

Filière TSI

Epreuve de génie mécanique

Durée : 3 heures

**Aucun document n'est autorisé.
Calculatrice autorisée**

Le sujet comporte :

- Le texte de l'épreuve (pages numérotées de 1 à 10)
- Le dossier technique constitué de 6 Documents Techniques repérés **DT1** à **DT6**
- Deux Documents Réponses repérés **DR1** et **DR2**

Le sujet se compose de trois parties :

Partie I ; étude du système porte outil constituée de :

- 1.1 Etude statique
- 1.2 Etude cinématique
- 1.3 Etude d'hyperstatisme
- 1.4 Etude de la résistance des matériaux

Partie II ; étude du système porte pièce constitué de :

- 2.1 Etude cinétique
- 2.2 Etude dynamique

Partie III ; étude de fabrication constituée de :

- 3.1 Technologie de fabrication
- 3.2 Etude de condition de coupe en tournage
- 3.3 Métrologie et contrôle

Le candidat devra obligatoirement rendre:

- Rendre le cahier des réponses réservé à l'épreuve
- Les documents **DR1** et **DR2**, relatifs à la partie III.

A-Présentation du support de l'épreuve :

Le support technique industriel étudié dans cette épreuve, est un Centre d'Usinage à 6 axes qu'on va désigner par la notation **CU6**. Le **CU6** peut travailler en deux modes :

- Mode de tournage, pour cette configuration on le désignera par **CT6**
- Mode de fraisage, pour cette configuration on le désignera par **CF6**

Le **CU6** s'adapte facilement et rapidement à des situations de production variées et complexes, ainsi il fait partie des équipements de production mécanique de plusieurs ateliers flexibles.

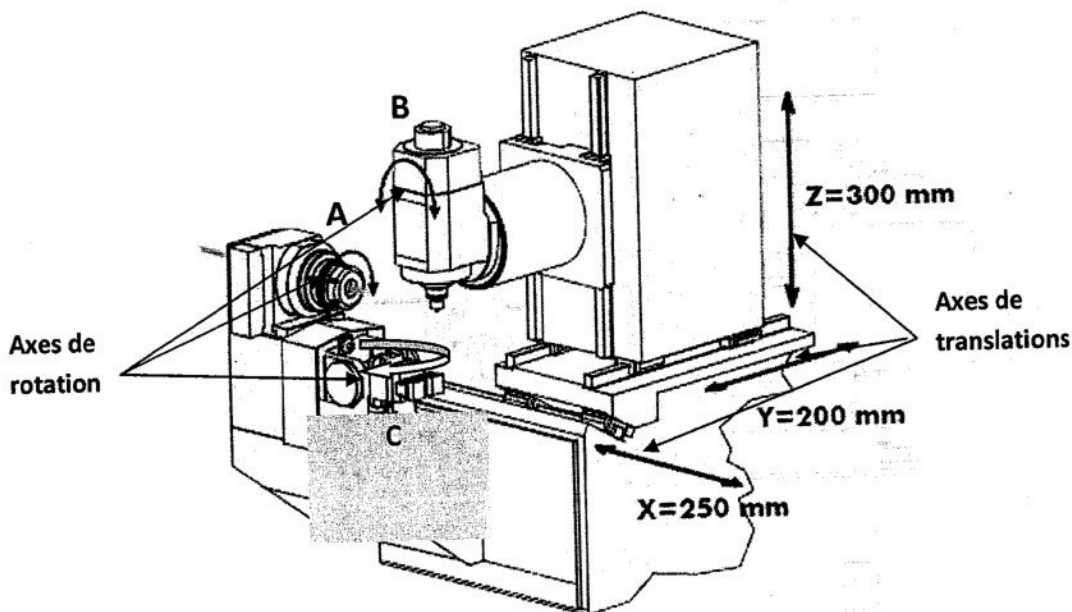


Figure 1 : vue d'ensemble du centre d'usinage « CU6 »

Le centre d'usinage **CU6** possède les caractéristiques suivantes :

- **Courses et définitions des axes :**

X=250 mm
Y=200 mm
Z=300 mm
A=360°/S2=6000 tr.min⁻¹
B=0°/+360°
C=0°/+360°

- **Axes linéaires**

Le déplacement des axes linéaires est assuré par des rails de guidage et des patins préchargés à recirculation de galets.

Les patins préchargés sont de classes super précision. Ils garantissent des déplacements sans dissipation d'énergie ni frottement ainsi qu'une bonne rigidité de l'ensemble de la structure du **CU6**.

Les vitesses de déplacements sont de l'ordre de 30m/min.

La résolution des axes linéaires est de 0.001mm.

- **Axes rotatifs**

Les axes rotatifs sont indépendants l'un de l'autre. Cette architecture permet d'usiner facilement des pièces complexes mêmes à 5 faces. La haute rigidité et la grande capacité de charge garantissent entre autre une meilleure précision d'usinage en positions fixes ou en axes simultanés.

- **Moto-broches**

La broche, est à moteur intégré pouvant atteindre une vitesse de rotation de 30000 tr. min⁻¹. Ses guidages en rotation sont assurés par des roulements hybrides de classe superprécision répondant aux exigences d'usinage à grande vitesse.

Elle est équipée d'un cône prise d'outil de très haute précision et d'un dispositif d'arrosage périphérique.

- **Magasin et changeur d'outils**

Un magasin d'outils de 24 positions avec changeur d'outils à bras double équipe en standard le centre d'usinage. En option, la capacité du magasin peut être étendue à 48 outils. Le temps de changement d'outil est de l'ordre d'une seconde.

NB dans la suite du sujet on adopte les notations suivantes :

A chaque solide S_i est associé un repère $R_i(O_i, \bar{x}_i, \bar{y}_i, \bar{z}_i)$

$$\text{Torseur Statique} \quad \{\tau(S_i \rightarrow S_j)\} = \begin{Bmatrix} X_{ij}\bar{x}_i + Y_{ij}\bar{y}_i + Z_{ij}\bar{z}_i \\ L_{ij}\bar{x}_i + M_{ij}\bar{y}_i + N_{ij}\bar{z}_i \end{Bmatrix}_{O_i}$$

$$\text{Torseur cinématique} \quad \{V(S_i/S_j)\} = \begin{Bmatrix} \vec{\Omega}(S_i/S_j) \\ \vec{V}(O_i, S_i/S_j) \end{Bmatrix}_{O_i}$$

Torseur Cinétique du solide S_i dans son mouvement par rapport au repère R .

$$\{C(S_i/R)\} = \begin{Bmatrix} \vec{R}_c(S_i/R) \\ \vec{\sigma}(O_i, S_i/R) \end{Bmatrix}_{O_i}$$

Torseur dynamique du solide S_i dans son mouvement par rapport au repère R .

$$\{D(S_i/R)\} = \begin{Bmatrix} \vec{R}_d(S_i/R) \\ \vec{\delta}(O_i, S_i/R) \end{Bmatrix}_{O_i}$$

B- Travail en mode fraisage (Le centre d'usinage CU6 est configuré en mode fraisage CF6)

B-1 Description du schéma cinématique du CF6

Le schéma cinématique de l'architecture du CF6 est présenté sur la figure 2 :

Le bâti est représenté par le solide S_0 .

