ministère Éducation nationale

EAI MEC 1
Repère à reporter sur la copie

SESSION 2009

CONCOURS INTERNE DE RECRUTEMENT DE PROFESSEURS AGRÉGÉS ET CONCOURS D'ACCÈS A L'ÉCHELLE DE RÉMUNÉRATION

Section : MÉCANIQUE

ÉPREUVE PRENANT APPUI SUR UN SYSTÈME INDUSTRIEL

Durée : 8 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : *Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.*

Tournez la page S.V.P.

Le candidat est invité à formuler toutes les hypothèses et à choisir les données qui lui seraient nécessaires et qui ne seraient pas fournies dans le sujet.

Déroulement de l'épreuve :

Après la distribution des sujets, le candidat dispose de 8 heures d'épreuve pour traiter l'**épreuve mécanique** et l'**exercice pédagogique**.

Les auteurs du sujet recommandent de répartir le temps de travail de la façon suivante :

- **étude mécanique :** 6 heures ;
- **exercice pédagogique :** 2 heures.

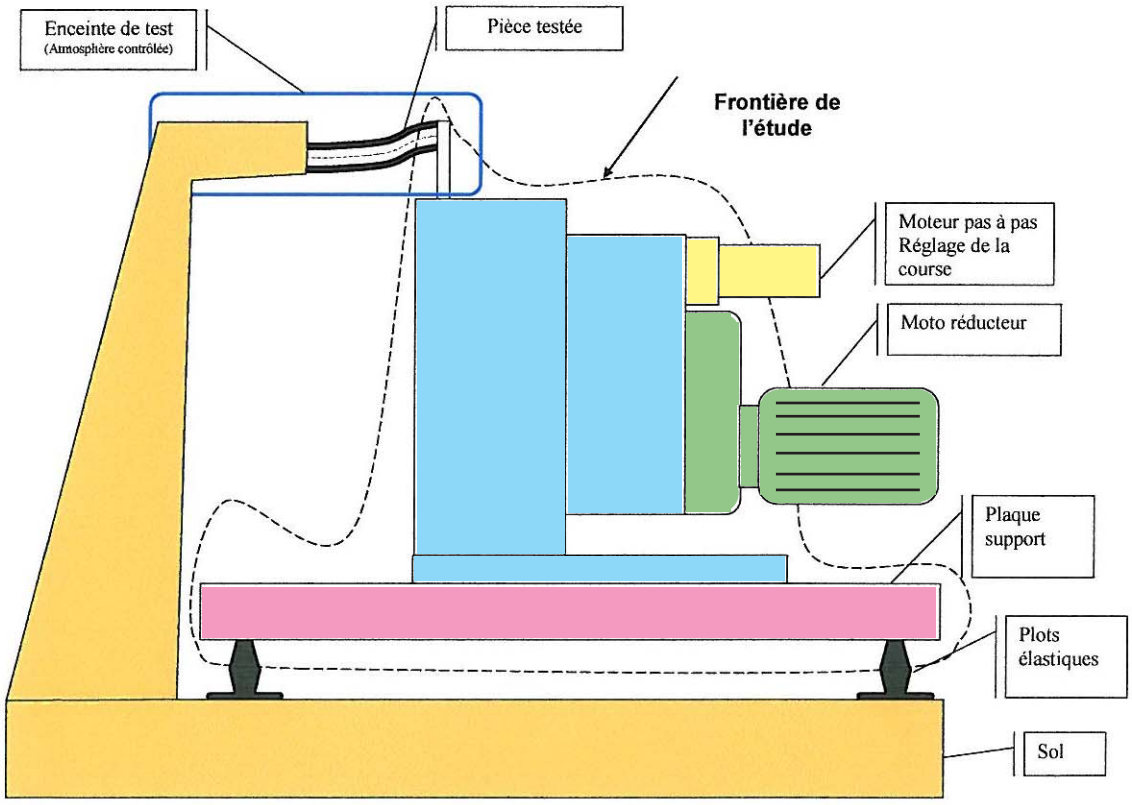
MACHINE D'ESSAI DE FATIGUE

1 Situation de l'étude

1.1 Présentation

L'étude proposée porte sur une machine d'essai de fatigue de pièces en élastomère (voir **documents 1 à 4**). L'ensemble des documents fournis dans le dossier technique concernent un prototype de cette machine qu'il faut améliorer suite à une première campagne de tests.

