

Brevet de Technicien Supérieur

MAINTENANCE INDUSTRIELLE

Session 2001

EPREUVE E 4
Analyse Fonctionnelle et Structurale
des Mécanismes

Modélisation des éléments de mécanismes
Calcul des grandeurs caractéristiques
(Sous-épreuve E 4-1)

Durée : 3 heures

Coefficient : 2

Aucun document n'est autorisé

Ce sujet contient 4 dossiers :

- Présentation
- Questionnaire
- Documents réponses
- Dossier technique

MIE4MEM1

Matériel autorisé : Calculatrice de poche alpha-numérique ou à écran graphique à fonctionnement autonome sans imprimante (Cirulaire 99-186 du 16-11-99)

Brevet de Technicien Supérieur

MAINTENANCE INDUSTRIELLE

Session 2001

**Modélisation des éléments de mécanismes
Calcul des grandeurs caractéristiques
(Sous-épreuve E 4-1)**

Présentation

Ce dossier contient les documents :

PR 1/1

MACHINE A USINER DES EMOUS

PRESENTATION

Mise en situation et fonctionnement.

1/ - MISE EN SITUATION (Voir DT1)

La machine à usiner des embouts est une machine à commande numérique qui a la particularité de générer des surfaces de révolution avec un outil tournant, la pièce restant fixe.

Elle permet d'usiner des pièces difficiles à mettre en rotation, posant des problèmes d'équilibrage dynamique. (Usinage d'embouts en fonte et en alliage d'aluminium).

Se reporter au **DT2**, pour un exemple de pièce à fabriquer.

- Le repère $R_0(0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est Galiléen.
- Le repère $R(0, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ est lié à la broche.

2/ - FONCTIONNEMENT

2.1/ LES TROIS DEPLACEMENTS DE L'OUTIL :

-Mise en rotation de la broche (rotation d'axe (O, \vec{z}) par le moteur de broche :
(Voir **DT1** et **DT3**)

La transmission se fait par poulies et courroies trapézoïdales.

La broche tubulaire est montée sur l'unité d'avance (axe \vec{z}), elle laisse passer une crémaillère 5 qui commande le déplacement du porte-outil 13.

-Mise en mouvement de l'outil en translation suivant \vec{x} , par le moteur d'axe x :
(Voir **DT1**, **DT3** et **DT4**)

Cette mise en mouvement nécessite une translation de la crémaillère centrale 5 par rapport à la broche 10, la crémaillère 5 restant animée du même mouvement de rotation que 10 par rapport au corps de broche 19.

La translation de 5 par rapport à 10 est obtenue par un système vis 28 – écrou à billes 25. La vis 28 est guidée en rotation (*liaison pivot*) par rapport à (29+19) et l'écrou 25, lié à (22+23+24) est guidé en translation (*liaison glissière*) par rapport à (29+19) (Voir coupe F-F sur **DT4**).

La transmission des actions mécaniques entre l'ensemble des pièces liées à l'écrou 25 et la crémaillère 5 se fait par l'intermédiaire d'une butée 26 à double effet et rouleaux cylindriques.

-Mise en mouvement de l'unité d'avance suivant \vec{z} , par le moteur d'axe z : (voir **DT1**)

Cette unité d'avance est montée sur une glissière. La transformation du mouvement est obtenue par un couple vis-écrou à billes.

Ce mécanisme n'est pas représenté et il n'est pas à étudier.

Remarque : Les représentations correspondent à la position angulaire $\theta = 0$ (Voir **DT1**).

2.2/ GRAISSAGE DE LA TETE PORTE OUTIL : (Voir **DT1** et **DT5**)

Un vérin V_g , dont le corps est fixe sur 29, vient placer une pompe au contact d'un graisseur solidaire du corps de porte-outil 1, tous les 60 cycles d'usinage.

Cette lubrification s'effectue durant 4 secondes.

Un codeur, placé sur le moteur de broche, permet d'arrêter le corps de porte-outil et par suite le graisseur, dans la bonne position.