Le solide S_1 représente la table horizontale, elle se déplace suivant l'axe $(O_1, \bar{y}_1)$.

Le solide S_2 représente un plateau tournant, assurant la rotation autour de l'axe $(O_2, \bar{z}_2)$.

Le solide S_3 représente la broche porte pièce en mode fraisage.

Le solide S_4 représente la pièce.

Dans la phase d'usinage les solides S_3 et S_4 constitue le même solide Σ tournant autour de l'axe $(O_3, \bar{y}_3)$.

Le solide S_5 représente la table transversale, elle se déplace suivant l'axe $(O_5, \bar{x}_5)$.

Le solide S_6 représente la table verticale, elle se déplace suivant l'axe $(O_6, \bar{z}_6)$.

Le solide S_7 représente le porte outil et S_8 représente l'outil. Pendant l'usinage le solide S constitue le même solide $S = S_7 \cup S_8$ pouvant tourner autour de l'axe $(O_7, \bar{x}_7)$.

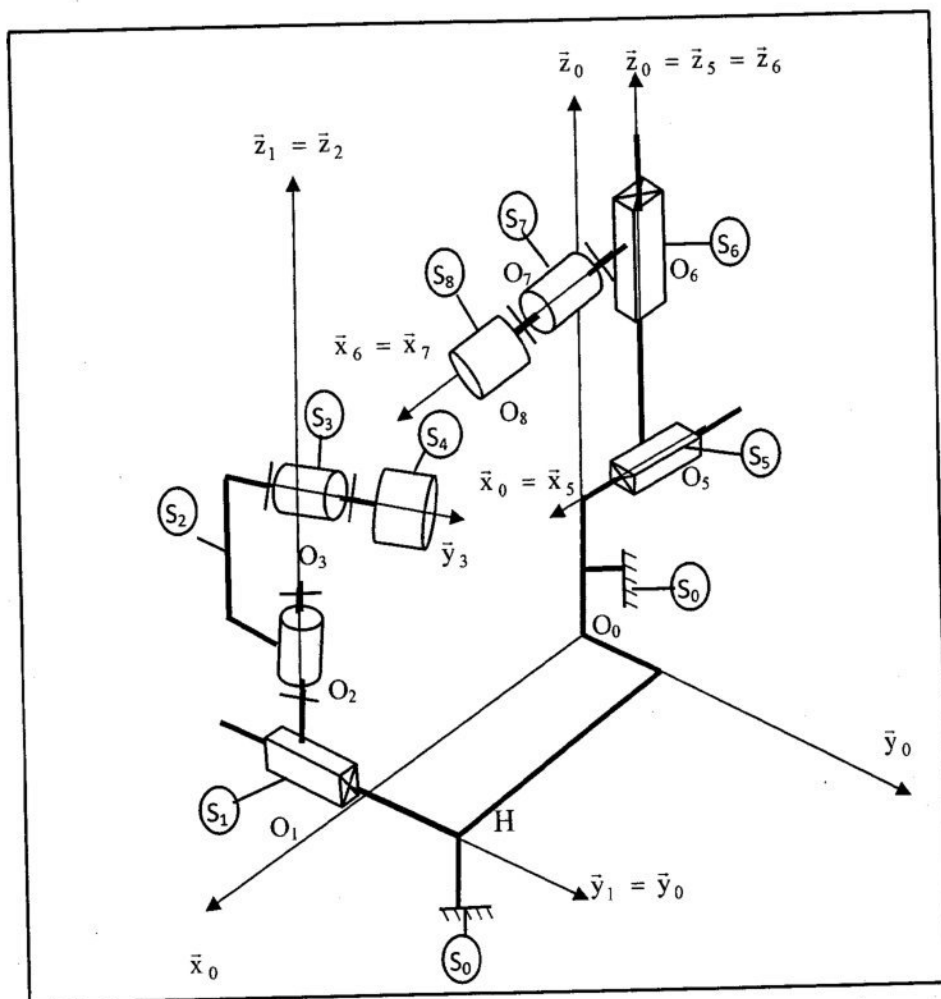


Figure 2 : Schéma cinématique du CF6

Partie I- étude du système porte outil

L'objectif de cette partie est de faire l'étude : statique, cinématique, d'hyperstatisme et de la résistance des matériaux du système porte outil.

La figure 3 donne le schéma simplifié du système porte outil.

Les données

$$\overline{O_0 O_5} = h\bar{z}_0 + \mu\bar{x}_5, \quad \overline{O_5 O_6} = \delta\bar{z}_0$$

$$\overline{O_6 O_7} = k\bar{x}_6, \quad \overline{O_7 M} = e\bar{x}_7 + R\bar{y}_7$$

(**h, k, e, et R** des constantes positives)

$$(-100 \leq \mu \leq 100 ; 0 \leq \delta \leq 300) \text{ [mm]}$$

$$(O_6, \bar{x}_6) = (O_6, \bar{x}_7); \text{ et } (\bar{y}_6, \bar{y}_7) = (\bar{z}_6, \bar{z}_7) = \theta_{76}(t)$$