1.2 Architecture de la machine



B

2 Extrait du cahier des charges

2.1 Présentation générale

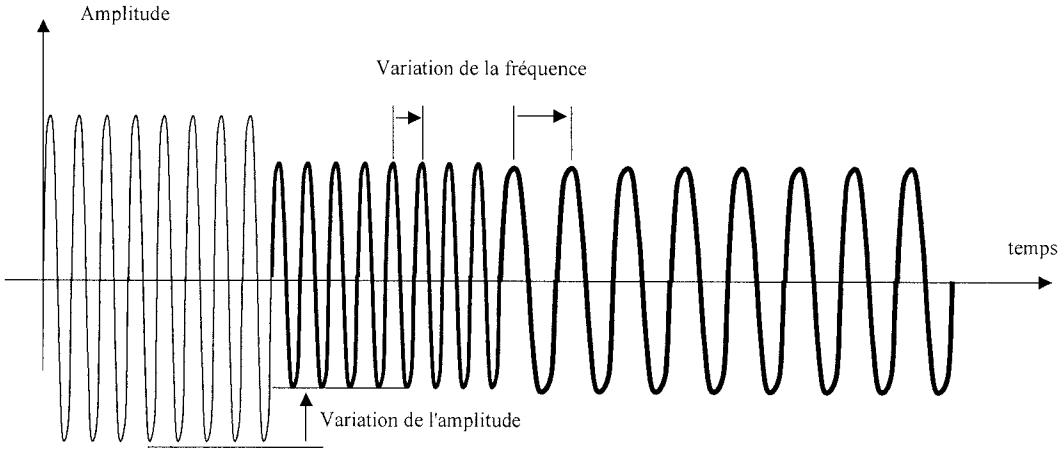
Fonction principale : Créer un mouvement de translation rectiligne d'amplitude et de fréquence variable. Le but recherché est entre autre, de reproduire les déplacements provoqués par les vibrations du moteur sur des flexibles montés sur des véhicules automobiles. Le but ultime étant de connaître le comportement de certains raccords vis-à-vis de ces vibrations.

Cahier des Charges fonctionnel

Fonctions	Critères	Niveaux	Flexibilité
Produire un mouvement vertical	Débattement	De ±15mm à ±40mm	F1
	Variation du débattement	Continue	F0
	Commande d'amplitude	Entièrement programmable	F0
	Précision de réglage	±0,5mm	F0
	Fréquence	1 à 10 Hz	F0
	Commande de fréquence	Entièrement programmable	F0
	Variation de fréquence	continue	F0
	Commande fréquence et débattement	indépendantes	F0
	Masse en mouvement	2,5 Kg	maxi
	Durée du réglage	< à 2 cycles	
Être lié au sol	Vibrations transmises	aucunes	F0
	Surface d'encombrement au sol	800 x 800 mm	F0
Être lié au composant à tester	Géométrie	Voir plan de l'interface (non fourni ici)	F0
Résister au milieu environnant	Ambiance	Atelier	F2
	Température	–40 à 150°C	F0
Utiliser de l'énergie	Énergie électrique	220 V / 400 V	F0
	Énergie pneumatique	6 bars	F0
	Eau glacée	12°C	F0
Faciliter la maintenance	Outillage de démontage	Outillage standard	F0
	Durée de vie	L=15 000 heures à 10Hz	F1

2.2 Modes de marche et d'arrêt

Mise en marche et fonctionnement programmable par automate : Nombre de cycles, amplitude, fréquence, variation en continu de la fréquence et de l'amplitude, mise en condition de début de test, de fin de test ….etc.



3 Fonction : Produire un mouvement vertical

Objectif : Mettre en place la loi entrée sortie et vérifier que la machine satisfait l'amplitude demandée par le cahier des charges et mettre en place la loi entrée sortie.

Données et hypothèses :
Le **document 5** définit le paramétrage géométrique, notamment :

- $R_0(O,\vec{x_0},\vec{y_0},\vec{z_0})$: repère galiléen lié au bâti **0** ;
- $R_1(O,\vec{x_1},\vec{y_1},\vec{z_1})$: repère lié à la couronne **1** ;
- $R_2(O,\vec{x_2},\vec{y_2},\vec{z_2})$: repère lié au porte satellite **2** ;
- $R_3(O,\vec{x_3},\vec{y_3},\vec{z_3})$: repère lié au satellite **3** ;
- L'axe de la liaison glissière entre le coulisseau **4** et le bâti est dirigé suivant $\vec{y_0}$;
- La couronne **1** est à denture droite. Son nombre de dents est : $\mathbf{Z_1 = 100}$ **dents** ;
- Le diamètre primitif de la couronne **1** est noté $\mathbf{D_1}$;
- Le nombre de dents du satellite **3** est de $\mathbf{Z_3 = 50}$ **dents**. ;
- Le module de la denture est $\mathbf{m_{13} = 1,5}$;
- L'angle de pression de la denture est $\alpha = 20$ degrés ;
- $\beta = (\vec{x}_0,\vec{x}_1)$ définit la position angulaire de la couronne **1** par rapport au bâti **0** ;
- $\theta = (\vec{x}_0,\vec{x}_2)$ définit la position angulaire du porte satellite **2** par rapport au bâti **0** ;
- $\varphi = (\vec{x}_2,\vec{x}_3)$ définit la position angulaire du satellite **3** par rapport au porte satellite **2** ;
- On notera $\overrightarrow{CA}.\vec{y}_0 = \lambda(t)$.

