

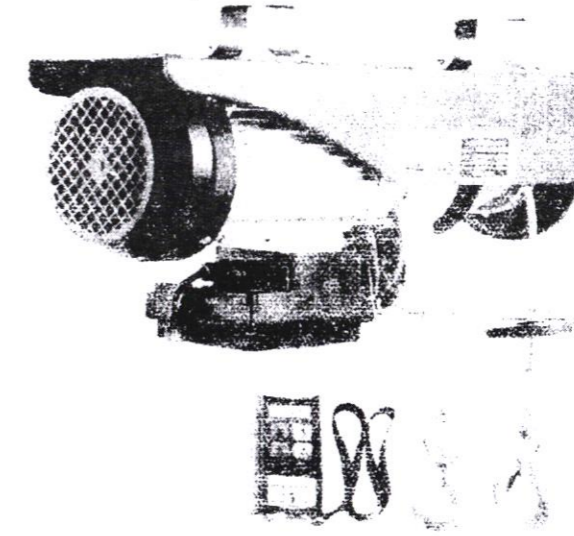
République Tunisienne  
Ministère de l'Enseignement  
Supérieur et de la Recherche  
Scientifique  
Concours Nationaux d'Entrée aux  
Cycles de Formation d'Ingénieurs  
Session 2024



الجمهورية التونسية  
وزارة التعليم العالي  
والبحوث العلمية  
المناظرات الوطنية للدخول إلى مراحل تكوين  
المهندسين  
دورة 2024

Concours de Technologie

Épreuve de Conception & Fabrication Mécanique



Date : Mardi 04 Juin 2024

Heure : 08H 00

Durée : 4 Heures

L'épreuve comporte deux parties :

- A- Conception mécanique
- B- Fabrication mécanique

Le sujet de l'épreuve remis au candidat comporte trois dossiers :

- 1- Mise en situation, Données et Hypothèses
- 2- Documents Techniques (DT-01 à DT-04)
- 3- Document Réponses

Recommandations aux candidats

- Aucun autre document n'est autorisé.
- Seules les calculatrices de poche **non programmables** sont autorisées.
- Il n'est fourni au candidat qu'une **seule et unique** copie du «Dossier document réponses » qui doit être rendu en totalité, à la fin de l'épreuve, même sans réponses.
- Le document réponses doit être rendu en intégralité (**aucune feuille ne doit être supprimée**).
- Toute suppression de feuilles du document réponses est considérée comme tentative de fraude.

## Dossier

### Mise en situation, Données et Hypothèses

Ce dossier comporte **9** pages, numérotées de **1 à 9**

et **4** documents techniques **DT-01 à DT-04**.

<b>◆ Mise en situation</b>	<b>Page 3/9</b>
<i>Documents Techniques</i>	<b>DT-01 à DT-04</b>
<b>◆ Données et hypothèses</b>	
<i>A- Conception Mécanique</i>	<b>Pages 4/9 à 7/9</b>
<i>B- Fabrication Mécanique</i>	<b>Pages 8/9 à 9/9</b>

**Tableau 9** : Valeurs indicatives des conditions de coupe en tournage

Désignation		Résistance (daN/mm <sup>2</sup> ) ou Dureté HB	Chariotage			
			Outil A.R.S.		Outil carbure	
			Vc <sub>90</sub> de coupe Avance f = a <sub>p</sub> /10		Vc <sub>45</sub> de coupe Avance f = a <sub>p</sub> /8	
Matières			a <sub>p</sub> : 3 à 5	a <sub>p</sub> : 0,5 à 1	a <sub>p</sub> : 3 à 5	a <sub>p</sub> : 0,5 à 1
Aciers à usinabilité améliorée	au Mn +S4	35-50	55-60	65-75	205-225	270-300
	au Mn +S6	60-80	40-45	55-65	155-175	180-200
Aciers au carbone	C ≤ 0,25 %	45-60	35-40	45-50	144-160	180-200
	C ≤ 0,45 %	60-75	28-31	37-41	127-130	155-175
	C ≤ 0,65 %	76-95	20-23	29-33	105-115	135-150
	C ≤ 0,295 %	95-115	18-21	25-28	105-115	130-140
Aciers alliés ≤ 5 %	au Cr + Mo	60-75	32-36	41-46	130-145	162-180
	au Cr + Mo	76-95	22-25	29-33	105-115	135-150
	au Ni + Cr	95-115	18-20	23-26	100-110	120-130
	au Cr	95-115	14-16	20-23	105-115	125-140
Fontes grises	Ferritique	120-150	43-48	54-60	160-180	215-240
	Ferrito-perliteque	190-220	23-26	35-40	100-110	120-135
	Perlitique	220-260	16-18	25-28	80-90	100-110
Fontes G.S	Ferritique	220-285	16-18	22-25	60-68	90-100
	Perlitique	140-180	45-50	54-60	180-200	225-250

A.R.S. : Acier Rapide Supérieur

#### Section B.IV- Etude de l'usinage sur machine à Commandes Numériques

Cette section concerne l'étude de l'usinage en finition directe de la **phase 30 de l'arbre (34)**

**DT-04** sur un tour à commande numérique à deux axes à tourelle arrière.

## Partie B : Fabrication Mécanique

Cette partie est composée de quatre sections désignées successivement par :

- Étude des matériaux,
- Elaboration d'avant-projet d'étude de fabrication,
- Etude de la coupe ,
- Etude de l'usinage sur machine à commande numérique.

### Section B.I- Étude des matériaux

L'objectif principal de cette section est de :

- Choisir le matériau convenable des pièces,
- Étudier le procédé d'élaboration des coussinets autolubrifiants,
- Étudier la mise en forme du brut du pignon arbré (45) DT-03.

### Section B.II- Elaboration d'avant-projet d'étude de fabrication

Dans cette section, on se propose d'étudier l'usinage de l'arbre (34) représenté par le document DT-04, et la figure 1 du brut d'estampage.

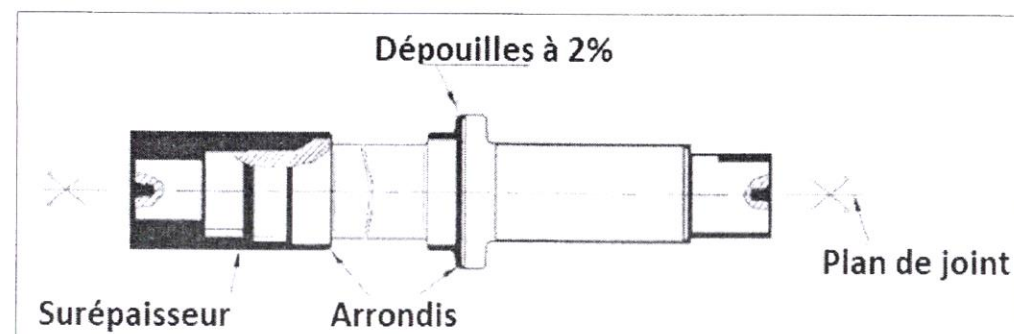


Figure 1 : Brut d'estampage de l'arbre (34)

### Section B.III- Etude de la coupe

Dans cette section on se propose d'étudier :

- La géométrie de l'outil de coupe en tournage,
- Les paramètres et les conditions de coupe,
- Le coût de fabrication.

## ÉTUDE D'UN PALAN ELECTRIQUE

### 1- Mise en Situation

#### ▪ Présentation

Le palan électrique à câble est un système de manutention permettant le levage et le transfert des charges diverses, nécessitant l'utilisation des méthodes de commande en vue d'effectuer des tâches à la fois complexes et rapides. Le palan électrique à câble a connu une grande importance d'utilisation dans les ateliers mécaniques et le domaine industriel. Il a pour fonction de lever et descendre des charges lourdes ; l'intérêt de son utilisation réside dans sa puissance, son efficacité et son faible coût.

Le palan électrique à câble peut transporter des charges importantes ne devant pas excéder un certain seuil ou une charge critique afin d'éviter des accidents et assurer une bonne sécurité pour les utilisateurs et pour le système aussi.

#### ▪ Principe de fonctionnement

Le palan électrique à câble (DT-01) est commandé par une boîte de commande reliée au treuil par un câble électrique.

L'alimentation du moteur électrique engendre la rotation de l'arbre moteur (12) qui transmet le mouvement et la puissance au tambour d'enroulement (32) par un train d'engrenages.

Ce système comporte :

- Un moteur électrique ;
- Un réducteur à engrenages ;
- Un frein à disques (4, 5, 6) ;
- Un limiteur de couple (19, 20, 21, 22) ;
- Un tambour d'enroulement du câble (32).

L'épreuve comporte deux parties :

#### A. Conception Mécanique dont l'objectif est de :

1. Étudier les solutions technologiques adoptées pour ce système ;
2. Déterminer des caractéristiques du moteur du palan électrique ;
3. Étudier le frein à disque (4, 5, 6) ;
4. Étudier le limiteur de couple (19, 20, 21, 22) ;
5. Étudier le guidage de l'arbre (39) ;
6. Modifier l'assemblage de la roue dentée (38) avec l'arbre (39) ;
7. Compléter le dessin d'un accouplement à plateau liant les arbres (12) et (12').

