

BTS M.E.M.A

Session : 2007

Le CSD Constant Speed Drive

DOSSIER QUESTIONNAIRE

Première partie : Etude du différentiel

Page 1 : Questions 1 à 7

Deuxième partie : Etude du régulateur hydraulique à masselottes

Partie A Etude cinématique, pages 2 : Questions 8 à 12

Partie B Etude technologique, pages 3 et 4 : Questions 13 à 20

Partie C Etude dynamique, pages 5 à 7 : Questions 21 à 30

Troisième partie : Dessin du planétaire 3

Page 8 : Question 31

Quatrième partie : RDM, calcul des cannelures de l'arbre d'entrée

Page 9 : Questions 32 à 34

Première partie : Etude du différentiel

Objectif : Déterminer la vitesse de sortie du moteur hydraulique sachant que l'arbre de l'alternateur doit impérativement avoir une fréquence de 6000 tr/min et que la fréquence de l'arbre moteur peut varier entre 4300 tr/min et 8600 tr/min.

Documents :

- ✦ Document 1 : Schéma cinématique de l'ensemble de la transmission
- ✦ Document 2 : Schéma cinématique du différentiel uniquement

Hypothèses de travail : Pour toute l'étude du différentiel, on étudiera uniquement le cas où :

- ✦ La puissance électrique en sortie de l'alternateur est constante.
- ✦ La fréquence de l'arbre moteur d'entrée accouplé au réacteur peut varier de 4300 tr/min à 8600 tr/min

Question 1. Sur le document réponse 1, compléter l'actigramme de niveau A-0 en indiquant **les verbes actifs** des « boîtes » repérées A2, A3, A5, et A62.

A l'aide du document 1, on demande :

Question 2. Déterminer $\vec{\Omega}_{5/0}$, vecteur vitesse d'entrée de la pompe en fonction de $\vec{\Omega}_{6/0}$

Question 3. Déterminer $\vec{\Omega}_{3/0}$, vecteur vitesse d'entrée du différentiel en fonction de $\vec{\Omega}_{4/0}$ qui est la vitesse de sortie du moteur hydraulique.

Etude du train épicycloïdal

A l'aide du document 2, on souhaite établir la loi entrée sortie du train épicycloïdal. Sur ce document 2, les dispositifs pompe et moteur hydraulique (4-5) ne sont pas représentés. De même les pignons (Z8a, Z8b, 9) de transmission vers le régulateur ne sont pas non plus représentés. En effet ces pignons n'interviennent pas pour le calcul du différentiel !

Question 4. Déterminer la raison « r » du train épicycloïdal

Rappel : pour la raison du train on fera comme si le porte satellite 6 était fixe dans un premier temps. Dans ce cas nous supposons, par exemple que nous rentrons par 3 et que nous sortons par 7.

Le train d'engrenages est donc composé de :

- ✦ Engrenage à contact intérieur : 3a-1
- ✦ Engrenage à contact extérieur : 1-2
- ✦ Engrenage à contact intérieur : 2-7a

Question 5. En déduire la formule de Willis correspondante pour ce type de train épicycloïdal.

Question 6. Exprimer $\vec{\Omega}_{4/0}$ en fonction de $\vec{\Omega}_{6/0}$ et $\vec{\Omega}_{7/0}$

Question 7. Sachant que $\vec{\Omega}_{6/0}$ varie entre +4300 tr/min. \vec{i} et +8600 tr/min. \vec{i} , \vec{i} étant le vecteur unitaire de l'axe O X. L'arbre d'entrée de l'alternateur doit toujours tourner dans le même sens et ce quelque soit $\vec{\Omega}_{6/0}$ avec une fréquence de 6000 tr/min afin de produire du courant alternatif de fréquence 400 Hz. Nous choisirons comme sens de rotation celui qu'il aurait si le moteur hydraulique ne tournait pas.