Dans tout le sujet, on réalisera les études avec :

- $\beta = \beta_0$ constant ;
- A l'instant initial t= 0, $\varphi = 0$ et $\theta = \beta_0$ (les points C, K et A sont alignés);
- La vitesse angulaire d'entrée $\dot{\theta}(t) = \dfrac{d\theta(t)}{dt} = \dot{\theta}_0$ constante.

Question 1 Déterminer rigoureusement la relation liant $\dot{\theta}(t) = \dfrac{d\theta(t)}{dt}$ **et** $\dot{\varphi}(t) = \dfrac{d\varphi(t)}{dt}$.

Question 2 En déduire une relation entre les angles $\theta(t)$ et $\varphi(t)$.

Question 3 A l'instant t, exprimer le vecteur $\overrightarrow{CA}$ dans la base du repère R_1. En déduire la trajectoire du point A du satellite **3** dans le repère R_1.

Question 4 Déterminer la relation entre $\lambda(t)$ et $\theta(t)$. En déduire l'expression de la course S du coulisseau **4**. Sur quel paramètre faut-il agir pour régler cette course ? Conclure quant au respect du cahier des charges.

Un réglage tel que $\beta_0 \approx \dfrac{\pi}{2}$ est-il souhaitable ?

4 Sous Fonction : Guider en translation le coulisseau

Objectif : On constate des "points durs" dans le fonctionnement du prototype. On se propose de remédier à ce disfonctionnement.

Question 5 Proposer les schémas normalisés de deux modèles technologiques du guidage en translation de l'ensemble coulisseau $\mathbf{E_4}$. E_4={tige de commande 21, douilles à billes 18...}.

- 1er modèle : ne pas tenir compte d'un rotulage dans les douilles à billes ;
- 2ème modèle : tenir compte d'un rotulage dans les douilles à billes.

Question 6 Déterminer l'ordre d'hyperstatisme des deux modèles proposés.

Question 7 Quels sont les avantages et inconvénients liés à l'hyperstatisme pour ce mécanisme ?

Question 8 Indiquer sur un croquis, les spécifications géométriques à mettre en place sur le coulisseau pour limiter les inconvénients de l'hyperstatisme dans le fonctionnement du système. On considérera ici le 1er modèle.

5 Sous Fonction : Transformer la rotation du satellite en translation du coulisseau (et transmettre les efforts)

Objectif : Choisir le galet **46** et le matériau du coulisseau **4**.

Données et hypothèses :

- Loi entrée sortie : $\lambda(t) = \frac{D_1.\sin\beta_0}{2}.\cos(\dot{\theta}.t)$ avec D_1=150 mm.
- On considère l'ensemble $\mathbf{E_4}$ des pièces animées d'un mouvement de translation. Il est constitué du coulisseau **4** et des pièces qui lui sont attachées (tige de commande 21, douilles à billes 18, pièce à tester...).
- La masse de $\mathbf{E_4}$ est notée $\mathbf{m_4}$.
- Les efforts du flexible sur la tige de commande sont négligeables par rapport aux effets d'inertie liés au déplacement de la masse m_4.

5.1 Calcul préliminaire

Données et hypothèses :

- La masse $\mathbf{m_4}$**=7,2kg**.

Question 9 Déterminer quelle est, en régime permanent, la configuration (amplitude, fréquence) de fonctionnement qui génère les efforts les plus importants sur le galet **46**. Dans cette configuration, déterminer les efforts appliqués sur le galet **46**.

5.2 Choix du galet :

Données et hypothèses :

- On fera l'hypothèse que, sur la vie de la machine, toutes les configurations de réglage du cahier des charges sont utilisées sur les mêmes durées ;
- Le diamètre extérieur du galet **46** est de 35 mm ;
- Compte tenu des efforts, l'aller et le retour du galet ne se font pas sur la même face du rail.

Question 10 Dans le contexte défini précédemment, choisir le galet **46** dans l'extrait de documentation ci-joint (**voir documents 6 à 8**). Conclure quant aux différentes solutions proposées.

5.3 Optimisation du choix de matériau et de la forme du coulisseau 4

5.3.1 Modèle pression de Hertz

Données et hypothèses :

- On assimilera le contact entre le galet et le coulisseau à un contact linéique (on néglige le bombé du galet) ;
- Le galet **46** roule sans glisser sur le coulisseau **4** avec un jeu diamétral de 0,2 mm ;
- Avec un coulisseau en acier $\mathbf{m_4=7,2kg}$ et avec un coulisseau en alliage d'aluminium $\mathbf{m'_4=5,1\ kg}$;
- Rappel sur les lois de Hertz pour le contact linéique (**Voir documents 9 et 10**).
  - Largeur du contact : L=15,8 mm ;
  - Acier : E_{acier} =210 000 MPa, ν_{acier} =0,3 ;
  - Alliage d'Alu : E_{alu} =75 000 MPa, ν_{alu} =0,33.

