

EXAMEN

Année Universitaire 2024/2025

Niveau d'Etude : 2^{ème} Année

Semestre : 2

Filière : Préparation en Technologie (PT)

Date : Samedi 10 Mai 2025

Matière : Conception Mécanique (CM-CFM)

Durée : 4h

Nombres de pages : 8 pages

Documents :

Autorisés ☐

Documents à rendre : de page 2/8 à page 7/8

Non Autorisés ☒

VARIATEUR A FRICTION

MISE EN SITUATION

L'association de *variateurs à anneau métallique avec un train d'engrenage* (Figure 1) permet de réaliser une variation continue et précise du rapport de réduction. En effet, ce mécanisme s'avère très utile dans la synchronisation des vitesses sur une ligne de production en série.

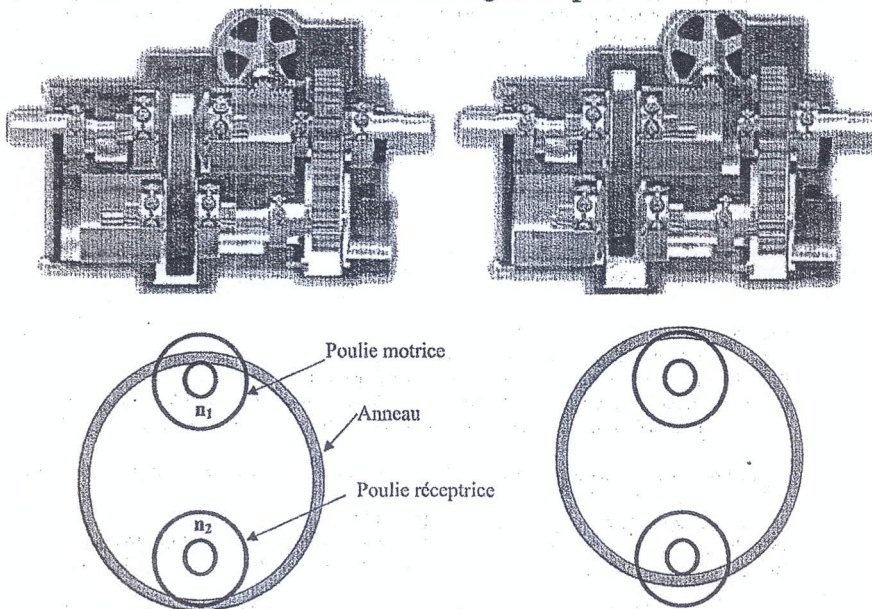


Figure 1 : Positions extrêmes de l'anneau de friction.

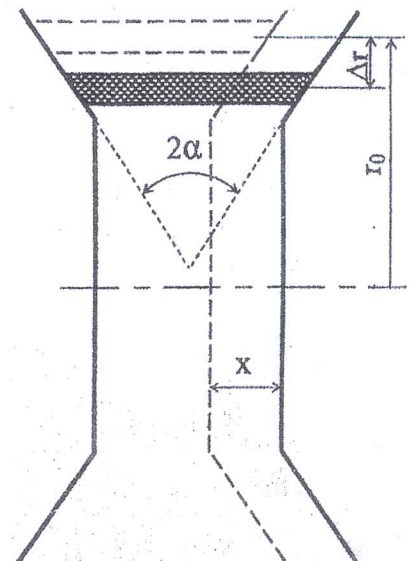


Figure 2 : Variabilité du rayon moyen par déplacement du flasque mobile.

Le fonctionnement du présent variateur à entraxe fixe repose sur la variation du rayon d'enroulement (Figure 1) d'un anneau de transmission indéformable. Cette transmission est obtenue par l'utilisation de poulies à flasques coniques. Chaque poulie est composée d'un flasque fixe et d'un autre mobile.

La distance entre les deux flasques est réglable comme le montre la Figure 2, alors que la largeur de l'anneau de transmission est constante. Il s'ensuit qu'une variation de distance entre les deux flasques coniques modifie la position radiale des points de contact avec l'anneau. En cette position radiale, la distance inter-flasque est égale à la largeur de l'anneau de transmission. Le dessin d'ensemble DT (Page 8/8) représente le variateur à friction sujet de notre étude.

DONNEES ET HYPOTHESES

Les groupes cinématiquement équivalents du système mécaniques *variateur à friction* (numérotés de {0} à {8}) à considérer sont :

{0}={17, 18, 19, 20, 23, 36, 39, 40} ;

{1}={12, 13} ;

{2}={11, 37, 41} ;

{3}={09} ;

{4}={01, 05, 07} ;

{5}={08} ;

{6}={35} ;

{7}={27, 28, 29, 30, 34} ;

{8}={21, 22, 26} ;

- Caractéristique du moteur : $P_e=3KW$; $N_e=N_{\{4\}}=1500tr/mn$.
- k_v : le rapport du variateur entre $N_{\{7\}}$ (fréquence de rotation à la sortie du variateur) et $N_{\{4\}}$ (fréquence de rotation à l'entrée du variateur).
- r_4 : le rayon moyen de la poulie motrice, constituée par $\{3\}$ et $\{4\}$.
- r_7 : le rayon moyen de la poulie réceptrice, constituée par $\{6\}$ et $\{7\}$.
- r_0 : égale à 16mm, est le rayon dans la position neutre ($x=0$) pour lequel $r_0=r_4=r_7$ ce qui correspond à $k_v=1$.
- 2α : l'angle au sommet du cône formé par les deux flasques.
- $\eta_v=0,85$: le rendement du variateur
- $\eta_R=0,95$: le rendement du réducteur.

NOMENCLATURE

Rep	Nbr	Désignation	Matière	Observation
41	1	Barre d'attelage		
40	1	Couvercle variateur		
39	10	Vis H M5 x 16		
38	4			
37	1	Coulisseau	C35	
36	1	Corps variateur	EN-GJL-100	
35	1	Flasque mobile poulie réceptrice	18 Cr Mo 4	Nitruré
34	1	Flasque fixe poulie réceptrice	18 Cr Mo 4	Nitruré
33	2	25 BC 02		
32	1	Anneau élastique pour arbre 15 x 1		NF E 22-163
31	1	15 BC 02		
30	1	Arbre intermédiaire	C18	Cémenté
29	1	Vis H M4 x 13		
28	1	Pale	C35	
27	1	Pignon $m=1,25$; $Z_{22}=29$	18 Cr Mo 4	Nitruré
26	1	Arbre de sortie	C35	
25	1	Joint à deux lèvres, type AS, 25 x 35 x 7		DIN 3760
24	1	20 BC 02		
23	1	Couvercle	EN-GJL-100	
22	2	Clavette parallèle forme A, 4 x 4 x 18		NF E 22-177
21	1	Roue dentée $m=1,25$; $Z_{21}=65$	18 Cr Mo 4	Nitruré
20	4	Vis H M5 x 13		
19	1	Couvercle réducteur	EN-GJL-100	
18	3	Bouchon M16 x 8		
17	1	Boîtier réducteur	EN-GJL-100	
16	1			
15	1	15 BC 02		
14	1	Anneau élastique pour arbre 15 x 1		NF E 22-163
13	1	Volant de variation de vitesse	EN AB-21000 [Al Cu4 Mg Ti]	
12	1	Pignon	C18	Cémenté
11	1			
10	2	25 BC 02		
09	1	Flasque mobile poulie motrice	18 Cr Mo 4	Nitruré
08	1	Anneau métallique		
07	1	Flasque fixe poulie motrice	18 Cr Mo 4	Nitruré
06	1	Bague	C35	
05	2	Clavette parallèle forme A, 4 x 4 x 16		NF E 22-177
04	1	Joint à deux lèvres, type AS, 22 x 32 x 7		DIN 3760
03	1			
02	1	15 BC 02		
01	1	Arbre d'entrée	C18	Cémenté
VARIATEUR A FRICTION				Document : DT A3