Déterminer ce sens et en déduire la fonction $N_{4/0} = f(N_{6/0})$, tracer la courbe représentative de cette fonction et en déduire la variation de $\vec{\Omega}_{6/0}$.

Deuxième partie : Etude du régulateur hydraulique

Objectifs :

- ✦ Calculer la fréquence de l'axe du régulateur afin de déterminer la valeur de l'angle α
- ✦ α étant déterminé, nous pourrions effectuer la maintenance en réajustant cette valeur par une action manuelle sur un système roue et vis sans fin.

Documents :

- ✦ Document 1 : Schéma cinématique de l'ensemble de la transmission
- ✦ Document 4 : Dessin d'ensemble du régulateur
- ✦ Document 7 : Modèle d'étude d'une masselotte

PARTIE A Cinématique

Lors des changements de régime du réacteur, le planétaire de sortie subit des variations de fréquence pendant de brefs instants, puis se stabilise à environ 6000 tr/min. De part la transmission de puissance composée des engrenages (7b-8a) et (8b-9), il en est de même pour la chemise tournante du régulateur à masselottes.

La variation de fréquence se faisant durant un laps de temps très faible, **on fera l'étude dans le cas particulier où $\omega_{9/0}$ = constante !**

L'avion est en régime de croisière $N_{\text{alternateur}/0} = N_{7/0} = 6000 \text{ tr/min} = \text{cte}$

Sachant que le planétaire de sortie, accouplé à l'arbre de l'alternateur, tourne toujours dans le même sens positif autour de l'axe \vec{X} , on demande :

Question 8. Exprimez $\overrightarrow{\Omega}_{7/0}$

Question 9. Exprimez $\overrightarrow{\Omega}_{8/0}$

Rappel : la convention d'écriture du torseur cinématique: $\left\{ \tau^c_{1/0} \right\} = \left\{ \frac{\overrightarrow{\Omega}_{1/0}}{V_{1/0}^M} \right\}_M$.

Question 10. Ecrire le torseur cinématique de $\left\{ \tau^c_{8/0} \right\}_E$.

Question 11. Ecrire le torseur cinématique de $\left\{ \tau^c_{9/0} \right\}_I$ de 9/0 au point I avec les valeurs numériques obtenues.

Question 12. Ecrire les équations de la loi de mouvement de ce mouvement circulaire uniforme de l'arbre 9 en fonction du temps avec $\theta_0 = 0$

PARTIE B

Etude du technologique du régulateur

Question 13. A partir du plan d'ensemble du régulateur (document 4), compléter le schéma cinématique du régulateur à masselottes sur le document réponse N°2 avec les pièces 9, 12, 14, 16, 20, 22. Le ressort, pièce déformable, sera tout de même représenté pour faciliter la compréhension.

Il est demandé d'utiliser une couleur par pièce !

Etude du réglage du ressort principal 16.

Sur le dessin d'ensemble du régulateur, vous pouvez visualiser le pignon de réglage 12 qui est entraîné par un vis sans fin non représenté.

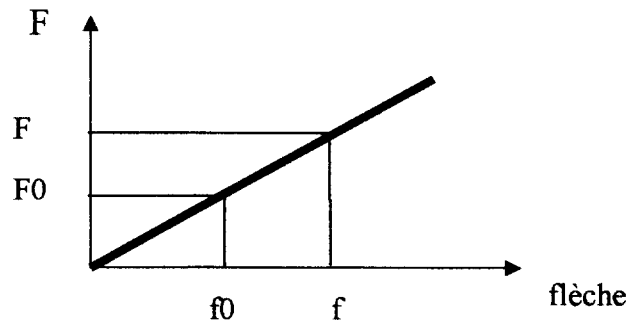
Cette vis de réglage est réglée manuellement lors de la maintenance de grande visite afin d'ajuster si besoin l'effort sur le ressort principal repéré 16.