2.3/ OUVERTURE ET FERMETURE DES PORTES (Accès broche) : (Voir **DT1**)

Cette fonction est assurée par deux vérins hydrauliques V_p .

Brevet de Technicien Supérieur

MAINTENANCE INDUSTRIELLE

Session 2001

**Modélisation des éléments de mécanismes
Calcul des grandeurs caractéristiques
(Sous épreuve E 4-1)**

Questionnaire

Contenu du dossier :

Questionnaire QUES 1 à QUES 5

BAREME

Questions	Barème sur 40	Questions	Barème sur 40
Questions 1-1 Q1 et Q2	9	Question 2-2 Q15	3
Questions 1-2 Q3 à Q6	5	Question 3-1 Q16	2
Questions 1-3 Q7 à Q13	15	Question 3-2 Q17 et Q18	3
Question 2-1 Q14	3		

MACHINE A USINER DES EMBOUTS

ETUDE DU DEPLACEMENT DE L'OUTIL ET DE LA ROTATION DE LA BROCHE

PROBLEME POSE :

L'observation de l'historique des pannes (*sur deux ans*) montre:

- une durée de vie de la butée double effet à rouleaux cylindriques très faible.
- une usure anormale du système pignon-crémaillère.
- l'apparition d'un jeu transversal important dans le mouvement du porte-outil.

OBJECTIF DE L'ETUDE :

Recherche des paramètres et des grandeurs physiques (efforts, vitesses...) liés aux problèmes énoncés ci-dessus.

1/ RECHERCHE DES GRANDEURS PHYSIQUES ET PARAMETRES INFLUANT SUR LA DUREE DE VIE DE LA BUTEE DOUBLE EFFET A ROULEAUX CYLINDRIQUES :

1.1/ MODELISATION DE LA TRANSMISSION DE PUISSANCE DE L'AXE X.

Q1: A partir du document **DR1** qui représente le flux de la transmission de puissance du mouvement de coupe (mouvement de rotation de l'outil) (voir **DT3**, **DT4**, **DT5** et **DT6**), on demande de compléter le flux de la transmission de puissance du mouvement d'avance suivant l'axe \vec{x} (mouvement de translation de l'outil et mouvement de translation de la masselotte 15, ce dernier étant de même amplitude que celui de l'outil, mais en sens inverse).

Q2: A partir des dessins d'ensemble **DT1**, **DT3**, **DT4**, **DT5** et nomenclature **DT6**, on demande de compléter, sur le document **DR2**, le schéma cinématique minimal.

1.2/ RECHERCHE DE LA VITESSE DE ROTATION DE LA VIS 28

On recherche la relation entre la vitesse d'entrée $\omega_{28/19}$ et le mouvement d'avance par tour de l'outil a_x (mm/tr) :

Voir **DT1** à **DT6** et schéma cinématique **DR2**

Répondre sur le **DR3**

Q3: Sachant que a_x est en mm/tr et que $N_{\text{outil}/19}$ en tr/min, déterminer la vitesse de l'outil suivant \vec{x} $V_{0/1}$ en mm/s (expression littérale).

Q4: Connaissant l'expression littérale de la vitesse de translation de l'outil $V_{0/1}$ en déduire la vitesse de translation de la crémaillère $V_{5/19}$, (expression littérale).

Q5: A partir de la vitesse de la crémaillère $V_{5/19}$ déterminer la vitesse de rotation de la vis $\omega_{28/19}$ (expression littérale). On note p le pas de la vis 28.

Q6: Application numérique : calculer $\omega_{28/19}$ et $N_{28/19}$ pour les conditions de coupe relatives à l'usinage du coude IVECO.

Données :

- Fréquence de rotation de l'outil : $N_{\text{outil}/19} = 2000$ tr/min.
- Avance de l'outil $a_x = 0,2$ mm/tr.