AVIS IMPORTANT AUX ETUDIANTS

- 1. Chacune des feuilles de votre copie doit comporter une étiquette code à barres placée à l'endroit indiqué «coller ici votre code à barres»
- 2. Une copie d'examen comporte une seule «feuille principale» et des «feuilles suites» Sur chacune de vos feuilles, le code à barres est obligatoire
- 3. Cette feuille d'examen est strictement personnelle Elle ne doit comporter aucun signe distinctif Elle doit être écrite en noir et/ou bleu
- 4. Le non respect de l'une de ces exigences peut faire attribuer la note ZERO à l'épreuve

NOTE

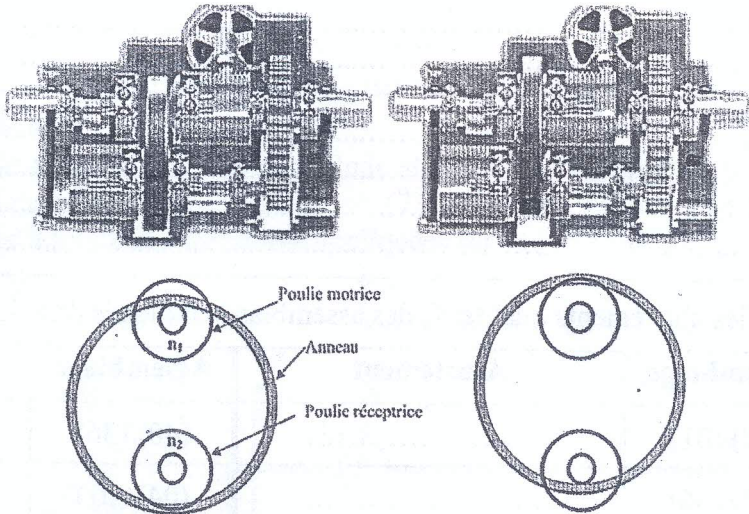
Coller ici votre
code à barre

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

00	25	50	75

EXAMEN DE CONCEPTION MECANIQUE (CM-CFM)

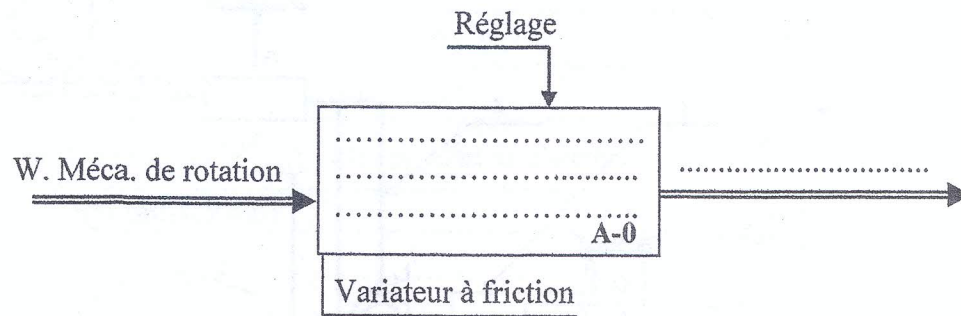
VARIATEUR A FRICTION



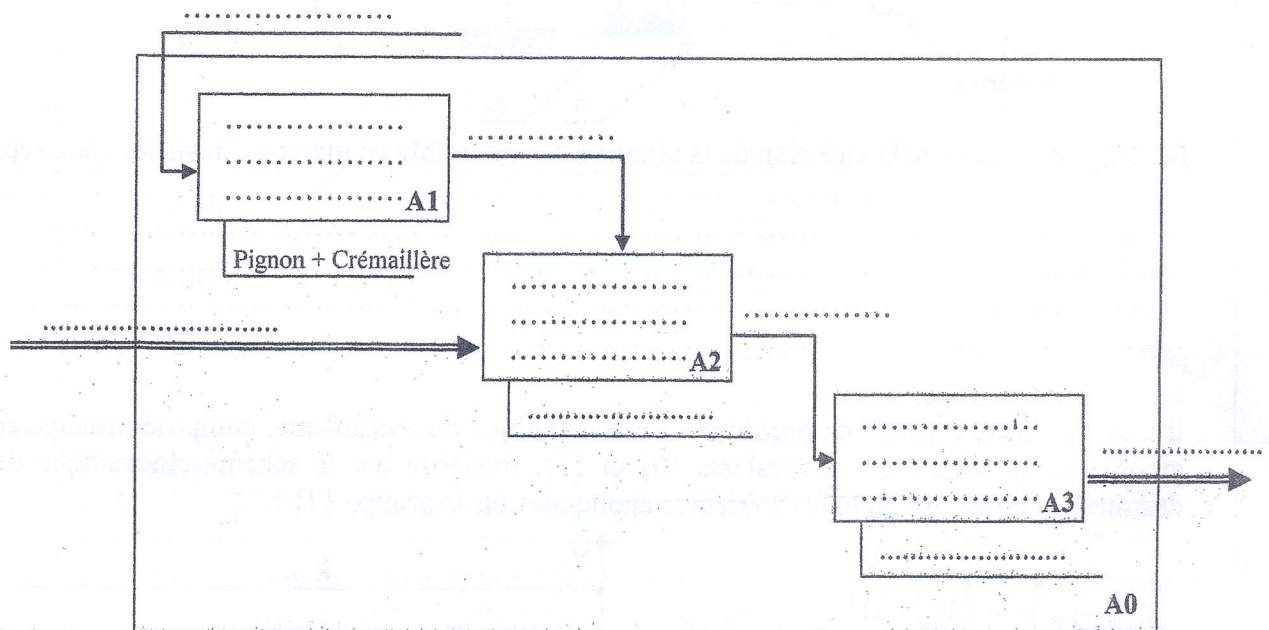
Nom, prénom et signature de
l'enseignant surveillant

I) ANALYSE FONCTIONNELLE

I-1) Compléter l'actigramme A-0 du « Variateur à friction ».



I-2) Compléter l'actigramme A0 du « Variateur à friction ».