Les repères

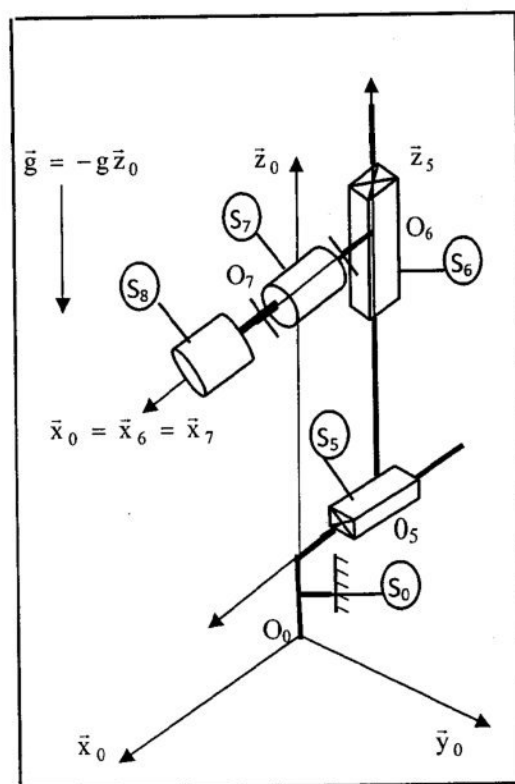
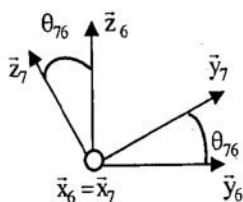


Figure 3 : Schéma cinématique du système porte outil

Le tableau 1 donne la masse et le centre d'inertie des pièces constituant le système porte outil

Solide	S ₀	S ₅	S ₆	S
Masse, centre d'inertie	m ₀ , O ₀	m ₅ , O ₅	m ₆ , O ₆	m, O ₇

Tableau 1

- Le repère $R_7(O_7, \bar{x}_7, \bar{y}_7, \bar{z}_7)$ lié à S₇.

- la pesanteur est désignée par (**Pes**).

- le torseur d'action de la pièce sur l'outil $\{\tau(S_4 \rightarrow S_8)\}_M$ est connu, il est de la forme :

$$\{\tau(S_4 \rightarrow S_8)\} = \left\{ \begin{array}{c} X_{48}\bar{x}_0 + Y_{48}\bar{y}_0 + Z_{48}\bar{z}_0 \\ \vec{0} \end{array} \right\}_M$$

Dans cette partie, pour des raisons de simplification les systèmes de transformation de mouvement de rotation en translation intercalés entre les moteurs (M_{05} et M_{56}) et (S_5 et S_6) ne sont pas représentés nous considérons l'effet direct des moteurs sur S_5 et S_6 .

Nous supposons que le torseur des actions de liaison du solide S_i sur S_j est exprimé dans le repère lié au solide S_i .

Le repère $R_0(O_0, \bar{x}_0, \bar{y}_0, \bar{z}_0)$ est lié au bâti S_0 . Le solide S_5 représente une table horizontale est en liaison glissière L_5 parfaite d'axe $(O_5, \bar{x}_5)$ avec S_0 .

Ce mouvement est assuré par un moteur M_{05} qui est fixé sur S_0 , il développe un effort au point O_5 tel que : $\bar{F}_{(M_{05} \rightarrow S_5)} = F_{05} \bar{x}_5$ ($\bar{x}_0 = \bar{x}_5$).

Le solide S_6 modélise une table verticale en liaison glissière L_6 parfaite d'axe $(O_6, \bar{z}_6)$ par rapport à S_5 .

Son mouvement est assuré par un moteur M_{56} qui est fixé sur S_5 , il développe un effort au point O_6 tel que : $\bar{F}_{(M_{56} \rightarrow S_6)} = F_{56} \bar{z}_6$ $\bar{z}_0 = \bar{z}_5 = \bar{z}_6$.

Le solide S représente l'outil S_8 et le porte outil S_7 ($S = S_7 \cup S_8$) est en liaison L_7 pivot parfait d'axe $(O_6, \bar{x}_6) = (O_6, \bar{x}_7)$ par rapport à la pièce S_6 .

Un moteur M_{67} assure la rotation de S : tel que $\bar{C}_{(M_{67} \rightarrow S_7)} = C_{67} \bar{x}_7$; ($\bar{x}_0 = \bar{x}_6$).

1.1 Etude statique

- 1.1.1 Tracer le graphe de structure (ou d'analyse : liaisons et efforts) du système porte outil.
- 1.1.2 Ecrire les torseurs statiques transmissibles des différentes liaisons du système porte outil.
- 1.1.3 Ecrire les équations déduites du principe fondamental de la statique appliqué à S .
- 1.1.4 déterminer les inconnues de liaison au niveau de la liaison L_7 .

1.2 Etude cinématique

- 1.2.1 Ecrire les torseurs cinématiques (aux points choisis) des différentes liaisons du système porte outil.
- 1.2.2 Calculer $\bar{V}_{(M, S/R_0)}$ et exprimer le résultat dans R_0 .
- 1.2.3 Calculer $\bar{\Gamma}_{(M, S/R_0)}$ et exprimer le résultat dans R_0 .

1.3 Etude d'hyperstatisme

- 1.3.1 Par une étude cinématique déterminer le degré de mobilité m du système porte outil
- 1.3.2 Déduire le degré d'hyperstatisme h du système porte outil.

1.4 Etude de la résistance des matériaux

Nous souhaitons dimensionner l'outil. Le modèle retenu est celui décrit par la figure 4. L'outil est assimilé à une poutre de section droite circulaire (arbre creux) de diamètre extérieur D_e et diamètre intérieur D_i .

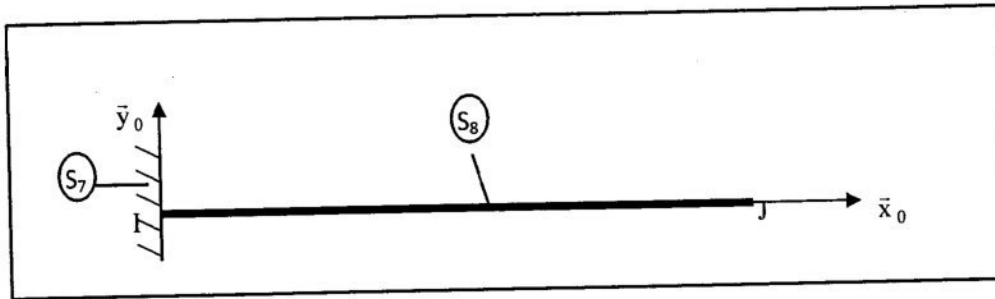


Figure 4 : Modèle adopté pour l'outil

Lors de l'usinage, le torseur d'action mécanique de la pièce sur l'outil au point J, est exprimé par $\{T\}_J$. Ce torseur s'écrit sous la forme suivante :

$$\{T\}_J = \begin{Bmatrix} N\bar{x}_0 + F_y\bar{y}_0 + F_z\bar{z}_0 \\ M_t\bar{x}_0 + M_{fy}\bar{y}_0 + M_{fz}\bar{z}_0 \end{Bmatrix}_J = \begin{Bmatrix} 100\bar{x}_0 - 200\bar{y}_0 + 100\bar{z}_0 \\ 10^6\bar{x}_0 + 100\bar{y}_0 + 150\bar{z}_0 \end{Bmatrix}_J$$

