



ECOLE NATIONALE DE L'AVIATION CIVILE

Département Admissions et
Vie des Campus

Toulouse, le 25 avril 2015

DE : Anne-Lise BERTRAND	Tél .: +33 (0) 5 62 17 41 83	Fax : +33 (0) 5 62 17 40 79
A : TOUS LES CHEFS DE CENTRE		

CONCOURS ICNA 2015

ERRATA

EPREUVE DE :

**SCIENCES INDUSTRIELLES POUR
L'INGENIEUR**

Page 6 – PARTIE B – 7^{ème} ligne

$$\beta = (\overrightarrow{Z_{18}}, \overrightarrow{Z_{61}})$$

CONCOURS POUR LE RECRUTEMENT
D'INGÉNIEURS DU CONTRÔLE DE LA NAVIGATION AÉRIENNE



***Épreuve obligatoire à option de
SCIENCES INDUSTRIELLES POUR L'INGÉNIEUR***

Durée : 4 heures

Coefficient : 3

Cette épreuve comporte :

- 1 page de garde
- 2 pages d'instruction pour remplir le QCM recto/verso
- 1 page d'avertissements
- 20 pages de texte/questions recto/verso

L'USAGE DE CALCULATRICES, DE TELEPHONES PORTABLES OU DE DOCUMENTS PERSONNELS N'EST PAS AUTORISE

ÉPREUVE OBLIGATOIRE A OPTION DE SCIENCES INDUSTRIELLES POUR L'INGÉNIEUR

A LIRE TRÈS ATTENTIVEMENT

L'épreuve de Sciences Industrielles pour l'Ingénieur est un questionnaire à choix multiple qui sera corrigé automatiquement par une machine à lecture optique.

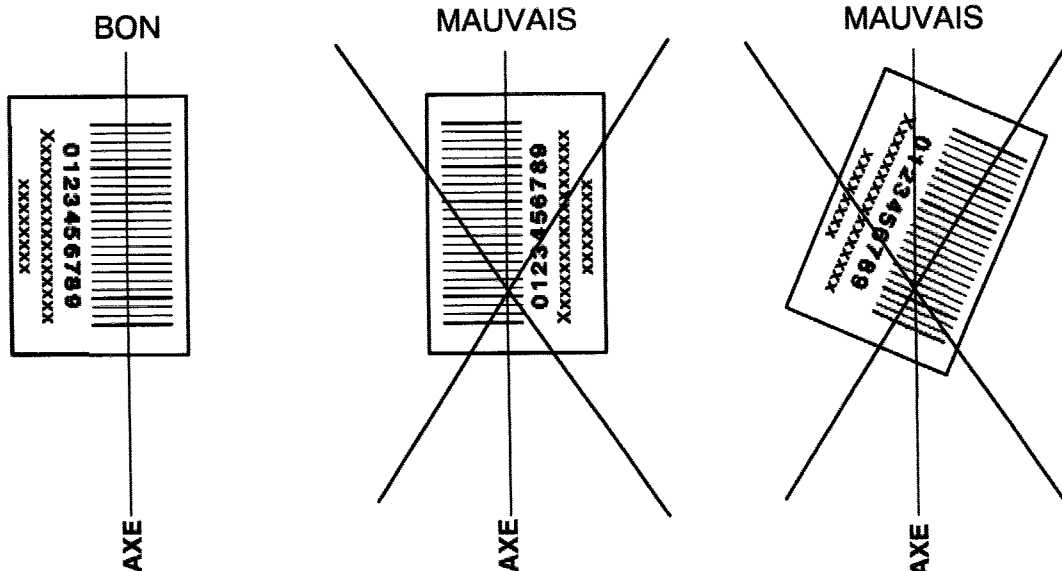
ATTENTION, IL NE VOUS EST DÉLIVRÉ QU'UN SEUL QCM

- 1) Vous devez coller dans la partie droite prévue à cet effet, **l'étiquette correspondant à l'épreuve que vous passez**, c'est-à-dire « épreuve obligatoire à option de sciences industrielles pour l'ingénieur ».

POSITIONNEMENT DES ÉTIQUETTES

Pour permettre la lecture optique de l'étiquette, positionner celle-ci en **position verticale** avec les chiffres d'identification à **gauche** (le trait vertical devant traverser la totalité des barres de ce code).

EXEMPLES :



- 2) Pour remplir ce QCM, vous devez utiliser un **STYLO BILLE** ou une **POINTE FEUTRE** de couleur **NOIRE**.
- 3) Utilisez le sujet comme brouillon (ou les feuilles de brouillons qui vous sont fournies à la demande par la surveillante qui s'occupe de votre rangée) et ne retranscrivez vos réponses qu'après vous être relu soigneusement.
- 4) Votre QCM ne doit pas être souillé, froissé, plié, écorné ou porter des inscriptions superflues, sous peine d'être rejeté par la machine et de ne pas être corrigé.

- 5) Cette épreuve comporte 48 questions obligatoires ; certaines de numéros consécutifs, peuvent être liées. La liste de ces questions est donnée sur la page d'avertissements.

Chaque question comporte au plus deux réponses exactes.

- 6) A chaque question numérotée entre 01 et 48, correspond sur la feuille-réponses une ligne de cases qui porte le même numéro (les lignes de 49 à 100 seront neutralisées). Chaque ligne comporte 5 cases A, B, C, D, E.

Pour chaque ligne numérotée de 01 à 48, vous vous trouvez en face de 4 possibilités :

- soit vous décidez de ne pas traiter cette question :
la ligne correspondante doit rester vierge.
- soit vous jugez que la question comporte une seule bonne réponse :
vous devez noircir l'une des cases A, B, C, D.
- soit vous jugez que la question comporte deux réponses exactes :
vous devez noircir deux des cases A, B, C, D et deux seulement.
- soit vous jugez qu'aucune des réponses proposées A, B, C, D n'est bonne :
vous devez alors noircir la case E.

Attention, toute réponse fausse entraîne pour la question correspondante une pénalité dans la note.

7) Exemples de réponses

Question 1 :

L'expression du **moment par rapport au point A de la force $\vec{F}$** appliquée au point M est le vecteur d'origine A défini par la relation :

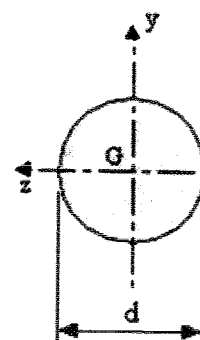
A) $\vec{M}_A(\vec{F}) = \vec{AM} \wedge \vec{F}$ B) $\vec{M}_A(\vec{F}) = \vec{MA} \wedge \vec{F}$

C) $\vec{M}_A(\vec{F}) = \vec{AM} \bullet \vec{F}$ D) $\vec{M}_A(\vec{F}) = \vec{OM} \wedge \vec{F}$

Question 2 :

Le moment polaire exprimé en G de la pièce représentée sur la figure ci-contre est :

A) $I_G = \frac{\pi \cdot d^4}{12}$ B) $I_G = \frac{\pi \cdot d^4}{36}$ C) $I_G = \frac{\pi \cdot d^3}{12}$ D) $I_G = \frac{\pi \cdot d^3}{64}$



Vous cocherez sur la feuille réponse :

1	☒ A	☐ B	☐ C	☐ D	☐ E
2	☐ A	☐ B	☐ C	☐ D	☒ E

AVERTISSEMENTS

Les calculatrices sont interdites pour cette épreuve. Dans certaines questions, les candidats doivent choisir entre plusieurs valeurs numériques. Les valeurs fausses qui sont proposées ont des ordres de grandeur suffisamment différents de la valeur exacte arrondie selon les règles habituelles, afin d'éliminer toute ambiguïté dans le choix de la bonne réponse.

Exemple :

Le calcul sera arrondi au plus proche : $11,56 \text{ kg} \approx 12 \text{ kg}$

Les propositions de réponse sont :

- A) 2 kg B) 12 kg C) 18 kg D) 24 kg

QUESTIONS LIEES

Les parties A, B, C et D sont indépendantes.

Les questions liées sont :