1.3/ DETERMINATION DE L'EFFORT AXIAL SUR LA BUTÉE DOUBLE EFFET À ROULEAUX CYLINDRIQUES 26. (Voir DT4, DT6 et DT7)

Répondre sur **DR3** et **DR4**

Hypothèses:

- Le repère $R_0(0, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ est Galiléen.
- Toutes les grandeurs seront exprimées dans le repère. $R(0, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ lié à la broche.
- On se place en régime établi. (dans une phase de chariotage.)
- Les liaisons sont supposées parfaites.
- On néglige l'action de la pesanteur.

N.B. : Certains repères de pièces comportent un indice "o" pour "outil", d'autres un indice "m" pour "masselotte".

- En **A**, la liaison entre $S=[\text{outil}, 3_o, 2_o, 4_o]$ et le corps du porte-outil est une glissière d'axe \vec{x} .
- En **B**, pour l'action du pignon 6_o sur la crémaillère 4_o , il faut tenir compte de l'angle de pression $\alpha = 20^\circ$.
- En **C**, l'action mécanique de la pièce sur l'outil (efforts de coupe) est modélisée par :

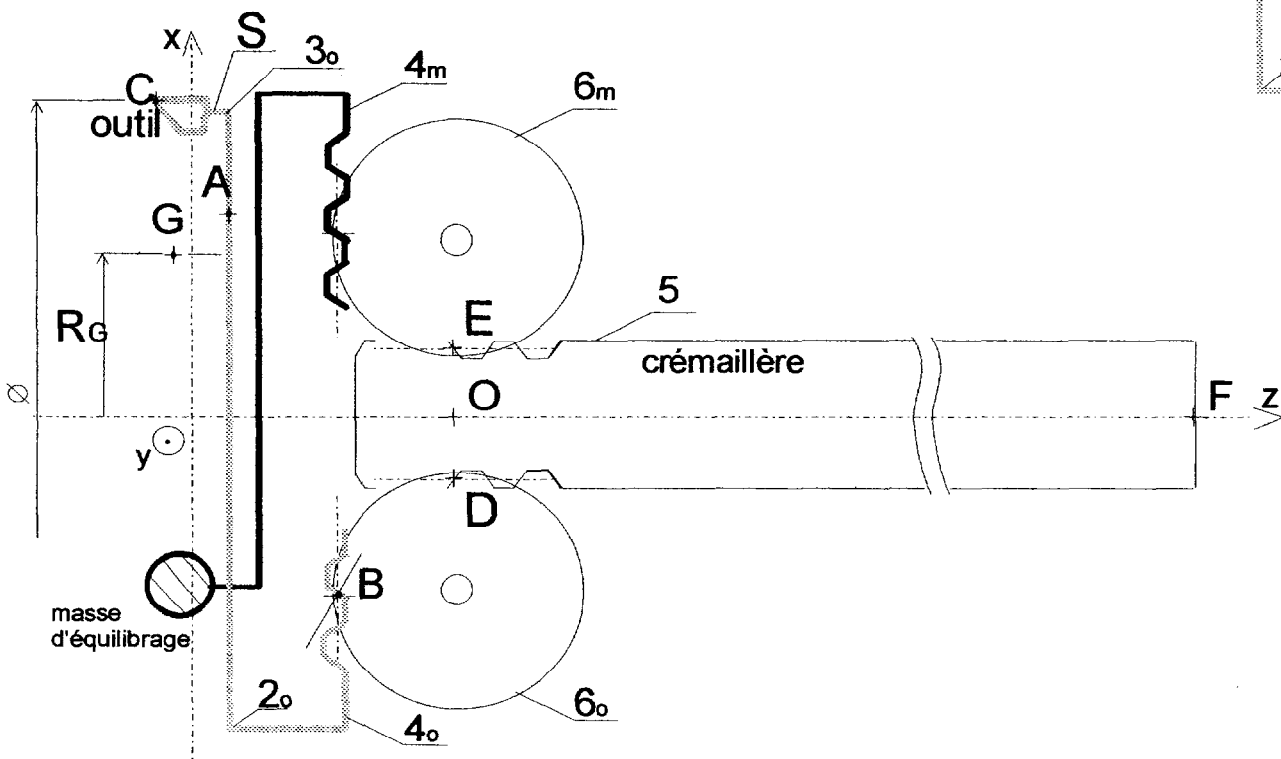
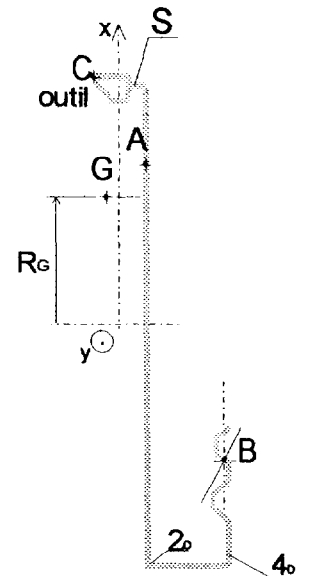
$$\left\{ \mathcal{T}(\text{pièce} \rightarrow \text{outil}) \right\}_C = \begin{Bmatrix} F_a & 0 \\ -F_c & 0 \\ F_p & 0 \end{Bmatrix}_C$$