Ce ressort est en contact avec les deux masselottes, il permet d'ajuster leur position et ainsi d'intervenir sur l'angle α . Le réglage de cet angle permet d'ajuster la position du tiroir du distributeur composant le régulateur et ainsi d'ajuster la position du plateau de pompe.

Caractéristiques du ressort :

- ✦ Longueur à vide $l_0 = 18$ mm
- ✦ Longueur lorsque toutes les spires sont jointives $l = 4$ mm
- ✦ Diamètre d'enroulement $D = 6$ mm
- ✦ Diamètre du fil $d = 0.5$ mm
- ✦ Nombre de spires : 6
- ✦ Module d'élasticité transversal $G = 82000$ Mpa
- ✦ Le ressort est précontraint de 5 mm au montage. Cela correspond à la flèche f_0

Soit la courbe représentative de la fonction $F = k \cdot f$



Question 14. Quel est l'intérêt de pré-contraindre le ressort au montage ?

Question 15. Calculer la raideur « k » du ressort.

Question 16. A l'aide du document 7, exprimer littéralement $\frac{F_{ressort}}{2}$ en fonction de :

- ✦ la raideur k
- ✦ la pré-charge f_0
- ✦ λ , longueur HA
- ✦ l'angle α

Rq : encadrer cette expression, car elle servira pour la résolution dynamique de la partie C !

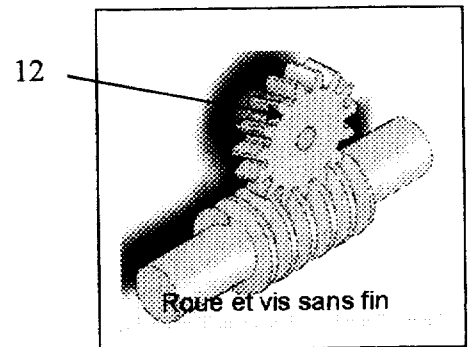
Etude du réglage manuel sur le système roue 12 et vis sans fin

Caractéristiques de la roue 12 et de la vis sans fin:

- ✦ Roue : $Z_r = 54$ dents , module $m_n=1$, $\beta_r = 4^\circ$, hélice à droite
- ✦ Vis : $Z_v = 1$ filet, $m_n=1$

Caractéristique de la liaison hélicoïdale entre 13 et 14 :

- ✦ $M10 \times 1,5$



Lors d'une visite « Check C », on vous demande d'augmenter la compression du ressort 16.

Question 17. Quel est le sens de l'hélice de la vis et quelle est la valeur de l'angle d'hélice appelé β_{vis} ?

Question 18. Représenter sur le document réponse 2, sur la vue de dessus, sous forme de vecteurs rotations : $\overrightarrow{\Omega}_{vis\ sans\ fin/12}$ et $\overrightarrow{\Omega}_{12/bati}$ correspondants à cette intervention. Attention aux axes et aux signes!

Question 19. Combien de tours faudra-t-il effectuer sur la vis sans fin pour comprimer le ressort 16 de 0,1 mm supplémentaire ?

Question 20. Une fois le réglage effectué, y a-t-il risque de dérèglement avant la prochaine visite de maintenance ? Justifier brièvement votre réponse !

Etude dynamique sur une masselotte

Pour répondre aux questions, observez attentivement le modèle simplifié du document 7 !

Données :

★ Liaison de 9 (chemise tournante accouplé au pignon 9)/bâti : pivot d'axe \vec{O}_x , $\overrightarrow{\Omega}_{9/0} = +\omega_{9/0} \vec{x}$.

Quelque soit le résultat obtenu précédemment, vous prendrez $\overrightarrow{\Omega}_{9/0} = +1654 \text{ tr} / \text{min} \vec{x}$

★ Liaison de 22 (masselottes)/ 9 : pivot d'axe \vec{A}_{z1} .

★ Le solide 22 est simplifié pour les calculs, en effet on modélise chaque masselotte par une barre de masse m , de longueur l (distance AB) et d'épaisseur négligeable.
On ne tiendra pas compte du levier (distance HA) dans un premier temps, pour la matrice d'inertie.

