

CONCEPTION DE MÉCANISMES I
TRAVAIL ÉCRIT DU 11 DÉCEMBRE 2018

9h20 – 11h45

Le matériel autorisé durant l'examen se compose exclusivement de : un résumé d'une à deux feuilles A4 recto-verso (soit 4 pages maximum) rédigé à la main par vos soins, une calculatrice simple et de quoi écrire à l'encre. Ce test est bien entendu individuel. **Justifiez tous vos résultats par des calculs et des explications détaillés.** S'il n'y a pas assez de place sur la feuille de donnée pour rédiger une réponse, alors joignez une feuille annexe avec votre nom et faites-laagrafer au reste des pages au moment du rendu.

Barème	Nombre de points	Points obtenus
Exercice 1	20	
Exercice 2	25	
Exercice 3	30	
Exercice 4	25	
Total	100	
Note		

Exercice 1 : Analyse cinématique qualitative d'un guidage flexible [20 points]

Le guidage flexible ci-dessous est constitué de deux tiges flexibles identiques de section circulaire et de deux lames flexibles identiques qui relient le bloc rigide mobile A au bloc rigide fixe O .

Question 1 [10 points] : Complétez la liste ci-dessous décrivant qualitativement les degrés de liberté du bloc A , en utilisant la notation vue au cours.

$$x_{\dots} \quad y_{\dots} \quad z_{\dots} \quad rx_{\dots} \quad ry_{\dots} \quad rz_{\dots}$$

Notation (rappel) :

- x_1 : Mouvement en translation dans la direction x **bloqué** par **une** articulation
- x_n : Mouvement en translation dans la direction x **bloqué** par n articulations (hyperstatisme de degrés $n - 1$)
- x^F : Mouvement en translation rectiligne dans la direction x **libre** (Free)
- x^{Fp} : Mouvement en translation dans la direction x libre, mais accompagné d'un mouvement **parasite**.
- x^{LF} : Mouvement en translation rectiligne dans la direction x libre **localement** (Local Freedom) (apparition de contraintes élevées et augmentation significative de la rigidité pour les grandes courses).
- x^{LFp} : Mouvement en translation dans la direction x libre **localement** et accompagné d'un mouvement **parasite**.
- rx_1 : Mouvement en rotation autour de l'axe x **bloqué** par **une** articulation
- etc.

Question 2 [2 points] : Déterminez le nombre de degrés de liberté du bloc A :

$$DOF = \dots$$

Question 3 [6 points] : Déterminez la mobilité M de cette structure selon la méthode de Grübler en considérant que chaque tige est une articulation dotée de 5 degrés de liberté et chaque lame est une articulation dotée de 3 degrés de liberté :

$$M = \dots$$

Question 4 [2 points] : Déterminez le degré d'hyperstatisme de cette structure :