- La masse de l'ensemble S est notée : m

Q7: Isoler l'ensemble $S=[\text{outil}, 3_o, 2_o, 4_o]$ et réaliser l'inventaire (*bilan*) des actions mécaniques extérieures de contact appliquées à S .

Q8: Calculer l'accélération \vec{a}_{G/R_0} en fonction de $\omega_{\text{outil}/19}$ et R_G , avec G centre d'inertie de S (*se reporter à la figure ci-dessous*).

Pour des raisons de simplification, les pignons et les crémaillères ont été ramenés dans le même plan.



Q9: Appliquer le théorème de la résultante dynamique à S en projection sur \vec{x} . En déduire (en littéral) l'action mécanique en **B** de **6_O** sur **4_O**.

Q10: Déterminer (en littéral) l'action mécanique en **D** de **6_O** sur **5**, en négligeant la masse des pignons 6.

En déduire $\overrightarrow{D(6_o \rightarrow 5)} \cdot \vec{z}$ (Coordonnée ou composante de $\overrightarrow{D(6_o \rightarrow 5)}$ sur (O, \vec{z})).

Le fait d'avoir un porte-outil désaxé par rapport à l'axe de rotation provoque des effets d'inertie qui sont compensés par une masse d'équilibrage ayant la même loi de mouvement que l'outil et le porte-outil mais de sens opposé (équilibre dynamique).

Se reporter au schéma précédent.

Un calcul identique aux questions Q7, Q8, Q9, Q10 nous donne l'effort sur la crémaillère en **E** :

$\overrightarrow{E(6_m \rightarrow 5)} \cdot \vec{z}$ (voir tableau **DR4**)

Q11: En déduire l'effort $\|\vec{F}\|$ sur la butée double effet à rouleaux cylindriques.
(en littéral)

Applications numériques:

Q12: Réaliser les applications numériques, pour les quatre cas extrêmes définis sur **DR4**. Ceux-ci correspondent à l'usinage de pièces en aluminium et en fonte pour les diamètres (ϕ) mini. et Maxi. des pièces à usiner.

Compléter le tableau DR4

Données :

- $m_{\text{outil}} = m_{\text{masselotte}} = 10 \text{ kg}$

Pour l'aluminium :

- $V_c = 300 \text{ m/min}$

- $F_a = F_p = 750 \text{ N}$

- $F_c = 1500 \text{ N}$

Pour la fonte :

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

- $F_a = F_p = 1500 \text{ N}$

- $F_c = 3000 \text{ N}$

Q13: Déterminer la durée de vie de la butée en heure (L_h).

Cette durée vous paraît-elle satisfaisante ?

Rappel :
$$L_h = \left(\frac{C}{P}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{60N}$$

$C = 33\,500 \text{ N}$

$P = F_a = F = 50000 \text{ N}$

$N = 2\,808 \text{ tr/min.}$

2/ RECHERCHE DES GRANDEURS PHYSIQUES ET PARAMETRES INFLUANT SUR L'USURE DU SYSTEME PIGNONS-CREMAILLERE :

Cette étude nous oriente suivant deux axes de recherche :

- Etude du flambage de la crémaillère.
- Etude des pressions au niveau des contacts pignons-crémaillère.