**II) ETUDE TECHNOLOGIQUE****II-1)** Indiquer la nature des liaisons des assemblages suivants :

Assemblage	Liaison
(01)/(36) au niveau du roulement (02)	
(01)/(09)	
(11)+(41)/(36)	
(21)/(26)	
(36)/(37)+(41)	

II-2) Identifier le nom et la fonction de chacun des pièces/systèmes indiqués dans le tableau suivant :

Système/Pièce	Fonction
(01)/(09) Nom :	
(11)/(12) Nom :	
(03) Nom :	
(38) Nom :	
(41) Nom :	

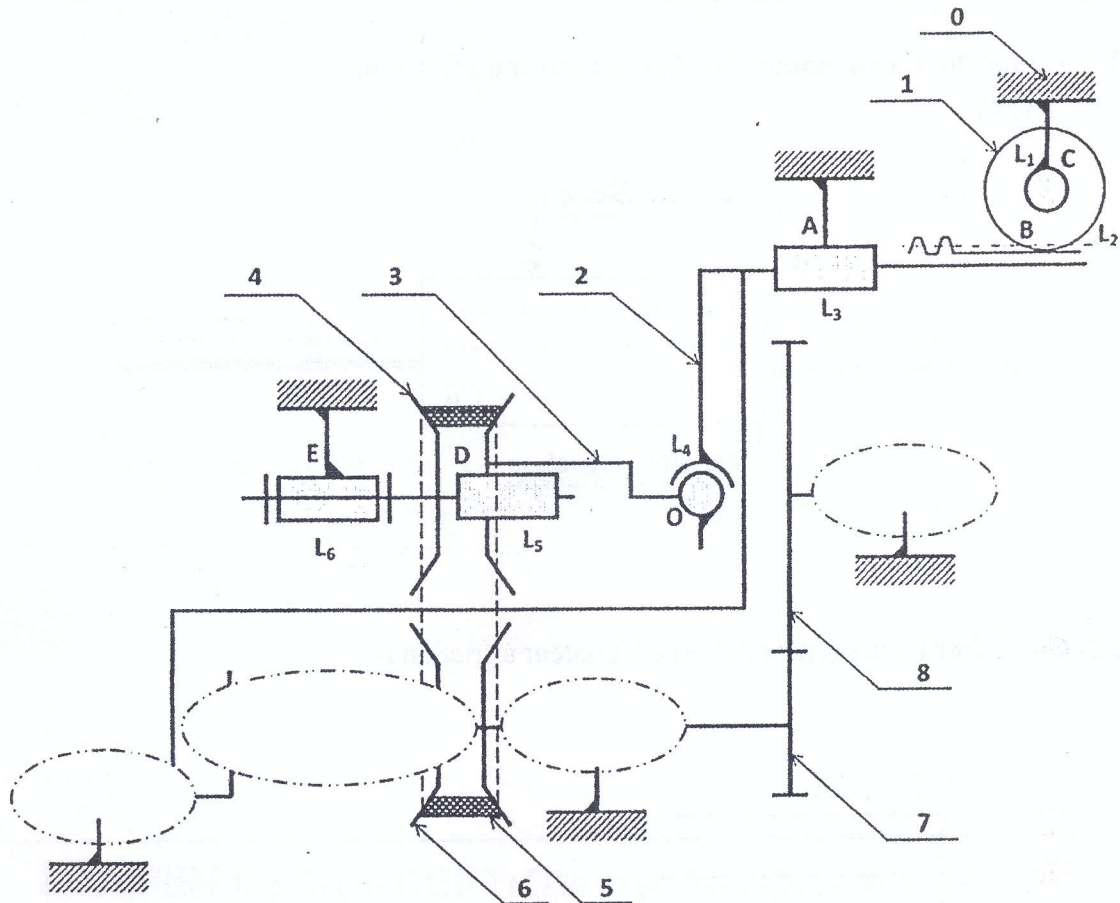
II-3) Donner les ajustements qualitatifs des assemblages indiqués dans le tableau suivant :

Assemblage	Ajustement	Assemblage	Ajustement
(02)/(01)		(40)/(36)	
(02)/(36)		(04)/(01)	
(04)/(40)		(11)/(36)	

III) THEORIE DES MECANISMES

III-1) Schéma cinématique

III-1-1) Compléter le schéma cinématique suivant du variateur à friction.



III-1-2) Le réglage de la variation de la vitesse est-il réalisable en marche ? Justifier votre réponse.

.....

.....

.....

.....

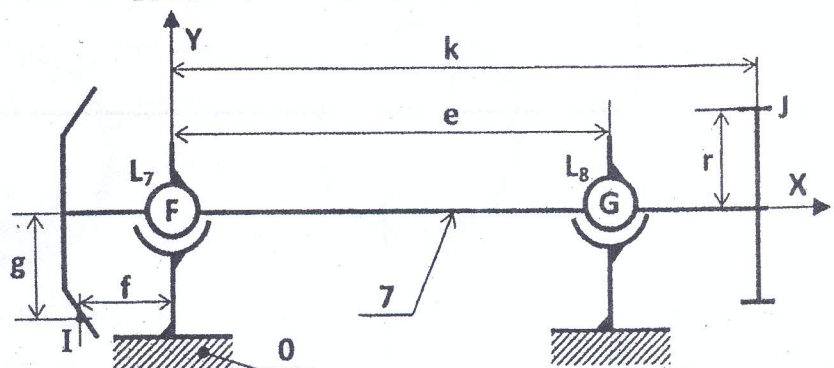
.....

III-2) Etude statique

Il s'agit dans cette partie de procéder à l'étude statique du mécanisme, composé principalement par les groupes cinématiquement équivalents $\{0\}$ et $\{7\}$, modélisé par le schéma cinématique développé ci-dessous. On donne les actions extérieures appliquées sur le groupe $\{7\}$:

$$\left\{ \tau_{ext \rightarrow \{7\}} \right\}_I = \begin{Bmatrix} F_X \\ F_Y \\ F_Z \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}_I$$

$$\left\{ \tau_{ext \rightarrow \{7\}} \right\}_J = \begin{Bmatrix} 0 \\ P_Y \\ P_Z \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}_J$$



.....

.....

.....

.....

$$\begin{aligned} \{\tau_{7 \rightarrow 0}(L_7)\}_{\mathbb{F}} &= \left\{ \begin{array}{c} \text{.....} \\ \text{.....} \\ \text{.....} \\ \text{.....} \end{array} \middle| \begin{array}{c} \text{.....} \\ \text{.....} \\ \text{.....} \\ \text{.....} \end{array} \right\}_{\mathbb{F}} & \{\tau_{7 \rightarrow 0}(L_8)\}_{\mathbb{F}} &= \left\{ \begin{array}{c} \text{.....} \\ \text{.....} \\ \text{.....} \\ \text{.....} \end{array} \middle| \begin{array}{c} \text{.....} \\ \text{.....} \\ \text{.....} \\ \text{.....} \end{array} \right\}_{\mathbb{F}} \\ \{\tau_{ext \rightarrow 7}\}_{\mathbb{F}} &= \left\{ \begin{array}{c} \text{.....} \\ \text{.....} \\ \text{.....} \\ \text{.....} \end{array} \middle| \begin{array}{c} \text{.....} \\ \text{.....} \\ \text{.....} \\ \text{.....} \end{array} \right\}_{\mathbb{F}} & \{\tau_{ext \rightarrow 7}\}_{\mathbb{F}} &= \left\{ \begin{array}{c} \text{.....} \\ \text{.....} \\ \text{.....} \\ \text{.....} \end{array} \middle| \begin{array}{c} \text{.....} \\ \text{.....} \\ \text{.....} \\ \text{.....} \end{array} \right\}_{\mathbb{F}} \end{aligned}$$

This image shows a full page of blank, lined paper. The paper is white and features horizontal ruling lines spaced evenly down its length. Each ruling unit consists of three parts: a solid black line at the top, a dashed black line in the middle, and another solid black line at the bottom. This pattern repeats from the top to the bottom of the page, providing a guide for handwriting practice or note-taking. There are no margins, text, or other markings on the paper.