On donne $\overline{IJ} = L\bar{x}_0$; $\frac{D_i}{D_e} = 0,7$; $L = 200\text{mm}$

Un point G de la poutre (IJ) est repéré par x tel que $\overline{IG} = x\bar{x}_0$

Les caractéristiques mécaniques de l'outil sont :

- Le Module d'élasticité transversal : $G = 8.10^4 \text{N/mm}^2$
- Le coefficient de sécurité : $s = 3$
- Le coefficient de concentration de contrainte $k = 1,5$
- La contrainte tangentielle à la limite élastique : $\tau_e = 100 \text{N/mm}^2$

Noté Bien que : l'unité de N, F_y et F_z est [N], et l'unité de M_t, M_{fy} et M_{fz} est [N.mm]

1.4.1 Déterminer le torseur statique de la liaison encastrement au point I en fonction de $\{T\}_J$,

1.4.2 Déduire le torseur de cohésion pour une section S_G d'abscisse x

Nous souhaitons dimensionner l'arbre sous l'effet de la torsion seule. En supposons que les effets des autres composantes du torseur de cohésion sont négligées devant celui du moment de torsion M_t .

1.4.3 Exprimer la condition de résistance et calculer les diamètres D_e et D_i .

II -Etude du système porte pièce

L'objectif de cette partie est de calculer l'expression du couple C_{23} en vue de dimensionner le moteur M_{23} .

Données

$\overline{HO_1} = \lambda(t)\overline{y_1}$
 $\overline{O_1O_2} = a\overline{z_1}$
 $\overline{O_2O_3} = b\overline{z_1}$
 $\overline{O_3N} = c\overline{y_2} + r\overline{z_3}$
(a,b,c,r des constantes positives)
 $\overline{z_1} = \overline{z_2}; (\overline{x_1}, \overline{x_2}) = (\overline{y_1}, \overline{y_2}) = \theta_{21}(t)$
 $\overline{y_2} = \overline{y_3}; (\overline{x_2}, \overline{x_3}) = (\overline{z_2}, \overline{z_3}) = \theta_{32}(t)$

Les repères

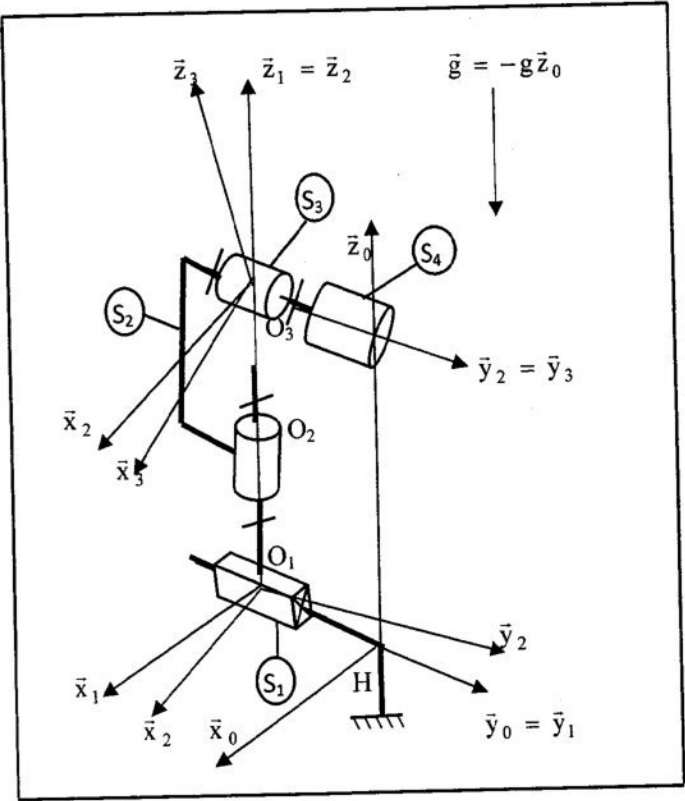
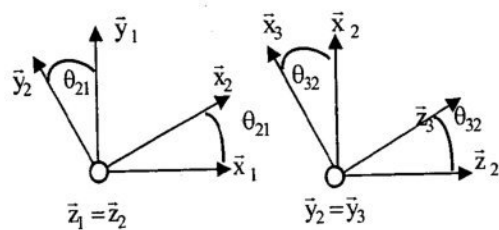


Figure 5 : Schéma cinématique du système porte pièce

Le tableau suivant donne les caractéristiques cinétiques de chaque solide du système porte pièce.

Solide	Masse, centre d'inertie	Matrice d'inertie
S ₁	m ₁ , O ₁	Non utilisée dans l'étude
S ₂	m ₂ , O ₂	$[I_{O_2}(S_2)] = \begin{pmatrix} A_2 & 0 & -E_2 \\ 0 & B_2 & 0 \\ -E_2 & 0 & C_2 \end{pmatrix}_{(\overline{x_2}, \overline{y_2}, \overline{z_2})}$
$\Sigma = S_3 \cup S_4$	m _Σ , O ₃	$[I_{O_3}(\Sigma)] = \begin{pmatrix} A_\Sigma & 0 & 0 \\ 0 & B_\Sigma & 0 \\ 0 & 0 & C_\Sigma \end{pmatrix}_{(-\overline{y_3}, -)}$

Tableau 2 : caractéristiques cinétiques du système porte pièce

Le repère $R_0(H, \bar{x}_0, \bar{y}_0, \bar{z}_0)$ est supposé **galiléen** lié au bâti S_0 . Le solide S_1 est en liaison glissière L_1 parfaite d'axe $(O_1, \bar{y}_1)$ avec S_0 .

Un actionneur M_{01} est fixé sur S_0 développe un effort $\bar{F}_{(M_{01} \rightarrow S_1)} = F_{01} \bar{y}_1$ afin d'assurer le déplacement du solide S_1 .