1 à 2
10 à 14
15 à 22
23 à 24
25 à 30
35 à 38
39 à 42

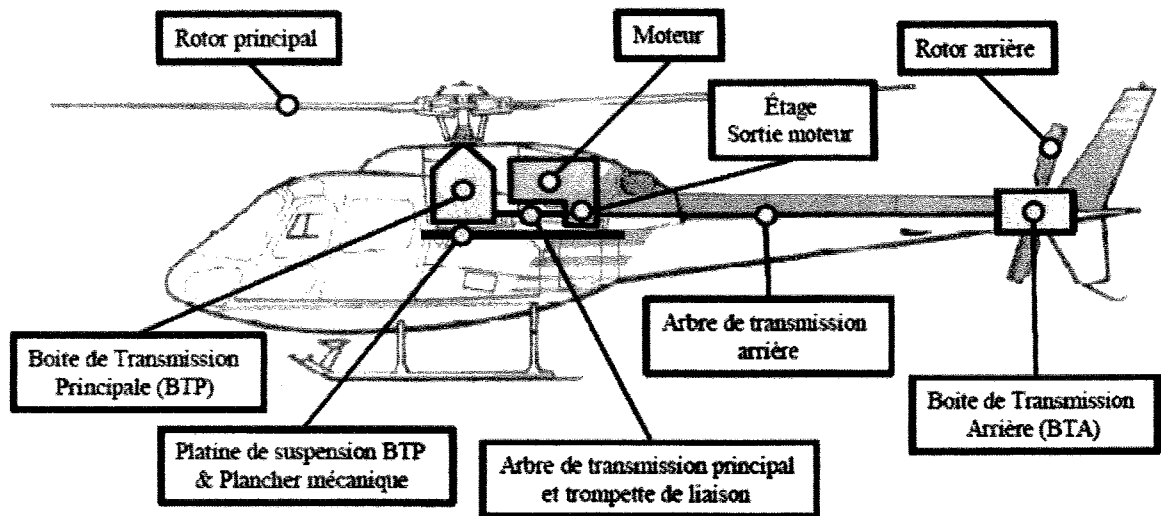


FIN DES CONSIGNES



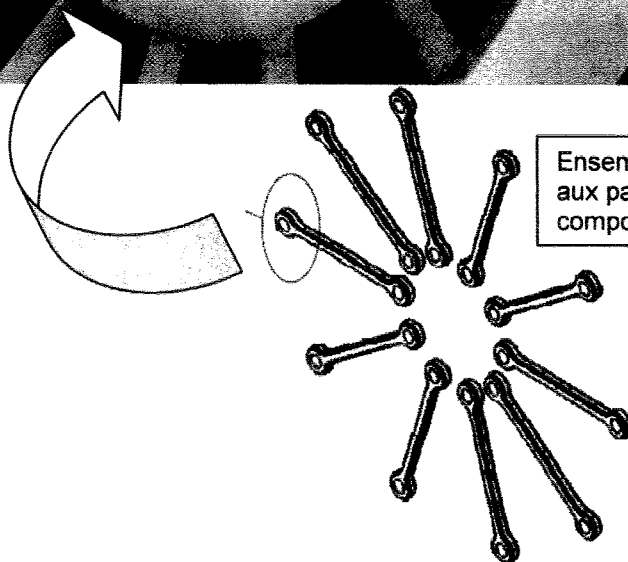
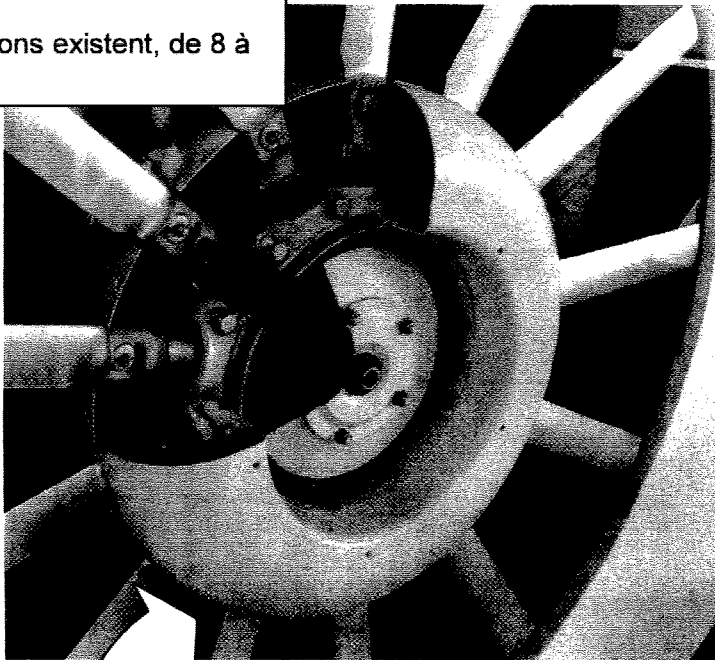
PRESENTATION DE L'ETUDE

Le sujet du concours portera sur l'étude du rotor arrière d'un hélicoptère.

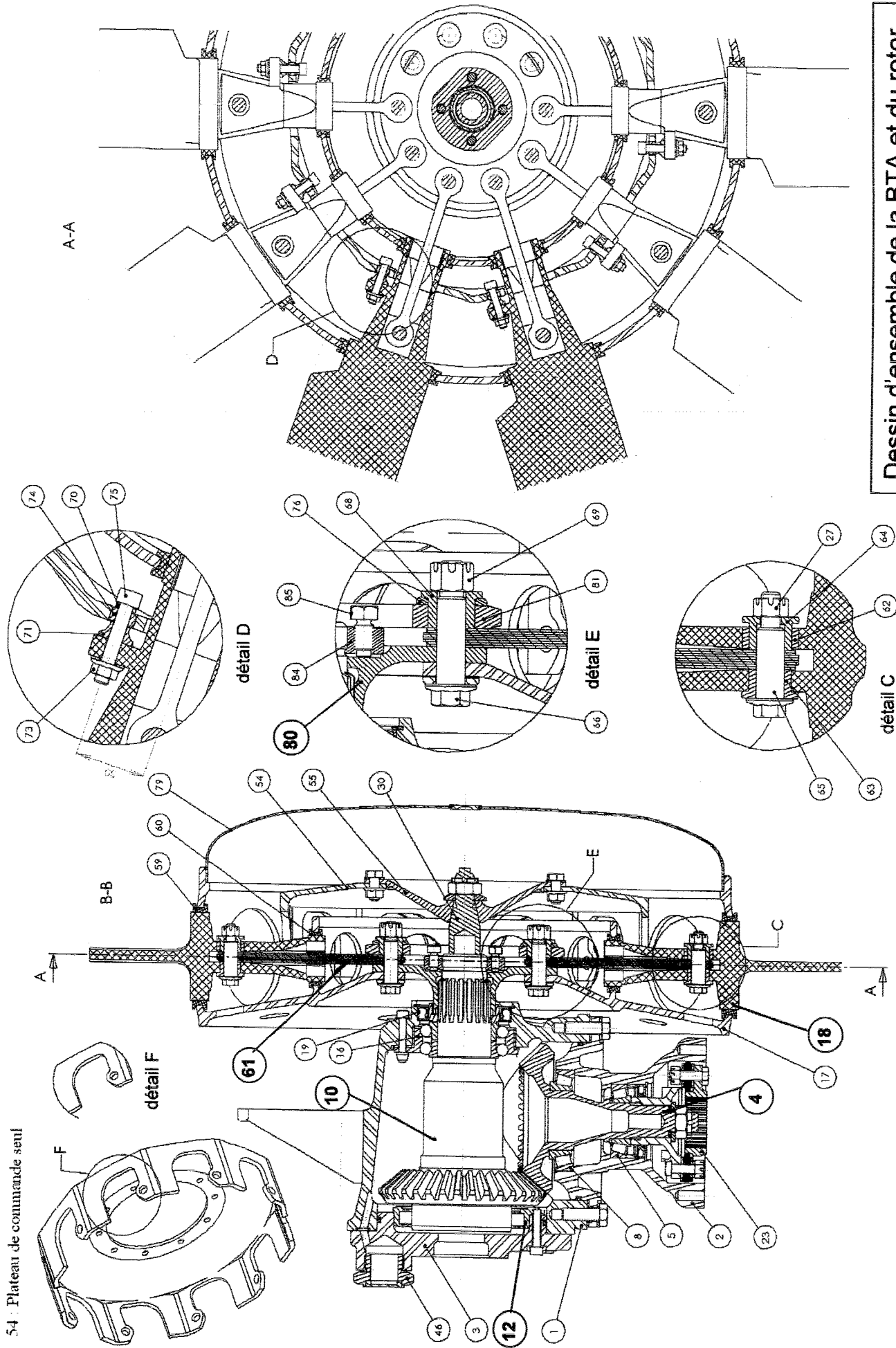


Photographie du Rotor Arrière

Plusieurs options existent, de 8 à 12 pales.



Ensemble de biellettes reliant le rotor aux pales : Faisceau feuilleté en composite déformable (rep. 61).



Dessin d'ensemble de la BTA et du rotor
arrière type fenestron. Dessin hors Echelle

85	4	Vis de blocage	
84	1	Ecrou	Acier
81	1	Pièce de fixation faisceau	Acier
80	1	Pièce liaison BTA-rotor	Acier
79	1	Carénage	Alliage d'aluminium
76	10	Rondelle	
75	10	Vis	
74	10	Rotule	Acier
73	10	Ecrou	
71	10	Entretoise	Acier
70	10	Rondelle	
69	10	Ecrou	
68	10	Bague d'appui	Acier
66	10	Axe	
65	10	Axe (diamètre 8 mm)	Durinox® (X2NiCrMoTi10-10-5)
64	10	Bague d'appui	
63	10	Bague de guidage et d'appui	
62	10	Bague de guidage	
61	10	Biellette	
60	10	Bague de guidage (toron)	
59	10	Bague de guidage (toron)	
55	1	Pièce de liaison	Acier
54	1	Plateau de commande	Alliage d'aluminium
46	1	Bouchon	
30	1	Axe de commande	Acier
27	10	Ecrou	
23	1	Joint d'accouplement : Flector	
19	1	Joint à lèvre	
18	10	Pale	Composite
17	1	Rotor	Alliage d'aluminium
16	1	Roulement	
12	1	Roulement (Cf. question partie A)	
10	1	Arbre de sortie de la BTA (Z = 35)	Acier
8	1	Roulement	
5	1	Roulement	
4	1	Arbre d'entrée de la BTA (Z = 32)	Acier
3	1	Couvercle support de servocommande	Alliage d'aluminium
2	1	Boîtier d'entrée	Alliage d'aluminium
1	1	Carter BTA	Alliage d'aluminium
Repère	Nbre	Désignations	Matière

NOMENCLATURE ROTOR ARRIERE HELICOPTERE

PARTIE A : ANALYSE DU SYSTEME

Un **rotor anti-couple** (ou RAC) est un rotor auxiliaire de petite taille situé à l'arrière d'un hélicoptère et dont le pas des pales est actionné par les pédales d'un palonnier servant à commander les mouvements de la machine autour de l'axe de lacet.

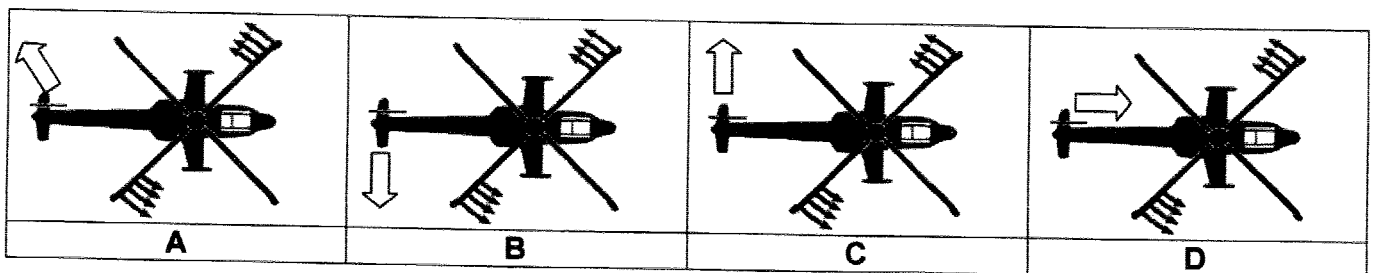
Question 1.

La fonction globale du système (rotor arrière d'un hélicoptère) est :

Augmenter la portance	Créer une force de poussée	Diminuer la traînée latérale	Stabiliser l'aéronef
A	B	C	D

Question 2.

Afin d'assurer un vol à vitesse et altitude constantes et en ligne droite, la force de propulsion exercée par le rotor de queue correspond au cas :



Seuls les hélicoptères de première catégorie sont équipés de systèmes anti-couple de renversement. Les avions de type monomoteur n'en sont pas équipés mais ce couple de renversement existe néanmoins.

