

C30182

**Ecole Normale Supérieure de Cachan**

61 avenue du président Wilson  
94230 CACHAN

---

Concours d'admission en 3<sup>ème</sup> année

**GÉNIE MÉCANIQUE**

Session 2010

---

## Épreuve de SCIENCES DE LA PRODUCTION

---

Durée : 4 heures

---

« *Aucun document n'est autorisé* »

« *L'usage de calculatrices électroniques de poche à alimentation autonome, non imprimantes et sans document d'accompagnement, est autorisé selon la circulaire n° 99018 du 1<sup>er</sup> février 1999. De plus, une seule calculatrice est admise sur la table, et aucun échange n'est autorisé entre les candidats* »

*Si au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre*

---

Le sujet comporte 9 pages de texte, 1 document et 1 document- réponse format A3.

**Nota** : l'épreuve comporte 3 parties. Il est vivement conseillé au candidat de répartir son travail de la façon suivante :

En admettant un temps pour la lecture du sujet de 15 minutes :

Partie 1 : Modélisation de l'équilibrage.	1 heure 15 min
Partie 2 : Conception de la liaison pivot.	1 heure 30 min
Partie 3 : Obtention et contrôle du boîtier porte broche.	1 heure

# Machine à équilibrer les outils pour l'Usinage Grande Vitesse.

## Présentation

La production moderne requiert l'utilisation de machines hautes performances. Dans le cadre des procédés par enlèvement de matière, les machines d'usinage grande vitesse sont dotées d'outils équilibrés.

Pour réaliser l'équilibrage de l'ensemble « outil – porte outil », des équilibreuseuses ont été développées et mises sur le marché. Le principe est le suivant :

- ✓ Mesure de l'équilibrage de l'ensemble « outil – porte outil »,
- ✓ Correction du défaut d'équilibrage par différents moyens,
- ✓ Validation du résultat obtenu.

La machine étudiée a la structure suivante (voir figure 1) :

- ✓ Une partie mécanique qui est essentiellement constituée d'un palier en rotation instrumenté.
- ✓ Une partie informatique qui calcule les défauts d'équilibrage et propose la conduite à suivre.



*Figure 1 : Machine d'équilibrage*

## Partie 1 : Modélisation de l'équilibrage.

La machine d'équilibrage est constituée :

- ✓ D'un bâti réalisé en fonderie,
- ✓ D'un boîtier porte broche en liaison « souple » avec le bâti,
- ✓ D'une broche en liaison pivot avec le boîtier porte broche, entraînée en rotation par un moteur,
- ✓ D'un ensemble « outil – porte outil » en liaison encastrement démontable avec la broche.

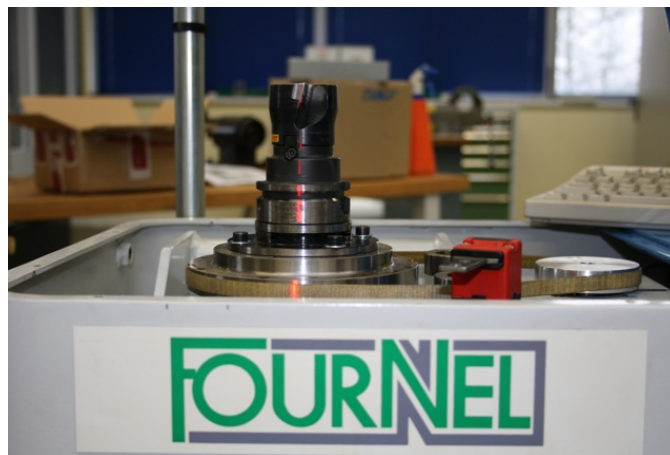


Figure 2 : Vue de l'ensemble « outil – porte outil ».

On schématise le mécanisme par l'ensemble ci dessous (figure 3) :

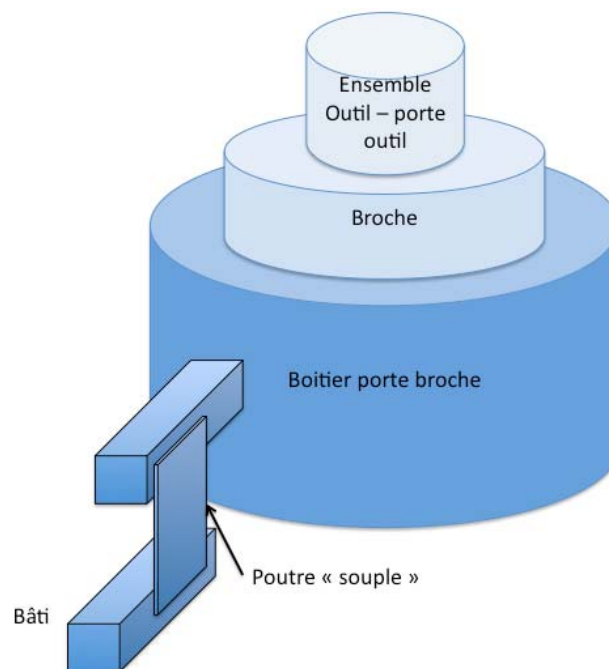


Figure 3 : Schématisation du mécanisme étudié.