$$DOH = \dots$$

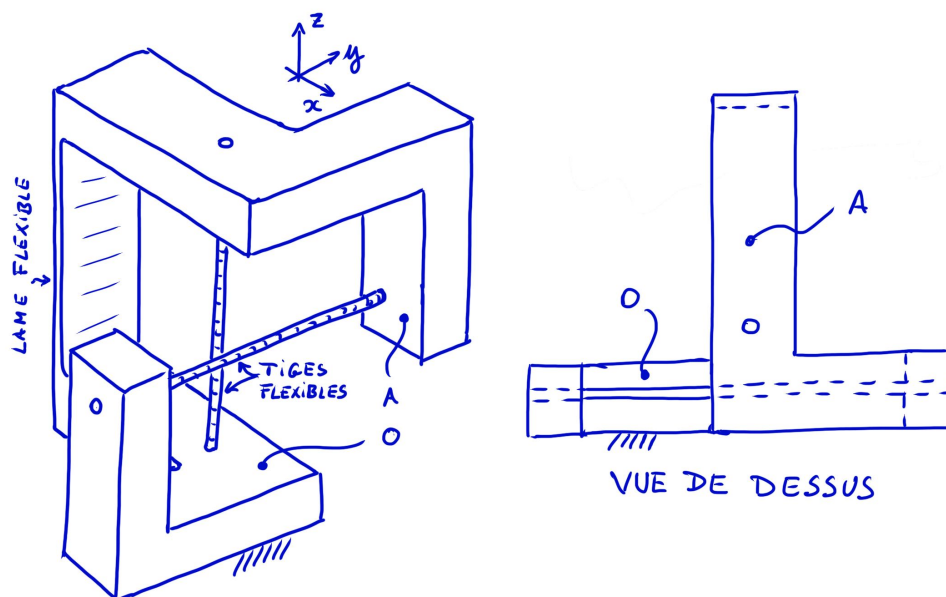


Figure 1.1

Espace pour la résolution de l'exercice 1 :

Exercice 2 : Fréquences propres d'oscillateurs à un degré de liberté [25 points]

Sachant que l'oscillateur harmonique à un degré de liberté représenté sur la figure 2.1 (a) est doté d'une fréquence propre de **3 Hz**, déterminez les fréquences propres des systèmes (b), (c) et (d).

Hypothèses :

- Les masses sont ponctuelles (leur moment d'inertie nul).
- La valeur de m est identique sur toutes les figures.
- La valeur de L est identique sur toutes les figures.
- La valeur de k est identique sur toutes les figures.
- Les poutres sont infiniment rigides et sont dénuées de masse.
- Les cordes sont infiniment rigides, sont dénuées de masse et adhèrent parfaitement aux poulies.
- Tous les mouvements s'effectuent dans le domaine linéaire des petites déformations (en particulier, l'approximation $\sin \alpha \approx \alpha$ s'applique).
- Il n'y a aucun frottement (amortissement nul).

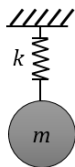
Rappels :

La fréquence propre d'un oscillateur élémentaire composé d'une masse m suspendue sur un ressort de rigidité k est : $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$.

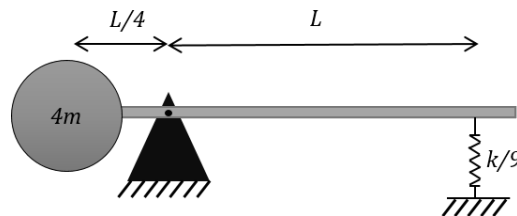
La fréquence propre d'un oscillateur élémentaire composé d'une inertie J suspendue à un ressort rotatif de rigidité angulaire k_α est : $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_\alpha}{J}}$.

Barème :

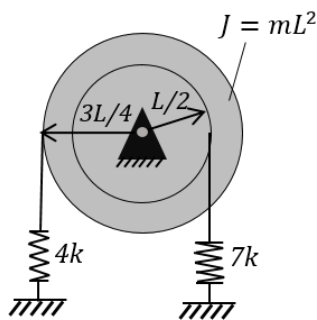
- (b) : [7 points]
- (c) : [9 points]
- (d) : [9 points]



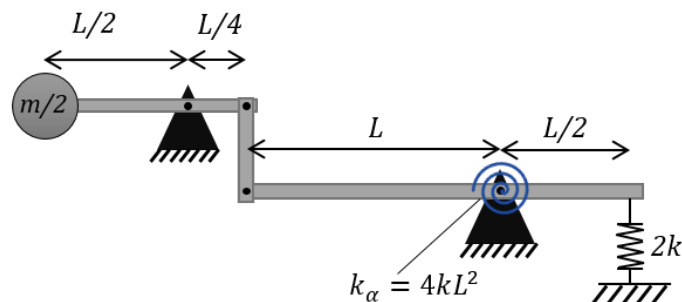
(a) Fréquence propre : 3 Hz



(b) Fréquence propre : Hz



(c) Fréquence propre : Hz



(d) Fréquence propre : Hz

Figure 2.1. Complétez les 3 valeurs des fréquences propres des systèmes (b), (c), (d) et justifiez vos réponses sur la page suivante.