#### B. Fabrication Mécanique dont l'objectif est de :

1. Choisir des matériaux et étudier les procédés d'élaboration de l'arbre (45) ;
2. Élaborer un avant-projet d'étude de fabrication de l'arbre (34) ;
3. Étudier la coupe de l'arbre (34) ;
4. Étudier l'usinage de l'arbre (34) par une machine à commandes numériques.

2-Données et Hypothèses

Partie A : Conception Mécanique

Les données nécessaires pour répondre aux différents questions de la partie conception sont reportées dans les tableaux 1 à 8 :

Tableau 1 : données.

Moteur électrique	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puissance <math>P_{12}</math> : à calculer</li> <li>• Fréquence de rotation <math>N_{12}</math> : à calculer</li> </ul>						
Train d'engrenages	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Roues dentées de module <math>m=2</math>.</li> </ul>						
	<table border="1"> <tr> <td>Z47 =23 dents</td> <td>Z48 =46 dents</td> <td>Z45 =18 dents</td> </tr> <tr> <td>Z44 =51 dents</td> <td>Z38 =25 dents</td> <td>Z37 =100 dents</td> </tr> </table> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendement par étage : <math>\eta = 0.95</math></li> </ul>	Z47 =23 dents	Z48 =46 dents	Z45 =18 dents	Z44 =51 dents	Z38 =25 dents	Z37 =100 dents
Z47 =23 dents	Z48 =46 dents	Z45 =18 dents					
Z44 =51 dents	Z38 =25 dents	Z37 =100 dents					
Frein à disque (4, 5, 6)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rayon extérieur de la garniture (5) : <math>R_1=94</math> mm</li> <li>• Rayon intérieur de la garniture (5) : <math>r_1 = 58</math> mm</li> <li>• Coefficient de frottement moyen entre (4) et (5) est <math>f_1 = 0.3</math></li> <li>• Inertie du récepteur et de toutes les pièces tournantes remmenée sur l'arbre (12) : <math>I_r = 0.56</math> kgm<sup>2</sup>.</li> </ul>						
Limiteur de couple	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rayon extérieur de la garniture (22) : <math>R_2=82</math> mm</li> <li>• Rayon intérieur de la garniture (22) : <math>r_2 = 55</math> mm</li> <li>• Coefficient de frottement moyen entre (21) et (22) et entre (36) et (22) est <math>f_2 = 0.3</math>.</li> </ul>						
Tambour d'enroulement du câble	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Charge maximale à soulever : 600Kg</li> <li>• Vitesse de déplacement de la charge <math>V = 0.58</math> m/s</li> <li>• Diamètre d'enroulement du câble : <math>D_{32} = 170</math> mm</li> <li>• On prend pour la pesanteur <math>g= 10</math> m/s<sup>2</sup>.</li> </ul>						

Tableau 2 : Rondelles ressorts coniques dites << Belleville >>

$f_T = n_r * f_r$   
 $F_T = F_r$

$f_T = f_r$   
 $F_T = n_r * F_r$

Avec :  
 $f_r$  : flèche totale  
 $n_r$  : nombre des rondelles  
 $f_r$  : flèche par rondelle

$F_T$  : charge totale  
 $F_r$  : charge par rondelle

Tableau 6 : dimensions normalisées de la vis à tête hexagonale

d	a	b	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>
M1,6	3	3,52	1,5	0,9
M2	3,8	4,4	1,5	1,3
M2,5	4,5	5,5	2	1,5
M3	5,5	5,5	2,5	2
M4	7	8,4	3	2,5
M5	8,5	9,3	4	3
M6	10	11,3	5	4
M8	13	15,8	6	5
M10	16	18,3	8	6

Tête cylindrique à six pans creux NF EN ISO 4762

d	Longueurs l et longueurs filetées x																			
	Longueurs l																			
1,6																				
2																				
2,5																				
3																				
4																				
5																				
6																				
8																				
10																				
12																				

Tableau 7 : dimensions normalisées des rondelles frein

Série	Réduite		Usuelle	
	symbole WZ	NF E 25-516	symbole W	NF E 25-515
d	b	e	b	e
3	5,2	0,6	5,2	1
4	7,3	1	7,3	1,5
5	8,3	1	8,3	1,5
6	10,4	1,2	10,4	2
8	13,4	1,5	13,4	2,5
10	16,5	1,8	16,5	3
12	20	2	20	3,5

Avec becs

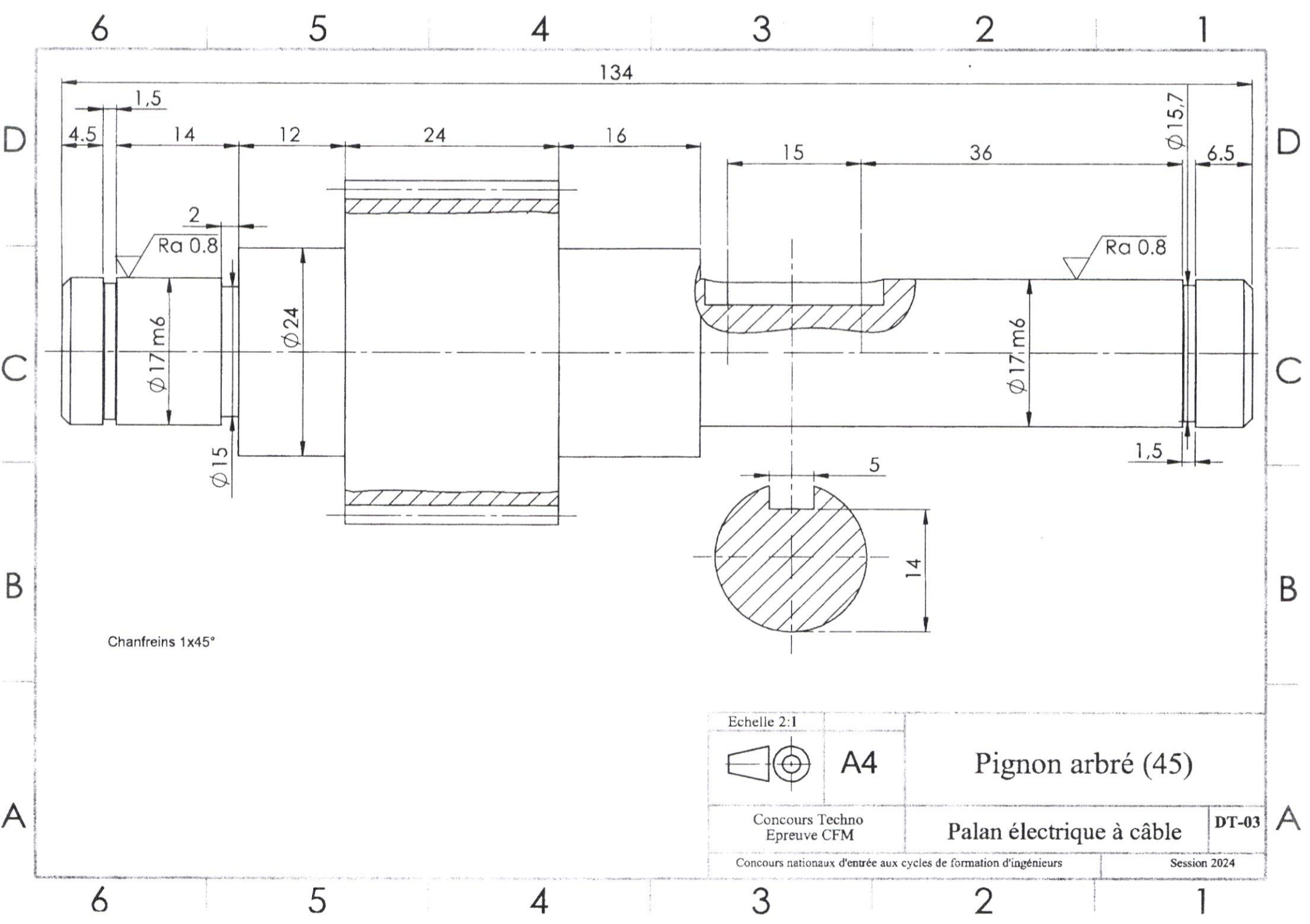
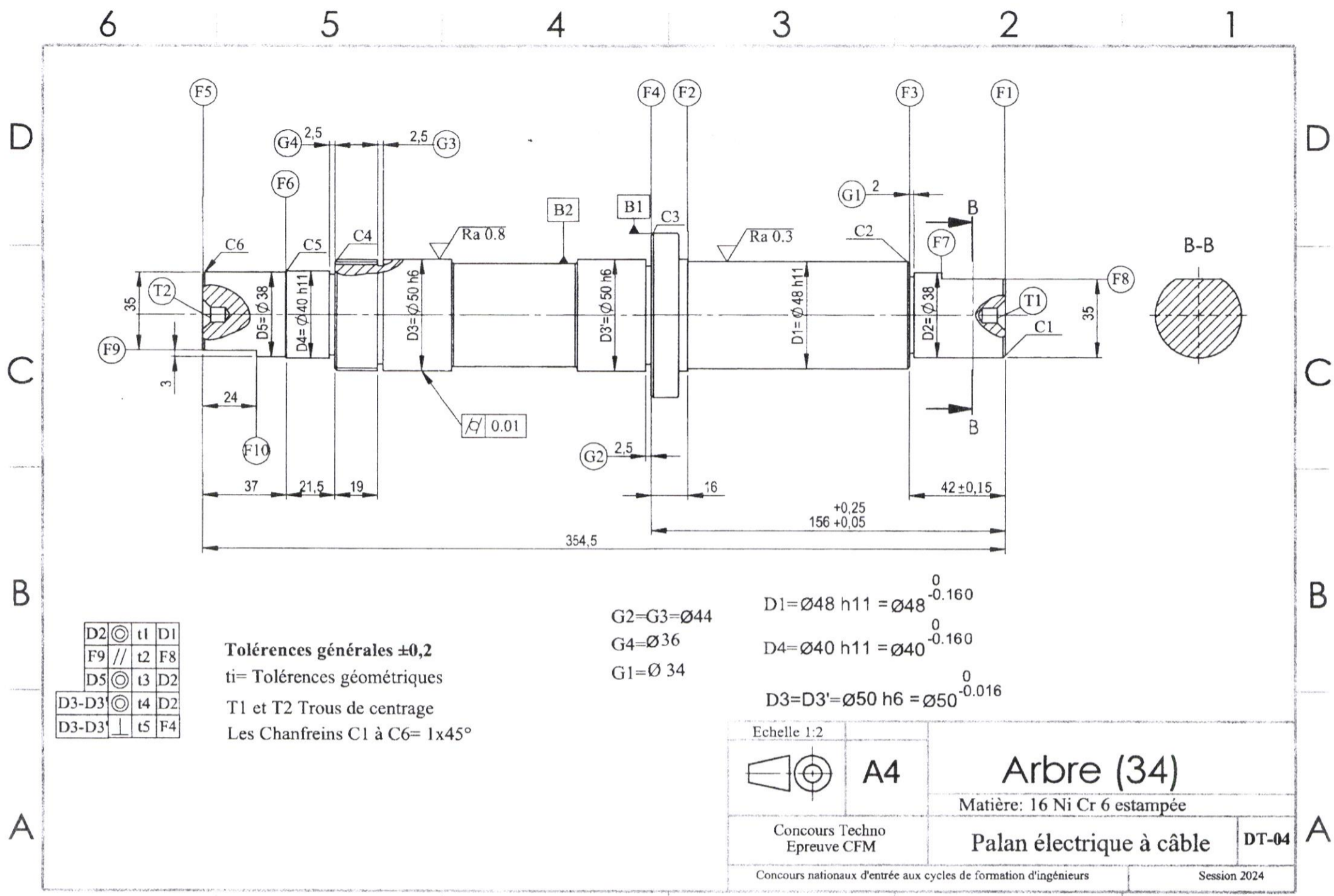
Sans bec