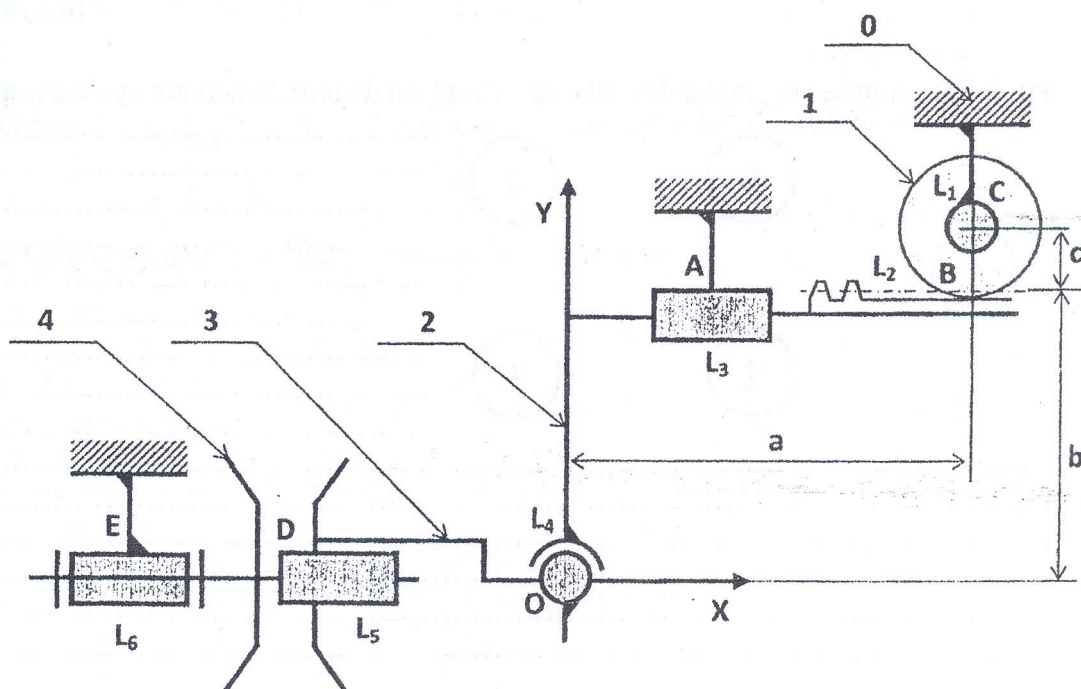
SUITE

Coller ici votre
code à barre

III-3) Etude cinématique

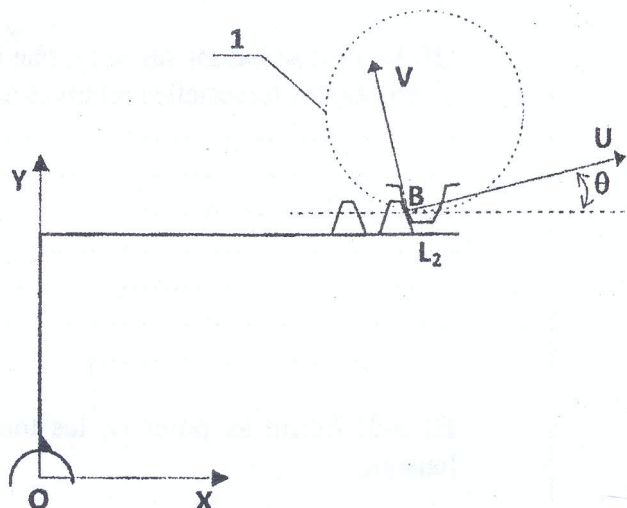
Il s'agit dans cette partie de procéder à l'étude cinématique du variateur et de déterminer ses lois entrées/sorties. Considérons le schéma cinématique minimal permettant de régler la position du flasque mobile de la poulie motrice {3}.

N.B. : L'anneau (8) ne fait pas partie du mécanisme dans ce qui suit.



III-3-1) On considère la liaison L_2 entre {1} et {2} comme une liaison linéaire rectiligne d'axe (B, Z) et de normale (B, U). Déterminer le torseur cinématique de L_2 au point B dans le repère orthonormé direct (B, U, V, Z).

$$\{V_{2/1}(L_2)\}_{(B,u,v,z)} = \left\{ \begin{array}{c|c} \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \end{array} \right\}_{(B,u,v,z)}$$





III-3-2) En déduire le torseur cinématique de L_2 au point B dans le repère orthonormé direct (B, X, Y, Z) .

.....

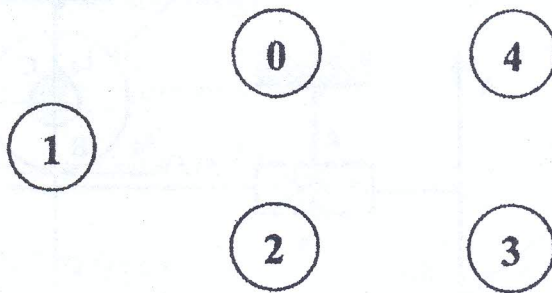
.....

.....

.....

$$\left\{ V_{2/1}(L_2) \right\}_{(B, x, y, z)} = \left\{ \begin{array}{c|c} \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \end{array} \right\}_{(B, x, y, z)}$$

III-3-3) Compléter le graphe des liaisons suivant, en déduire le nombre cyclomatique γ .



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

III-3-4) En se basant sur le graphe des liaisons de la question précédente, écrire au point O les équations cinématiques torsorielles relatives aux différentes chaînes continues fermées indépendantes.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

III-3-5) Ecrire au point O, les torseurs cinématiques des différentes liaisons associées au graphe des liaisons.

$$\{V_{\dots\dots\dots}\}_{\dots\dots\dots} = \left\{ \begin{array}{c|c} & \dots\dots\dots \\ \hline & \dots\dots\dots \\ & \dots\dots\dots \\ & \dots\dots\dots \\ & \dots\dots\dots \end{array} \right\}_{(U,x,y,z)}$$

$$\{V_{\dots\dots\dots}\}_{\dots\dots\dots} = \left\{ \begin{array}{c|c} \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \end{array} \right\}_{(O,x,y,z)}$$

$$\{V_{\dots\dots\dots}\}_{\dots\dots\dots} = \left\{ \begin{array}{c|c} \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \end{array} \right\}_{(t,x,y,z)}$$

III-3-6) Dédurre le système d'équations scalaires cinématiques.

III-3-7) Déduire le degré de mobilité m et le degré d'hyperstatisme h .

III-3-8) Déterminer la loi entrée/sortie relative à $u_5=f(\gamma_1)$.

IV) TRANSMISSION DE PUISSANCE

IV-1) Etude du rapport de réduction du variateur

IV-1-1) Montrer que la variation du rayon moyen Δr en fonction du déplacement axial x du flasque mobile {3} et l'angle de conicité α , s'écrit : $\Delta r = \frac{x}{2 \cdot \tan \alpha}$

IV-1-2) Etablir l'expression du rapport de transmission k_v du variateur en fonction du rayon r_0 , α et x .

IV-1-3) Etablir l'expression du rapport de réduction k_R du réducteur.

IV-1-4) Dédire l'expression du rapport de transmission global k du mécanisme.