Nous allons donc comparer les intensités de ces couples afin de justifier la nécessité d'employer un rotor anti-couple pour les hélicoptères.

Question 3.

Calculer le couple C induit pour les deux aéronefs suivants :

- Hélicoptère de type écureuil, fréquence du rotor : 350 tr/min, puissance nominale : 600 cv
- Avion type PC6, fréquence de l'hélice : 2000 tr/min, puissance nominale : 700 cv

$C_{\text{Hélico}} = 1,7 \text{ N.m}$ $C_{\text{Avion}} = 0,3 \text{ N.m}$	$C_{\text{Hélico}} = 18 \cdot 10^3 \text{ N.m}$ $C_{\text{Avion}} = 1,4 \cdot 10^6 \text{ N.m}$	$C_{\text{Hélico}} = 12\,000 \text{ N.m}$ $C_{\text{Avion}} = 2\,500 \text{ N.m}$	$C_{\text{Hélico}} = 1200 \text{ N.m}$ $C_{\text{Avion}} = 250 \text{ N.m}$
A	B	C	D

Question 4.

Sur le dessin d'ensemble, spécifier le type du roulement 12 :

Roulement à rotule à billes à contact radial	Butée à aiguilles	Roulement à rouleaux coniques	Roulement à rouleaux cylindriques sans bague intérieure
A	B	C	D

Question 5.

Dans le cadre de l'assemblage entre les deux carters 1 et 3, l'étanchéité est réalisée par :

Joint à lèvre	Joint torique	Pâte isolante	Etat de surface
A	B	C	D

Question 6.

En construction aéronautique, le blocage en rotation des écrous est assuré par :

Filetage	Freinage	Collage	Soudage
A	B	C	D

Question 7.

Le couple conique (voir dessin d'ensemble pièces 4 et 10) est :

un réducteur constitué d'engrenages droits ou coniques afin d'augmenter le couple de sortie	un accouplement élastique de forme conique entre deux arbres de transmission	un engrenage conique destiné à transmettre un mouvement de rotation entre deux arbres parallèles	un engrenage conique destiné à transmettre un mouvement de rotation entre deux arbres non parallèles
A	B	C	D

Question 8.

La mesure de la fréquence de rotation d'un arbre peut être réalisée :

à l'aide de capteurs optiques	à l'aide de capteurs algébriques	à l'aide de capteurs à effet piézoélectrique	à l'aide de capteurs à effet d'induction électromagnétique
A	B	C	D

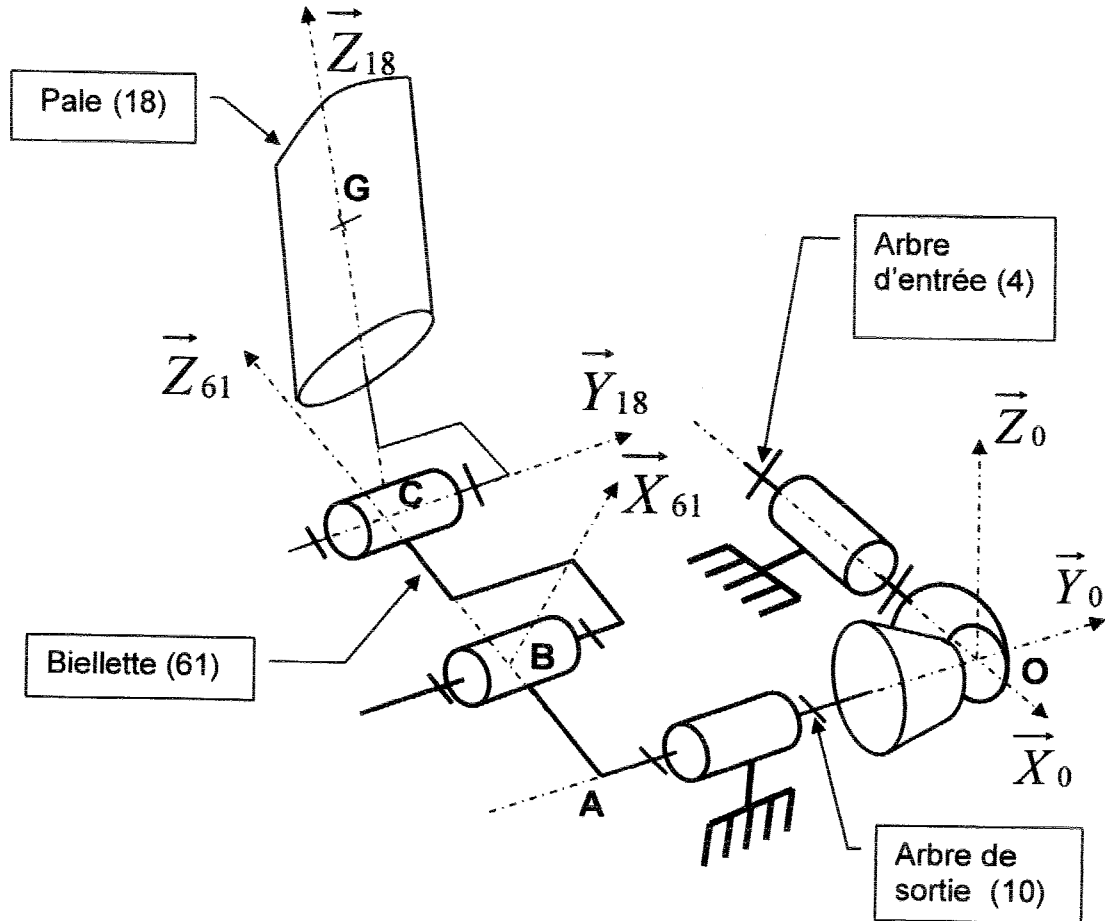
Question 9.

La mesure du couple transmissible par un arbre en rotation peut être réalisée :

à l'aide de capteurs optiques	à l'aide de capteurs algébriques	à l'aide de capteurs à effet piézoélectrique	à l'aide de capteurs à effet thermique
A	B	C	D

PARTIE B : ETUDE DE LA PUISSANCE MECANIQUE

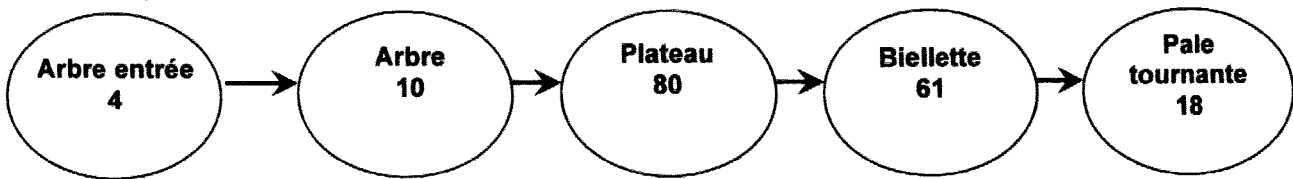
On donne le schéma cinématique en 3D du rotor arrière.



PARAMETRAGE

- Le fuselage de l'hélicoptère est repéré par **(0)** et on lui associe le repère $R_0 = (O, \overrightarrow{X_0}, \overrightarrow{Y_0}, \overrightarrow{Z_0})$
- La fréquence de rotation de l'arbre d'entrée **(4)** est notée $\overrightarrow{\Omega_4} = \omega_4 \overrightarrow{X_0}$
- A l'arbre de sortie **(10)** est associé le repère $R_{10} = (O, \overrightarrow{X_{10}}, \overrightarrow{Y_{10}} = \overrightarrow{Y_0}, \overrightarrow{Z_{10}})$
- La fréquence de sortie de l'arbre d'entrée **(10)** est notée $\overrightarrow{\Omega_{10}} = \omega_{10} \overrightarrow{Y_0}$ et $\theta_{10} = (\overrightarrow{X_{10}}, \overrightarrow{X_0})$
- A la bielle **(61)** est associé le repère $R_{61} = (B, \overrightarrow{X_{61}}, \overrightarrow{Y_{61}} = \overrightarrow{Y_{10}}, \overrightarrow{Z_{61}})$
- A la **pale** est associé le repère $R_p = (G, \overrightarrow{X_{18}}, \overrightarrow{Y_{18}}, \overrightarrow{Z_{18}})$
- L'angle de rotation de la pale **(18)** par rapport à la bielle **(61)** : $\beta = (\overrightarrow{Z_{61}}, \overrightarrow{Z_{18}})$ appelé **angle de battement**
- L'angle de rotation de la bielle **(61)** par rapport à l'arbre de sortie **(10)** : $\alpha = (\overrightarrow{X_{61}}, \overrightarrow{X_{10}})$
- Le point **A** est tel que $\overrightarrow{OA} = -\lambda \cdot \overrightarrow{Y_0}$
- Le point **B** est tel que $\overrightarrow{AB} = R \cdot \overrightarrow{Z_{10}}$
- Le point **C** est tel que $\overrightarrow{BC} = H \cdot \overrightarrow{Z_{61}}$
- G est le centre de gravité de la pale tel que $\overrightarrow{CG} = L \cdot \overrightarrow{Z_{18}}$.

Le schéma de circulation de la puissance, de l'entrée vers la sortie du système (en phase de démarrage) est le suivant :



Question 10.

Calculer $R_{10/4}$ le rapport de transmission du train d'engrenages :

$R_{10/4} = 0,9$	$R_{10/4} = 1,1$	$R_{10/4} = 1120$	$R_{10/4} = 91\%$
A	B	C	D

Question 11.

Si l'arbre 4 tourne à $(N_4) = 850$ tr/mn, calculer la vitesse angulaire de l'arbre de sortie (rep.10) :

$N_{10} = 777$ tr/mn	$N_{10} = 930$ tr/mn	$N_{10} = 777$ rad/s	$N_{10} = 9520$ tr/mn
A	B	C	D

Sous partie 1 : Etude de la puissance en régime continu ($N_4 = 850$ tr/mn constante)

Le couple fourni par la turbine (C_4) est de 60 N.m.

Question 12.

Calculer la puissance de sortie (P_{10}) avec un rendement global de 92% :

$P_{10} = 51$ kW	$P_{10} = 46$ kW	$P_{10} = 5,1$ kW	$P_{10} = 4,6$ kW
A	B	C	D

Question 13.