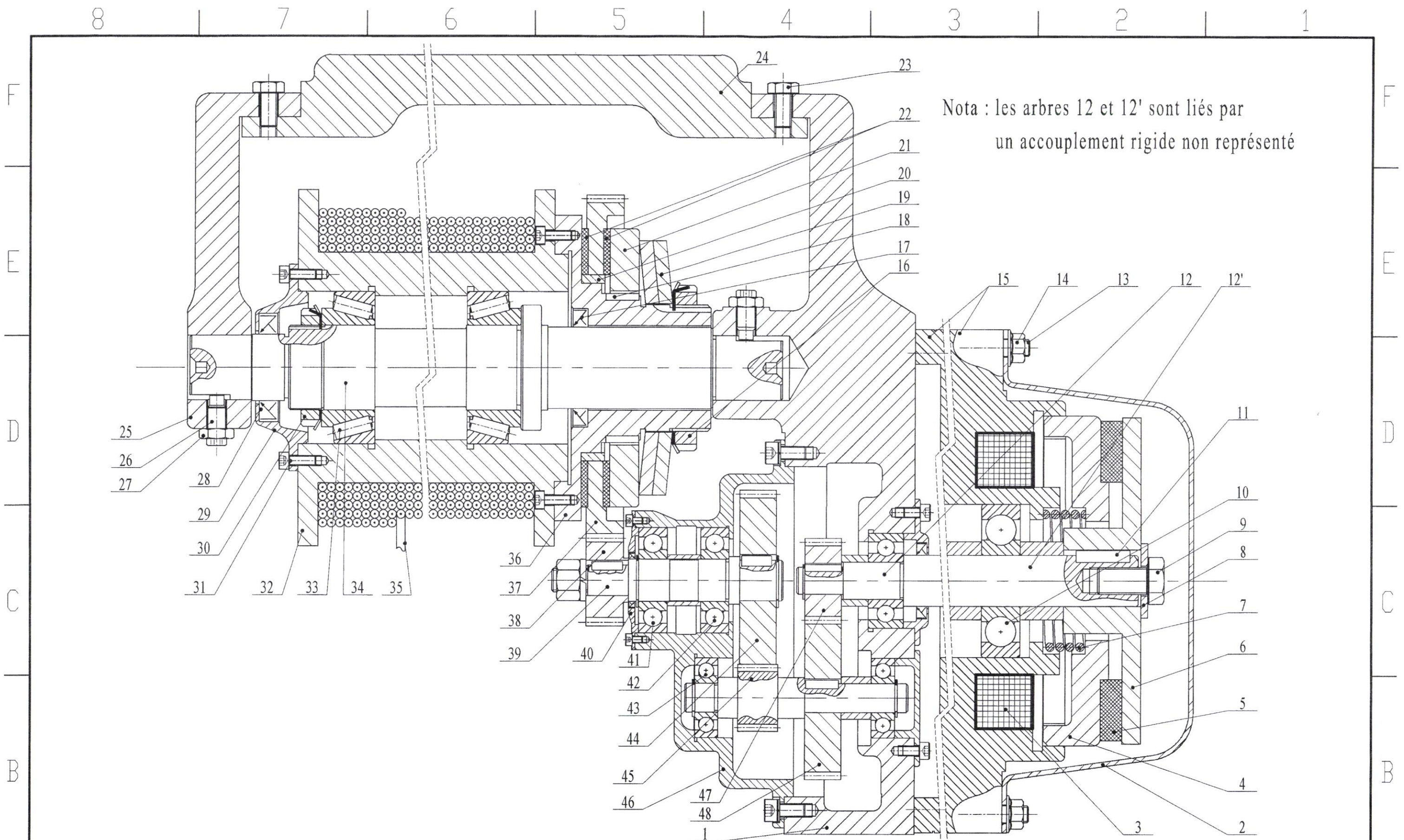
Tableau 8 : dimensions normalisées des écrous H

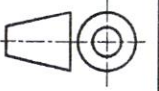
d	a	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	e	f	g	i	j	k	R	u
M1,6	3,2	1,3	1	-	-	-	-	-	-	-	-
M6	10	5,2	3,2	5	10	14,2	8	17	11	14	4
M8	13	6,8	4	6,5	13	17,9	11	23	24,5	14	5
M10	16	8,4	5	8	16,5	21,8	13	28	18,5	22	5
M12	18	10,8	6	10	19,5	26	15	35	20	22	6