Question 11 Réaliser une analyse comparative du point de vue de la pression de Hertz pour un coulisseau en acier et un coulisseau en alliage d'aluminium. Proposer un matériau pour la réalisation des surfaces de roulement.

5.3.2 Modèle RdM

Données et hypothèses :

- Voir définition du modèle d'étude **document 11** ;
- La masse des pièces en mouvement de l'ensemble $\mathbf{E_4}$ défini au paragraphe 5.1 est assimilée à une masse ponctuelle en G : $\mathbf{m_4=7,2\ kg}$ (coulisseau en acier) ;
- **On ne tiendra pas compte, dans cette étude, des limitations de débattement liées au cahier des charges ;**
- L'étude sera réalisée à **f=10 Hz** ;
- Action du galet sur le coulisseau est modélisée par un glisseur en A tel que :

$$\vec{R}_{galet\to rail} = -m_4.\frac{D_1.\sin\beta_0}{2}.\dot{\theta}^2.\cos(\dot{\theta}.t).\vec{y}_0$$

  Les paramètres sont définis dans les questions précédentes ;

- On définit d(t) par : $\overrightarrow{HA} = d(t)\,\overrightarrow{y_0}$ avec $d(t) = \frac{D_1.\cos\beta_0}{2}.\cos(\dot{\theta}.t)$;
- Coulisseau **4** assimilé à une poutre droite ;
- La rigidité des arbres de guidage **16** est supposée infinie ;
- L'effet dû au moment de torsion sera négligé.

Question 12 Déterminer l'expression du moment fléchissant le long de la poutre en fonction de d(t) et de $R_{galet \rightarrow coulisseau}$. On considèrera d(t) > 0 pour cette question.

Question 13 Montrer que le cas d(t) < 0 se ramène au cas précédent. Justifier votre réponse.

Question 14 Déterminer la valeur maximale du moment fléchissant en vous aidant de la **courbe document 12**.

Question 15 En déduire la contrainte maximale de flexion dans la poutre.

5.3.3 Optimisation du choix de matériau

Données et hypothèses :

- Le fonction "Produire un mouvement vertical" doit répondre à un critère concernant la précision du déplacement : La précision du réglage doit être de ±0,5mm ;

- La sollicitation de flexion sera la seule retenue dans cette étude. Elle conduit à une déformation du coulisseau dont la flèche peut se mettre sous la forme :

$$f = \frac{R_{galet \rightarrow coulisseau} \cdot \ell^3}{C_1 . E . I_{Gz}}$$

  - ℓ : demi longueur du coulisseau voir **document 11** ;
  - E : module d'Young du matériau ;
  - I_{Gz} : moment quadratique de la poutre supposée de section rectangulaire de d'épaisseur b et hauteur h.

Question 16 Montrer que le respect du critère de précision conduit à l'application d'un critère sur la déformation de la poutre qui peut être mis sous la forme suivante :

$$C.\left(\frac{\ell^4}{h^2}\right).\left(\frac{\rho}{E}\right) < f_{max}$$

avec
- C : une constante liée au chargement de la poutre ;
- ρ : masse volumique du matériau.

Question 17 Montrer que l'optimisation du choix de matériau passe par la maximisation du rapport $\frac{E}{\rho}$. A l'aide du **document 13**, proposer un choix de matériau optimal pour la réalisation du rail, par rapport au critère de déformation. Donner et expliciter la désignation d'une nuance acceptable.

5.3.4 Conclusions

Question 18 Analyser le comportement du contact entre le galet **46** et le coulisseau **4** lors d'un cycle complet. Proposer sous forme de croquis et/ou schéma une modification de la forme du coulisseau **4** et de la liaison entre le coulisseau **4** et le flasque **10** permettant de tenir compte des différents résultats obtenus.

6 Fonction : Éviter de transmettre des vibrations

Objectif : Équilibrer la machine afin d'éviter de transmettre des vibrations.

6.1 Conditions d'équilibrage dynamique des masses en rotation

Objectif : Réaliser l'étude théorique des conditions d'équilibrage dynamique des masses tournantes.

Données et Hypothèses

- On cherche à réaliser l'équilibrage dynamique de l'ensemble S décrit dans le **document 16**. Les autres pièces en mouvement de rotation sont des pièces de révolution qui ne posent à priori pas de problème d'équilibrage.