Calculer le couple de sortie (C_{10}) disponible afin de mettre en rotation le rotor à fréquence constante :

$C_{10} = 70$ N.m	$C_{10} = 65$ N.m	$C_{10} = 60$ N.m	$C_{10} = 55$ N.m
A	B	C	D

Question 14.

Afin de valider la version du rotor, et à partir du couple de sortie obtenu précédemment, choisir l'option 8, 10 ou 12 pales :

Couple 50 N.m	Couple 55 N.m	Couple 70 N.m	Couple >80 N.m
Option 8 pales	Option 9 pales	Option 10 pales	Option 12 pales
A	B	C	D

Sous partie 2 : Etude de la puissance en régime variable (N_4 n'est plus constante)

Question 15.

Exprimer la fréquence de rotation de la pale $\overrightarrow{\Omega}_{18/0}$

$\overrightarrow{\Omega}_{18/0} = -(\dot{\theta}_{10} + \dot{\alpha} + \dot{\beta})\overrightarrow{Y}_0$	$\overrightarrow{\Omega}_{18/0} = (\dot{\theta}_{10} + \dot{\alpha} + \dot{\beta})\overrightarrow{Y}_0$
A	B
$\overrightarrow{\Omega}_{18/0} = (\dot{\theta}_{10} - \dot{\alpha} + \dot{\beta})\overrightarrow{Y}_0$	$\overrightarrow{\Omega}_{18/0} = (\dot{\theta}_{10} - \dot{\alpha} - \dot{\beta})\overrightarrow{Y}_0$
C	D

Question 16.

Exprimer la vitesse du centre de gravité de la pale $\overrightarrow{V}_{G \in 18/0}$

$\overrightarrow{V}_{G \in 18/0} = R\dot{\theta}_{10}\overrightarrow{X}_{10} + H(\dot{\theta}_{10} - \dot{\alpha})\overrightarrow{X}_{61} + L(\dot{\theta}_{10} - \dot{\alpha} + \dot{\beta})\overrightarrow{X}_{18}$
A
$\overrightarrow{V}_{G \in 18/0} = R\dot{\theta}_{10}\overrightarrow{X}_{10} + H(\dot{\theta}_{10} - \dot{\alpha})\overrightarrow{X}_{61} + L(\dot{\theta}_{10} - \dot{\alpha} - \dot{\beta})\overrightarrow{X}_{18}$
B
$\overrightarrow{V}_{G \in 18/0} = R\dot{\theta}_{10}\overrightarrow{X}_{10} + H(\dot{\theta}_{10} + \dot{\alpha})\overrightarrow{X}_{61} + L(\dot{\theta}_{10} + \dot{\alpha} + \dot{\beta})\overrightarrow{X}_{18}$
C
$\overrightarrow{V}_{G \in 18/0} = -R\dot{\theta}_{10}\overrightarrow{X}_{10} - H(\dot{\theta}_{10} + \dot{\alpha})\overrightarrow{X}_{61} - L(\dot{\theta}_{10} + \dot{\alpha} + \dot{\beta})\overrightarrow{X}_{18}$
D

Question 17.

Exprimer l'accélération du centre de gravité de la pale $\overrightarrow{\Gamma}_{G \in 18/0}$

$\overrightarrow{\Gamma}_{G \in 18/0} = R\ddot{\theta}_{10}\overrightarrow{X}_{10} - R\dot{\theta}_{10}^2\overrightarrow{Z}_{10} + H(\ddot{\theta}_{10} + \ddot{\alpha})\overrightarrow{X}_{61} - H(\dot{\theta}_{10} + \dot{\alpha})^2\overrightarrow{Z}_{61} + L(\ddot{\theta}_{10} + \ddot{\alpha} + \ddot{\beta})\overrightarrow{X}_{18} - L(\dot{\theta}_{10} + \dot{\alpha} + \dot{\beta})^2\overrightarrow{Z}_{18}$
A
$\overrightarrow{\Gamma}_{G \in 18/0} = R\ddot{\theta}_{10}\overrightarrow{X}_{10} + R\dot{\theta}_{10}^2\overrightarrow{Z}_{10} + H(\ddot{\theta}_{10} + \ddot{\alpha})\overrightarrow{X}_{61} + H(\dot{\theta}_{10} + \dot{\alpha})^2\overrightarrow{Z}_{61} + L(\ddot{\theta}_{10} + \ddot{\alpha} + \ddot{\beta})\overrightarrow{X}_{18} + L(\dot{\theta}_{10} + \dot{\alpha} + \dot{\beta})^2\overrightarrow{Z}_{18}$
B
$\overrightarrow{\Gamma}_{G \in 18/0} = R\ddot{\theta}_{10}\overrightarrow{X}_{10} - R\dot{\theta}_{10}^2\overrightarrow{Z}_{10} + H(\ddot{\theta}_{10} - \ddot{\alpha})\overrightarrow{X}_{61} - H(\dot{\theta}_{10} - \dot{\alpha})^2\overrightarrow{Z}_{61} + L(\ddot{\theta}_{10} - \ddot{\alpha} + \ddot{\beta})\overrightarrow{X}_{18} - L(\dot{\theta}_{10} - \dot{\alpha} + \dot{\beta})^2\overrightarrow{Z}_{18}$
C
$\overrightarrow{\Gamma}_{G \in 18/0} = R\ddot{\theta}_{10}\overrightarrow{X}_{10} - R\dot{\theta}_{10}^2\overrightarrow{Z}_{10} + H(\ddot{\theta}_{10} - \ddot{\alpha})\overrightarrow{X}_{61} - H(\dot{\theta}_{10} - \dot{\alpha})^2\overrightarrow{Z}_{61} + L(\ddot{\theta}_{10} - \ddot{\alpha} - \ddot{\beta})\overrightarrow{X}_{18} - L(\dot{\theta}_{10} - \dot{\alpha} - \dot{\beta})^2\overrightarrow{Z}_{18}$
D

Question 18.

Pour la suite des calculs, on suppose que l'angle α est constant dans le temps et vous prendrez $\alpha = 0$. On néglige aussi les accélérations de battement mais pas la vitesse de battement.

Simplifier l'expression de l'accélération du centre de gravité de la pale $\overrightarrow{\Gamma_{G \in 18/0}}$

$\overrightarrow{\Gamma_{G \in 18/0}} = \ddot{\theta}_{10}(\overrightarrow{RX}_{10} + H\overrightarrow{X}_{61} + L\overrightarrow{X}_{18}) + \dot{\theta}_{10}^2(\overrightarrow{RZ}_{10} + H\overrightarrow{Z}_{61} + L\overrightarrow{Z}_{18}) + L\dot{\theta}_{10}\dot{\beta}\overrightarrow{Z}_{18}$
A
$\overrightarrow{\Gamma_{G \in 18/0}} = \ddot{\theta}_{10}(\overrightarrow{RX}_{10} + H\overrightarrow{X}_{61} + L\overrightarrow{X}_{18}) + \dot{\theta}_{10}^2(\overrightarrow{RZ}_{10} + H\overrightarrow{Z}_{61} + L\overrightarrow{Z}_{18}) + L(\dot{\theta}_{10}\dot{\beta} + \dot{\beta}^2)\overrightarrow{Z}_{18}$
B
$\overrightarrow{\Gamma_{G \in 18/0}} = -\ddot{\theta}_{10}(\overrightarrow{RX}_{10} + H\overrightarrow{X}_{61} + L\overrightarrow{X}_{18}) + \dot{\theta}_{10}^2(\overrightarrow{RZ}_{10} + H\overrightarrow{Z}_{61} + L\overrightarrow{Z}_{18})$
C
$\overrightarrow{\Gamma_{G \in 18/0}} = \ddot{\theta}_{10}(\overrightarrow{RX}_{10} + H\overrightarrow{X}_{61} + L\overrightarrow{X}_{18}) - \dot{\theta}_{10}^2(\overrightarrow{RZ}_{10} + H\overrightarrow{Z}_{61} + L\overrightarrow{Z}_{18}) - L(2\dot{\theta}_{10}\dot{\beta} + \dot{\beta}^2)\overrightarrow{Z}_{18}$
D

Question 19.

Exprimer l'expression de l'accélération du centre de gravité de la pale $\overrightarrow{\Gamma_{G \in 18/0}}$ dans la base $B_0 = (\overrightarrow{X}_0, \overrightarrow{Y}_0, \overrightarrow{Z}_0)$

$\overrightarrow{\Gamma_{G \in 18/0}} = \begin{pmatrix} \ddot{\theta}_{10}[R + H \cos \theta_{10} + L \cos(\theta_{10} + \beta)] + \dot{\theta}_{10}^2[R + H \sin \theta_{10} + L \sin(\theta_{10} + \beta)] + 2L\dot{\theta}_{10}\dot{\beta} \sin(\theta_{10} + \beta) \\ 0 \\ \ddot{\theta}_{10}[R + H \sin \theta_{10} + L \sin(\theta_{10} + \beta)] - \dot{\theta}_{10}^2[R + H \cos \theta_{10} + L \cos(\theta_{10} + \beta)] - 2L\dot{\theta}_{10}\dot{\beta} \cos(\theta_{10} + \beta) \end{pmatrix}$
A
$\overrightarrow{\Gamma_{G \in 18/0}} = \begin{pmatrix} -\ddot{\theta}_{10}[R + H \cos \theta_{10} + L \cos(\theta_{10} + \beta)] - \dot{\theta}_{10}^2[R + H \sin \theta_{10} + L \sin(\theta_{10} + \beta)] - L(2\dot{\theta}_{10}\dot{\beta} + \dot{\beta}^2) \sin(\theta_{10} + \beta) \\ 0 \\ -\ddot{\theta}_{10}[R + H \sin \theta_{10} + L \sin(\theta_{10} + \beta)] + \dot{\theta}_{10}^2[R + H \cos \theta_{10} + L \cos(\theta_{10} + \beta)] + L(2\dot{\theta}_{10}\dot{\beta} + \dot{\beta}^2) \cos(\theta_{10} + \beta) \end{pmatrix}$
B
$\overrightarrow{\Gamma_{G \in 18/0}} = \begin{pmatrix} \ddot{\theta}_{10}[(R + H) \cos \theta_{10} + L \cos(\theta_{10} + \beta)] + \dot{\theta}_{10}^2[(R + H) \sin \theta_{10} + L \sin(\theta_{10} + \beta)] + L(2\dot{\theta}_{10}\dot{\beta} + \dot{\beta}^2) \sin(\theta_{10} + \beta) \\ 0 \\ \ddot{\theta}_{10}[(R + H) \sin \theta_{10} + L \sin(\theta_{10} + \beta)] - \dot{\theta}_{10}^2[(R + H) \cos \theta_{10} + L \cos(\theta_{10} + \beta)] - L(2\dot{\theta}_{10}\dot{\beta} + \dot{\beta}^2) \cos(\theta_{10} + \beta) \end{pmatrix}$
C
$\overrightarrow{\Gamma_{G \in 18/0}} = \begin{pmatrix} \ddot{\theta}_{10}[R + H \cos \theta_{10} + L \cos(\theta_{10} + \beta)] + \dot{\theta}_{10}^2[R + H \sin \theta_{10} + L \sin(\theta_{10} + \beta)] \\ 0 \\ \ddot{\theta}_{10}[R + H \sin \theta_{10} + L \sin(\theta_{10} + \beta)] - \dot{\theta}_{10}^2[R + H \cos \theta_{10} + L \cos(\theta_{10} + \beta)] \end{pmatrix}$
D

Question 20.