b<sub>1</sub> max. Écrou usuel  
 b<sub>2</sub> max. Écrou bas

48	1	Roue dentée : $Z_{48} = 46$ dents		Dents trempées
47	1	Pignon : $Z_{47} = 23$ dents		Dents trempées
46	1	Demi-carter		
45	1	Pignon arbré : $Z_{45} = 18$ dents		Dents trempées
44	1	Roue dentée : $Z_{44} = 51$ dents		Dents trempées
43	2	Roulement à une rangée de billes à contact radial		
42	1	Roulement à une rangée de billes à contact radial		
41	1	Roulement à une rangée de billes à contact radial		
40	1	Couvercle	EN-GJL-150	
39	1	Arbre de transmission		
38	1	Pignon : $Z_{38} = 25$ dents		Dents trempées
37	1	Roue dentée : $Z_{37} = 100$ dents (porte garnitures)		Dents trempées
36	1	Moyeu		
35	1	Câble de suspension		
34	1	Arbre (fixe)		
33	2	Roulement à rouleaux coniques		
32	1	Tambour d'enroulement		
31	12	Vis à tête cylindrique à six pans creux ISO 4062	25 Cr Mo 4	
30	1	Ecrou à encoches type KM - M50		
29	1	Couvercle	EN-GJL-150	
28	1	Joint à lèvres		
27	1	Ecrou H		NF NE ISO 4032
26	2	Vis sans tête à six pans creux, à téton long		NF NE ISO 898
25	1	Palier support		
24	1	Support de fixation		
23	8	Vis à tête hexagonale ISO 4017	25 Cr Mo 4	
22	2	Garniture		
21	1	Plateau		
20	1	Coussinet		
19	2	Rondelles belleville (rondelle ressorts coniques)	EN-GJL-150	
18	2	Clavette	C 35	NF E 22 - 177
17	1	Joint à lèvres, type AS, 50 x 68 x 8		
16	1	Ecrou à encoches type KM - M60		
15	1	Corps moteur		ISO 2982
14	4	Ecrou hexagonal ISO 4032 - M12 - 08		
13	4	Goujon M12 x 140 - bm 30 classe 8.8		NF E 25 - 135
12	1	Arbre moteur		
11	1	Clavette	C 35	NF E 22 - 177
10	2	Roulement à une rangée de billes à contact radial		
9	1	Vis à tête hexagonale ISO 4017 - M16 x 30	25 Cr Mo 4	
8	1	Rondelle plate ISO - 10673 type N- 30		NF NE ISO 10673
7	1	ressort		
6	1	Plateau frein (monté fixe sur l'arbre moteur 12)		
5	1	Garniture frein	Ferodo	
4	1	Disque frein mobile (en translation)		
3	1	Electro aimant (bobine)		
2	1	Capot de protection		
1	1	Bâti	EN-GJL-150	
Rep.	Nbre	Désignation	Matière	Obs.
Palan électrique à câble				DT-02
Nomenclature				





Echelle 1:2		<h1>Palan électrique à câble</h1>	
	A3		
Concours Techno Epreuve CFM		<b>DT-01</b>	
Concours nationaux d'entrée aux cycles de formation d'ingénieurs			Session 2024

**Partie A : Conception Mécanique**

**◆ Section A.I- Étude technologique**

A.1. Compléter le **Tableau ci-dessous**, en précisant le rôle de chacune des pièces dans le mécanisme.

Pièces	Rôle
(16)	Réglage du couple d'adhérence (ou de l'effort presseur)
(19)	Créer l'effort presseur de limiteur de couple
(20)	Guider en rotation de (37) par rapport à (36) en cas de surcharge
(27)	Bloquer (ou freiner) la vis (26)

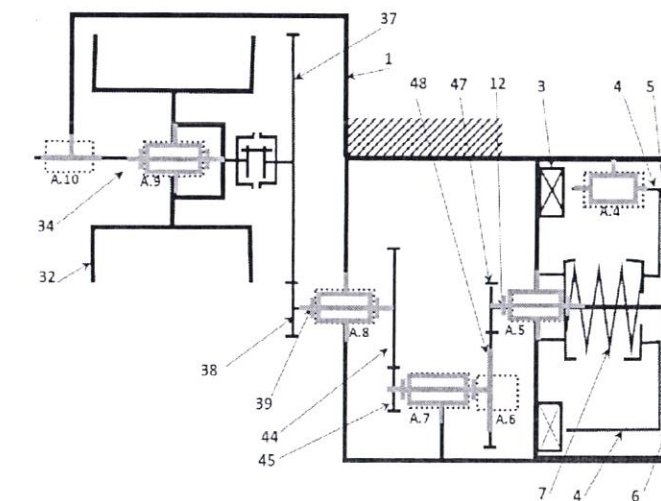
A.2. Donner le nom et le rôle des formes usinées sur les extrémités de l'arbre (34).

Méplat, servent comme surfaces d'appuis pour les vis de pression afin d'arrêter en rotation par rapport au bâti.

A.3. Compléter le **Tableau ci-dessous**, en précisant les **ajustements** entre les pièces suivantes :

Pièces	Ajustement		Ajustement
6/12'	$\phi$ H7/h6	32/33	$\phi$ N7
4/15	$\phi$ H7/g6	33/34	$\phi$ g6
29/32	$\phi$ N7/e6		

A.4-A10. Compléter les cases en pointillé du **Schéma cinématique ci-dessous** par des liaisons normalisées.



**DOSSIER**  
**DOCUMENT REPOSES**

- ✓ Ce dossier comporte 17 pages numérotées de 1 à 17.
- ✓ Un seul dossier document réponse est fourni au candidat et doit être rendu en totalité, même sans réponses, à la fin de l'épreuve.
- ✓ Le renouvellement de ce dossier est interdit

♦ Section A.II- Détermination des caractéristiques du moteur électrique

A.11. Calculer la vitesse de rotation du tambour  $\omega_{32}$ .

..... $v = R\omega \Rightarrow \omega = v/R = 0.58 * 2 / 0.170 = \dots 6.82 \text{ rad/s}$

$\omega_{32} = 6.82. \text{ rad/s}$

A.12. En déduire la fréquence de rotation  $N_{32}$ .

..... $\omega_{32} = (\text{Pi} * N_{32}) / 30 \Rightarrow N = 65.12 \text{ trs/mn}$

$N_{32} = 65.12. \text{ tr/mn}$

A.13. Calculer le rapport de transmission  $r = \frac{N_{32}}{N_{12}}$ .

..... $r = \frac{N_{32}}{N_{12}} = \frac{Z_{47}}{Z_{48}} \times \frac{Z_{45}}{Z_{44}} \times \frac{Z_{38}}{Z_{37}} = \frac{23}{46} \times \frac{18}{51} \times \frac{25}{100} = 0.044$

$r = \dots 0.044$

A.14. En déduire la fréquence de rotation  $N_{12}$ .

$N_{12} = N_{32} / r = 65.12 / 0.044 = 1480 \text{ trs/mn}$

$N_{12} = 1480. \text{ tr/mn}$

A.15. Calculer la puissance  $P_{32}$  développée au niveau du tambour (32) pour déplacer verticalement la charge  $M = 600 \text{ kg}$ .

$P_{32} = P_{\text{max}} * V = M * g * V = 600 * 10 * 0.58 = 3480 \text{ watt}$

$P_{32} = 3480 \text{ Watt}$

A.16. Calculer la puissance minimale  $P_{12}$  au niveau de l'arbre moteur (12).

..... $P_{32} / P_{12} = \eta_{\text{global}} \Rightarrow P_{12} = (P_{32} / (\eta_{\text{global}})) = (3480 / 0.857) = 4060.6 \text{ watt} \dots \dots \dots$

...avec  $\eta_{\text{global}} = \eta^3 = (0.95)^3 = 0.857 \dots \dots \dots$

$P_{12} = \dots 4060.6. \text{ watt}$

♦ Section A.III- Etude du frein à disque

A.17. Dans l'hypothèse d'une répartition uniforme de pression. Calculer le couple de freinage  $C_f$  développé par le ressort de compression (7). On suppose que la résultante axiale exercée par le ressort (7) est  $N_7 = 2500 \text{ N}$ .

$C_f = \frac{2}{3} Fr * n * f * \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \dots \dots C_f = \frac{2}{3} * 2500 * 1 * 0.3 * \frac{94^3 - 58^3}{94^2 - 58^2} 10^{-3} \dots = \dots 58.06 \text{ Nm}$

$C_f = \dots 58.06. \text{ Nm}$

A.18. Donner l'expression du couple de freinage  $C_f$  en fonction  $I_r$  et  $\frac{d\omega_f}{dt}$ .

$-C_f = I_r \frac{d\omega_f}{dt} = I_r \frac{\omega_{\text{finale}} - \omega_{\text{initiale}}}{t_f - t_0}$

A.19. Calculer le temps de freinage  $t_f$  en supposant que le mouvement de freinage est uniformément décéléré.

$-C_f = I_r \frac{0 - \omega_f}{t_f} \Rightarrow t_f = I_r \frac{\omega_f}{C_f} \dots \dots t_f = 0.56 \frac{154.98}{58.06} = 1.49 \text{ s}$

$t_f = \dots \dots 1.49 \dots \text{ s}$

♦ Section A.IV- Etude du limiteur du couple

A.20. Calculer le couple utile  $C_{32}$  au niveau du tambour (32) pour soulever la charge maximale.

Méthode 1 :  $C_{32} = M * g * D / 2 = 600 * 10 * .170 / 2 = 510 \text{ Nm}$

Méthode 2 :  $C_{32} = P_{32} / \omega_{32} = 3480 / 6.82 = 510 \text{ Nm}$

$C_{32} = \dots \dots 510 \dots \dots \text{ Nm}$

A.21. Calculer la force axiale  $F_a$ , créée par les rondelles (19) au niveau du limiteur du couple. Utiliser le tableau 2 dans le document Données et Hypothèses.

.....On a  $C_{32} = \frac{2}{3} Fa * n * f * \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2}$  ce qui donne :  $Fa = \frac{3}{2} \frac{C_{32}}{n * f} * \frac{R^2 - r^2}{R^3 - r^3}$

.N. : Donc  $Fa = \left(\frac{3}{2}\right) \left(\frac{510}{2 * 0.3}\right) * \frac{82^2 - 55^2}{82^3 - 55^3} * 10^3 = 12250 \text{ N} \dots \dots$

$Fa = \dots \dots 12250 \dots \text{ N}$

A.22. Calculer la charge par rondelle  $Fr$ .