L'objet de cette partie est de traiter de l'équilibrage d'un ensemble de solides en rotation autour d'un axe représenté ci après:

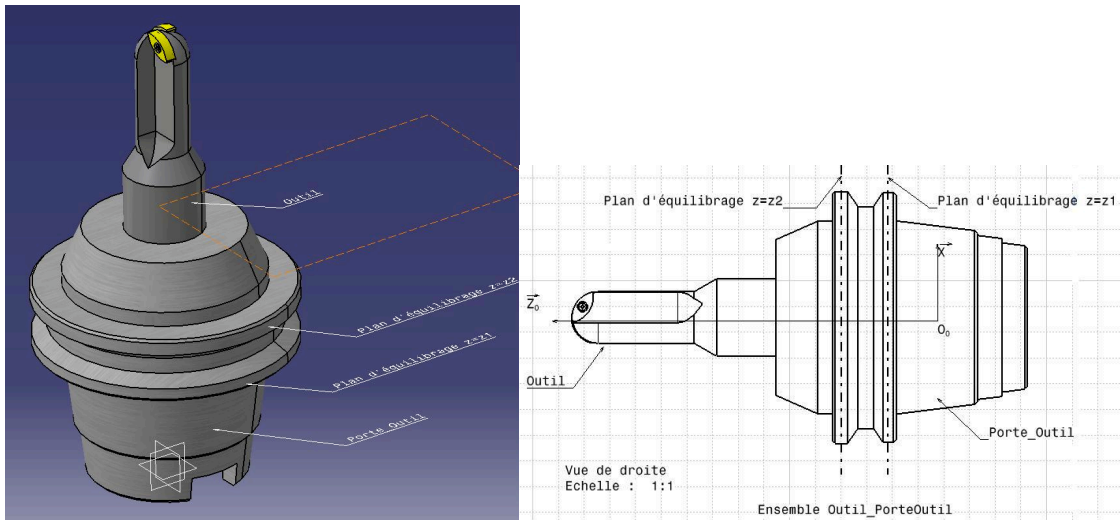


Figure 4 : L'ensemble Outil-Porte\_Outil (E)

L'ensemble ( $\Sigma$ ) en rotation sur le banc comporte deux solides en rotation, la broche (B) et l'ensemble Outil-Porte\_Outil (E). Bien que nous intéressent uniquement à l'équilibrage de l'ensemble Outil-Porte\_Outil, dans un premier temps nous considérerons tout l'ensemble ( $\Sigma$ ) en rotation.

Principe : La rotation de l'ensemble ( $\Sigma$ ) génère des efforts dans la liaison (Bâti/  $\Sigma$ ). L'analyse de ces efforts permet de déterminer les conditions de l'équilibrage de ( $\Sigma$ ).

#### Schématisation adoptée :

Le bâti est représenté par le repère  $R_0(O_0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$  supposé galiléen. L'ensemble ( $\Sigma$ ) auquel est attaché le repère  $R(O_0, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}_0)$  est en liaison pivot par rapport au bâti en  $O_0$  autour de l'axe  $(O_0, \vec{z}_0)$ . La position de ( $\Sigma$ ) par rapport à  $R_0$  est donné par l'angle  $\theta$  tel que  $\theta = (\vec{x}_0, \vec{x}) = (\vec{y}_0, \vec{y})$ . La vitesse de rotation  $\Omega$  est tel que  $\Omega = \dot{\theta} = \text{Cst}$ . Un moteur non représenté fourni le couple  $C_m \vec{z}_0$  nécessaire au pilotage de ( $\Sigma$ ). Le centre d'inertie de ( $\Sigma$ ) est situé en  $G_\Sigma$  tel que  $\overrightarrow{O_0 G_\Sigma} = a_\Sigma \vec{x} + c_\Sigma \vec{z}_0$ . La masse de ( $\Sigma$ ) est  $m_\Sigma$ . L'opérateur d'inertie de ( $\Sigma$ ) est donné par :

$$I_{(O_0, \Sigma)} = \begin{pmatrix} A_\Sigma & -F_\Sigma & -E_\Sigma \\ -F_\Sigma & B_\Sigma & -D_\Sigma \\ -E_\Sigma & -D_\Sigma & C_\Sigma \end{pmatrix} \text{ dans } R$$

Question 1. Dans les conditions décrites, calculer les éléments de réduction en  $O_0$  du torseur des efforts qu'exerce  $(\Sigma)$  sur le bâti. Ces éléments seront exprimés dans  $R_0$ .

