation optimum du foret à plaquettes
→ option 2 : pression 21 bars pour un débit de 35L/min**

Question 11.1 : (formules littérales et calculs intermédiaires exigés)

Coût matière : $C_{mat} = m \times P_{Ti}$ $C_{mat} = 4 \times 40$ $C_{mat} = 160 \text{ €}$

Coût fabrication : $C_{Fab} = \text{Temps unitaire} \times \text{Coût horaire}$

$C_{Fab} = (45.85/60) \times 70$ $C_{Fab} = 53.50 \text{ €}$

Coût de revient : $C_{Rev} = C_{mat} + C_{Fab}$

$C_{Rev} = 160 + 53.50$ $C_{Rev} = 213.50 \text{ € l'unité}$

Question 11.2 : (formules littérales et calculs intermédiaires exigés)

Volume du brut : $V = \pi \times R^2 \times L$ $V = 3.14 \times 45^2 \times 72$ $V = 458\,044 \text{ mm}^3$

Masse : $m = V \times \rho_{Ti}$ $m = 458\,044 \times 4.51 \times 10^{-6}$ $m = 2.066 \text{ kg}$

Coût matière : $C_{mat} = m \times P_{Ti}$ $C_{mat} = 2.066 \times 40$ $C_{mat} = 82.64 \text{ €}$

Coût fabrication : $C_{Fab} = \text{Temps unitaire} \times \text{Coût horaire}$

$C_{Fab} = (34.10/60) \times 70$ $C_{Fab} = 39.79 \text{ €}$

Coût supplémentaire (colle) : $C_{Colle} = 0.25 \text{ €}$

Coût outillage : $C_{Outillage} = 1250/250$ $C_{Outillage} = 5 \text{ € par pièce}$

Coût de revient : $C_{Rev} = C_{mat} + C_{Fab} + C_{Colle} + C_{Outillage}$

$C_{Rev} = 82.64 + 39.79 + 0.25 + 5$ $C_{Rev} = 127.68 \text{ € l'unité}$

Question 11.3 :

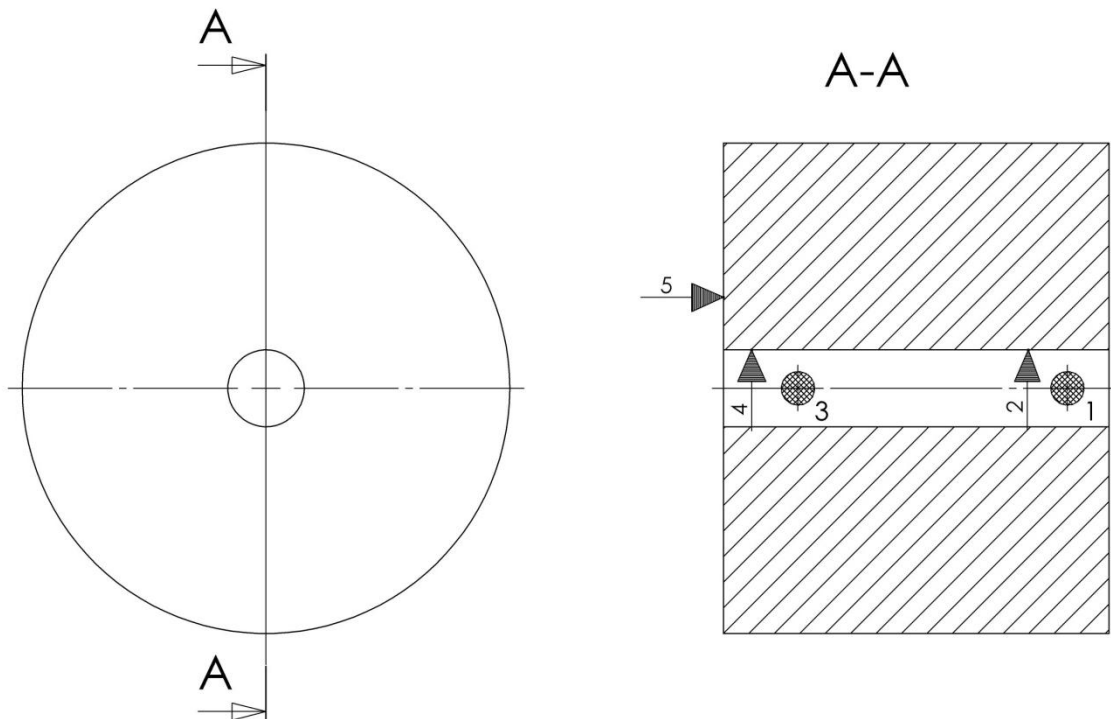
Le choix du processus prévisionnel H2 est judicieux pour plusieurs raisons :