Espace pour la résolution de l'exercice 2 :

Espace pour la résolution de l'exercice 2 (suite) :

Exercice 3 : Convoyeur à bande [30 points]

Une usine de conditionnement de bouteilles de Champagne haut de gamme fait monter des caisses de bouteilles à l'aide du convoyeur à bande de la figure 3.1. Pour éviter tout risque d'accident en cas de coupure de courant (descente incontrôlée des caisses), on intègre un système d'anti-recul constitué d'un embrayage ressort. L'embrayage ressort est monté de telle sorte qu'il fonctionne en limiteur de couple dans le sens de la montée des caisses et en embrayage dans le sens de la descente.

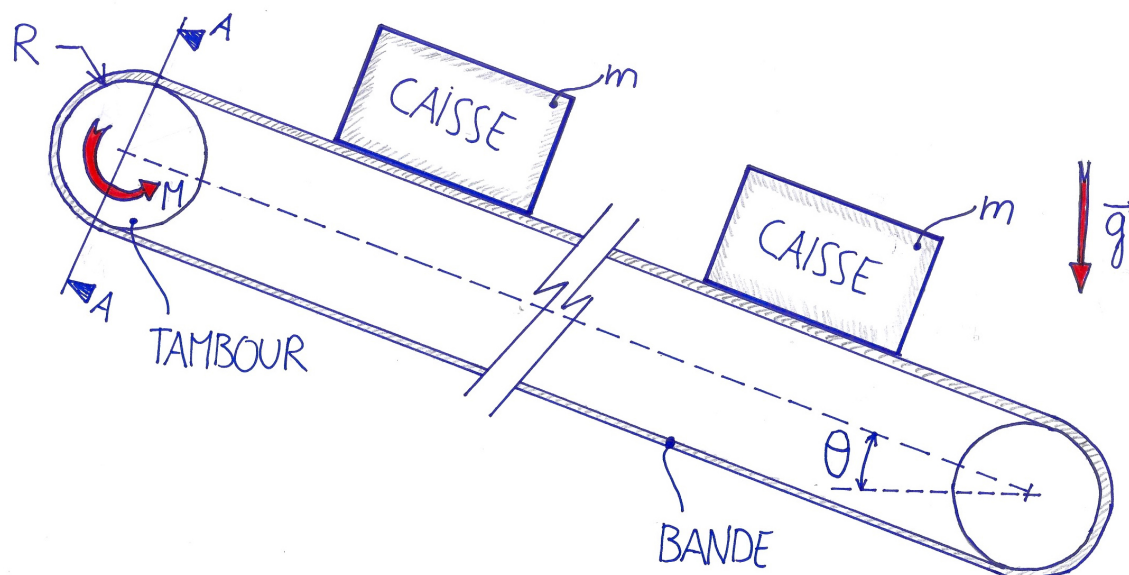


Figure 3.1 : Convoyeur à bande.