Quel(s) paramètre(s) peut-on modifier afin de limiter l'influence du battement dans l'expression de l'accélération du centre de gravité de la pale ?

$\dot{\beta} = 0$ et pale la plus courte possible	$\dot{\beta} = 0$ ou pale la plus courte possible	$\dot{\beta} = 0$ ou $\theta_{10} = -\beta$ ou pale la plus courte possible	$\dot{\beta} = 0$ ou $\theta_{10} + \beta = \pi/2$ ou pale la plus courte possible
A	B	C	D

Pour la suite de l'étude, on négligera aussi la vitesse de battement et on supposera la longueur de la bielle (61) négligeable devant les autres dimensions.

On utilisera alors l'expression suivante :

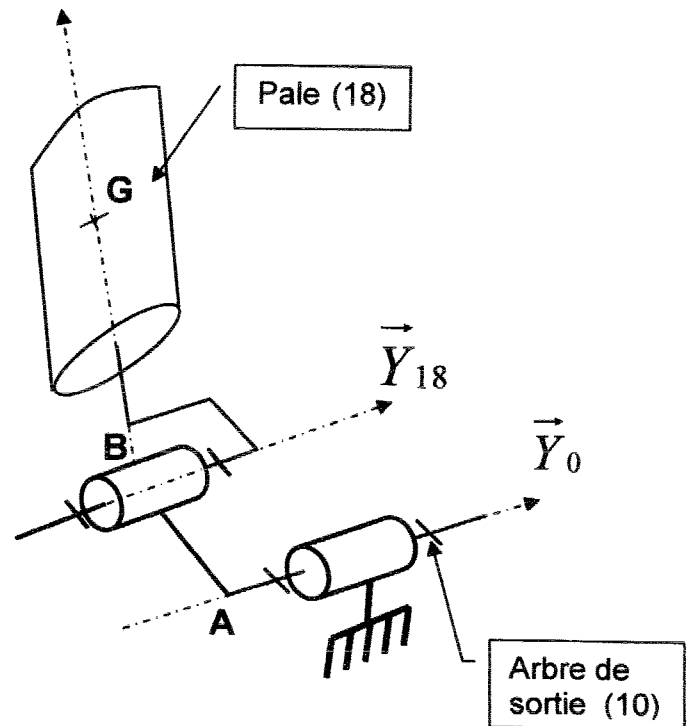
$$\vec{\Gamma}_{G \in 18/0} = \ddot{\theta}_{10}(\overrightarrow{RX}_{10} + \overrightarrow{LX}_{18}) - \dot{\theta}_{10}^2(\overrightarrow{RZ}_{10} + \overrightarrow{LZ}_{18}) \quad \vec{Z}_{18}$$

Le modèle simplifié est donné ci-contre.

On se placera dans le cas où $\theta_{10} = 0$

L'inertie de l'ensemble des pales et du rotor ramené sur l'axe $(A, \vec{Y}_0)$ est noté I_A et a pour valeur $I_A = 12 \text{ kg.m}^2$.

L'accélération angulaire au démarrage est limitée à 10 rad/s^2 sur l'arbre de sortie (10). La phase de démarrage dure 60 secondes.



Question 21.

Calculer avec ces hypothèses le couple C à exercer sur l'arbre (10).

$C = 60 \text{ N.m}$	$C = 1200 \text{ N.m}$	$C = 600 \text{ N.m}$	$C = 120 \text{ N.m}$
A	B	C	D

Question 22.

La puissance au décollage fournie par la turbine est de 376 kW . En phase de démarrage, cette puissance est-elle suffisante ?

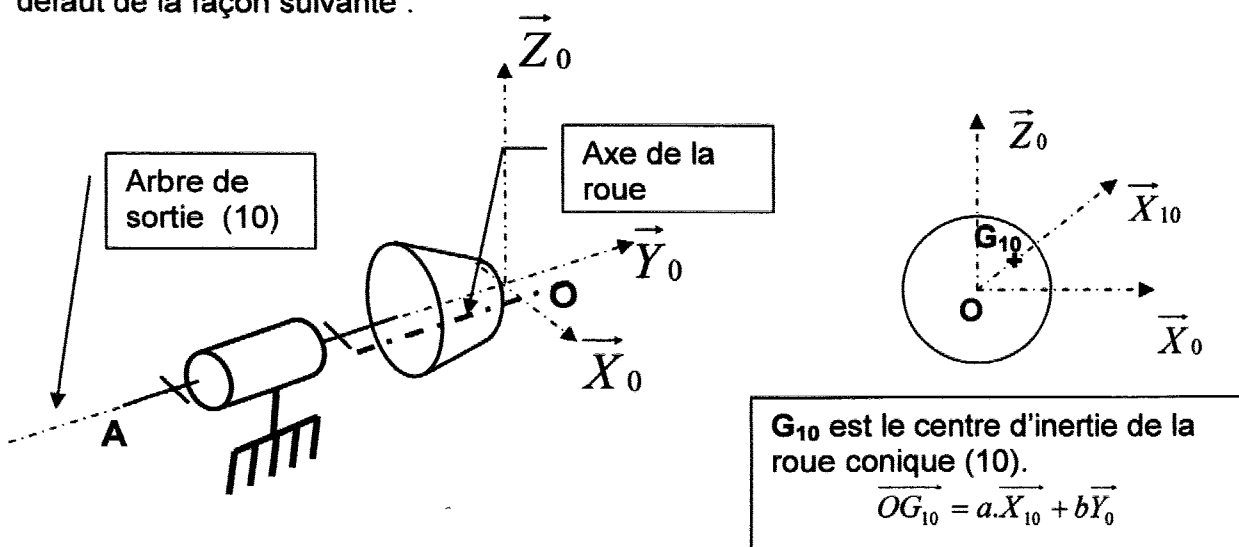
$P_{\text{nécessaire}} < 376 \text{ kW}$	$P_{\text{nécessaire}} > 376 \text{ kW}$	$P_{\text{nécessaire}} = 376 \text{ kW}$	Impossible à calculer avec les données fournies
A	B	C	D

PARTIE C : ETUDE DE L'EQUILIBRAGE ET DES DEFAUTS D'ALIGNEMENT D'UN ARBRE DE TRANSMISSION

Une opération de maintenance préventive par contrôle non destructif (CND) sur le rotor arrière a révélé une usure prématurée du guidage en rotation de l'arbre de sortie (10). Cette opération de CND qui correspond à une analyse vibratoire permet de détecter :

- les défauts de roulement : écaillage ou déversement de bague du roulement,
- l'importance du balourd (mauvais équilibrage de l'axe).

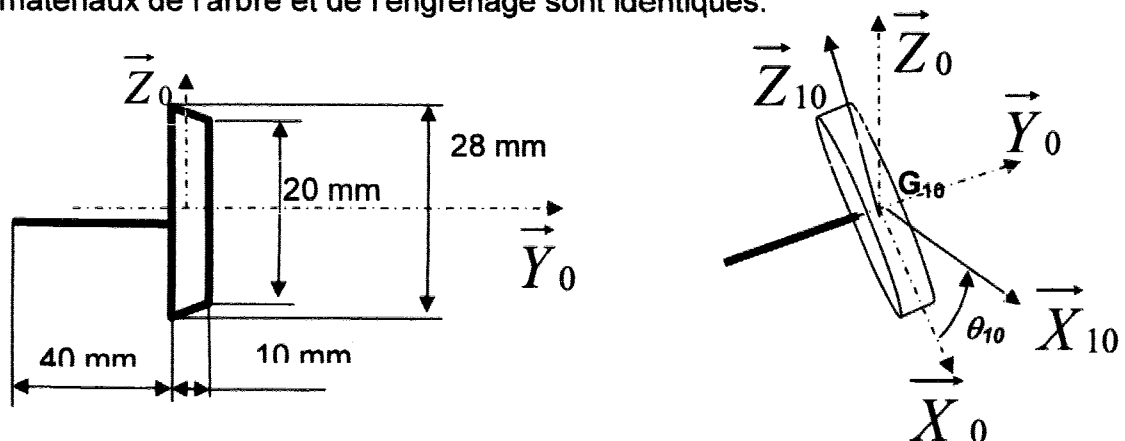
La réalisation de l'arbre (10) est obtenue par le montage d'une roue conique standard sur un arbre épaulé. L'encastrement des deux pièces n'est pas toujours optimal car l'axe de l'arbre et l'axe de la roue peuvent être décalés de quelques centièmes de millimètres. On modélisera ce défaut de la façon suivante :



L'objectif des calculs dans cette partie est de relier les efforts dans la liaison pivot avec un défaut d'alignement des axes.

Le modèle retenu pour l'arbre (10) sera le suivant :

- La roue conique est associée à un cône tronqué plein de largeur 10 mm, de diamètre de base 28 mm et de diamètre de tête 20 mm ;
- L'arbre est associé à un cylindre creux de diamètre extérieur $d = 4$ mm et de longueur $L=40$ mm ;
- Les matériaux de l'arbre et de l'engrenage sont identiques.



PARAMETRAGE

- A l'arbre de sortie (10) est associé le repère $R_{10} = (O, \overrightarrow{X_{10}}, \overrightarrow{Y_{10}} = \overrightarrow{Y_0}, \overrightarrow{Z_{10}})$
- La fréquence de sortie de l'arbre d'entrée (10) est notée $\overrightarrow{\Omega_{10}} = \omega_{10} \overrightarrow{Y_0}$ et $\theta_{10} = (\overrightarrow{X_{10}}, \overrightarrow{X_0})$

On **négligera la masse** de l'arbre devant celle de la roue conique. Soit m , la masse de la roue conique.