- **Economie de matière :** 2 kg de titane au lieu de 4 kg
- **Gain de temps de fabrication :** 34 minutes au lieu de 46
- **Coût de la colle négligeable**

Sur le plan économique on passe de 213.5 € à 127.68€ soit $127.68/213.5 = 0.6$ donc un gain de 40%

L'économie de matière diminue l'impact écologique.

Question 12.1 :

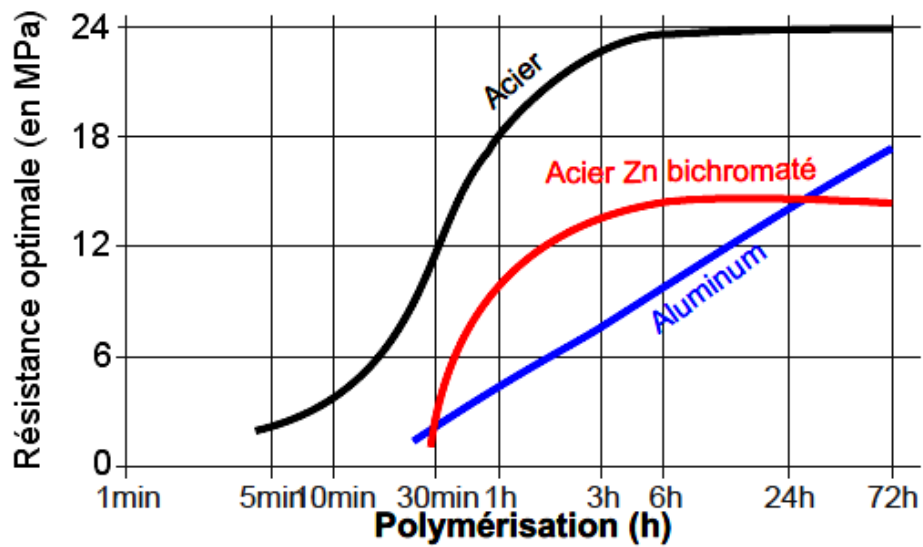


Question 12.2 :

La colle devra empêcher la pièce de tourner autour de l'axe du mandrin de reprise (axe x). Elle doit donc supprimer le degré de liberté « R_x ».

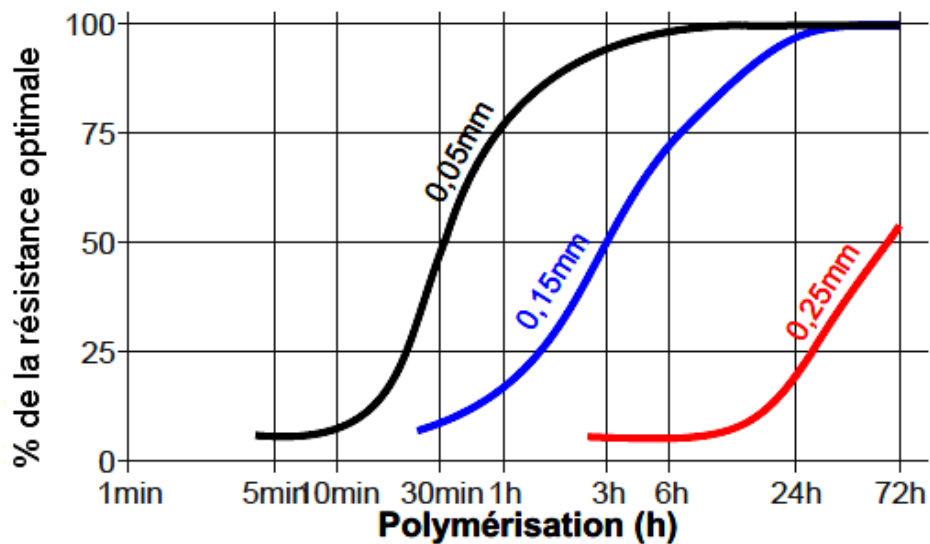
Complément éventuel : La colle permettra également de supprimer la translation selon x dans le sens positif. Mais on suppose que les efforts de coupe poussent la pièce en butée sur le mandrin de reprise. Ce deuxième aspect n'est donc pas primordial.