2.1/ VERIFICATION DE LA CREMAILLERE AU FLAMBAGE (voir DT7)

Hypothèses :

- L'effort de compression est estimé à **50 000 N**.
- Pour définir la longueur libre de flambage **L** on se place dans le cas: **encastrement-encastrement**.

Données :

- Matière: **16 Ni Cr 6 (Re=980 MPa, Rpe=450 MPa, E= 210 000 MPa)**.
- Diamètre: **d=30 mm**.
- Longueur réelle : **ℓ =500 mm**.

Q14: A l'aide du **DT7**, déterminer la force admissible **F_{adm}** sur la poutre crémaillère et conclure quant à l'usure du système.

Répondre sur le **DR5**.

2.2/ CALCUL DE LA PRESSION AU CONTACT DU PIGNON 6₀ AVEC LA CREMAILLERE 5. (Voir DT8)

Hypothèses et données :

- L'effort sur la denture est de $\|\vec{E}_{6_0 \rightarrow 5}\| = 27\,000\text{ N}$, mais comme il y a deux dents en prise, on prendra l'effort $F = \|\vec{E}_{6_0 \rightarrow 5}\|/2$, soit **F= 13 500 N**.
- On retient le **modèle de Hertz**, car le contact est linéaire.(avec $\epsilon_n = F/l$).
- Le contact est de type **cylindre-plan R = 17mm** et **l=20 mm**.
- La pression admissible pour l'acier traité est: **P_{adm}= 1 300 MPa**
- Les coefficients liés aux matériaux sont: **k₁ = k₂ =1,38.10⁻⁶ mm²/N**.

Q15: A l'aide du **DT8**, déterminer la pression maximum **P_{MAXI}** et conclure quant à l'usure du système pignons-crémaillère.

Répondre sur le **DR5**.

3/ RECHERCHE DES GRANDEURS PHYSIQUES ET PARAMETRES INFLUANT SUR L'APPARITION D'UN JEU IMPORTANT DANS LE PORTE-OUTIL :

Le service de maintenance s'est rendu compte, concernant l'apparition du jeu dans le mouvement du porte-outil, qu'il y avait un mauvais positionnement du graisseur par rapport à la pompe à graisse mue par le vérin V_g et donc un défaut de graissage.(voir **DT1** et **DT5**).

Le codeur étant sur le moteur, on peut supposer un glissement entre la poulie et la courroie. Le service de maintenance propose d'utiliser des courroies crantées.

Répondre sur le DR6

3.1/ CALCUL DE LA FRÉQUENCE DE ROTATION DE LA POULIE MOTRICE

Données :

- Diamètre de la poulie motrice $\varnothing d_{pm} = 114 \text{ mm}$.
- Diamètre de la poulie réceptrice $\varnothing D_{pr} = 200 \text{ mm}$.
- Fréquence de rotation de l'outil $N_{o/19} = 2808 \text{ tr/min}$.
- Le système est représenté sur les **DT1** et **DT4**.

Q16: Déterminer la fréquence de rotation de la poulie motrice (sur l'arbre moteur) $N_{pm/19}$.

3.2/ CALCUL DU COUPLE APPLIQUE A LA POULIE MOTRICE (sur l'arbre moteur)

Hypothèses et données :

On se place dans les conditions les plus significatives (pièce en alliage d'aluminium et diamètre minimum) :

- l'effort de coupe est $F_c = 1500 \text{ N}$, (effort tangentiel)
- la fréquence de rotation de l'outil (*maximum*) est $N_{o/19} = 2808 \text{ tr/min}$,
- le diamètre de coupe est $\varnothing_{\text{mini}} d_c = 34 \text{ mm}$.

Q17: Calculer le couple utile C_m sur la poulie motrice, dans les conditions suivantes :

- Les liaisons sont supposées parfaites.
- On se place en régime établi.

Données :

- Le rendement est estimé à $\eta = 0,9$.

Q18: Déterminer la puissance utile P_m à transmettre par la courroie.