Le solide S_2 est en liaison pivot L_2 parfait d'axe $(O_2, \bar{z}_2)$ par rapport à S_1 .

Le moteur M_{12} est fixé sur S_1 exerce un couple sur S_2 tel que : $\bar{C}_{(M_{12} \rightarrow S_2)} = C_{12} \bar{z}_1$ afin d'animer le solide S_2 en rotation. Le repère $R_2(O_2, \bar{x}_2, \bar{y}_2, \bar{z}_2)$ est lié à S_2 .

le solide S_3 est solidaire par l'intermédiaire d'une liaison encastrement au solide S_4 constituant le même solide Σ , ce dernier est en liaison pivot L_3 parfait d'axe $(O_3, \bar{y}_2)$ par rapport au solide S_2 .

Un moteur M_{23} est fixé sur S_2 exerce un couple sur S_3 , sachant que : $\bar{C}_{(M_{23} \rightarrow S_3)} = C_{23} \bar{y}_2$. Le repère R_3 est lié au solide Σ . Un point N de la génératrice de la pièce est défini par $\overrightarrow{O_3 N} = c \bar{y}_2 + r \bar{z}_3$.

Le système de transformation de rotation en translation du moteur M_{10} n'est pas représenté.

2.1 Etude cinétique

2.1.1 L'axe $(O_3, \bar{y}_3)$ est un axe de révolution de Σ quelles sont les conséquences de cela sur la forme de la matrice $[I_{O_3}(\Sigma)]$ dans le repère R_3 .

Déduire une relation entre A_Σ et B_Σ .

2.1.2 déterminer le torseur cinétique de Σ au point O_3 dans son mouvement par rapport à R_0 et exprimer le résultat dans le repère R_2 .

2.2 Etude dynamique

Hypothèses

Le torseur d'action mécanique d'usinage de S sur Σ est connu, il s'écrit sous la forme suivante :

$$\{\tau(S \rightarrow \Sigma)\} = \begin{Bmatrix} X_s \bar{x}_2 + Y_s \bar{y}_2 + Z_s \bar{z}_2 \\ L_s \bar{x}_2 + M_s \bar{y}_2 + N_s \bar{z}_2 \end{Bmatrix}_{O_3}$$

2.2.1 dresser le graphe de structure appelé aussi graphe d'analyse du système porte pièce.

2.2.2 Déterminer le torseur dynamique $\{D(\Sigma/R_0)\}_{O_3}$ exprimé ce torseur dans la base $(\bar{x}_2, \bar{y}_2, \bar{z}_2)$.

2.2.3 En appliquant le Principe Fondamental de la dynamique sur Σ déterminer les inconnues de liaison du torseur $\{\tau(S_2 \rightarrow \Sigma)\}_{O_3}$. Déduire l'équation de mouvement qui permet de calculer C_{23} .

III Etude de fabrication

L'étude de fabrication porte sur le boîtier de roulement de la porte fraise, défini sur le document **DT1**. La production est de l'ordre de 2000 pièces par an pendant 4 ans, une optimisation des coûts à conduit à une taille économique des lots fabriqués de 30 unités.

Les pièces brutes sont obtenues par moulages en sables et sont communes à plusieurs types de boîtiers.

Le matériau utilisé est une fonte dont la dureté HB est d'environ 250 daN/mm².

Les usinages sont réalisés sur 3 types de machines à commande numérique, piloté par un même opérateur.

La gamme d'usinage est définie succinctement sur le document **DT4**.

On envisage d'usiner cette pièce dans un atelier flexible composé de trois centres d'usinages, deux tours à commande numériques et un chariot filoguidé.

Machines:

- 3 Centres d'usinage CU6,
- 2 tours à commande numériques

Pièce : boîtier (document DT 1) :

- Matière Fonte : EN -GJL 250
- Repérage des surfaces réalisées (document DT 2)
- On part d'un brut moulé : profile du brut (document DT 3)
- Gamme d'usinage (document DT 4)
- Série de 2000 pièces par an pendant 4 ans.

3.1 Technologie de fabrication

3.1.1 La matière usinée est de la fonte dont la dureté est 250 daN/mm².
Donner le principe de la mesure de la dureté HB d'un matériau.

3.1.2 On usine la pièce considéré sur le centre d'usinage **CF6**.
(Rappel : il s'agit d'un centre d'usinage à 6 axes voir page 4)
Donner la définition d'un axe numérique.

3.2 Conditions de coupe en tournage

On s'intéresse ici au calcul de la puissance nécessaire à la coupe pendant la phase 20 concernant l'ébauche de la surface C.

Machine : tour à commande numérique

Puissance : 8 KW

Rendement : $\eta = 0,98$

La profondeur de passe radiale est $a_p = 4$ mm.

L'outil utilisé a un angle de direction d'arête κ_r de 93° et un angle de coupe γ de 0°.

L'avance est : $f = 0,3 \text{ mm} \cdot \text{tr}^{-1}$. La vitesse de coupe est : $V_c = 150 \text{ m/min}$.

3.2.1 - En vous aidant du document **DT 6**, sur le calcul de la puissance consommée pendant une opération de tournage et du document **DT5**, sur la Détermination de la pression spécifique de coupe, déterminer la puissance nécessaire à la coupe pour l'opération d'ébauche.

3.2.2 - L'usinage est-il envisageable avec la machine proposée ?

3. 3 Métrologie et contrôle

Expliquer, la signification des spécifications suivantes :