- L'ensemble S de masse **m** a un centre de masse noté **G** qui est **fixe** dans le repère $(C;\vec{x}_2;\vec{y}_2;\vec{z}_2)$. Il est formé de deux sous-ensembles :

  - L'ensemble des pièces liées au porte satellite **2** forment l'ensemble noté $\mathbf{S_2}$ défini par $S_2 = \{2 ; 5 ; 6 ; 7 ; 8 ; 12\}$. La masse de S_2 est notée $\mathbf{m_2}$. Son centre de masse est noté $\mathbf{G_{S2}}$;

  - L'ensemble des pièces liées au satellite **3** forment l'ensemble noté $\mathbf{S_3}$ défini par $S_3 = \{3 ; 9 ; 10 ; 11\}$. La masse de S_3 est notée $\mathbf{m_3}$. Son centre de masse est noté $\mathbf{G_{S3}}$ et se trouve sur l'axe $(K;\vec{z}_3)$;

- On note **S'** le solide formé par les corps S_2 et S_3 liés au repère R_2 . S' a le même centre de masse que S.

- Les billes et les cages du roulement sont négligés dans l'étude ;

- On considère que toutes les pièces de l'ensemble S_3 sont de révolution d'axe $(K;\vec{z}_3)$;

- Le repère R_0 lié au bâti est supposé galiléen ;

- On note $D_{(G,S/R0)} = \left\{ \begin{matrix} m\vec{\Gamma}(G \in S/R_0) \\ \vec{\delta}(G,S/R_0) \end{matrix} \right\}_G$, le torseur dynamique au point G de l'ensemble S dans son mouvement par rapport à R_0.

- On note $\Sigma_{(G,S/R0)} = \left\{ \begin{matrix} m\vec{V}(G \in S/R_0) \\ \vec{\sigma}(G,S/R_0) \end{matrix} \right\}_G$, le torseur cinétique au point G de l'ensemble S dans son mouvement par rapport à R_0.

Question 19 Quelles conditions, nécessaires et suffisantes sur les composantes du torseur dynamique $D_{(G,S/R0)}$, assurent l'équilibrage dynamique de l'ensemble S.

Question 20 Écrire la relation entre $\vec{\delta}(G,S/R_0)$ et $\vec{\sigma}(G,S/R_0)$

Question 21 Montrer que $\vec{\sigma}(G,S/R_0)$ peut s'écrire:
$\vec{\sigma}(G,S/R_0)=\vec{\sigma}(G,S_3/R_2)+\vec{\sigma}(G,S'/R_0)$.

Question 22 Écrire la relation qui lie $\vec{\delta}(G,S_3/R_2)$ et $\vec{\sigma}(G,S_3/R_2)$. Justifiez votre réponse.

Question 23 Écrire de même la relation qui lie $\vec{\delta}(G,S'/R_0)$ et $\vec{\sigma}(G,S'/R_0)$. Justifiez votre réponse.

Question 24 Montrer que $\vec{\delta}(G,S_3/R_2)$ est porté par $\vec{z_0}$

Question 25 En regroupant les résultats obtenus, montrer que l'équilibrage de l'ensemble S se ramène à l'équilibrage du solide S' en rotation autour de l'axe $(C;\vec{z_0})$.

Question 26 Comment s'écrit la matrice d'inertie de S' en G dans le repère R_2 compte tenu des symétries. Quelles conditions doit-on avoir sur les composantes de la matrice d'inertie de S' et sur la position du point G. Justifiez votre réponse.

6.2 Équilibrage des masses en rotation

Objectif : Concevoir un porte satellite dont la géométrie simple permet d'assurer l'équilibrage de l'ensemble S. Déterminer les cotes H, R_I et R_E du porte satellite **2** qui assurent l'équilibrage de S.

Données et Hypothèses:

- La géométrie et les éléments d'inertie sont donnés dans les **documents 14 à 16** . Pour des raisons d'encombrement et de fonctionnement, certaines dimensions admettent des valeurs maximales à ne pas dépasser : $\mathbf{H_{max} = 38\ mm}$ **et** $\mathbf{R_{Emax} = 68\ mm}$;

- Pour des commodités de résolution, on définit un nouveau découpage de l'ensemble S ;
- On coupe l'ensemble S par le plan $(C; \overrightarrow{x_2}; \overrightarrow{y_2})$.
  - Le porte satellite **2** est scindé en deux parties :
    - Une partie dans les z<0 notée $\mathbf{S_{A2}}$;
    - Une partie dans les z>0 notée $\mathbf{S_{B2}}$ de masse $\mathbf{m_{B2}}$.
  - La partie $\mathbf{S_{B2}}$ est formée par une demi couronne de hauteur H, de rayon intérieur RI et de rayon extérieur RE tel que $R_E = R_I + 30$;
  - L'ensemble $\mathbf{E_3}$ **(voir document 14)** est scindé en deux parties :
    - Une partie dans les z<0 notée $\mathbf{S_{A3}}$;
    - Une partie dans les z>0 notée $\mathbf{S_{B3}}$ de masse $\mathbf{m_{B3}}$.
  - On note $\mathbf{S_A}$ l'ensemble formé par les parties $\mathbf{S_{A2}}$ et $\mathbf{S_{A3}}$;
  - On note $\mathbf{S_B}$ l'ensemble formé par les parties $\mathbf{S_{B2}}$ et $\mathbf{S_{B3}}$.