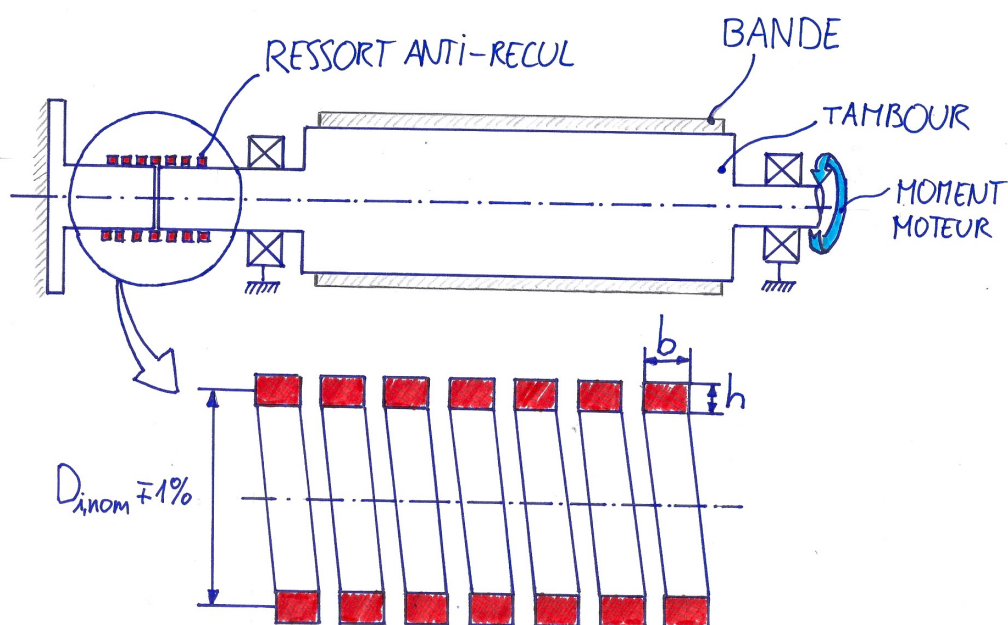


Figure 3.2 : Coupe A-A simplifiée du système d'anti-recul à embrayage ressort.

- Données du convoyeur :
 - Masse d'une caisse de bouteilles : $m = 20$ kg.
 - Nombre maximum de caisses de bouteilles transportées simultanément : $N = 18$.
 - Accélération de la pesanteur : $g = 9.81$ m/s².
 - Angle d'inclinaison du convoyeur par rapport à l'horizontale : $\theta = 10^\circ$
 - Rayon du tambour tournant : $R = 55$ mm.
 - Coefficient de frottement entre une caisse et la bande : $\mu_b = 0.3$.
- Données du ressort :
 - Matériau et module de Young du fil du ressort : acier C75+QT, $E = 210$ GPa.
 - Section du fil du ressort : section rectangulaire $b \times h = 2 \times 2.5$ mm².
 - Diamètre moyen du ressort monté sur le tambour : $D = 60$ mm.
 - Diamètre moyen du ressort détendu $D_i = 59$ mm.
 - Tolérance du fabricant sur le diamètre moyen détendu : $\Delta(D_i) = \pm 1\%$.
 - Coefficient de frottement entre les spires du ressort et le tambour : $\mu = 0.2$.

Question 1 [3 points] : Vérifiez si le coefficient de frottement μ_b est suffisant pour assurer que les caisses ne glissent pas lorsque la bande est à l'arrêt.

Question 2 [3 points] : Selon la figure 3.3, dans quel sens, 1 ou 2, le ressort doit-il être enroulé pour remplir la fonction d'anti-recul décrite ci-dessus ? Justifiez brièvement votre réponse.

Question 3 [4 points] : Calculez le couple statique M qu'il faut appliquer au tambour tournant pour empêcher le convoyeur chargé avec N caisses de redescendre en cas de coupure de courant (c'est-à-dire avec un couple moteur supposé nul). Pour ce calcul, faites l'hypothèse que l'épaisseur de la bande de transport est nulle.

Question 4 [10 points] : Calculez le nombre minimum de spires actives n_{min} nécessaires pour garantir un couple d'embrayage C_{emb} qui présente un facteur de sécurité S supérieur ou égal à 2 ($S \geq 2$), en prenant en compte la tolérance de fabrication du ressort. Le facteur de sécurité est défini ainsi : $S = C_{emb}/M$.

Rappel : pour un embrayage ressort utilisé comme embrayage nous avons : $C_{emb} = \frac{D^2 - D_i^2}{D \cdot D_i^2} EI (e^{\mu\alpha} - 1)$ où α est l'angle d'enroulement de la partie active du ressort sur le tambour tournant et $I = bh^3/12$ est le moment d'inertie de la section du fil (les autres termes sont définis plus haut).

Remarque : Si le couple de retenue M n'a pas pu être calculé à la question 3, faites l'hypothèse, pour la question 4, que $M = 35$ Nm.

Question 5 [10 points] : En faisant l'hypothèse que les seules pertes énergétiques du système résultent du frottement dans l'embrayage ressort, calculez le rendement η du convoyeur lorsqu'il fonctionne à pleine charge, c'est-à-dire lorsqu'il transporte 18 caisses avec le nombre n de spires actives calculé à la question 4. Si vous n'avez pas réussi à calculer n , alors faites l'hypothèse que $n = 8$.