3.3.1

	0.3	C
---	-----	---

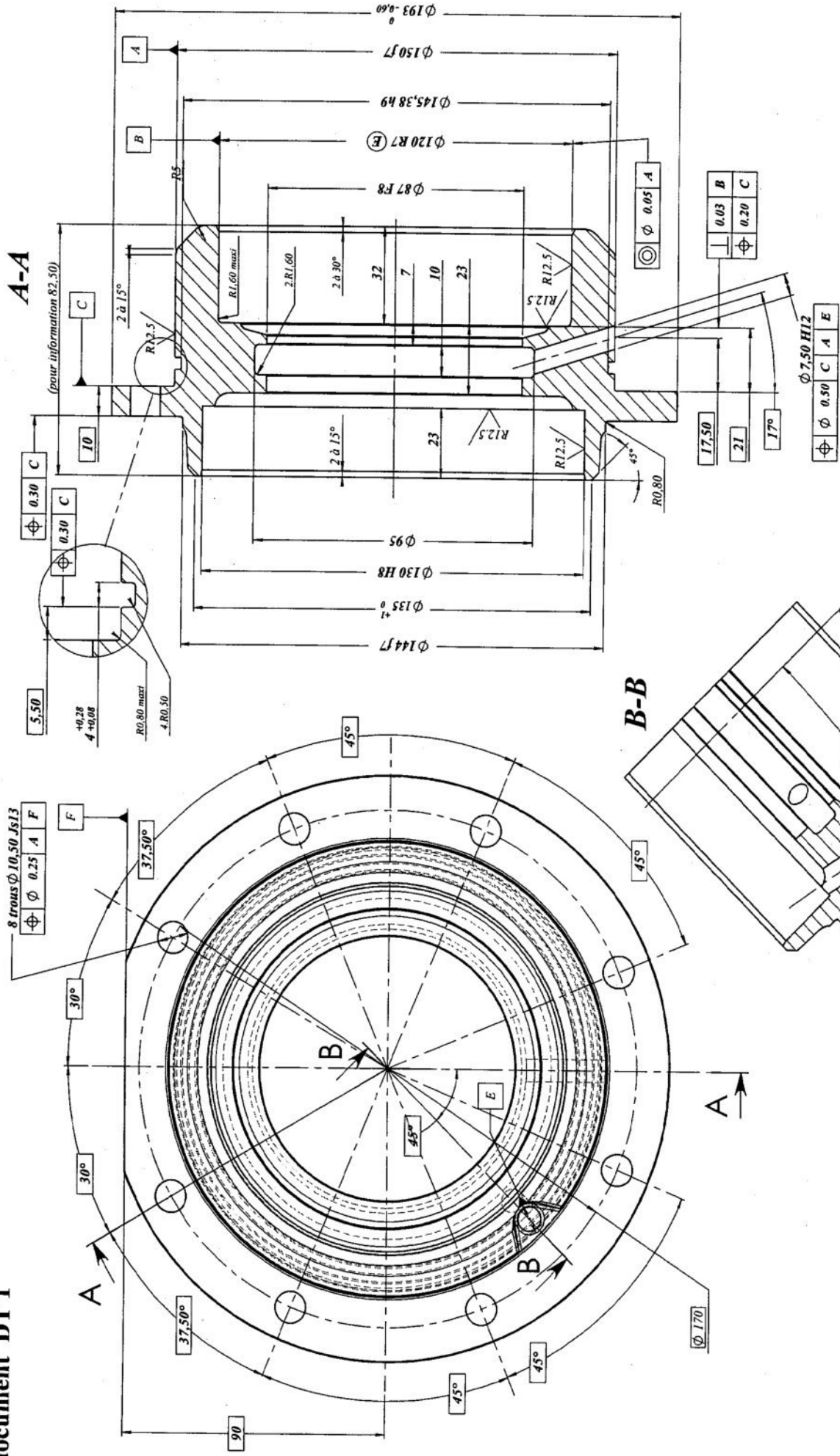
3.3.2

	Φ 0.05	A
---	-------------	---

Sur les documents réponse **DR1** et **DR2** préciser pour chacune d'elle avec toutes les indications nécessaires :

- L'élément tolérancé
- L'élément (ou les éléments) de référence
- La forme de la zone de tolérance et si nécessaire sa situation géométrique

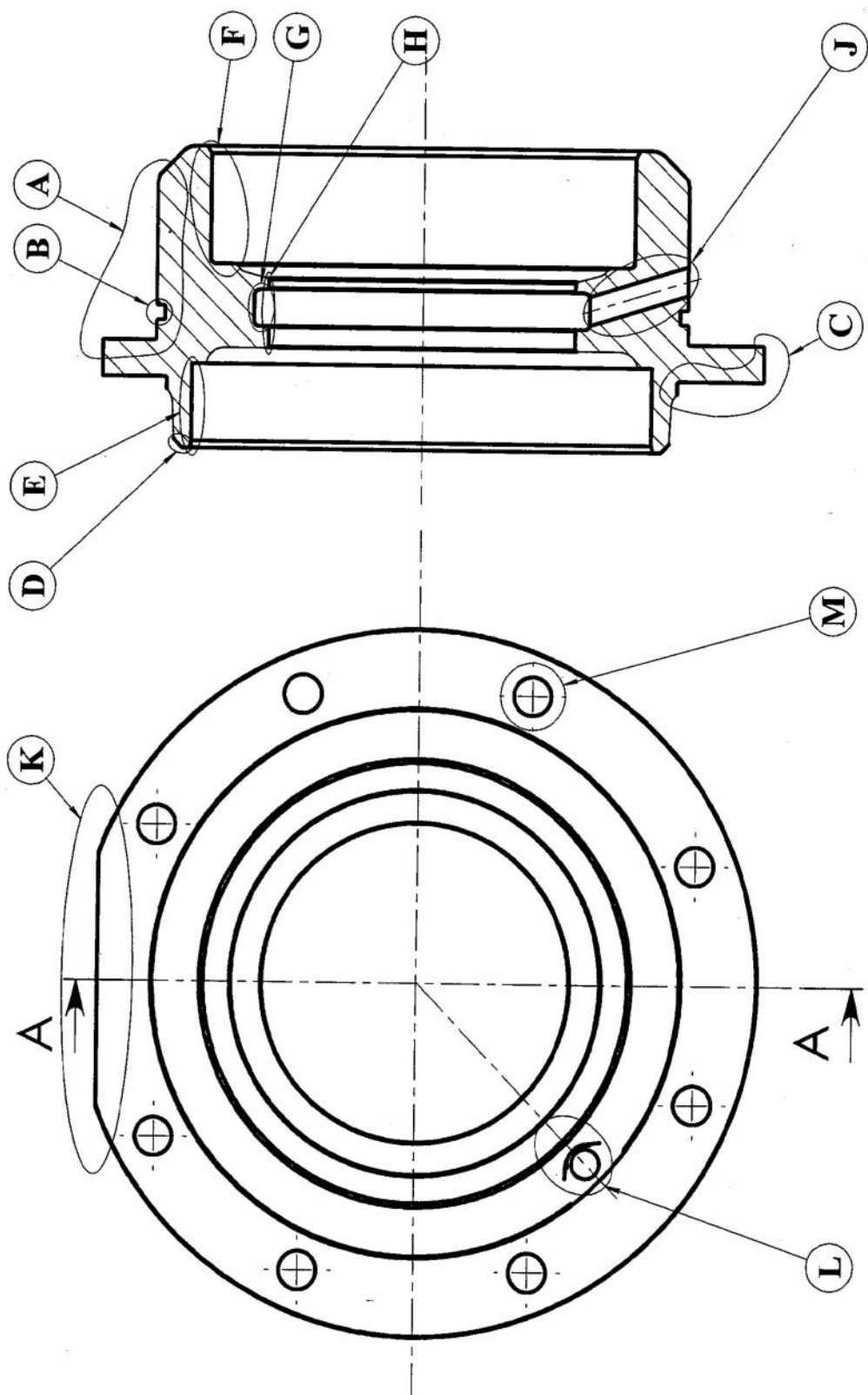
Fin de l'énoncé



Pièce : BOITIER
Matière : (EN-GJL 250)
Spécifications sans tolérance : ISO 2768 mK
Echelle : 0.8:1