On considère que  $(\Sigma)$  est équilibré si les efforts de liaison sont constants dans le temps.

Question 2. Quelles conditions doivent vérifier les paramètres de masse et d'inertie de  $(\Sigma)$  pour que  $(\Sigma)$  soit équilibré ?

Pour modifier les paramètres de masse et d'inertie, on peut :

- ajouter des masses, c'est le cas de l'équilibrage des roues de voiture.
- retirer de la masse, par perçage, c'est le cas de l'équilibrage des vilebrequins.

Dans le cas de l'équilibrage d'un outil qui peut potentiellement tourner à 30000 tr/mn, il est préférable pour des raisons de sécurité de retirer de la masse. Un trou ne se transforme pas en projectile !

On perce alors dans (E) un trou, supposé ponctuel, de masse  $-m_1$ , au point  $P_1$  tel que :

$$\overrightarrow{O_0P_1} = x_1\vec{x} + y_1\vec{y} + z_1\vec{z}_0$$

Question 3. Montrer que dans la plupart des cas un seul perçage ne suffit pas pour équilibrer  $(\Sigma)$ .

On perce alors 2 trous de masses respectives  $-m_1$  et  $-m_2$  aux points  $P_1$  et  $P_2$  tels que :

$$\overrightarrow{O_0P_1} = x_1\vec{x} + y_1\vec{y} + z_1\vec{z}_0 = \rho(\cos(\alpha_1)\vec{x} + \sin(\alpha_1)\vec{y}) + z_1\vec{z}_0$$

$$\overrightarrow{O_0P_2} = x_2\vec{x} + y_2\vec{y} + z_2\vec{z}_0 = \rho(\cos(\alpha_2)\vec{x} + \sin(\alpha_2)\vec{y}) + z_2\vec{z}_0$$

Les valeurs  $z_1$ ,  $z_2$  et  $\rho$  sont imposées.

Question 4. Calculer alors  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $m_1$  et  $m_2$  pour équilibrer l'ensemble  $(\Sigma)$ .

La procédure précédente équilibre l'ensemble  $(\Sigma)$ . Or, ce qui doit être équilibré en fin de compte, c'est l'ensemble Outil-Porte\_Outil (E). La broche (B) possède des défauts et n'est pas parfaitement équilibrée. Son centre d'inertie  $G_B$  est tel que  $\overrightarrow{O_0G_B} = a_B\vec{x} + b_B\vec{y} + c_B\vec{z}$ , sa masse est  $m_B$ .

Son opérateur d'inertie est donné par :

$$I_{(O_0,B)} = \begin{pmatrix} A_B & -F_B & -E_B \\ -F_B & B_B & -D_B \\ -E_B & -D_B & C_B \end{pmatrix}$$

Question 5. Montrer en quoi la procédure qui consiste à faire une première mesure d'effort (cas 1) puis une seconde (cas2) après avoir tourné (E) de  $180^\circ$  par rapport à la broche permet de compenser les défauts de la broche.

Il pourra être utile pour cela de comparer l'opérateur d'inertie de ( $\Sigma$ ), et la position de  $G_\Sigma$  dans les cas 1 et 2 et d'en tirer des conclusions sur les efforts dans la liaison (Bâti/  $\Sigma$ ).

La figure 3 fait apparaître un montage « souple » entre le boîtier porte broche et le bâti.

Question 6. Justifier cette conception « souple ».

Question 7. Proposer des types de capteurs pour l'acquisition des efforts de ( $\Sigma$ ) sur le bâti.

Question 8. Proposer une disposition pour ce (ou ces) capteurs(s).

## Partie 2 : Conception de la liaison pivot.

La liaison pivot entre le porte-broche et la broche est réalisée par un ensemble de 5 galets. 4 galets assurent la mise en position « pivot » et un galet presseur assure le maintien en position. Dans cette partie, on ne s'intéressera pas à l'arrêt axial.