Rappel : pour un embrayage ressort utilisé comme limiteur de couple, la valeur seuil du couple transmissible par friction est :

$$C_{lim} = \frac{D^2 - D_i^2}{D \cdot D_i^2} EI \frac{(e^{\mu\alpha} - 1)}{e^{\mu\alpha}} \text{ (tous les termes sont définis ci-dessus).}$$

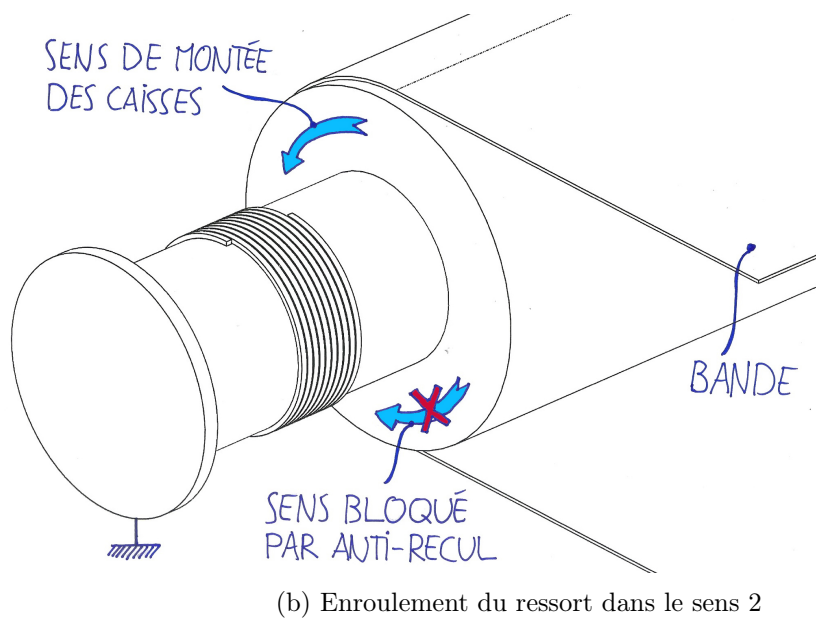
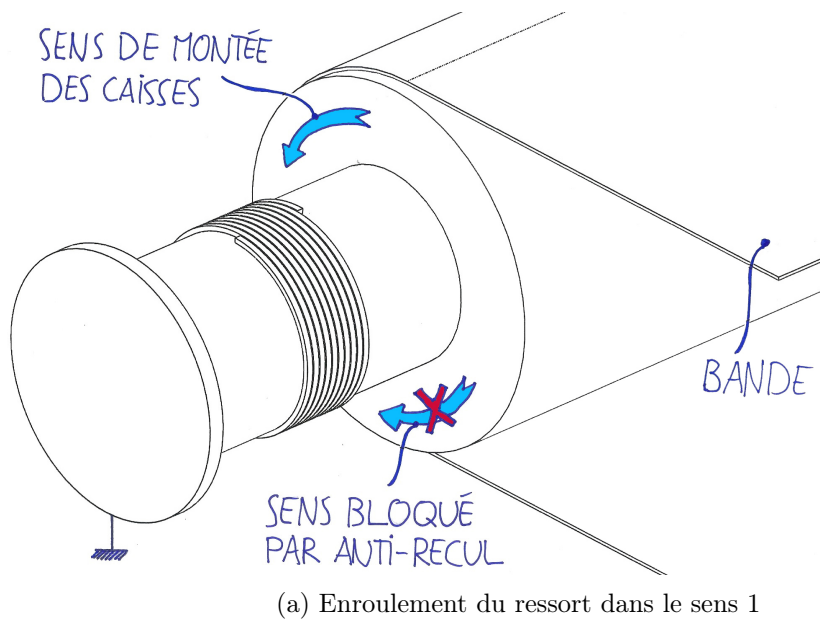


Figure 3.3 : Dénomination des deux sens d'enroulement du ressort

Espace pour la résolution de l'exercice 3 :

Espace pour la résolution de l'exercice 3 (suite) :

Exercice 4 : Montage de roulements à billes [25 points]

Dans le mécanisme de la figure 4.1 la *manivelle* est motorisée en rotation continue. Elle entraîne, au travers de la *bielle*, le *piston* qui réalise un mouvement de va-et-vient en translation tout en étant soumis à la force extérieure F . L'articulation *piston-bielle* admet un angle de rotulage de l'ordre de 0.1° . Le *palier de la manivelle* est rigide et sans jeu (considéré comme un pivot idéal). L'articulation *bielle-manivelle*, sujet de cet exercice, doit être réalisée au moyen d'un ou plusieurs roulements.