On posera dans un premier temps la matrice d'inertie associé à l'ensemble (10) - l'arbre plus la roue conique - de la forme générale :

$$[I_{10}] = \begin{bmatrix} A & -F & -E \\ -F & B & -D \\ -E & -D & C \end{bmatrix}_{O(\overrightarrow{X_{10}}, \overrightarrow{Y_0}, \overrightarrow{Z_{10}})} \quad \text{Elle est exprimée au point O.}$$

Le contact de denture extérieur exerce sur la roue conique (10) des actions mécaniques modélisées par le torseur :

$$\{\tau_{(4 \rightarrow 10)}\}_O = \begin{Bmatrix} \overrightarrow{R_{(4 \rightarrow 10)}} = X_{41} \overrightarrow{X_{10}} + Y_{41} \overrightarrow{Y_{10}} + Z_{41} \overrightarrow{Z_{10}} \\ \overrightarrow{M_{O(4 \rightarrow 10)}} = \vec{0} \end{Bmatrix}_{(\overrightarrow{X_{10}}, \overrightarrow{Y_0}, \overrightarrow{Z_{10}})} \quad \text{Ces actions sont connues.}$$

La liaison pivot exerce également une action qui se modélise dans le cas d'une liaison parfaite par le torseur suivant :

$$\{\tau_{(0 \rightarrow 10)}\}_O = \begin{Bmatrix} \overrightarrow{R_{(0 \rightarrow 10)}} = X_{01} \overrightarrow{X_{10}} + Y_{01} \overrightarrow{Y_{10}} + Z_{01} \overrightarrow{Z_{10}} \\ \overrightarrow{M_{O(0 \rightarrow 10)}} = L_{01} \overrightarrow{X_{10}} + N_{01} \overrightarrow{Z_{10}} \end{Bmatrix}_{(\overrightarrow{X_{10}}, \overrightarrow{Y_0}, \overrightarrow{Z_{10}})} \quad \text{Ces actions sont inconnues.}$$

Afin de déterminer ces inconnues de liaison, on applique donc le **Principe Fondamental de la Dynamique** au solide (10) dans son mouvement par rapport à R_0 . Il faut donc déterminer le

torseur dynamique : $\{D_{(10)/R0}\}_O = \begin{Bmatrix} m \overrightarrow{\Gamma_{G_{10}/R0}} \\ \vec{\delta}_{O,(10)/R0} \end{Bmatrix}$

Question 23.

Calculer l'accélération du point G_{10} : $\overrightarrow{\Gamma_{G_{10}/R0}}$

$-a.\omega_{10}^2 \overrightarrow{X_{10}} + a.\dot{\omega}_{10} \overrightarrow{Y_{10}}$	$a.\omega_{10}^2 \overrightarrow{X_{10}} - a.\dot{\omega}_{10} \overrightarrow{Y_{10}}$	$a.\omega_{10}^2 \overrightarrow{Y_{10}} + a.\dot{\omega}_{10} \overrightarrow{Z_{10}}$	$-a.\omega_{10} \overrightarrow{X_{10}} + a.\dot{\omega}_{10} \overrightarrow{Y_{10}}$
A	B	C	D

Question 24.

En déduire les équations des efforts dans la liaison pivot :

$\begin{cases} ma.\omega_{10}^2 = X_{41} + X_{01} \\ -ma.\dot{\omega}_{10} = Y_{01} + Y_{41} \\ 0 = Z_{41} + Z_{01} \end{cases}$	$\begin{cases} -ma.\omega_{10}^2 = X_{41} + X_{01} \\ ma.\dot{\omega}_{10} = Y_{01} + Y_{41} \\ 0 = Z_{41} + Z_{01} \end{cases}$	$\begin{cases} 0 = X_{41} + X_{01} \\ ma.\omega_{10}^2 = Y_{01} + Y_{41} \\ ma.\dot{\omega}_{10} = Z_{41} + Z_{01} \end{cases}$	$\begin{cases} -ma.\omega_{10} = X_{41} + X_{01} \\ ma.\dot{\omega}_{10} = Y_{01} + Y_{41} \\ 0 = Z_{41} + Z_{01} \end{cases}$
A	B	C	D

Question 25.

Calculer le moment cinétique $\overrightarrow{\sigma_{O,(10)/R0}}$

$\overrightarrow{\sigma_{O,(10)/R0}} = -F\dot{\omega}_{10}\overrightarrow{X}_{10} + B\omega_{10}\overrightarrow{Y}_0 + C\omega_{10}\overrightarrow{Z}_{10}$	$\overrightarrow{\sigma_{O,(10)/R0}} = -F\omega_{10}\overrightarrow{X}_0 + B\omega_{10}\overrightarrow{Y}_0 + C\omega_{10}\overrightarrow{Z}_0$
A	B
$\overrightarrow{\sigma_{O,(10)/R0}} = -F\omega_{10}\overrightarrow{X}_{10} + B\omega_{10}\overrightarrow{Y}_0 + C\omega_{10}\overrightarrow{Z}_{10}$	$\overrightarrow{\sigma_{O,(10)/R0}} = (-F\omega_{10} + B\omega_{10} + C\omega_{10})\overrightarrow{Y}_0$
C	D

Question 26.

Calculer le moment dynamique $\overrightarrow{\delta_{O,(10)/R0}}$

$\overrightarrow{\delta_{O,(10)/R0}} = C\omega_{10}^2\overrightarrow{X}_{10} + B\dot{\omega}_{10}\overrightarrow{Y}_0 + F\omega_{10}^2\overrightarrow{Z}_{10}$
A
$\overrightarrow{\delta_{O,(10)/R0}} = (-F\dot{\omega}_{10} + C\omega_{10}^2)\overrightarrow{X}_0 + B\dot{\omega}_{10}\overrightarrow{Y}_0 + (C\dot{\omega}_{10} + F\omega_{10}^2)\overrightarrow{Z}_0$
B
$\overrightarrow{\delta_{O,(10)/R0}} = (C\dot{\omega}_{10} - F\omega_{10}^2)\overrightarrow{X}_{10} + B\dot{\omega}_{10}\overrightarrow{Y}_0 + (F\dot{\omega}_{10} - C\omega_{10}^2)\overrightarrow{Z}_{10}$
C
$\overrightarrow{\delta_{O,(10)/R0}} = (-F\dot{\omega}_{10} + C\omega_{10}^2)\overrightarrow{X}_{10} + B\dot{\omega}_{10}\overrightarrow{Y}_0 + (C\dot{\omega}_{10} + F\omega_{10}^2)\overrightarrow{Z}_{10}$
D

Question 27.

En déduire les équations des moments dans la liaison pivot.

$F\dot{\omega}_{10} - C\omega_{10}^2 = L_{01}$ $B\dot{\omega}_{10} = 0$ $C\dot{\omega}_{10} - F\omega_{10}^2 = N_{01}$	$C\omega_{10}^2 = L_{01}$ $B\dot{\omega}_{10} = 0$ $F\omega_{10}^2 = N_{01}$	$-F\dot{\omega}_{10} + C\omega_{10}^2 = L_{01}$ $B\dot{\omega}_{10} = 0$ $C\dot{\omega}_{10} + F\omega_{10}^2 = N_{01}$	$C\dot{\omega}_{10} - F\omega_{10}^2 = L_{01}$ $B\dot{\omega}_{10} = 0$ $F\dot{\omega}_{10} - C\omega_{10}^2 = N_{01}$
A	B	C	D

Question 28.

Afin d'éviter les vibrations, il faut rendre les actions mécaniques dans la liaison aussi constante que possible, et en particulier qu'elles soient indépendantes de :

$\dot{\omega}_{10}$	ω_{10} et $\dot{\omega}_{10}$	ω_{10}	Coefficient F
A	B	C	D

Question 29.

En régime continu, indiquer sur quel terme de la matrice d'inertie il faut agir afin de diminuer les moments autour des axes $\overrightarrow{X}_{10}, \overrightarrow{Y}_{10}, \overrightarrow{Z}_{10}$

C et F	B, C et F	D, E et F	D et F
A	B	C	D

Question 30.

Indiquer, afin d'éliminer les vibrations, les actions à réaliser sur les valeurs de décalage a ou b.

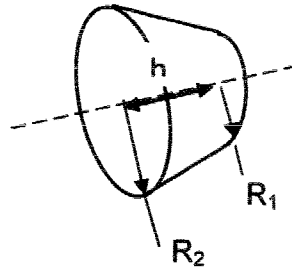
a = 0	a = 0 et b = 0	a = - b	b = 0
A	B	C	D

Calculs de la matrice d'inertie associée à la roue conique

La roue est en acier de masse volumique 7800 kg/m^3 à 20°C .

Pour un cône tronqué, le calcul du volume est donné par la relation suivante :

$$V = \frac{\pi R_1^2 h}{3} \left[1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2^2}{R_1^2} \right]$$



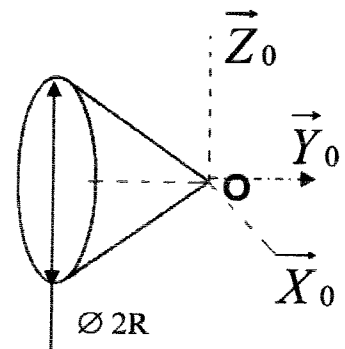
Question 31.

Calculer la masse M de la roue conique.

M = 0,01	M = 0,04	M = 0,4	M = 4
A	B	C	D

Question 32.

Déterminer l'allure de la matrice [II] du cône plein de masse M, de hauteur H et de rayon R exprimée au point O.