**SUITE**

Coller ici votre
code à barre

IV-1-5) Sachant que $x = \pm 5\text{ mm}$, $r_0 = 16\text{ mm}$ et $\alpha = 30^\circ$, la fréquence de rotation d'entrée du variateur est égale à 1500tr/mn, calculer les fréquences de rotation limites ($N_{\{8\}}$) de sortie.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

 $N_{\{8\}\text{Max}} = \dots\dots\dots$ $N_{\{8\}\text{min}} = \dots\dots\dots$ **IV-2) Calcul des puissances**

IV-2-1) Calculer la puissance transmise ($P_{\{8\}}$) à l'arbre de sortie $\{8\}$.

.....

.....

.....

.....

IV-2-2) Calculer les couples limites ($C_{\{8\}}$) transmis sur l'arbre de sortie $\{8\}$.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

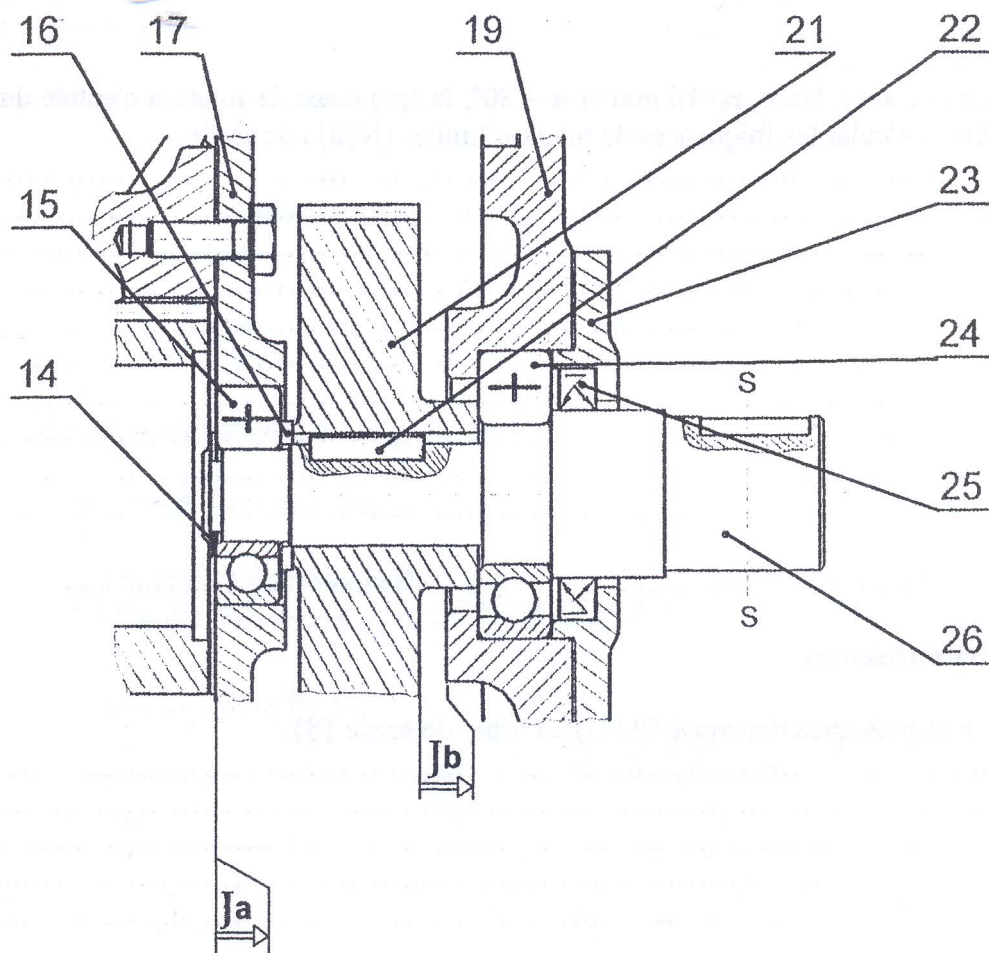
 $C_{\{8\}\text{Max}} = \dots\dots\dots$ $C_{\{8\}\text{min}} = \dots\dots\dots$ **V) COTATION FONCTIONNELLE**

V-1) Justifier l'existence des condition J_a et J_b définies sur la figure suivante (page 7/8) :

J_a [entre (14) et (15)] :

J_b [entre (21) et (19)] :

V-2) Tracer sur la figure suivante les chaînes de cote relatives aux conditions J_a et J_b .



$J_a = 1^{+0,45}_{-0,5}$
$J_{a14} = 1^{+0}_{-0,11}$
$J_{a15} = 9^{+0}_{-0,12}$
$J_{a16} = 1,5^{+0}_{-0,1}$
$J_{a21} = 18^{+0}_{-0,1}$
$J_{a24} = 12^{+0}_{-0,12}$

V-3) Ecrire les relations de J_a Max et J_a min.

.....

.....

.....

.....

V-4) Calculer la cote J_{a26} et l'intervalle de tolérance correspondant.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

$J_{a26} = \dots\dots\dots$

VI) ETUDE GRAPHIQUE

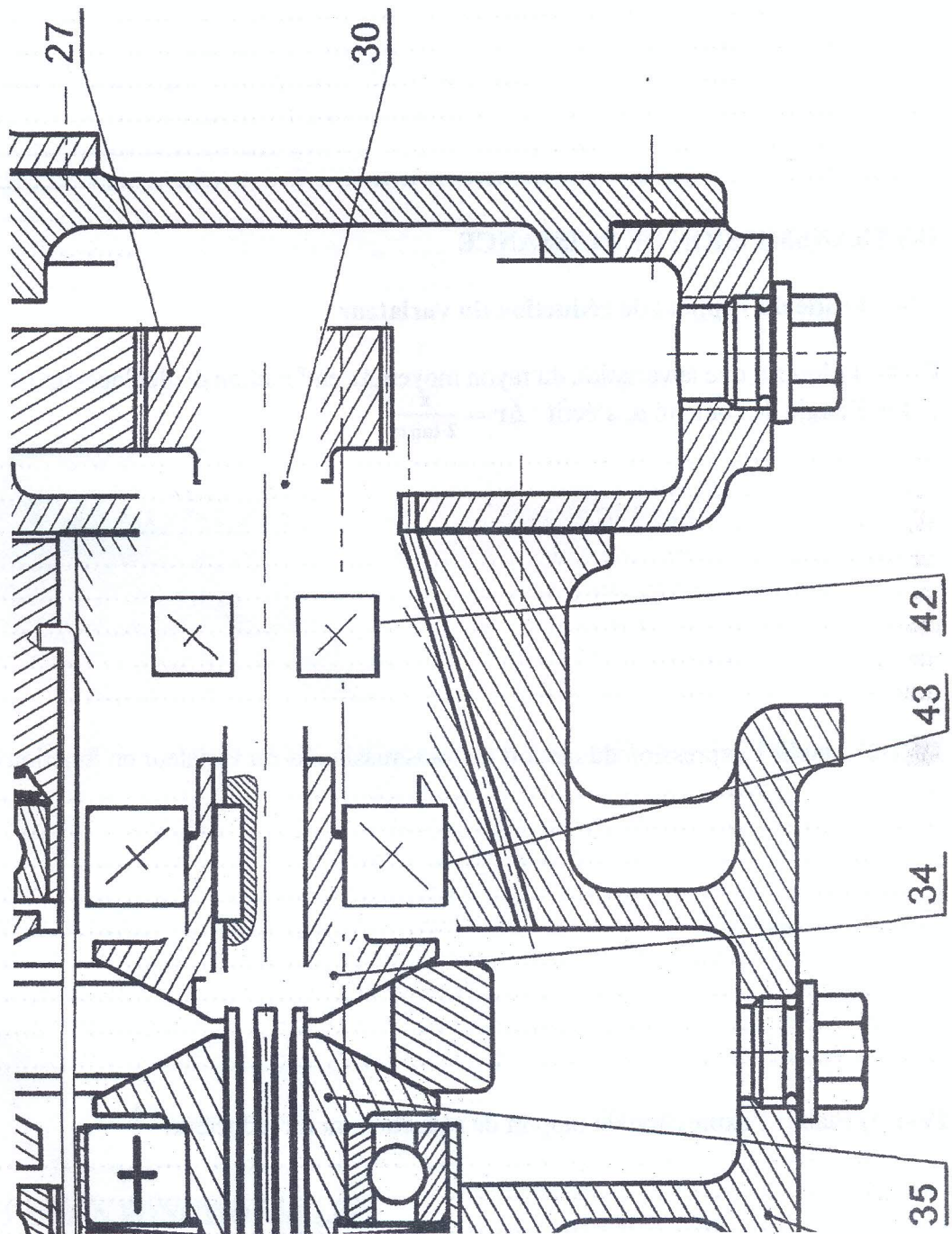
Pour guider en rotation le flasque (34) par rapport au bâti (36), on se propose de remplacer les deux roulements (31) et (33) par deux roulements à billes à contacts obliques (42) et (43).