Question 12.3 :



$$R_g \text{ optimale} = 14 \text{ ou } 15 \text{ MPa}$$

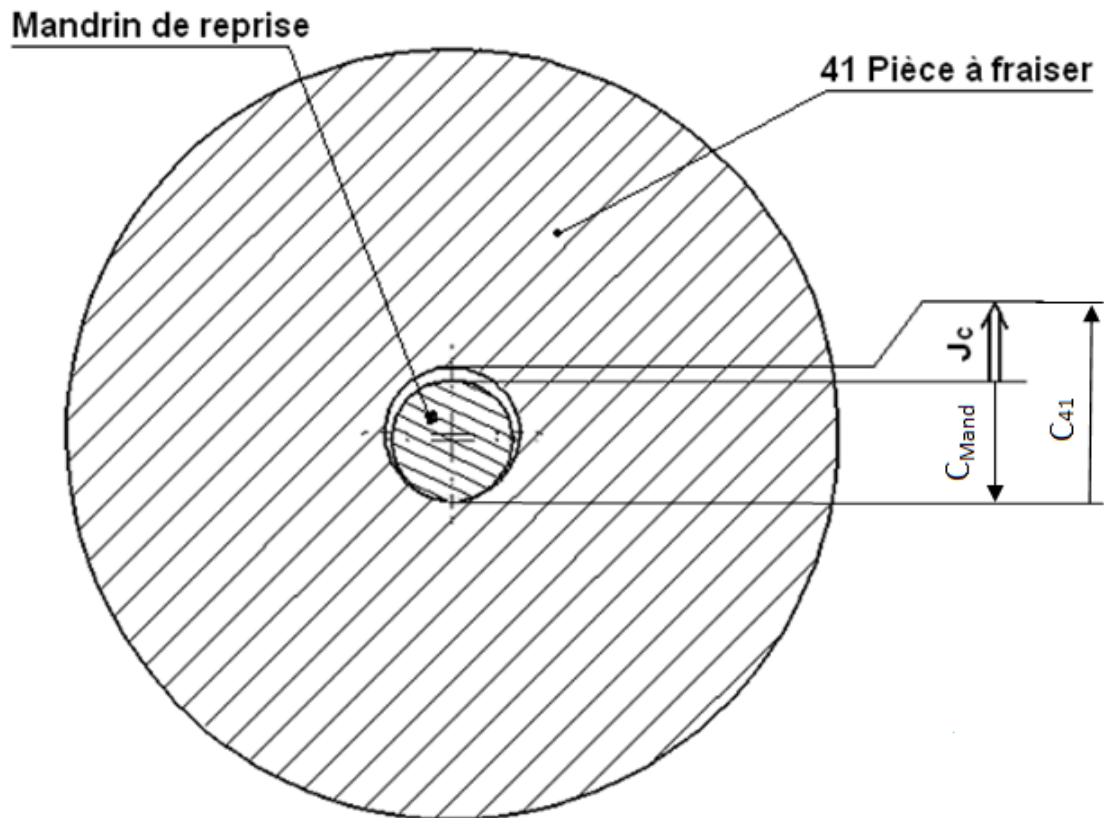
Question 12.4 :



$$R_g = 0.95 \times 14$$

$$R_g = 13.4 \text{ MPa}$$

Question 12.5 :

Chaine de cotes

(formules littérales et calculs intermédiaires exigés)

Calculs

$$Jc_{Maxi} = C_{41Maxi} - C_{Mand mini} \quad \text{d'où} \quad C_{Mand mini} = C_{41Maxi} - Jc_{Maxi}$$