$[II] = M \begin{bmatrix} \frac{4H^2}{20} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{4H^2}{20} & -\frac{H^2}{5} \\ 0 & -\frac{H^2}{5} & \frac{R^2}{10} \end{bmatrix}_{(\vec{X}_0, \vec{Y}_0, \vec{Z}_0)}$	$[II] = M \begin{bmatrix} 3\frac{R^2 + 4H^2}{20} & 0 & 0 \\ 0 & 3\frac{R^2 + 4H^2}{20} & 0 \\ 0 & 0 & 3\frac{R^2}{10} \end{bmatrix}_{(\vec{X}_0, \vec{Y}_0, \vec{Z}_0)}$
A	B
$[II] = M \begin{bmatrix} 3\frac{R^2 + 4H^2}{20} & -\frac{H^2}{5} & 0 \\ -\frac{H^2}{5} & 3\frac{R^2}{10} & 0 \\ 0 & 0 & 3\frac{R^2 + 4H^2}{20} \end{bmatrix}_{(\vec{X}_0, \vec{Y}_0, \vec{Z}_0)}$	$[II] = M \begin{bmatrix} 3\frac{R^2 + 4H^2}{10} & 0 & -\frac{R^2}{10} \\ 0 & 3\frac{R^2 + 4H^2}{10} & 0 \\ -\frac{R^2}{10} & 0 & 3\frac{R^2}{10} \end{bmatrix}_{(\vec{X}_0, \vec{Y}_0, \vec{Z}_0)}$
C	D

Question 33.

Déterminer la position du centre d'inertie du cône.

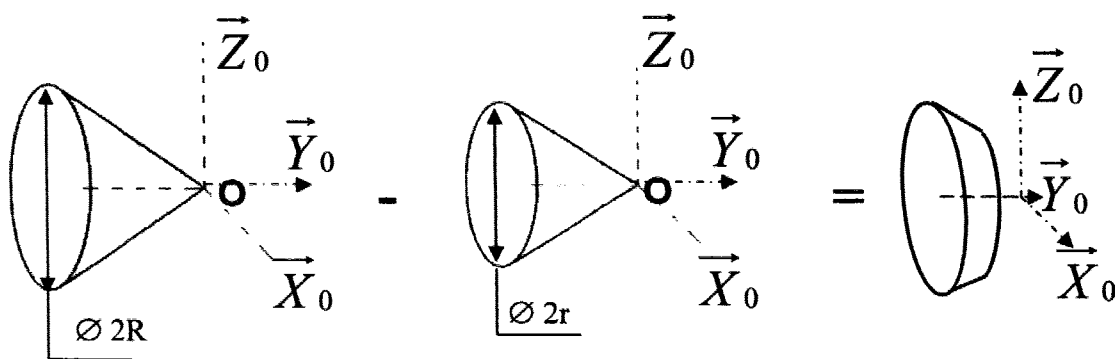
$Y_G = \frac{H}{4}$	$Y_G = \frac{2}{3}H$	$Y_G = \frac{3}{4}H$	$Y_G = \frac{5}{8}H$
A	B	C	D

Question 34.

En déduire la matrice [I] du cône plein de masse M, de hauteur H et de rayon R exprimée au point G, centre d'inertie.

$M \begin{bmatrix} \frac{3}{2} \frac{R^2 + 4H^2}{20} & -\frac{H^2}{5} & 0 \\ -\frac{H^2}{5} & \frac{3}{2} \frac{R^2}{10} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{3}{2} \frac{R^2 + 4H^2}{20} \end{bmatrix}_{(\vec{X}_0, \vec{Y}_0, \vec{Z}_0)}$	$3M \begin{bmatrix} \frac{R^2 + H^2}{10} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{R^2 + H^2}{10} + \frac{5}{8}H^2 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{R^2}{10} \end{bmatrix}_{(\vec{X}_0, \vec{Y}_0, \vec{Z}_0)}$
A	B
$3M \begin{bmatrix} \frac{R^2 + H^2}{4} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{R^2 + H^2}{4} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{R^2}{10} \end{bmatrix}_{(\vec{X}_0, \vec{Y}_0, \vec{Z}_0)}$	$3M \begin{bmatrix} \frac{R^2 + H^2}{16} & -\frac{H^2}{16} & 0 \\ -\frac{H^2}{16} & \frac{R^2}{10} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{R^2 + H^2}{20} \end{bmatrix}_{(\vec{X}_0, \vec{Y}_0, \vec{Z}_0)}$
C	D

On remarquera que le calcul de la matrice de la roue conique peut être obtenu de la façon suivante :



Pour la suite des calculs, on prendra la matrice d'inertie simplifiée suivante :

- ♦ masse de la roue conique $m = 100 \text{ g}$.

- ♦ matrice d'inertie $[I_{10}] = \begin{bmatrix} 1,63 & 0 & 0 \\ 0 & 1,63 & 0 \\ 0 & 0 & 2,68 \end{bmatrix}_{G10(\vec{X}_{10}, \vec{Y}_{10}, \vec{Z}_{10})}$ Les termes sont exprimés en $\text{kg} \cdot \text{mm}^2$

On donne le torseur représentant les efforts au contact de denture extérieur (les valeurs sont exprimées en Newton) :

$$\left\{ \tau_{(4 \rightarrow 10)} \right\}_O = \left\{ \begin{array}{l} \vec{R}_{(4 \rightarrow 10)} = 5000 \cdot \vec{X}_{10} - 1500 \cdot \vec{Y}_{10} + 3200 \cdot \vec{Z}_{10} \\ \vec{M}_{O(4 \rightarrow 10)} = \vec{0} \end{array} \right\}_{(\vec{X}_{10}, \vec{Y}_{10}, \vec{Z}_{10})}$$

On supposera que l'arbre (10) tourne en **régime continu** à la fréquence fixe de 800 tr/min et que le centre d'inertie de la roue conique est tel que : $\vec{OG}_{10} = 10^{-4} \cdot \vec{X}_{10} + 10^{-3} \cdot \vec{Y}_{10}$.

On se place dans le repère barycentrique de la roue conique ($G_{10}, \vec{X}_{10}, \vec{Y}_{10} = \vec{Y}_0, \vec{Z}_{10}$).

Question 35.

Calculer l'effort de vibration induit par l'erreur de montage de la roue conique sur l'arbre.

$8 \cdot 10^{-4} N$	$8 \cdot 10^{-1} N$	$8 \cdot 10^1 N$	$8 \cdot 10^4 N$
A	B	C	D

On considère que l'effort de vibration induit par l'erreur de montage de la roue conique sur l'arbre devient critique quand celui atteint 1% de la valeur de l'effort extérieur appliqué.

Question 36.

En déduire le défaut maximal de positionnement sur le montage. Rappel : $\vec{OG}_{10} = a \cdot \vec{X}_{10} + b \cdot \vec{Y}_{10}$

$a = 62 \mu m$	$a = 62 m$	$a = 62 mm$	$a = 62 cm$
A	B	C	D

Question 37.

Calculer les composantes du moment $\vec{M}_{G_{10}(4 \rightarrow 10)}$ sur $\vec{X}_{10}$ (Mf) et sur $\vec{Y}_{10}$ (Mt) pour la roue conique en **régime continu** à la fréquence fixe de 800 tr/min avec $\vec{OG}_{10} = 10^{-4} \cdot \vec{X}_{10} + 10^{-3} \cdot \vec{Y}_{10}$ et la masse de la roue conique $m=100 g$.

Mf = 2 N.m Mt = 0 N.m	Mf = 200 N.m Mt = 100 N.m	Mf = 0,02 N.m Mt = 0 N.m	Mf = 2 N.m Mt = 150 N.m
A	B	C	D

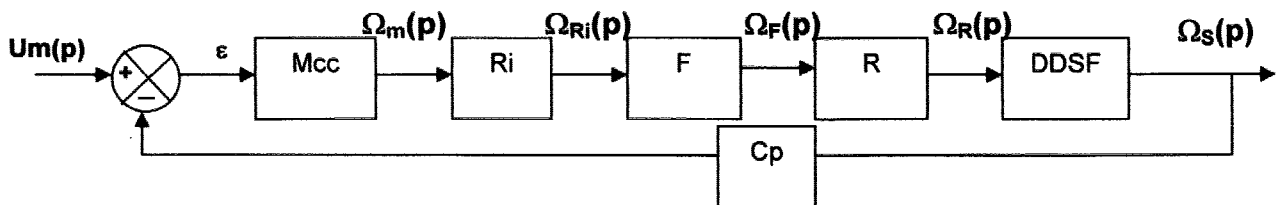
Question 38.

Conclure sur les efforts et moments créés par les défauts d'alignement de l'arbre et de la roue conique sur la liaison pivot en régime continu.

Les efforts sont importants mais les moments sont négligeables	Les efforts sont négligeables mais les moments sont importants	Les efforts et les moments sont importants	Les efforts et les moments sont négligeables
A	B	C	D

PARTIE D : ETUDE DE L'ASSERVISSEMENT, EN PILOTAGE AUTOMATIQUE, DU ROTOR ANTI-COUPLE D'UN HELICOPTERE POUR ASSERVIR LE CAP DE L'APPAREIL EN LACET

Les commandes de vol de lacet des hélicoptères sont constituées d'une timonerie à bielles reliant le palonnier commandé par le pilote au rotor anti-couple. Dans le cas particulier de la commande de lacet, la timonerie comporte un dispositif de friction qui a pour principale fonction de définir le point d'ancrage, ou point moyen, de la commande comme la dernière position mémorisée de la timonerie à la suite d'une action du pilote sur le palonnier. En mode de pilotage automatique, le maintien du cap de l'hélicoptère est notamment assuré par un vérin parallèle, ou vérin de trim, qui, comprend un embrayage, placé entre le réducteur irréversible et la cinématique de réduction, et des moyens de détection de la position de l'arbre de sortie, lequel est responsable du mouvement appliqué par le vérin à un point non fixe de la timonerie.



Définition des variables :

um : tension d'alimentation de consigne
 ω_m : fréquence de rotation du moteur
 ω_{Ri} : fréquence de rotation en sortie du réducteur Ri
 ω_F : fréquence de rotation en sortie du dispositif de friction
 ω_R : fréquence de rotation en sortie du réducteur 2
 ω_R : fréquence de rotation en sortie

Nom et fonction des différents blocs:

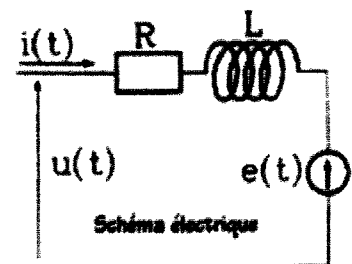
Mcc : Moteur à courant continu
Ri : Réducteur irréversible $Ri = 0,1$.
F : Dispositif de friction de fonction de transfert $H_F = 1/\lambda$ avec $\lambda = 0,5$ coefficient de frottement
R : Réducteur n°2 avec $R = 0,1$.
DDSF : Dispositif de détection de surpassement de la friction de fonction de transfert $H_{DDSF} = 1$.
Cp : Capteur de fréquence de rotation avec $Cp = 1$ V/rd/s.