$Fr = Fa / 2 = 12250 / 2 = 6125 \text{ N}$

$Fr = \dots 6125 \dots \text{ N}$

A.23. On suppose que la raideur de la rondelle Belleville est  $K = 12250 \text{ N/mm}$ . Calculer la flèche par rondelle  $f$ .

$f = Fr / K = 6125 / 12250 = 0.5 \text{ mm} \dots \dots \dots$

$f = \dots \dots 0.5. \text{ mm}$

A.24. Calculer la flèche totale  $f_T$  des rondelles.

$f_T = f = 0.5 \text{ mm}$

$f_T = 0.5 \text{ mm}$

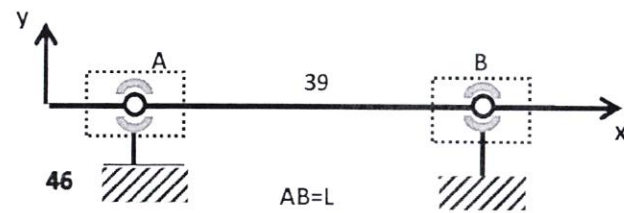
A.25. Calculer alors le nombre de tours  $n_{16}$  que doit effectuer l'écrou à encoche (16) : M75\*2.

$n_{16} = f_T / \text{pas} = 0.5 / 2 = 0.25 \text{ tour}$

$n_{16} = \dots\dots 0.25 \dots\dots \text{ tours}$

◆ Section A.V- Etude du guidage de l'arbre (39)

A.26. Compléter le schéma cinématique ci-dessous par les liaisons simples entre (39) et (46).



A.27. Ecrire, au point A, les torseurs des actions mécaniques des deux liaisons  $L_A$  et  $L_B$ .

$$\{\tau_{L_A}\}_A = \begin{Bmatrix} \dots X_A \dots & \dots 0 \dots \\ \dots Y_A \dots & \dots 0 \dots \\ \dots Z_A \dots & \dots 0 \dots \end{Bmatrix}_A \quad \{\tau_{L_B}\}_A = \begin{Bmatrix} \dots X_B \dots & \dots 0 \dots \\ \dots Y_B \dots & \dots -LZ_B \dots \\ \dots Z_B \dots & \dots LY_B \dots \end{Bmatrix}_A$$

A.28. Ecrire le torseur des actions mécaniques transmissibles par la liaison équivalente entre (39) et (46).

$$\{\tau_{L_{eq}}\}_A = \begin{Bmatrix} X_{eq} = X_A + X_B & L_{eq} = 0 \\ Y_{eq} = Y_A + Y_B & M_{eq} = -LZ_B \\ Z_{eq} = Z_A + Z_B & N_{eq} = LY_B \end{Bmatrix}_A$$

A.29. En déduire la nature de la liaison équivalente entre (39) et (46).

Pivot d'axe x

A.30. Enduire le degré d'hyperstatisme  $h$  de cette liaison.

$h = \dots\dots 1 \dots\dots$

A.31. Si  $h$  est non nul, Préciser le ou les inconnues d'hyperstatiques de cette liaison.

$X_A$  ou  $X_B$

◆ Section A.VI- Modification de l'assemblage de la roue dentée (38) avec l'arbre (39)

L'objectif de cette étude consiste à remplacer la liaison actuelle de la roue dentée (38) avec l'arbre (39) par un assemblage par frettage. La norme ISO préconise de prendre un alésage normal de qualité 7 et un arbre de qualité 6 lors de l'ajustement d'un emmanchement fretté pour ce type d'assemblage. Utiliser le tableau 3 dans le document Données et Hypothèses.

A.32. On suppose que le couple au niveau du tambour (32) est égal à 600Nm et en l'absence du glissement au niveau du limiteur de couple, déterminer le couple transmissible  $C_{38}$  exercé sur la roue (38).

On a  $\eta = \frac{P_{37}}{P_{38}} = \frac{C_{37} \omega_{37}}{C_{38} \omega_{38}} = \frac{C_{37} Z_{38}}{C_{38} Z_{37}}$  Ce qui donne  $\Rightarrow C_{38} = \frac{C_{37} Z_{38}}{\eta Z_{37}} = \frac{600 \cdot 25}{0.95 \cdot 100} = 157.89 \text{ Nm} \dots\dots$

$C_{38} = \dots\dots 157.89 \dots\dots \text{ Nm}$

A.33. Déterminer la pression minimale  $P_{min}$  entre la roue dentée (38) avec l'arbre (39) permettant la transmission du couple  $C_{38}$ .

On a  $P_{min} = \frac{2C_{38}}{\pi d^2 l f} \Rightarrow P_{min} = \frac{2 \cdot 157.89 \cdot 1000}{\pi \cdot 18^2 \cdot 25 \cdot 0.2} = 62 \text{ MPa}$

$P_{min} = \dots\dots 62 \dots\dots \text{ MPa}$

A.34. Déterminer le serrage théorique (Ser) nécessaire entre la roue dentée (38) et l'arbre (39).

On a  $Ser = P_{min} \frac{d}{E} \left( \frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2} + 1 \right) \Rightarrow Ser = 62 \frac{18}{210000} \left( \frac{43^2 + 18^2}{43^2 - 18^2} + 1 \right) = 0.0128 \text{ mm}$

$Ser = \dots\dots 12.8 \dots\dots \mu\text{m}$

A.35. Déterminer la valeur du serrage minimal  $Ser_{mini}$  nécessaire entre la roue dentée (38) et l'arbre (39).

$Ser_{mini} = Ser + 2(R_a^{arbre} + R_a^{alésage}) = 12.8 + 2(0.8 + 0.8) = 14.4 \mu\text{m}$

$Ser_{mini} = 14.4 \mu\text{m}$

A.36. Déterminer la valeur du serrage maximal  $Ser_{max}$ .

On a  $Ser_{max} = Ser_{mini} + IT_{arbre} + IT_{alésage}$

$Ser_{max} = 14.4 + 11 + 18 = 43.3 \mu\text{m}$

$Ser_{max} = \dots\dots 43.3 \dots\dots \mu\text{m}$

A.37. Compléter le tableau ci-dessous en indiquant les écarts supérieurs

Qualité et ajustement pour $10 < d \leq 18$				
IT7 = 18 $\mu\text{m}$	IT6 = 11 $\mu\text{m}$	H7 . $\begin{smallmatrix} +18 \\ +0 \end{smallmatrix}$	r6 . $\begin{smallmatrix} +34 \\ +23 \end{smallmatrix}$	u6 . $\begin{smallmatrix} +44 \\ +33 \end{smallmatrix}$

A.38. Pour chacun des deux ajustements, compléter les classes de qualité et calculer le serrage minimal.

Ajustement 1 : $\phi 18\ H7r6$ $Ser_{\min} = \dots 5 \dots \mu m$	Ajustement 2 : $\phi 18\ H7u6$ . $Ser_{\min} = \dots 15 \dots \mu m$
--	---

A.39. Calculer le serrage maximal pour chacun des deux ajustements proposés

Ajustement 1 : $Ser_{\max} = \dots 34 \dots \mu m$	Ajustement 2 : $Ser_{\max} = \dots 44 \dots \mu m$
---	---

A.40. Choisir alors l'ajustement qui convient pour l'assemblage par frettage entre la roue dentée (38) et l'arbre (39).

..... Ajustement :  $\dots \phi 18\ H7u6 \dots$

A.41. Déterminer la pression maximale  $P_{\max}$  entre la roue dentée (38) et l'arbre (39).

On a  $\frac{P_{\max}}{Ser_{\max}} = \frac{P_{\min}}{Ser_{\min}}$  donc :  $P_{\max} = Ser_{\max} \frac{P_{\min}}{Ser_{\min}}$

AN.  $P_{\max} = 44 \frac{62}{15} = \dots 181.86\ MPa$

$P_{\max} = \dots 181.86 \dots MPa$

A.42. Déterminer la force maximale  $F_{\max}$ , en tonne, exercée par une presse pour réaliser cet assemblage.

On a  $F_{\max} = \pi l d f P_{\max}$

AN.  $F_{\max} = \pi \times 25 \times 18 \times 0.2 \times 181.86 = 51419\ N = 5.14\ tonnes$

$F_{\max} = \dots 5.14\ tonnes$

♦ Section A.VII- Étude graphique

Étude de conception :

On donne le dessin incomplet d'un accouplement rigide à plateaux qui lie les arbres (12) et (12').

On demande de :

A.43. Compléter la liaison entre l'arbre d'entrée (12') et le plateau (49) par une clavette parallèle de longueur 32 mm.

A.44. Compléter la liaison entre l'arbre d'entrée (12) et le plateau (50) par une clavette parallèle de longueur 32 mm.