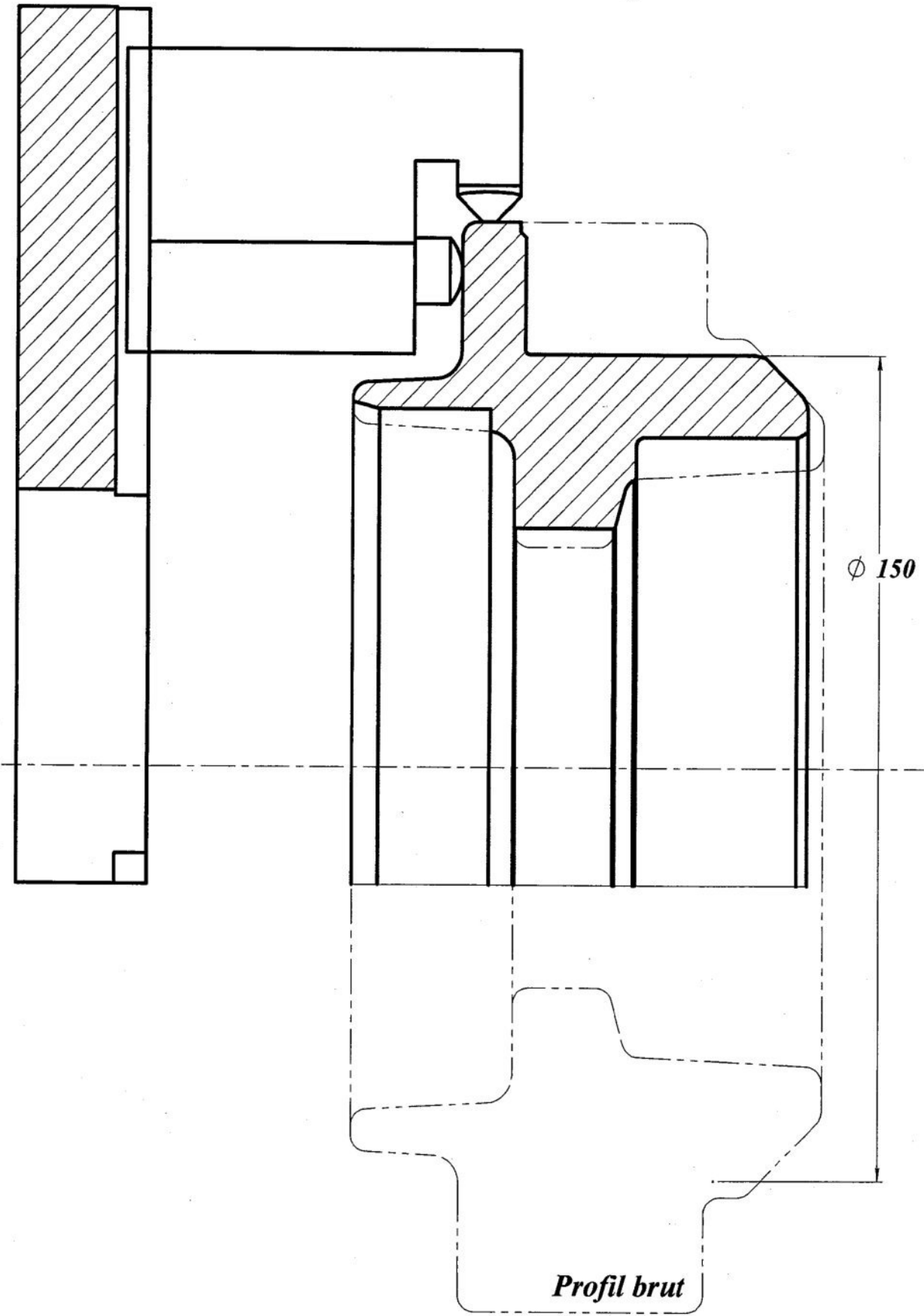
Forme obtenue par moulage

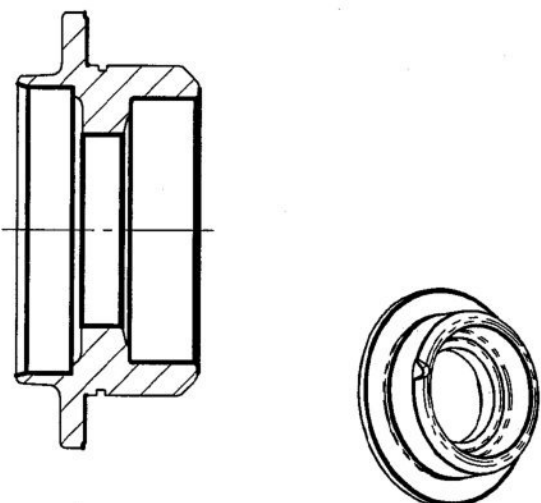
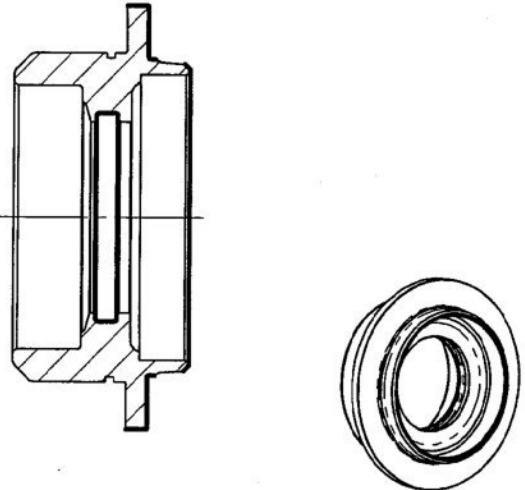
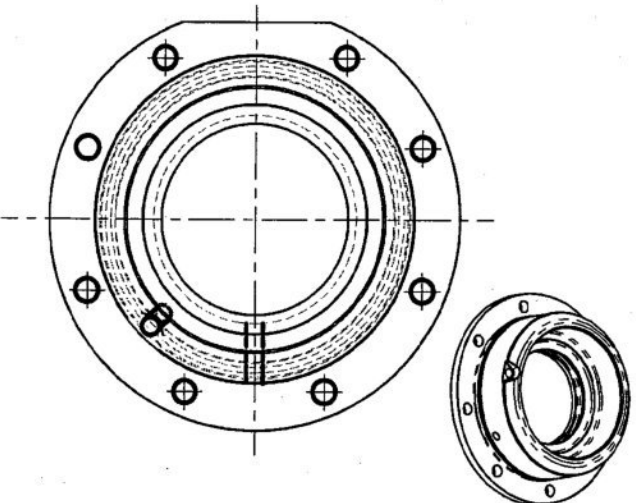
Repérage des associations de surfaces