Par convention, la fonction dite **transformée de Laplace** de $\omega(t)$, sera notée $\Omega(p)$.

Sous partie 1 : Etude du moteur à courant continu

Le schéma fonctionnel décrivant le fonctionnement du moteur est le suivant :

u : tension aux bornes de l'induit en V
i : courant dans l'induit en A
R : résistance aux bornes de l'induit $R=0,1 \Omega$
L : inductance aux bornes de l'induit $L=0,5$ mH
e : force électro-motrice en V
J : moment d'inertie $J=0,01$ kg.m²
Cf : couple de frottement en m.N
a : coefficient de frottement visqueux en m.N.rad⁻¹.s
Cm : couple moteur en m.N
Ke : constante de f.e.m. $Ke=0,1$ V.rad⁻¹.s⁻¹
Kc : constante de couple $Kc=0,1$ Nm/A



Les équations différentielles régissant le comportement du moteur sont :

① $u(t) = e(t) + R.i(t) + L \frac{di(t)}{dt}$

② $e(t) = K_e \omega_m(t)$

③ $J \frac{d\omega_m(t)}{dt} = C_m(t) - C_f(t)$

④ $C_m(t) = K_c.i(t)$

⑤ $C_f(t) = a.\omega_m(t)$

Question 39.

Exprimer la fonction de transfert $H_m(p) = \Omega_m(p)/U(p)$ du moteur Mcc :

$H_m(p) = \frac{\frac{K_c}{KeKc + aR}}{1 + \frac{JR}{KeKc + aR}p + \frac{JL}{KeKc + aR}p^2}$	$H_m(p) = \frac{\frac{K_c}{KeKc}}{1 + \frac{JR + aL}{KeKc}p + \frac{JL}{KeKc}p^2}$
A	B
$H_m(p) = \frac{\frac{K_c}{KeKc + aR}}{1 + \frac{JR + aL}{KeKc + aR}p + \frac{JL}{KeKc + aR}p^2}$	$H_m(p) = \frac{K_c}{1 + (JR + aL)p + JLp^2}$
C	D

Cette fonction de transfert du second ordre peut se mettre sous la forme :

$$H_m(p) = \frac{K}{1 + \frac{2\xi}{\omega_0}p + \frac{p^2}{\omega_0^2}}$$

Question 40.

Indiquer les expressions de ξ et ω_0 :

$\omega_0 = \frac{\sqrt{KeKc + aR}}{JL}$ $\xi = \frac{1}{2} \frac{JR + aL}{\sqrt{JL(KeKc + aR)}}$	$\omega_0 = \sqrt{\frac{KeKc + aR}{JL}}$ $\xi = \frac{1}{2} \frac{JR + aL}{\sqrt{JL(KeKc + aR)}}$	$\omega_0 = \sqrt{\frac{KeKc + aR}{JL}}$ $\xi = \frac{1}{2} \frac{JR + aL}{\sqrt{(KeKc + aR)}}$	$\omega_0 = \sqrt{\frac{aR}{JL}}$ $\xi = \frac{1}{2} \frac{JR}{\sqrt{JL(KeKc + aR)}}$
A	B	C	D

Pour la suite des calculs, on négligera a (coefficient de frottement visqueux) et on pose $a=0$.

Question 41.

Donner l'expression simplifiée de $H_m(p)$:

$H_m(p) = \frac{10}{1 + \frac{1}{10}p + \frac{p^2}{2000}}$	$H_m(p) = \frac{1}{1 + \frac{1}{100}p + \frac{p^2}{200}}$	$H_m(p) = \frac{1}{1 + p + \frac{p^2}{200}}$	$H_m(p) = 10 \frac{1}{1 + p + \frac{p^2}{200}}$
A	B	C	D

Question 42.

Calculer les valeurs de ξ et ω_0 :

$\omega_0 = 20 \cdot 10^3 \text{ rad/s}$ $\xi = 2,2$	$\omega_0 = 45 \text{ rad/s}$ $\xi = 2,2$	$\omega_0 = 45 \text{ rad/s}$ $\xi = 2 \cdot 10^{-4}$	$\omega_0 = 0 \text{ rad/s}$ $\xi = 2 \cdot 10^{-4}$
A	B	C	D

Sous partie 2 : Etude l'asservissement du rotor anti-couple

Pour la suite de l'étude, on considérera que la fonction de transfert associée au moteur Mcc est donnée par :

$$Hm(p) = \frac{10}{1 + 0,1p + 0,5 \cdot 10^{-3} p^2}$$

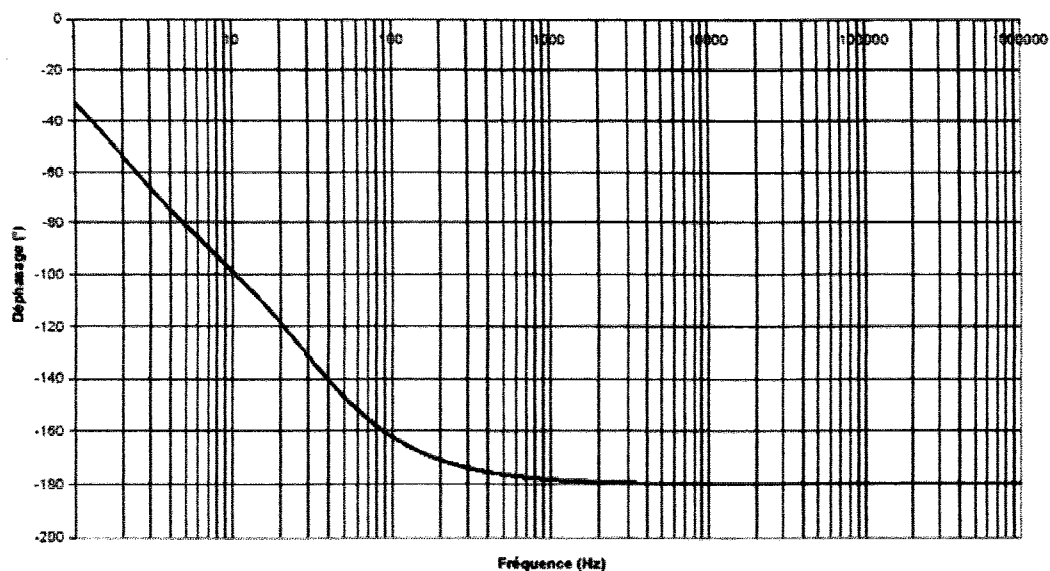
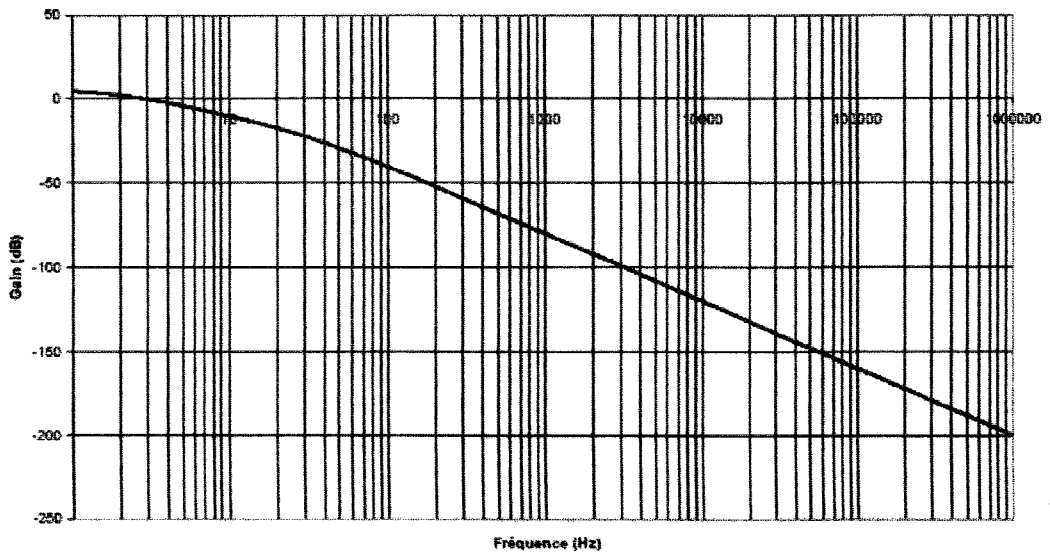
Question 43.

Exprimer la FTBO de l'asservissement du rotor anti-couple :

$FTBO(p) = \frac{1}{1 + 0,1p + 0,5 \cdot 10^{-3} p^2}$	$FTBO(p) = \frac{0,05}{1 + 0,1p + 0,5 p^2}$
A	B
$FTBO(p) = \frac{2}{1 + 0,1p + 0,5 \cdot 10^{-3} p^2}$	$FTBO(p) = \frac{0,5}{1 + p + 5 \cdot 10^{-3} p^2}$
C	D

Question 44.

On donne ci-dessous le diagramme de Bode en gain et en phase de la FTBO de l'asservissement du rotor anti-couple.



Indiquer pour ce système si la marge de phase est :

Positive	Négative	Nulle	Non définie
A	B	C	D

Question 45.

Afin de corriger le système, l'ajout dans la boucle d'asservissement d'un correcteur PI permet, pour une entrée de type échelon, de :

annuler l'erreur statique	accélérer la réponse du système	stabiliser le système	amplifier les bruits
A	B	C	D

Question 46.

L'expression générale d'un correcteur PI est de la forme :

$C(p) = K(1 + \tau p)$	$C(p) = K \frac{1}{1 + \tau p}$	$C(p) = K(\tau + \frac{1}{p})$	$C(p) = K(1 + \frac{1}{\tau p})$
A	B	C	D

Question 47.

En basse fréquence (et éventuellement à la fréquence nulle), un gain important va :

augmenter l'erreur dite statique	diminuer l'erreur dite statique	augmenter le dépassement	diminuer le dépassement
A	B	C	D

Question 48.

En haute fréquence, il faut limiter :

le déphasage pour limiter l'influence du gain du signal de sortie par rapport au signal d'entrée	le gain pour limiter l'influence du déphasage du signal de sortie par rapport au signal d'entrée	la phase pour limiter l'influence des bruits de mesure qui se superposent au signal de retour injecté sur le soustracteur	le gain pour limiter l'influence des bruits de mesure qui se superposent au signal de retour injecté sur le soustracteur
A	B	C	D

◆
FIN DU QUESTIONNAIRE
◆