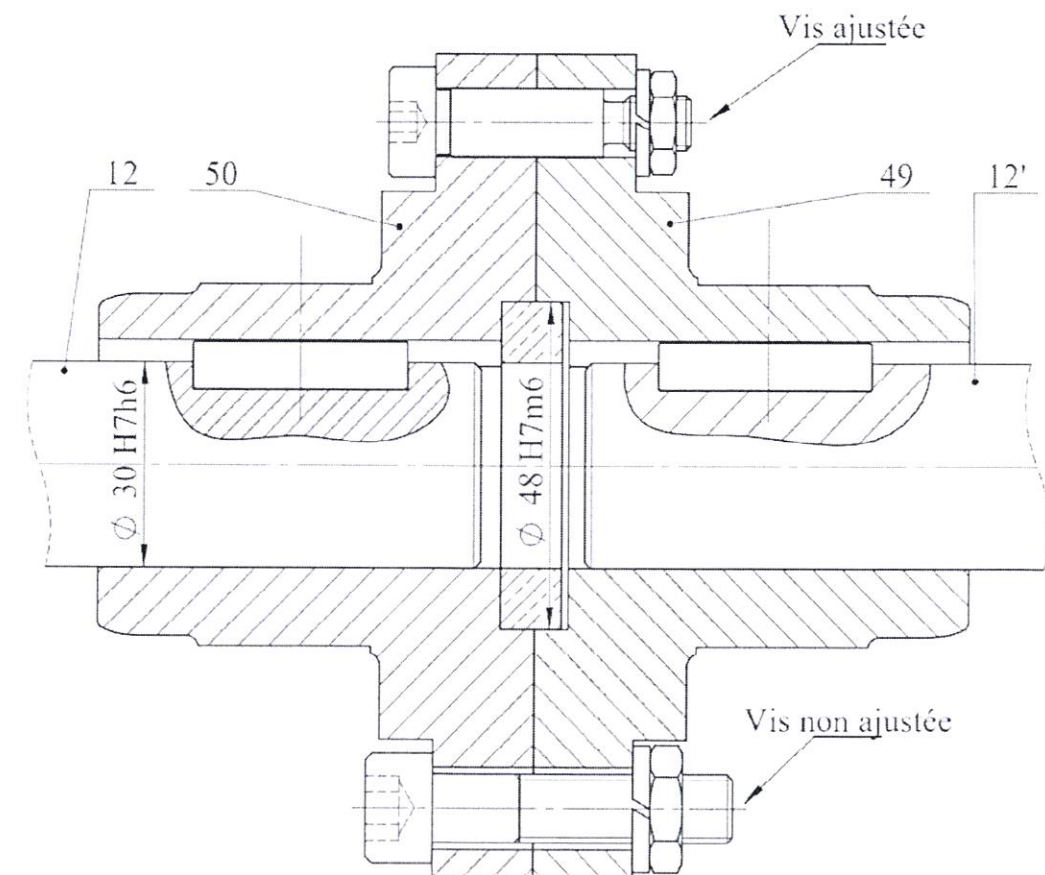
A.45. Compléter la vis ajustée de diamètre  $De9 = 10\ mm$  entre les plateaux (49) et (50).

A.46. Compléter la vis non ajustée entre les plateaux (49) et (50) dont sa désignation est : Vis à tête cylindrique à six pans creux ISO 4762 - M10x45.

A.47. Prévoir un centrage entre les plateaux (49) et (50) par une bague cylindrique 30x48x9.

A.48. Indiquer, sur le dessin, les ajustements nécessaires pour les solutions proposées.

Remarque : Utiliser les tableaux 4 à 8 dans le document Données et Hypothèses



Partie B : Fabrication Mécanique

◆ Section B.I Etude des matériaux

B.1-B.2. Choix des matériaux :

En se référant au dessin d'ensemble (DT 01), choisissez le matériau convenable pour chacune des pièces proposées dans le tableau B1 en cochant la bonne réponse par (X) dans la case correspondante en justifiant votre choix.

Tableau B1			
		B.1	B.2
Pièces	Matériaux	Choix	Justification
Bâti (1)	EN-GJL-150	X	- Bonne moulabilité
	X6 Cr Ni Ti 18-10	.....	
	42 Cr Mo 4	.....	- Bonne usinabilité
	55 Si 7	.....	
Coussinet (20)	CW 453 K (Cu Sn 8)	X	- Bonne propriété de glissement → minimise le coefficient de frottement - Bonne résistance à l'usure - Subir l'usure
	EN-GJL-150	.....	
	100 Cr 6	.....	
	EN-GJMB.300-6	.....	
Arbre fixe (34)	E 295	.....	- Bonne résistance aux chocs et à la déformation
	16 Ni Cr 6	X	
	EN-GJL-150	.....	
	EN AW-1050	.....	
Roulement (42)	EN-GJL-150	.....	- Acier extra dur ; grande résistance à la déformation et à l'usure sous charge alternée élevée.
	S 185	.....	
	100 Cr 6	X	
	E 295	.....	

B.3-B.14. Procédé d'élaboration :

Le constructeur propose de remplacer les roulements (43) assurant le guidage en rotation de l'arbre (45) par rapport au bâti (1 et 46) par des coussinets autolubrifiants.

B.3. Citer un avantage et un inconvénient de cette proposition.

- **av** : Encombrement minimale ; Faible poids ; Pas d'entretien ; Silencieux ; moins cher ; Pas de grippage
- **in** : Faible vitesse de rotation ; Taux de friction élevé entre les surfaces ; durée de vie minime par rapport aux roulements

B.4. Quel est le procédé de fabrication de ce type de coussinets ?

.....Frittage.....

B.5. Compléter les phases 2 et 3 du procédé de fabrication de ce type de coussinets.

- Phase 1 : mélange,
- Phase 2 : Compactage.....
- Phase 3 : Frittage ; chauffage.....

B.6. Etude d'élaboration du brut du pignon arbré (45) document DT 03.

Le brut du pignon arbré (45) est obtenu par forgeage mécanique libre, le matériau de cette pièce est le C40.

- Expliquez la désignation normalisée de ce matériau.

.....Acier non allié à 0.4% de Carbone .....

- Donnez la propriété métallurgique de ce matériau.

Bonne malléabilité à chaud ; bonne aptitude au déformation à chaud.

B.7. Complétez les opérations qui permettent d'obtenir ce brut puis donner une explication.

- Opération : Refoulement ; Explication : Augmentation de la section et diminution de la longueur
- Opération : Etirage ; Explication : Diminution de la section et Augmentation de la longueur
- Opération : Etampage ; Explication : Calibration de la section

B.8. Dans le cas d'un travail sériel, donnez le mode d'obtention de la pièce (45).

.....Estampage ; Forgeage en matrice.....

B.9. Quel est le traitement thermique que doit subir la pièce (45) après forgeage. Justifier votre choix.

- Traitement thermique : Traitement de recuit.....
- Justification : Supprimer les tensions interne ; Abaisser la dureté ; Faciliter l'usinage

B.10. Le pignon arbré (45) est fabriqué en acier C40, à l'exception de sa résistance à l'usure, ses propriétés mécaniques sont satisfaisantes.

- Quel est le traitement thermique approprié pour améliorer cette situation ?

.....Trempe superficielle.....

- Justification : % de Carbone > 0.3 % ; Riche en Carbone ; Matériau trempable

B.11. Comment pouvez-vous vérifier expérimentalement si le traitement a été réussi.

.....Par l'essai de dureté HV ou HRC.....

B.12. Suite à la vérification expérimentale envisagée, on a constaté que le traitement thermique n'a pas donné satisfaction. Donnez deux raisons possibles de cette insatisfaction :

- Raisons 1 : Chauffage inférieur à la température de transformation
- Raisons 2 : Temps de maintien n'est pas respecté ; refroidissent lente

B.13. Expliquer pourquoi la finition des surfaces fonctionnelles du pignon arbré (45) est réalisée après le traitement thermique approprié.

Car le traitement thermique superficiel engendre des déformations à la surface et une oxydation

B.14. Comment peut on annuler l'effet de ce traitement thermique ?

.....Recuit.....

◆ Section B.II- Elaboration d'avant-projet d'étude de fabrication

B.15 -B19 : On se propose d'étudier dans cette partie l'usinage en finition de toutes les surfaces de la phase 30 de l'arbre (34), en se référant au dessin de définition (DT-04) et en partant du brut d'estampage figure 1, page 8/9 document : Mise en situation, Données et Hypothèses).

- ✓ On dispose d'un tour parallèle équipé de butées et muni d'un mandrin 3 mors dur.
- ✓ On donne l'avant-projet d'étude de fabrication de l'arbre (34) (voir tableau B-2).