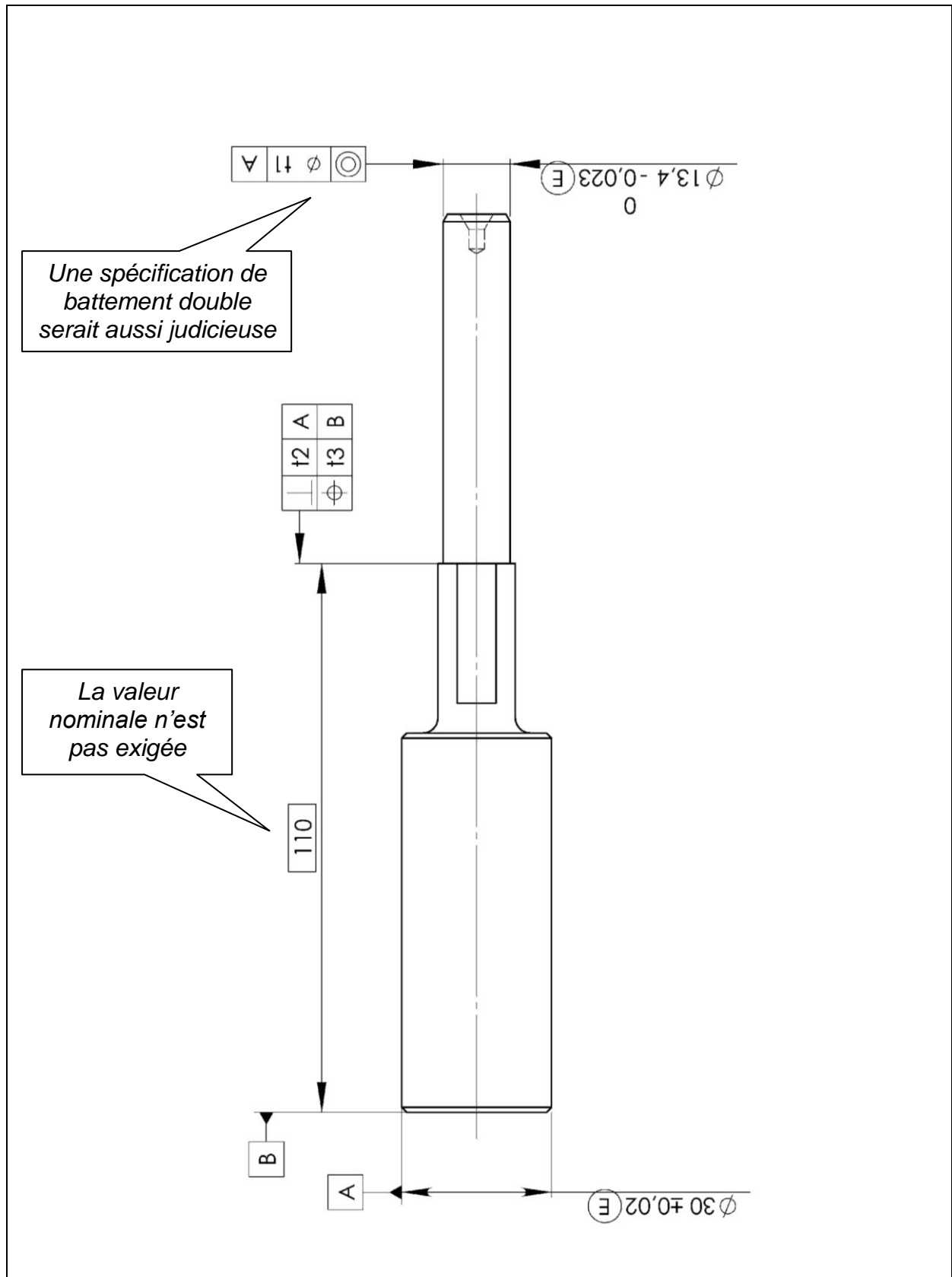
$$C_{Mand mini} = 13.527 - 0.150 \quad \text{soit} \quad C_{Mand mini} = 13.377$$

$$Jc_{mini} = C_{41mini} - C_{Mand Maxi} \quad \text{d'où} \quad C_{Mand Maxi} = C_{41mini} - Jc_{mini}$$

$$C_{Mand Maxi} = 13.500 - 0.100 \quad \text{soit} \quad C_{Mand Maxi} = 13.400$$

$$C_{Mand} = 13^{+0.4}_{+0.377} \quad \text{OU} \quad C_{Mand} = 13.4^{0}_{-0.023}$$

Question 12.6 :



Question 13.1 : (formules littérales et calculs intermédiaires exigés)

Equilibre des moments en O en projection sur x.