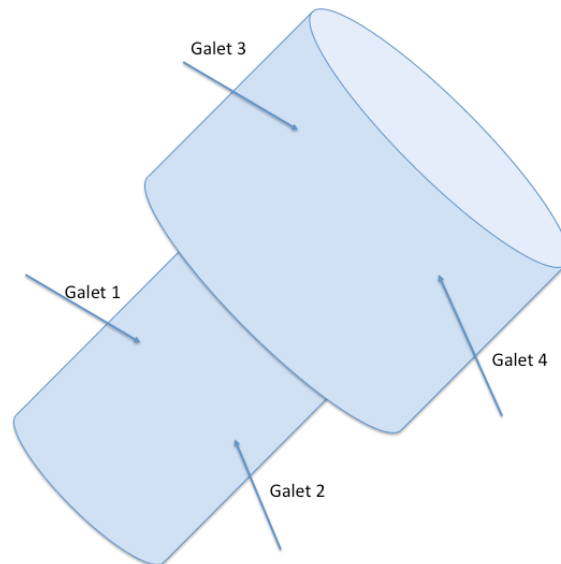


Figure 5 : schématisation des contacts des 4 galets .

- Question 9. Enoncer les raisons qui ont amené les concepteurs à réaliser la liaison pivot avec cette solution technologique plutôt qu'une réalisation « classique » par deux roulements.
- Question 10. Le maintien en position est assuré par le cinquième galet, positionner spatialement ce cinquième galet sur un schéma.

La broche sera représentée par un ensemble de deux cylindres tel que sur la figure 5, le cylindre recevant les galets 1 & 2 a une longueur de 80 mm pour un diamètre de 100 mm, le cylindre recevant les galets 3 & 4 a une longueur de 60 mm pour un diamètre de 150 mm. L'objet des questions suivantes est de définir les géométries du boîtier porte broche, des galets de mise en position et du galet presseur avec son système de réglage de la pression.

- Question 11. Réalisez à main levée sur le document réponse format A3, un dessin d'avant projet comprenant les éléments constitutifs de cette liaison pivot entre la broche et le boîtier porte broche. Vous complétez le document des vues, des éléments de cotation et des

définitions des matériaux constitutifs qui vous sembleront nécessaires à la compréhension de votre solution.

Question 12. Vous définirez précisément la conception d'un galet en indiquant clairement les références des éléments roulants utilisés.

Pour ces questions, une attention particulière sera portée à l'adéquation des solutions proposées avec une réalisation en petite série renouvelable.



### **Partie 3 : Obtention et contrôle du boîtier porte broche**

Pour la suite, nous nous intéressons à l'obtention du boîtier porte broche. Le brut est réalisé en fonderie et les surfaces fonctionnelles sont ensuite usinées sur MOCN.

Question 13. Proposer, à partir de votre dessin du boîtier défini en partie 3, une gamme de fabrication. Vous préciserez les machines employées, les mises en position retenues ainsi que les surfaces usinées et les outils associés.

La broche (figure 5) est constituée de deux cylindres qui doivent être coaxiaux.

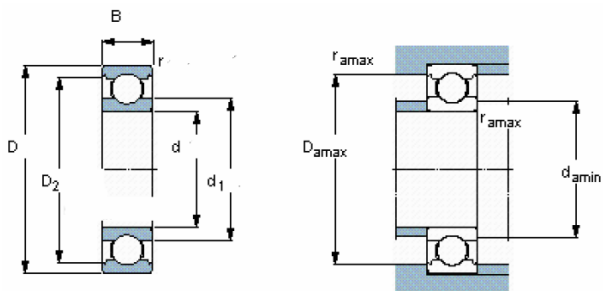
Question 14. Sur un dessin à main levée, proposer une cotation complète pour répondre à cette exigence.

Question 15. Expliquer la (ou les) tolérance(s) proposée(s) en précisant :

- les éléments tolérancés,
- les éléments de référence,
- les références spécifiées,
- la zone de tolérance et ses contraintes.

Question 16. Proposer une gamme de contrôle sur MMT des spécifications.