Question 27 Vérifier que l'ensemble S pour H = 30 mm, R_I = 35 mm et R_E=65 mm n'est pas équilibré.

Question 28 Montrer que $\mathbf{S_A}$ est équilibré.

Question 29 On note $\mathbf{X_{GB2}}$ et $\mathbf{Z_{GB2}}$ les coordonnées dans le repère R_2 du centre de masse $\mathbf{G_{B2}}$ de $\mathbf{S_{B2}}$. Calculer ces coordonnées en fonction de H, R_I et R_E. On pourra utiliser un théorème de Guldin.

Question 30 Calculer les coordonnées $\mathbf{X_{GB3}}$ et $\mathbf{Z_{GB3}}$ du centre de masse $\mathbf{G_{B3}}$ de $\mathbf{S_{B3}}$ dans le repère R_2.

Question 31 Énoncer les conditions d'équilibrage statique et dynamique de **SB** et écrire les relations correspondantes.

Question 32 Déduire la valeur de H des relations précédentes. Cette valeur est-elle acceptable ?

Question 33 Déduire enfin une relation permettant de calculer R_I. Calculer la valeur numérique de R_I et R_E tel que $R_E = R_I + 30$. Ces valeurs sont-elles acceptables ?

6.3 Équilibrage des masses en translation

Objectif : Une des évolutions souhaitée pour cette machine est d'augmenter la fréquence du mouvement de sortie. On souhaite faire fonctionner l'ensemble jusqu'à une fréquence maximale de $\mathbf{f_{max}=30\ Hz.}$ A cette fréquence, les efforts vibratoires transmis au sol dus au mouvement oscillatoire des pièces en translation sont très importants. On choisit d'installer des plots en élastomère dans le but de réduire ces efforts.

Données et Hypothèses :

- On considère l'ensemble $\mathbf{E_4}$ des pièces animées d'un mouvement de translation. Il est constitué du coulisseau **4** et des pièces qui lui sont attachées (tige de commande 21, douilles à billes 18, pièce à tester...).
  - Son centre de masse est noté $\mathbf{G_{E4}}$;
  - La masse de $\mathbf{E_4}$ est notée $\mathbf{m_4}$. $\mathbf{m_4 = 7{,}2\ kg}$.

- La vitesse angulaire d'entrée $\dot{\theta}$ **est constante** ;
- Les efforts de la pièce à tester sur le coulisseau sont négligeables par rapport aux effets d'inertie liés au déplacement de la masse m_4
- La machine est fixée sur une plaque support. La masse de l'ensemble $\mathbf{E}$ ={machine, moteurs, plaque support} est notée **M**. L'ensemble a été alourdi dans le but de baisser au maximum la fréquence propre. $\mathbf{M = 563\ kg}$;

- Cette plaque support est reliée au sol par l'intermédiaire de 4 plots de suspension élastique dont un extrait de documentation est donné dans les **documents 17 et 18** ;

- L'ensemble suspendu possède 6 degrés de liberté ou 6 modes vibratoires ;

- L'amplitude des oscillations de chaque mode est une fonction de la fréquence d'excitation, des caractéristiques, du nombre et de l'emplacement des plots élastiques. On considère ici que le mode vibratoire prépondérant est le mode de translation suivant $\vec{y}_0$. On note par y(t) la position de la masse M à l'instant t. (voir **document 19**) ;

- Chaque plot élastique est modélisé par un ensemble (ressort + amortisseur) montés en parallèle ;

- Le **document 19** résume et complète l'ensemble de ces données.

Question 34 Est-il possible de compenser les vibrations induites par les parties en translation en créant un balourd sur les parties tournantes existantes ? Proposer sous forme de schémas une solution mécanique permettant d'équilibrer entièrement ces vibrations.

Question 35 Écrire l'équation différentielle régissant le mouvement de l'ensemble E. On supposera qu'à l'équilibre statique, y=0. On écrira cette équation sous sa forme canonique.

Question 36 Déduire de la question précédente l'expression de l'effort oscillant d'excitation qui sera noté $\overrightarrow{F_M(t)} = F_M(t)\overrightarrow{y_0}$ ainsi que l'expression de l'effort transmis au sol noté $\overrightarrow{F_T(t)} = F_T(t)\overrightarrow{y_0}$.