$$M_O(\overrightarrow{T(3 \rightarrow 2)}) + M_O(\overrightarrow{A_y(4 \rightarrow 2)}) = 0$$

$$\text{D'où } \|\overrightarrow{T(3 \rightarrow 2)}\| \times 6.75 - 61790 = 0$$

$$\text{Or } M_O(\overrightarrow{T(3 \rightarrow 2)}) = \|\overrightarrow{T(3 \rightarrow 2)}\| \times R_{OB}$$

$$\text{Et } \|\overrightarrow{T(3 \rightarrow 2)}\| = 61790/6.75$$

$$M_O(\overrightarrow{T(3 \rightarrow 2)}) = \|\overrightarrow{T(3 \rightarrow 2)}\| \times 6.75$$

$$\text{Soit } \|\overrightarrow{T(3 \rightarrow 2)}\| = 9154 \text{ N}$$

$$\text{Et } M_O(\overrightarrow{A_y(4 \rightarrow 2)}) = - \|\overrightarrow{A_y(4 \rightarrow 2)}\| \times R_{OA}$$

$$M_O(\overrightarrow{A_y(4 \rightarrow 2)}) = - 1670 \times 37$$

$$M_O(\overrightarrow{A_y(4 \rightarrow 2)}) = - 61790 \text{ N.m}$$

Question 13.2 : (formules littérales et calculs intermédiaires exigés)

$$S = \pi \times d \times h \quad S = 3.14 \times 13.5 \times 68 \quad S = 2884 \text{ mm}^2$$

Question 13.3 : (formules littérales et calculs intermédiaires exigés)

$$\text{On a } \tau = T / S \quad \text{soit } \tau = 9200/2900 \quad \tau = 3.17 \text{ MPa}$$

Question 13.4 : (formules littérales et calculs intermédiaires exigés)

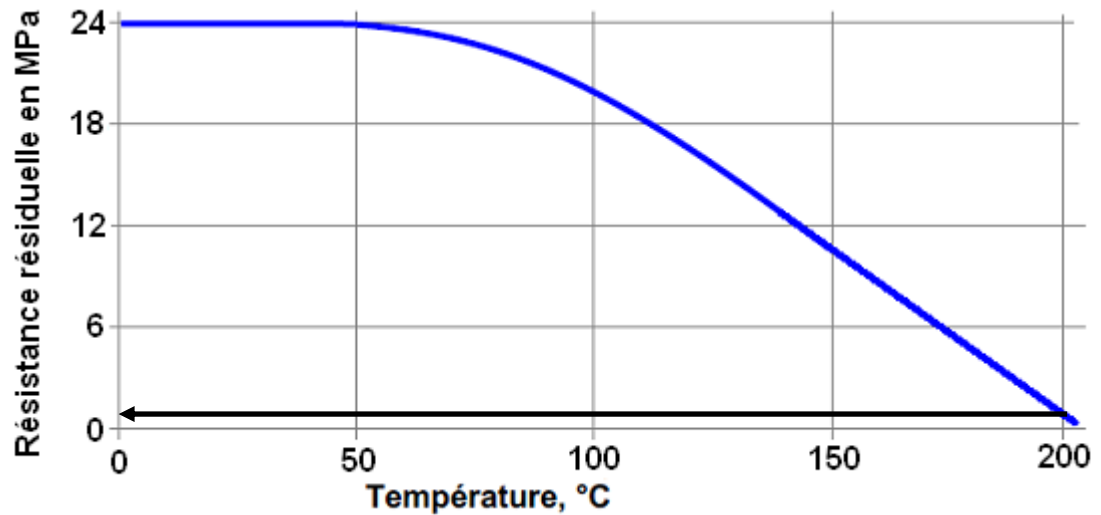
$$R_{pg} = R_g / s \quad R_{pg} = 13/4 \quad R_{pg} = 3.25 \text{ MPa}$$

Question 13.5 :

$$\text{On doit avoir } \tau < R_{pg}$$

$$\text{On a bien : } 3.17 < 3.25 \text{ MPa}$$

Question 13.6 :



$$\tau_{\text{résiduelle}} = 1 \text{ MPa}$$

Question 13.7 : (formules littérales et calculs intermédiaires exigés)

Pression de matage $p_{\text{mat}} = F/S$

$$p_{\text{mat}} = 3000/29$$

$$p_{\text{mat}} = 103.4 \text{ MPa}$$

Question 13.8 :

On doit vérifier $p_{\text{mat}} < \sigma_{\text{adm}}$

On a bien $103.4 < 120 \text{ MPa}$