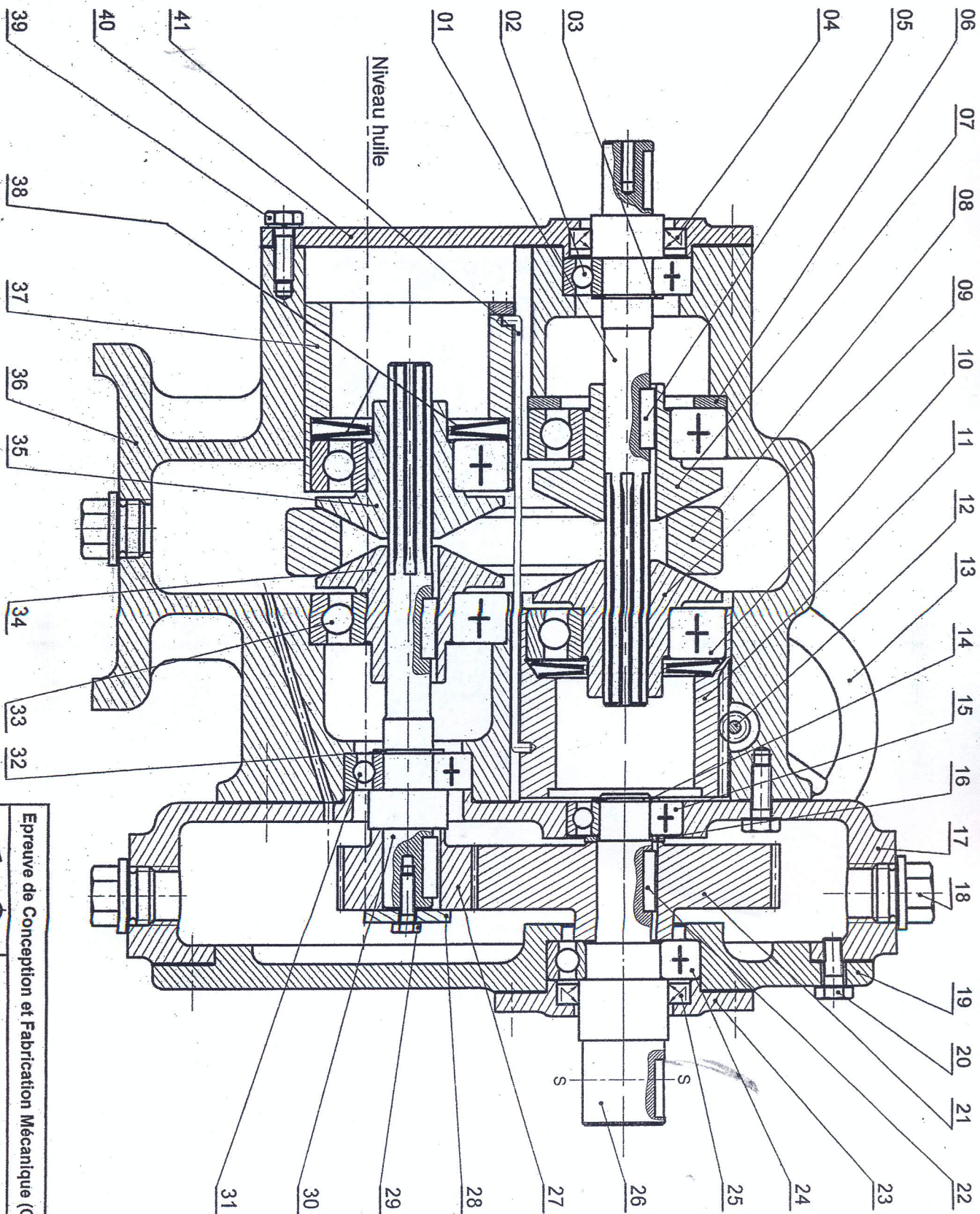
VI-1) Justifier le choix du montage ci-contre.

.....

.....

VI-2) Compléter le montage par la mise en place des deux roulements (42) et (43), l'arrêt en translation de (34) par rapport à (30), et la liaison complète entre (27) et (30).





Epreuve de Conception et Fabrication Mécanique (CM-CFM)

I.P.E.I.S.



Echelle : 1:1

VARIATEUR A FRICTION

Page 8/8

Document : DT A3



AVIS IMPORTANT AUX ETUDIANTS

1. Chacune des feuilles de votre copie doit comporter une étiquette code à barres placée à l'endroit indiqué «coller ici votre code à barres»
2. Une copie d'examen comporte une seule «feuille principale» et des «feuilles suites» Sur chacune de vos feuilles, le code à barres est obligatoire
3. Cette feuille d'examen est strictement personnelle Elle ne doit comporter aucun signe distinctif Elle doit être écrite en noir et/ou bleu
4. Le non respect de l'une de ces exigences peut faire attribuer la note ZERO à l'épreuve



NOTE

--

Coller ici votre
code à barre

00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

00	25	50	75

Partie B : FABRICATION MECANIQUE

L'épreuve comporte 8 pages

Nom, prénom et signature de
l'enseignant surveillant



On se propose d'étudier la fabrication du flasque repéré (07) réalisée en série renouvelable de 500 pièces/mois sur 10 ans. Cette pièce est définie sur le document technique (DT B1). Les surfaces à usiner sont repérées en trait fort. Le brut de départ est obtenu par moulage en sable et est représenté sur le document technique (DT B1).

Le flasque repéré (07), est en 18CrMo4. Les pièces sont livrées à l'usinage à l'état brut.

Nota : la rainure de clavette ne sera pas prise en compte lors de cette étude

ETUDE DE FABRICATION

Pour la fabrication du flasque, on utilisera des tours à commande numérique, de marque EMCO type, PCTURN 55, de puissance 0.55 KW, de directeur de commande NUM.