Question 37 On suppose, **pour cette question uniquement**, que l'ensemble E est rigidement fixé au sol. Donner l'expression de l'effort oscillant transmis au sol. Que se passe t-il dans ce cas ? Quelle est l'amplitude maximale de ces efforts oscillants ?

Question 38 Déterminer la raideur K et le coefficient de frottement visqueux fv en fonction de la raideur K_1 et du coefficient de frottement visqueux fv_1 d'un plot élastique.

Question 39 Exprimer la fonction de transfert $\frac{Y(p)}{F_M(p)}$ où Y(p) est la transformée de Laplace de y(t), $F_M(p)$ la transformée de Laplace de $F_M(t)$. On utilisera la forme canonique correspondante.

Question 40 Calculer le coefficient de transmission $C(p) = \frac{F_T(p)}{F_M(p)}$.

Question 41 En régime harmonique de pulsation ω, calculer le module du coefficient de transmission : $\overline{C}(\omega)$.

Question 42 Calculer la pulsation propre du système non amorti ω_0, la pulsation propre du système amorti ω_p et la pulsation à la résonance ω_r.

Quelle remarque peut-on faire ici ?

Question 43 Tracer l'allure de $\overline{C}(\omega)$. Indiquer les valeurs pour $\omega = 0$; $\omega 0$; $\omega 0\sqrt{2}$.

Question 44 Remplir le tableau suivant en calculant la valeur de l'effort transmis maxi.

Fréquence f (Hz)	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**30**
F_{max} sans plot											
F_{max} avec plot											

On cherche à obtenir un effort transmis inférieur à 24 daN sur toute la gamme.
Le cahier des charges est-il respecté ? Que se passe t-il à la fréquence de 3Hz ?
Que peut-on faire pour remédier à ce problème lors d'essais à basses fréquences ?

Question 45 Lors d'essais effectués pour des fréquences supérieures à 10 Hz, quel problème peut survenir lors du démarrage de la machine ?

Quelle procédure de démarrage doit-on alors imposer pour l'éviter ?

7 Sous Fonction : Changer le réglage de l'amplitude des mouvements

Objectif : Dimensionner la liaison complète entre la roue dentée **28**, le support **25** et le moyeu couronne **29**.

Données et hypothèses :

- Nombre de vis CHC M5 (non repérées sur les plans) assurant le serrage de la couronne : $\mathbf{n_{vis} = 8}$;
- Coefficients de frottement acier/acier tous pris égaux à $\mathbf{f_{acier/acier} = 0,15}$;
- Les dimensions nécessaires seront prises sur la coupe A-A **document 3** ;
- Courbe d'effort entre le pignon et la roue dentée (**voir courbe document 20**) ;
- Voir données sur le système vis-écrou **document 21.**

Question 46 Proposer un modèle (réaliser un croquis et indiquer toutes les hypothèses retenues) pour les actions mécaniques transmises par la liaison complète entre la roue dentée **28**, le support **25** et le moyeu couronne **29**. Déterminer l'effort minimum théorique que doit appliquer chaque vis pour que la transmission de puissance soit possible.

Question 47 Déterminer le couple de serrage théorique en tenant compte des pertes par frottement sous la tête et dans les filets. Déduire le couple pratique à exercer compte tenu du fait qu'avec un serrage manuel l'erreur sur l'effort de serrage conduit à prendre en compte un facteur multiplicateur de 4.

Question 48 Déterminer la contrainte équivalente de Von-Mises maximale appliquée à la vis lors du serrage dans les conditions les plus défavorables.

Question 49 Choisir la classe de qualité de la visserie réalisant la liaison complète en prenant un coefficient de sécurité s=3 et conclure sur d'éventuelles modifications de la liaison.

8 Exercice pédagogique

Finalités :

On souhaite développer une séquence d'enseignement dont le but est d'apporter aux étudiants la capacité d'analyser et de comparer différentes dispositions constructives de guidages en rotation par éléments roulants. La finalité ultime étant de leurs donner la capacité d'optimiser le choix d'une solution constructive vis-à-vis d'un cahier des charges.

Niveau d'enseignement concerné :

BTS Conception de Produits Industriels

Compétences concernées en TS CPI :

Elles se situent en phase de constitution du dossier d'étude et en phase de conception préliminaire.

2. Constitution du dossier d'étude	**C04.** Analyser, comparer des solutions techniques et argumenter.
	C05. Dégager les principes qui régissent les solutions techniques.
	C06. Rechercher une information dans une documentation technique, dans un réseau local ou à distance.
	C07. Identifier les moyens techniques de production disponibles.
	C08. Intégrer les contraintes de la propriété industrielle.
3. Conception préliminaire	**C09.** Rechercher et expliciter un principe de solution.
	C10. Proposer ou expliciter sous forme de croquis ou de schéma, commenté, légendé, une solution constructive.
	C11. Élaborer la maquette numérique de conception préliminaire à l'aide d'un modeleur volumique, paramétrable, variationnel.
	C12. Argumenter, au sein d'un groupe projet, les solutions techniques et économiques proposées en exploitant les outils adaptés.
	C13. Valider une géométrie ou une architecture, par simulation informatique ou calcul élémentaire des comportements mécaniques.
	C14. Estimer la durée d'étude attendue en phase avec le jalonnement d'un projet et recenser les éléments du coût.