document DT 2

Porte-pièce PHASE 10



Pièce : BOITIER			NOMENCLATURE des PHASES
N° Phase	Désignation de la PHASE	Machine Outil	CROQUIS de phase
10	Groupes de surfaces - A - - B - - F - - H - - E -	Centre d'usinage	
20	Groupes de surfaces - C - - D - - G -	Tour CN	
30	Groupes de surfaces - J - - K - - L - - M -	Centre d'usinage	

La pression spécifique de coupe K_c est fonction de la matière usinée, de sa résistance à la traction R_m et de l'épaisseur du copeau hm (donc de l'avance f et de l'angle K_r de direction de l'arête de coupe).

Les fournisseurs d'outils de coupe donnent un tableau des valeurs de K_{co} pour $hm = 0,2\text{ mm}$ et pour un outil avec un angle de coupe $\gamma = 0^\circ$ (données SANDVIK COROMANT et HERTEL) :

MATIERES		$K_{co} \text{ (N/mm}^2\text{)}$
Aciers ordinaires	S185 S275	2600
	S 355	2900
	E 335	3000
	E 360	3150
Aciers fins (non alliés)	C35 C40	2300
	C45 C55	2600
	C60	2850
Aciers alliés	16 Mn Cr 5	3400
	10 Ni Cr 6	3600
	35 Cr Mo 4	3800
	Acier inoxydable	3750
Fontes	EN-GJL 150	1360
	EN-GJL 200, EN-GJL 250	2100
	Fonte alliée	2300
	EN-GJMW, EN-GJMB, EN-GJS	1750
Alliages de Cuivre	Laiton Cu Zn 15	1150
	Bronze Cu Sn 8 P	2450
Alliages d'Aluminium	EN AC-AISi13	1000
	Alliage de moulage ($R_r \leq 190\text{ N/mm}^2$)	850
	Alliage de moulage ($190 < R_r < 270\text{ N/mm}^2$)	1000
	Alliage de moulage ($270 < R_r < 370\text{ N/mm}^2$)	1220

Pour une épaisseur de copeau hm différente, il faut donc appliquer un facteur de correction k_1 :

$hm \text{ (mm)}$	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70	0,80	1,00
k_1	1,50	1,23	1,10	1,00	0,94	0,89	0,85	0,81	0,79	0,76	0,72	0,69	0,66	0,6

De même, suivant la valeur de l'angle de coupe γ , il faut appliquer la correction k_2 suivante :

$$k_2 = (1 - 0,013 \cdot \gamma)$$

d'où

$K_c = K_{co} \cdot k_1 \cdot k_2$

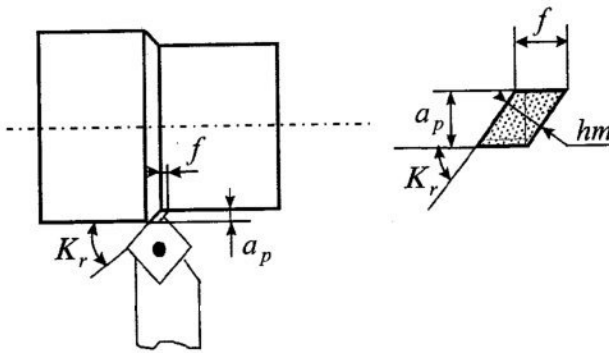
1- Effort de coupe en tournage

L'effort de coupe en tournage peut être estimé selon la formule :

$$F_c = K_c \cdot f \cdot a_p$$

F_c : effort de coupe en N ;
 K_c : pression spécifique de coupe en $N \cdot mm^{-2}$;
 f : avance en $mm \cdot tr^{-1}$;
 a_p : profondeur de passe radiale en mm.

La pression spécifique de coupe K_c sera déterminée à partir du **document 6, page D7/16**, et en appliquant les facteurs correctifs dus à l'épaisseur hm du copeau et à l'angle de coupe γ . La valeur de hm est obtenue de la façon suivante :



$$hm = f \cdot \sin K_r$$

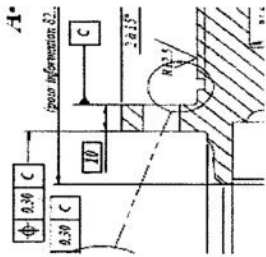
2- Puissance consommée pour une opération de tournage

La puissance consommée pour une opération de tournage est estimée par la relation suivante :

$$P_c = F_c \cdot V_c$$

P_c : puissance consommée par la coupe en W ;
 F_c : effort de coupe en N ;
 V_c : vitesse de coupe en m/s.

TOLÉRANCEMENT NORMALISÉ		Analyse d'une spécification par zone de tolérance		
Symbole de la spécification	Eléments non idéaux	Eléments idéaux		
		Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)
Type de spécification Forme Orientation Battement				Zone de tolérance
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.		unique groupe	unique multiples	simple commune système
Schéma extrait du dessin de définition				Contraintes orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée



TOLERANCEMENT NORMALISE		Analyse d'une spécification par zone de tolérance		
Symbole de la spécification		Eléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Battement		Elément(s) non Idéaux	Eléments Idéaux	
		Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.		unique groupe	unique multiples	simple commune système
Zone de tolérance		simple composée		Contraintes orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
Schéma extrait du dessin de définition				

document DR 2