# DOCUMENT 1 : ELEMENTS ROULANTS



## Roulements rigides à billes, à une rangée

Dimensions d'encombrement			Charges dynamique		Charges statique	Limite de fatigue	Vitesse		Masse	Désignation
d	D	B	C	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub>	P <sub>u</sub>	Vitesse limite	Vitesse limite		
mm			kN			kN	tr/mn		kg	
20	32	7	4,03	2,32	0,104	45000	28000	0,018	61804	
20	37	9	6,37	3,65	0,156	43000	26000	0,038	61904	
20	42	8	7,28	4,05	0,173	38000	24000	0,05	16004	
20	42	12	9,95	5	0,212	38000	24000	0,069	6004	
20	47	14	13,5	6,55	0,28	32000	20000	0,11	6204	
20	52	15	16,8	7,8	0,335	30000	19000	0,14	6304	
20	72	19	30,7	15	0,64	24000	15000	0,4	6404	
25	37	7	4,36	2,6	0,125	38000	24000	0,022	61805	
25	42	9	7,02	4,3	0,193	36000	22000	0,045	61905	
25	47	8	8,06	4,75	0,212	32000	20000	0,06	16005	
25	47	12	11,9	6,55	0,275	32000	20000	0,08	6005	
25	52	9	10,6	6,55	0,28	28000	18000	0,078	98205	
25	52	15	14,8	7,8	0,335	28000	18000	0,13	6205	
25	62	17	23,4	11,6	0,49	24000	16000	0,23	6305	
25	80	21	35,8	19,3	0,815	20000	13000	0,53	6405	
30	42	7	4,49	2,9	0,146	32000	20000	0,027	61806	
30	47	9	7,28	4,55	0,212	30000	19000	0,051	61906	
30	55	9	11,9	7,35	0,31	28000	17000	0,085	16006	
30	55	13	13,8	8,3	0,355	28000	17000	0,12	6006	
30	62	16	20,3	11,2	0,475	24000	15000	0,2	6206	
30	72	19	29,6	16	0,67	20000	13000	0,35	6306	
30	90	23	43,6	23,6	1	18000	11000	0,74	6406	
35	47	7	4,75	3,2	0,166	28000	18000	0,03	61807	
35	55	10	9,56	6,8	0,29	26000	16000	0,08	61907	
35	62	9	13	8,15	0,375	24000	15000	0,11	16007	
35	62	14	16,8	10,2	0,44	24000	15000	0,16	6007	
35	72	17	27	15,3	0,655	20000	13000	0,29	6207	
35	80	21	35,1	19	0,815	19000	12000	0,46	6307	
35	100	25	55,3	31	1,29	16000	10000	0,95	6407	
40	52	7	4,94	3,45	0,186	26000	16000	0,034	61808	
40	62	12	13,8	10	0,425	24000	14000	0,12	61908	
40	68	9	13,8	9,15	0,44	22000	14000	0,13	16008	
40	68	15	17,8	11,6	0,49	22000	14000	0,19	6008	
40	80	18	32,5	19	0,8	18000	11000	0,37	6208	
40	90	23	42,3	24	1,02	17000	11000	0,63	6308	
40	110	27	63,7	36,5	1,53	14000	9000	1,25	6408	
45	58	7	6,63	6,1	0,26	22000	14000	0,04	61809	
45	68	12	14	10,8	0,465	20000	13000	0,14	61909	
45	75	10	16,5	10,8	0,52	20000	12000	0,17	16009	
45	75	16	22,1	14,6	0,64	20000	12000	0,25	6009	
45	85	19	35,1	21,6	0,915	17000	11000	0,41	6209	
45	100	25	55,3	31,5	1,34	15000	9500	0,83	6309	
45	120	29	76,1	45	1,9	13000	8500	1,55	6409	
50	65	7	6,76	6,8	0,285	20000	13000	0,052	61810	
50	72	12	14,6	11,8	0,5	19000	12000	0,14	61910	
50	80	10	16,8	11,4	0,56	18000	11000	0,18	16010	
50	80	16	22,9	16	0,71	18000	11000	0,26	6010	
50	90	20	37,1	23,2	0,98	15000	10000	0,46	6210	
50	110	27	65	38	1,6	13000	8500	1,05	6310	
50	130	31	87,1	52	2,2	12000	7500	1,9	6410	
55	72	9	9,04	8,8	0,375	19000	12000	0,083	61811	
55	80	13	16,5	14	0,6	17000	11000	0,19	61911	
55	90	11	20,3	14	0,695	16000	10000	0,26	16011	
55	90	18	29,6	21,2	0,9	16000	10000	0,39	6011	
55	100	21	46,2	29	1,25	14000	9000	0,61	6211	
55	120	29	74,1	45	1,9	12000	8000	1,35	6311	
55	140	33	99,5	62	2,6	11000	7000	2,3	6411	
60	78	10	11,9	11,4	0,49	17000	11000	0,11	61812	
60	85	13	16,5	14,3	0,6	16000	10000	0,2	61912	
60	95	11	20,8	15	0,735	15000	9500	0,28	16012	