La gamme prévisionnelle proposée prévoit les phases suivantes :

Phases	Opérations	Procédés
10	Contrôle des pièces livrées brutes	
20	Usinage des surfaces 1, 2, 3 et 7	Tournage en CN
30	Usinage des surfaces 4, 5 et 6	Tournage en CN

COMMANDE NUMERIQUE

L'usinage de la série des pièces sera réalisé sur un tour à commande numérique, en utilisant deux outils T2 D2 et T6 D6. La surépaisseur d'usinage est de 1.5 mm partout. La vitesse maximale tolérée de la broche est de 3000 tr/min.

Les données de la coupe sont :

- Outil à charioter-dresser de finition T2 D2, $V_c = 80$ m/mn, $F = 0.3$ mm/tr ;
- Outil à aléser de finition T6 D6, $V_c = 60$ m/mn, $F = 0.1$ mm/tr ;
- Position de changement d'outil $X = 150$ mm, $Z = 280$ mm ;
- Distance d'approche et de dégagement égale à 2 mm.

Nota : V_c et F sont respectivement la vitesse de coupe et d'avance.

B.1- Matériau

B.1.1- Donnez la signification de la désignation normalisée du matériau 18 Cr Mo 4 constituant le flasque repéré (07) (DT A3).

.....

.....

B.1.2- Donnez la signification de la désignation normalisée du matériau Cu Zn 35 Mn 2 Al 1 Fe 1 constituant le cerceau métallique repéré (08) (DT A3).

.....

.....

B.1.3- Pourquoi a-t-on choisi deux matériaux différents pour les flasques et le anneau métallique ?

.....

.....

.....

B.1.4- Cochez la case lorsque vous jugerez que la définition relative à la nitruration est correcte. Plusieurs définitions peuvent être correctes.

La nitruration est un traitement thermochimique.....

La nitruration est un traitement thermique à cœur.....

La nitruration rend le matériau malléable.....

La nitruration augmente la dureté superficielle.....

La nitruration se fait par diffusion d'azote.....

B.1.5- Cochez la case lorsque vous jugerez que la définition relative à la cémentation est correcte. Plusieurs définitions peuvent être correctes.

La cémentation se fait par diffusion de carbone

La cémentation se pratique sur les matériaux fortement carburés.....

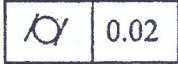
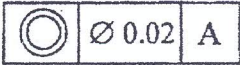
La cémentation est toujours suivie de trempe.....

La cémentation se fait par diffusion d'azote et de carbone.....

La cémentation est un traitement thermique superficiel.....

B.2- Métrologie

B.2.1- Précisez les spécifications géométriques suivantes :

Spécification	Interprétation
	
	

B.2.2- Comment peut-on contrôler la première spécification ?

.....
.....
.....

B.3- Moulage

La technique de moulage préconisée pour l'obtention du brut du flasque est le moulage en sable. Le moule utilisé se présente sous forme de deux demi châssis.

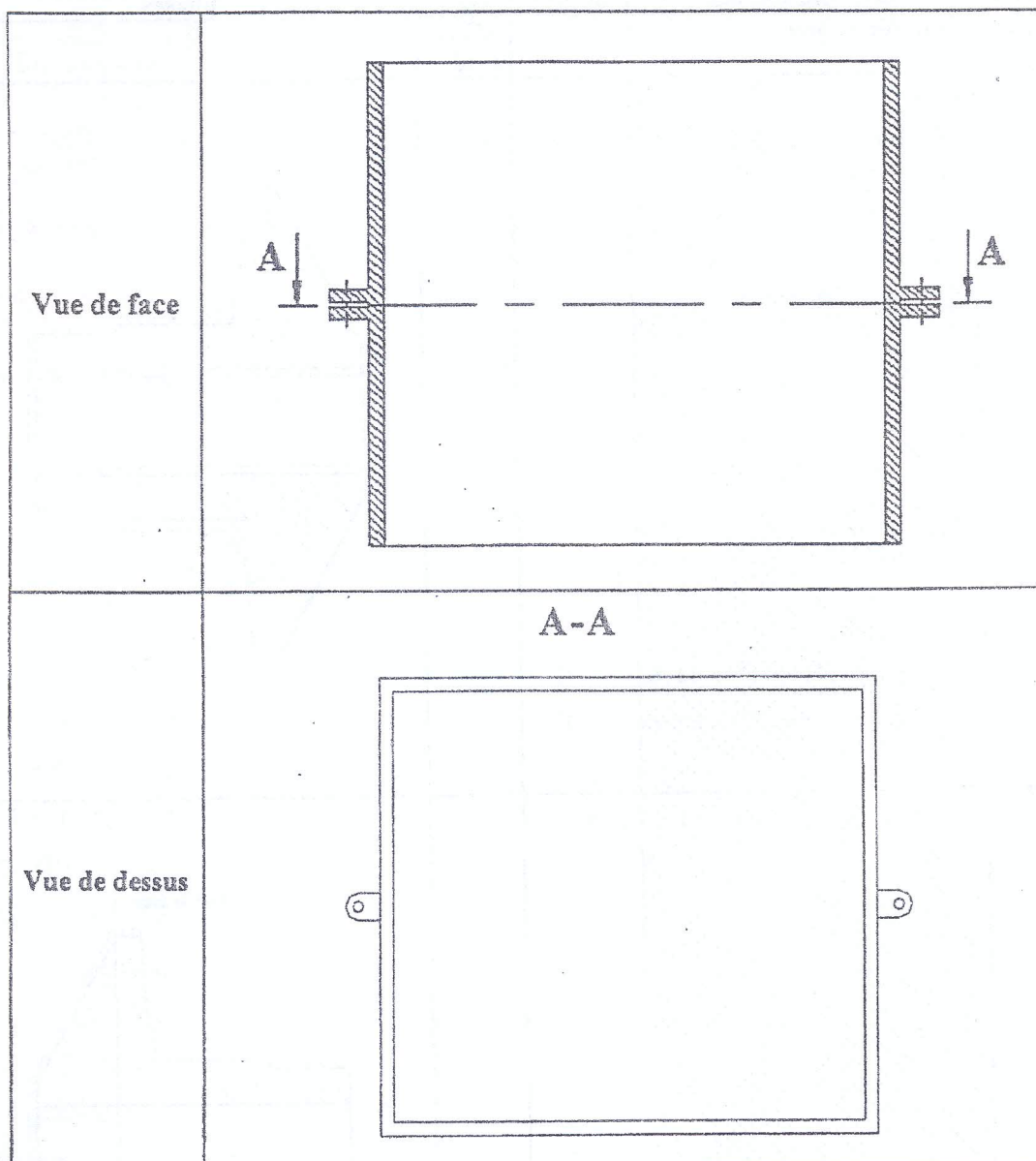
B.3.1- Donnez la forme du modèle en bois et du noyau en sable :

Modèle en bois	Noyau en sable
	
Nota : les deux parties du modèle sont centrées entre elles par deux pieds de centrage.	