Les deux compétences principales sont détaillées ci-dessous :

C04. Analyser, comparer des solutions techniques et argumenter.		
Données	***Compétence détaillée***	***Critères et/ou indicateur de performance***
Des solutions techniques en réponse à une fonction technique donnée sous forme de : - plans, schémas, croquis, - modèles virtuels, - mécanismes réels.	- Dégager des paramètres, des critères de comparaison des solutions techniques en regard du cahier des charges fonctionnel. - Pondérer chacun des critères. - Classer les différentes solutions techniques. - Communiquer oralement ou par écrit à propos du système technique.	- Exhaustivité des paramètres à prendre en compte. - Exactitude du classement. - Pertinence des commentaires et de l'analyse.

C12. Argumenter, au sein d'un groupe projet, les solutions techniques et économiques proposées en exploitant les outils adaptés.		
Données	*Compétence détaillée*	*Critères et/ou indicateur de performance*
- Les croquis, schémas… d'études préliminaires. - Des bases de données locales et/ou à distances. - La base de données du « savoir-faire » de l'entreprise. - Des abaques. - Des catalogues de constructeurs. - Les informations relatives aux divers coûts : composants, matière, procédés.	- Décrire une solution technique selon un critère du cahier des charges fonctionnel (CdCf). - Argumenter une solution au sein du groupe.	- Pertinence des critères techniques et économiques retenus. - Logique et objectivité de l'argumentation.

Savoirs associés :

S72	**Étude des solutions constructives associées aux liaisons :** • Nature des liaisons obtenues. • Solutions classiques avec éléments standard éventuels. • Conditions et surfaces fonctionnelles (mise en position, maintien en position), influence sur la précision, la tenue aux efforts, la rigidité, … • Lubrification éventuelle. • Étanchéité éventuelle. • Adéquation pièce-matériau-procédé d'obtention. • Détermination du prédimensionnement et/ou validation du choix à l'aide de bases de données de constructeurs et de logiciels spécialisés. • Données technico-économiques comparatives (prix du composant, coûts d'installation, de maintenance, etc.…) ***Pour les solutions constructives suivantes :*** ○ *assemblage démontable,* ○ *assemblage permanent,* ○ *guidage en rotation par glissement,* ○ *guidage en rotation par éléments roulants,* ○ *guidage en translation par glissement,* ○ *guidage en translation par éléments roulants,* ○ *rotulage.*				

Rappel des horaires de formation en TS CPI : (extrait)

	Horaires de 1ère année			Horaires de 2ème année		
	Semaine	a+b+c	Année	Semaine	a+b+c	Année
6.Comportement des systèmes	6	4+0+2	180	4	2+0+2	144
7. Construction mécanique	10	2+2+6	300	12	2+2+8	432

a : Cours *b : Travaux dirigés* *c : Travaux pratiques*

Travail demandé :

On demande de détailler une séance pédagogique de travail dirigé dont l'objectif général est de faire acquérir aux étudiants les méthodes d'analyse indispensables au choix d'une solution constructive de guidage par éléments roulants.

Le but des deux premières questions est d'établir deux documents de synthèse distribués aux élèves pendant le TD. Pour ces questions, on pourra s'aider du **document 22** en découpant les figures nécessaires à la réalisation des documents demandés.

Question 50 Pour définir de manière précise les critères de choix d'un type de roulement, on établira un document de synthèse qui situe chaque type de roulement en fonction de ces principaux critères. La réponse à cette question se fera sur copie. Le document proposé doit être organisé dans un format A3 maximum. On pourra utiliser deux pages contiguës d'une copie.

Ce document doit être le plus clair possible. L'utilisation de représentations graphiques est indispensable. Ce document doit constituer un guide pour l'étudiant.

Question 51 Pour définir les différents types de montages possibles, on établira un document de **synthèse** regroupant les grandes familles de montage et leurs particularités. Le document proposé devant tenir dans un format A3 maximum, on utilisera le verso du document précédemment établi.

Question 52 Décrire le déroulement de la séance, les objectifs visés pour cette séance, les supports techniques utilisés, les outils et les moyens pédagogiques utilisés (matériels et/ou logiciels). On demande d'établir le questionnement proposé ainsi que le corrigé fait pendant la séance de TD.
On pourra utiliser tout ou partie des montages qui se trouvent dans le **document 23** ou dans le **document 3**.