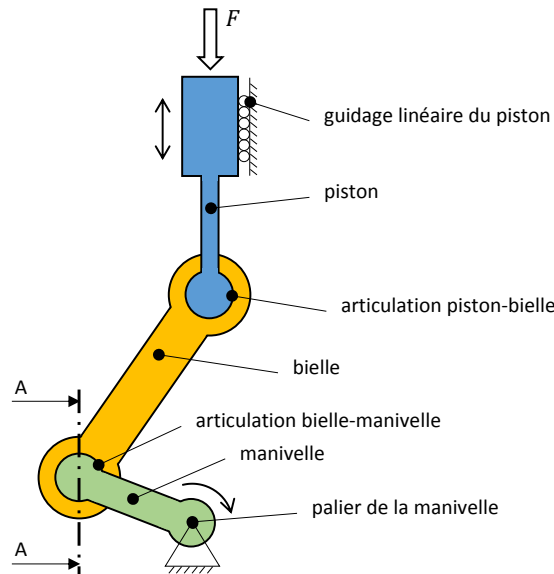


Figure 4.1

Sur l'ébauche de dessin de la page suivante représentant la coupe A-A de l'articulation *bielle-manivelle*, dessinez **un** montage de roulement(s) adéquat pour cette articulation satisfaisant aux spécifications ci-dessous.

Faites un dessin clair, avec des légendes, **en soignant les détails**, où vous représentez tous les éléments fonctionnels :

- Epaulements sur l'arbre et dans le logement de la bielle ;
- Dispositifs de fixation des bagues par obstacle ;
- Eléments élastiques de précharge ;
- Indiquez sur votre dessin les ajustements en notant « **jeu** » ou « **serrage** » sur toutes les bagues des roulements.

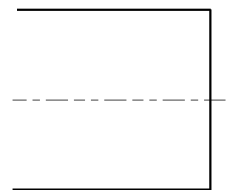
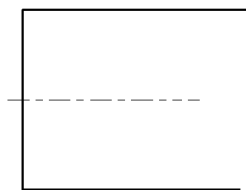
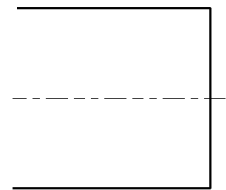
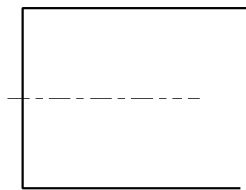
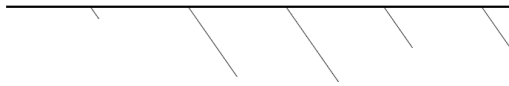
Note : nous avons mis à votre disposition quatre ébauches au cas où vous auriez besoin de faire plusieurs essais. Si vous faites plusieurs dessins, alors **encadrez impérativement l'unique solution que vous retenez**. Seul le dessin encadré sera analysé dans le cadre de la correction de ce travail écrit.

Spécifications :

- N'utilisez que des *roulements à billes à gorge profonde* (aussi appelés *roulements rigides à billes*) ;
- L'articulation doit disposer d'une liberté de *rotulage* (aussi appelé *déversement*) de l'ordre de 0.1° pour tolérer les éventuelles erreurs de parallélisme entre le plan dans lequel tourne la manivelle et le plan dans lequel se meut la bielle ;
- L'articulation doit présenter un jeu axial nul ;
- S'il est préchargé, le montage de roulements doit être *préchargé élastiquement* (et non pas *géométriquement*) de manière à contrôler précisément les forces de précharge.

Espace pour la résolution de l'exercice 4 :

Encadrez impérativement la solution que vous retenez. Seule le dessin que vous aurez encadré sera considéré lors de la correction.



Espace pour la résolution de l'exercice 4 (à n'utiliser que si vos dessins de la page précédente sont ratés) :