**SUITE**

Coller ici votre
code à barre

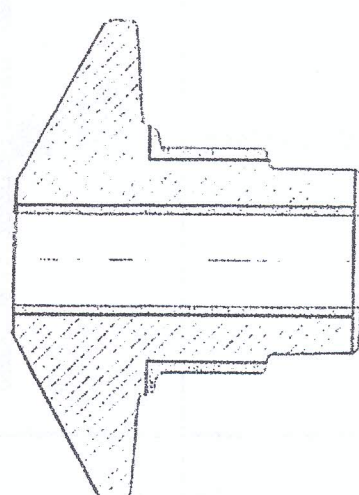
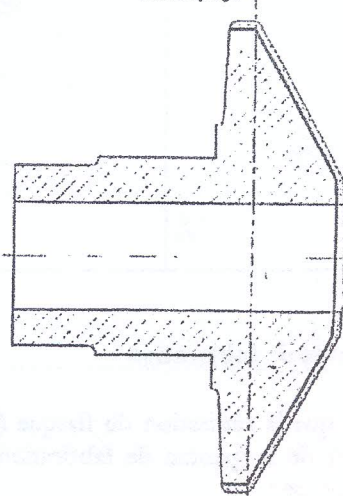
B.3.2- Représentez le moule prêt à la coulée en indiquant les évents, les canaux de coulée et d'attaque

**B.4- Etude de fabrication**

Sachant que la réalisation du flasque (document DT B1) sera effectuée en trois phases, compléter alors la rédaction de la gamme de fabrication mentionnés dans la gamme prévisionnelle, tout en précisant pour chaque phase :

- Les cotes de fabrication (les valeurs relatives aux éventuelles cotes de fabrication doivent figurer dans la deuxième colonne de la feuille d'analyse) ;
- Les référentiels de mise en position ;
- L'outil de coupe nommé et représenté en position de travail ;
- Les instruments de contrôle.



FEUILLE D'ANALYSE D'USINAGE				
N° de Phase	Désignation des phases, sous-phases, etc.	Machine utilisée	Outils Vérif.	Croquis de la pièce à ses différentes phases
10	Contrôle du brut		P.C au 1/50	
20				
30				

B.5- Commande Numérique

Usinage extérieur		
Axes	X	Z
Approche		
P1		
Dégagement		
P2		
Dégagement		

Usinage intérieur		
Axes	X	Z
Approche		
Q1		
Dégagement		
Retrait		

Complétez le programme CN pour l'usinage en finition directe des surfaces (1), (2), (3) et (7) révus dans la phase 20 (document DT B1) :

FINITION RELATIVE A LA PHASE 20.

(usinage extérieur)

N10 G90 G71 G92 S3000

N20 G0 X150 Z280

N30 T2 D2 M6

N40 G97 S500

N50 G95 F.....

N60 G0 X..... Z..... M3 M41

(Approche)

N70 G96 S.....

N80 G1 X..... Z..... M.....

(P1 – Dressage de 3)

N90 G1 X..... Z.....

(Dégagement – Chariotage de 2)

N100 G0 X..... Z.....

(P2)

N110 G1 X..... Z.....

(Dégagement – Dressage de 1)

N120 G97 S500

N130 G0 X..... Z.....

(usinage de l'alésage)

N140 T6 D6 M6

N150 G97 S.....

N160 G95 F.....

N170 G0 X..... Z.....

(Approche)

N180 G1 X..... Z.....

(Q1 – Alésage de 7)

N190 G0 X..... Z.....

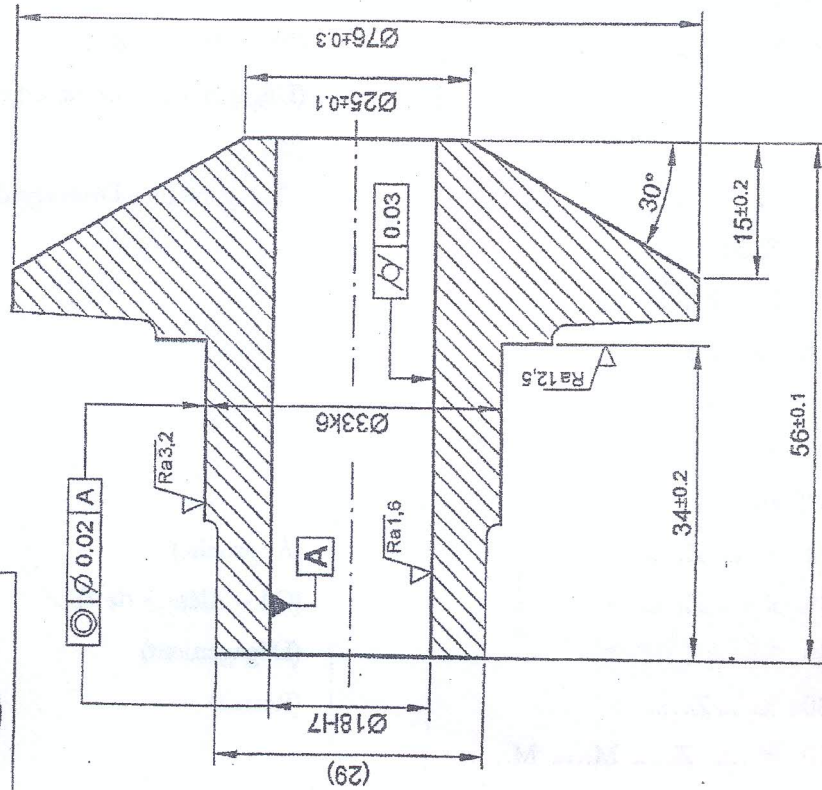
(Dégagement)

N200 G0 X..... Z.....

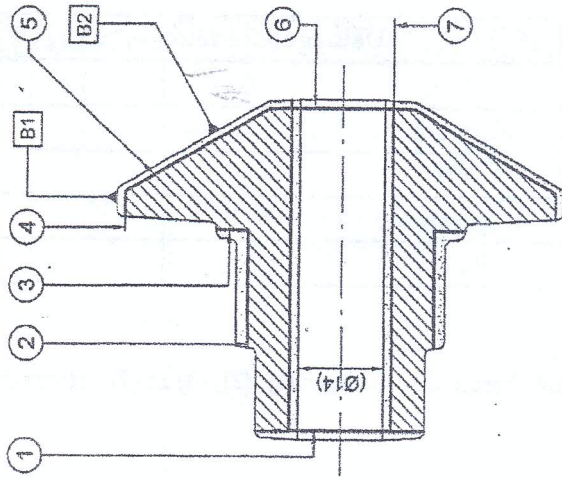
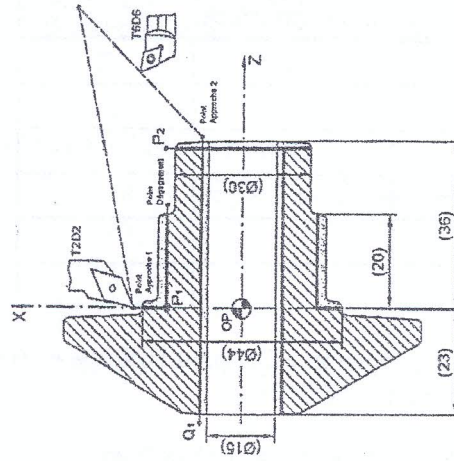
(Retrait)

N210 G0 X..... Z..... M..... M.....

N220 M.....



Dessin
du Brut

Trajectoires
des Outils

	A	Ø	0.3	B1
---	---	---	-----	----

	A	0.2	B2
---	---	-----	----

Echelle: 2:1

VARIATEUR A FRICTION
Flasque Fixe

Repère: 07-34

Document: DT B1