Phases	Désignation	Opération des surfaces
10	Contrôle de brut	B1. B2
20	Centrage et dressage	(F1,T1) ;(F5,T2)
30	Tournage	(D1,F2) ; (D2,F3) ;C1,C2 et G1
40	Tournage	(D3,D3'), F4, D4, (D5,F6); (C3,C4,C5,C6), (G2,G3,G4) et M50
50	Fraisage	(F7,F8)
60	Fraisage	(F9,F10) ;R
70	Rectification	D3 <sub>f</sub> et D3' <sub>f</sub>
80	Contrôle final	

On demande de compléter la phase 30 de la gamme d'étude de fabrication (Tableau B3) en précisant :

- B.15 : La mise en position (iso-statisme).
- B.16 : L'installez des côtes de fabrications sur le croquis donné.
- B.17 : le calcul de la ou des côtes de fabrication manquantes.
- B.18 : Les opérations d'usinage dans l'ordre de réalisation.
- B.19 : Les outils de coupe et les instruments de mesure.

Nb : Les chanfreins ne sont pas considérés comme des formes fonctionnelles.

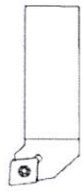
Tableau B-3			
GAMME D'ETUDE DE FABRICATION			
Ensemble : Treuil électrique à câble		Elément : arbre (34)	Matériau : 16NiCr 6
	Désignations	Machine, Outillages et instrument de mesure	Croquis
10	Contrôle du brut	Pieds à coulisse	Longueur et diamètre
20	Dressage (F1, F5) et Centrage (T1, T2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Machine à dresser et à centrer</li> <li>✓ Outils à dresser</li> <li>✓ Forets à centrer</li> <li>✓ Pieds à coulisse</li> </ul>	
30	<p><b>Tournage</b></p> <p>B.15 : Référentiel de mise en position défini par : Centrage court (1, 2) Poupée mobile (3, 4) Appui ponctuel (5)</p> <p>B.18 : Opérations : a) Charioter D2 : <math>2Cf = \phi 38^{+0.2}</math> b) Dresser F3 <math>cf2 = 114^{+0.2}_{+0.1}</math> c) Charioter D1 <math>2cf6 = \phi 48h11</math> d) : Dresser F2 <math>Cf = 16^{+0.2}</math> e) Chanfreiner C1 = <math>1x45^\circ</math> f) Chanfreiner C2 <math>1x45^\circ</math> g) Gorgier radialement G1 <math>cf3 = 2^{\pm 0.2}</math> <math>2cf5 = \phi 34^{\pm 0.2}</math> <math>cf2 = 114^{+0.2}_{+0.1}</math></p>	<p>B.19 Tour parallèle</p> <p>Outil à charioter et à dresser</p> <p>Outil à Seigner</p> <p>Micromètre ; Palmer</p> <p>Jauge de profondeur au 1/100</p>	<p>B.16</p> <p>B.17 : Côtes de fabrication</p> <p><math>R = 42^{+0.15}_{-0.15}</math>      <math>A = 156^{+0.25}_{+0.05}</math></p> <p>ITR = ITA + IT Cf2  <math>0,3 = 0,2 + IT Cf2 \Rightarrow IT Cf2 = 0,3 - 0,2 = 0,1</math>                      Transfert Possible                      Equation au nominal.  <math>R = A - Cf2 \Rightarrow Cf2 = R - A = 156 - 42 = 114</math>  <math>R_{maxi} = A_{maxi} - Cf2_{mini} \Rightarrow</math>  <math>Cf2_{mini} = A_{maxi} - R_{maxi}</math>  <math>Cf2_{mini} = 156,25 - 42,15 = 114,1</math>  <math>R_{mini} = A_{mini} - Cf2_{maxi} \Rightarrow</math>  <math>Cf2_{maxi} = A_{mini} - R_{mini}</math>  <math>Cf2_{maxi} = 156,05 - 41,85 = 114,2</math>  <math>Cf2 = 114^{+0.2}_{+0.1}</math></p>

◆ Section B.III- Etude de la coupe

B.20-B23: Géométrie de l'outil de coupe.

B.20. Le sens de l'outil est défini par la position de l'arête de coupe. En considérant l'outil tenu en main verticalement et le bec en bas.

Indiquez dans les cases correspondantes le sens de chaque outil.



Outil à gauche



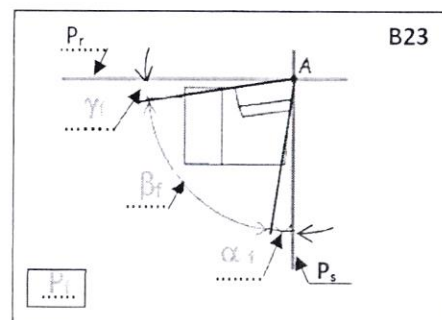
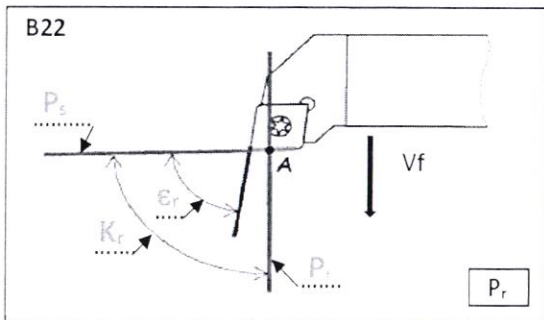
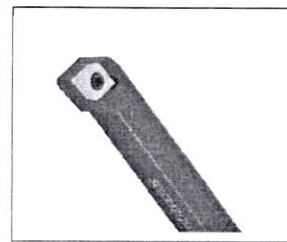
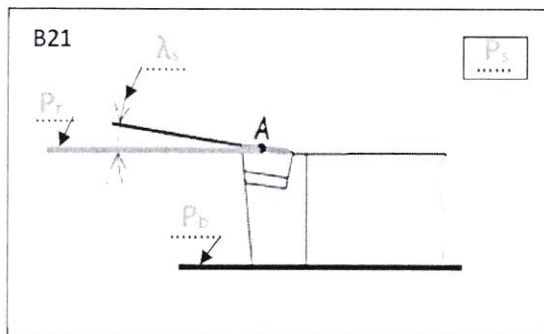
Outil à droite



Outil neutre

B.21-B23. Complétez, sur les schémas ci-dessous, les informations manquantes de la patrie active d'un outil à charioter et à dresser en carbure :

- Les plans de l'outil en main (Pr « plan de référence », Ps « Plan d'arrêt », Pf « Plan de travail » et Pb « Plan de base »).
- Les angles d'arrête de l'outil ( $K_r$ ,  $\epsilon_r$ ) et l'angle d'inclinaison d'arrêt ( $\lambda_s$ )
- Les angles de face de l'outil ( $\alpha_f$ ,  $\gamma_f$  et  $\beta_f$ ).



B.24-B.34. Paramètres et conditions de coupe.

Dans cette partie, on s'intéresse uniquement à la finition en tournage de la surface de diamètre D1 et de longueur nominale 98 mm de l'arbre (34) (DT-04) en acier 16 Ni Cr 6 à l'aide d'un outil à charioter et à dresser en carbure métallique. Sachant que la profondeur de passe  $a_p = 0,8 \text{ mm}$ .

N.B : - Pour les calculs on se limitera à 2 chiffres après la virgule.

- L'indication des unités pour chaque paramètre est obligatoire.

B.24. En utilisant le Tableau 9 (documents données et hypothèses, pag 9/9), choisissez la vitesse de coupe  $V_c$  (choisir la valeur minimale) et l'avance par tour  $f$ , pour le chariotage de la surface de diamètre D1 en finition, avec un outil à plaquette rapportée en carbure.

$$V_c = 120 \text{ m/min}$$

$$f = a/8 = 0,8/8 = 0,1 \text{ mm/tr}$$

B.25. Pour la finition de la surface de diamètre D1, on décide d'augmenter la vitesse de coupe ( $V_c$ ) à 145 m/min en conservant la même vitesse d'avance ( $f$ ) dans le but d'améliorer l'état de surface. Calculez le temps de coupe  $t_{c1}$ .

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D1} = \frac{1000 \times 145}{\pi \times 45} = 1025,66 \text{ tr/min}$$

$$V_f = f \cdot N = 0,1 \times 1025,66 = 102,56 \text{ mm/min}$$

$$t_{c1} = \frac{L}{V_f} = \frac{98}{102,56} = 0,95 \text{ mn}$$

$$t_{c1} = 0,95 \text{ min}$$

B.26-B.28. On appliquant la loi de Taylor simplifiée pour l'usure de l'outil ( $V_c \cdot T^n = C$ ). On souhaite déterminer le nombre ( $n_p$ ) de plaquettes en carbure à 2 arrêtes nécessaires pour usiner une série de 900 opérations de chariotage du diamètre D1. On donne l'indice de Taylor  $n = 0,3$ .

B.26. Calculez le temps de coupe total ( $t_{c1t}$ ) pour les 900 opérations de chariotage.

$$t_{c1t} = t_{c1} \times 900 = 0,95 \times 900 = 855 \text{ mn}$$

$$t_{c1t} = 855 \text{ min}$$

B.27. Calculez la durée de vie de l'outil ( $T_1$ ) pour la vitesse de coupe  $V_c = 145 \text{ m/min}$

Méthode 1 :

$$V_{c45} \times 45^n = V_{cT1} \times T_1^n$$

$$\frac{V_{c45} \times 45^n}{V_{cT1}} = T_1^n \quad T_1 = \left( \frac{V_{c45} \times 45^n}{V_{cT1}} \right)^{1/n}$$

$$AN : T_1 = \left( \frac{120 \times 45^3}{145} \right)^{1/3} = 42,24 \text{ min}$$

Méthode 2 :

on cherche la constante C puis en détermine  $T_1$

$$V_c \cdot T^n = C \quad T = \left( \frac{C}{V_c} \right)^{1/n}$$

on a :  $V_{c45} = 120 \text{ m/min}$  donc  $T = 45 \text{ min}$

$$C = 120 \times 45^3 = 10935 \cdot 10^3$$

$$V_{cT1} \cdot T_1^n = 10935 \cdot 10^3 \cdot V_{cT1} = 145 \text{ m/min}$$

$$T_1 = \left( \frac{C}{V_{cT1}} \right)^{1/n} = \left( \frac{10935 \cdot 10^3}{145} \right)^{1/3} = 42,24 \text{ min}$$

$$T_1 = 42,24 \text{ min}$$

B.28. Déterminez le nombre de plaquettes en carbure ( $n_{p1}$ )

$$n_{p1} = \frac{t_{ct1}}{T_1} \times \frac{1}{2} = \frac{855}{42,24} \times \frac{1}{2} = 10,12 \text{ plaquettes} \dots\dots\dots$$

$n_{p1} = 11$  plaquettes

donc il faut 11 plaquettes .....

B.29. Sachant que le coût d'une plaquette à 2 arêtes et de 15 dinars tunisien (dt) et que le coût d'achat du corps d'outil coûte 145 DT, calculez le coût de l'outillage ( $C_{01}$ ).

$$C_{01} = (11 \times 15) + 145 = 310 \text{ DT} \dots\dots\dots$$

$C_{01} = 310$  DT

B.30-B.33. On souhaite vérifier si le coût d'utilisation ( $C_{02}$ ) des outils en acier rapide supérieur (ARS) coûte moins cher que les outils en carbure, pour le même nombre d'opérations de chariotage. Sachant que le coût d'achat d'un outil en ARS est de 22,500 DT et qu'un outil ne peut être affûté que quatre fois et que le coût d'affûtage est de 2,5 DT.

On donne :  $V_{c90} = 25 \text{ m/mn}$  ;  $f = 0,08 \text{ mm/tr}$ .

B.30. Calculez le temps de coupe  $t_{c2}$  pour cette opération d'usinage.

$$T_{c2} = \frac{L}{V_f} \text{ avec } V_f = f \cdot N \dots\dots\dots$$

$$N = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D_1} = \frac{1000 \cdot 25}{\pi \cdot 45} = 176,83 \text{ tr/min} \dots\dots\dots$$

$$V_f = 0,08 \cdot 176,83 = 14,14 \text{ mm/min} \dots\dots\dots$$

$$T_{c2} = \frac{98}{14,14} = 6,93 \text{ min} \dots\dots\dots$$

$t_{c2} = 6,93$  min

B.31. Calculez le temps total ( $t_{c2t}$ ) de coupe pour les 900 opérations d'usinage.

$$\dots\dots T_{c2t} = t_{c2} \times 900 = 6,93 \times 900 = 6237 \text{ min} \dots\dots\dots$$

$t_{c2t} = 6237$  min

B.32. Calculez le nombre d'outils ( $N_{ou}$ ) nécessaire pour les 900 opérations d'usinage.

On à  $V_{c90} = 25 \text{ m/min}$  donc  $T_2 = 90 \text{ min} \dots\dots\dots$

$$T_{2t} = T_2 \cdot 5 = 90 \cdot 5 = 450 \text{ min} \dots\dots\dots$$

$$N_{ou} = \frac{t_{c2t}}{T_{2t}} = \frac{6237}{450} = 13,86 \text{ outils} \text{ donc on prend } N = 14 \text{ outils} \dots\dots\dots$$

$N_{ou} = 14$  outils

B.33. Calculez le coût d'outillage ( $C_{02}$ ).

$$C_{02} = (N_{ou} \cdot 22,500) + (N_{ou} \cdot 4 \cdot 2,500) \dots\dots\dots$$

$$C_{02} = (14 \cdot 22,500) + (14 \cdot 4 \cdot 2,500) = 455 \text{ DT} \dots\dots\dots$$

$C_{02} = 455$  DT

B.34. Conclure sur le choix du type d'outil

L'utilisation des outils en carbure coûte moins cher que les outils en A.R.S

◆ Section B.IV-. Etude d'usinage sur machine à commande numérique (CNC).

B.35 - B.39. Dans cette partie, on décide de réduire le temps d'usinage et de minimiser les frais de production de l'arbre (34) par l'utilisation d'un tour à commande numérique.

On se propose alors d'étudier l'usinage en finition directe des surfaces (C1, D2, F3, C2, D1 et F2) de la phase 30 de l'arbre (34) sur une machine à CNC à deux axes à tourelle arrière. L'usinage est réalisé par un outil à contourner T01D01 placé initialement au point Ot de coordonnées X 85, Z 200 par rapport à l'origine pièce (Op).

On donne :

- Point d'approche = point de dégagement = 2 mm
- Surépaisseur d'usinage égale 1 mm sur les surfaces et aux rayons.

B.35. Compléter, sur la figure B1 (ci-dessous), la trajectoire de l'outil de coupe et installer les points caractéristiques de cette trajectoire.

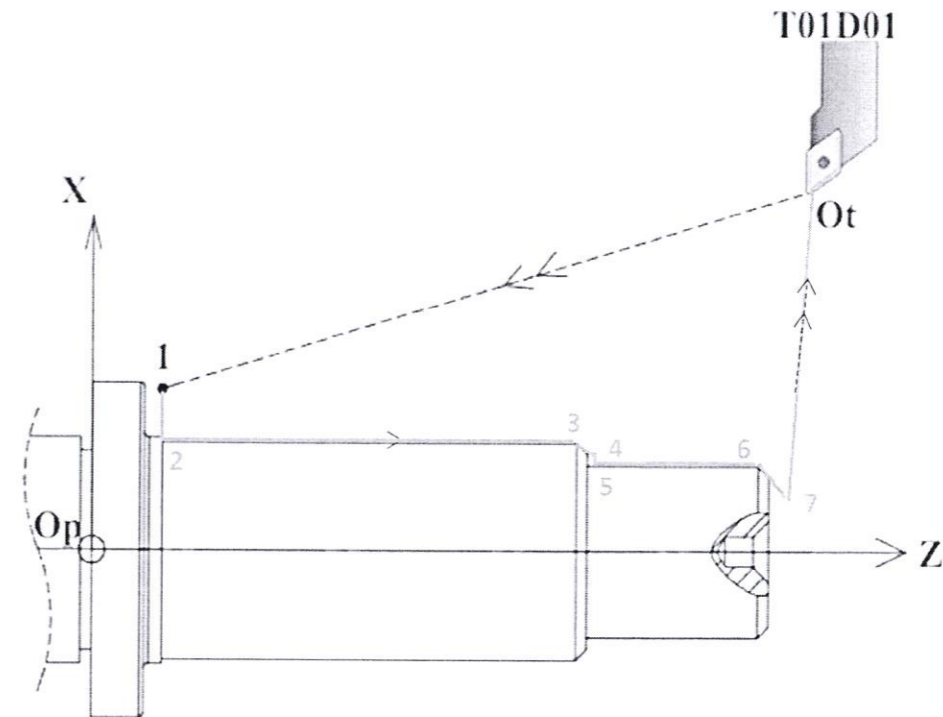


Figure B1

B.36 - B37. En ce référant au dessin de définition de l'arbre (34) (DT 04), completez, en mode absolu G90, le **tableau B-4** des coordonnées (dimensions nominales) des points caractéristiques du profil fini (**Figure B1**).

**Tableau B4 : Coordonnées des points**

	Point	X	Z
	Ot	85	200
<b>B36</b>	1	54	16
	2	48	16
	3	48	113
	4	46	114
<b>B37</b>	5	38	114
	6	38	155
	7	32	158
	Ot	85	200

B.38- 39. En se référant à la **figure B1** et au **tableau B4** des coordonnées des points, completez le programme partiel C.N en code ISO des operations de finition de l'arbre (34).

Programme			
% 0624			
	Code	X	Z
	N0010	G 90 G71 G40	
	N0020	G52	
	N0030	T01D01 G96 S145 G95 F0.1 M03 M08	
	N0040	G92 S2800	
<b>B.38</b>	N0050	X54	Z16
	N0060	X48	Z16
	N0070	X48	Z113
	N0080	X46	Z114
<b>B.39</b>	N0090	X38	Z114
	N0100	X38	Z155
	N0110	X32	Z158
	N0120	X85	Z200
	N0130	M 02	