★ La position angulaire de 22/9 est définie par l'angle $\alpha = (\vec{A}_{x1}, \vec{A}_{x2})$.

★ Puisque l'on fait l'étude à mouvement constant, cela implique que $\alpha = \text{cte}$ aussi.

☞ Attention tous les résultats seront exprimés impérativement dans le repère R1 ($\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1$).

☞ Une attention particulière sera portée sur votre démarche.

☞ Compte tenu des hypothèses, le mouvement de 22/0 est une rotation uniforme d'axe \vec{Ox} , la trajectoire du point G est donc un cercle de centre K et de rayon KG.

☞ Pour $\overrightarrow{V}_{22/0}^G$ et $\overrightarrow{\Gamma}_{22/0}^G$ deux méthodes sont possible :

- soit passer par le point A, puis le point G
- soit se servir directement des résultats d'un mouvement de rotation (pour cela il faudra exprimer \vec{KG})

Question 21. Exprimer le vecteur rotation $\overrightarrow{\Omega}_{22/0}$ sous forme vectorielle dans le repère R1.

Question 22. Exprimer le vecteur vitesse $\overrightarrow{V}_{22/0}^G$ en fonction de : $l, a, \omega_{9/0}, \alpha$ dans le repère R1.

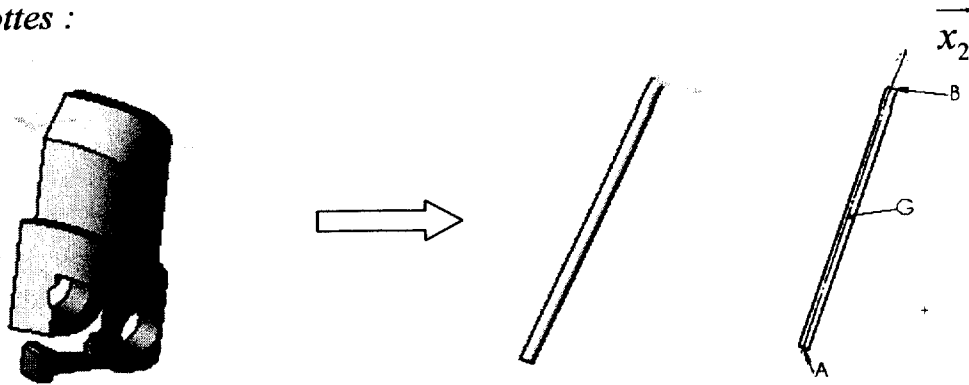
En déduire le torseur cinématique $\left\{ \mathcal{T}_{22/0}^G \right\}_G$ de 22/0 au point G.

Question 23. Exprimer le vecteur accélération $\overrightarrow{\Gamma}_{22/0}^G$ en fonction de : $a, l, \omega_{9/0}, \alpha$ dans le repère R1.

A ce stade, si vous n'avez pas réussi à exprimer $\overrightarrow{\Gamma}_{22/0}^G$, vous utiliserez l'expression suivante :

$$\overrightarrow{\Gamma}_{S2/0}^G = \begin{pmatrix} 0 \\ -\omega_{9/0}^2 \cdot (a + \frac{l}{2} \sin \alpha) \\ 0 \end{pmatrix}_{(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)}$$

Les masselottes :



Voici les résultats obtenus par le logiciel modeleur Solidworks
Propriétés de masse de masselotte

Densité = 0.01 grammes par millimètre cube
Masse = 17.83 grammes
 Volume = 2228.56 millimètres cubes
 Superficie = 1873.61 millimètres carrés

On donne la matrice d'inertie d'une barre de masse m et de longueur l , d'épaisseur négligeable.

$$\overline{I}_{G(22)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{ml^2}{12} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{ml^2}{12} \end{bmatrix} \quad \text{dans le repère 2 !}$$

On rappelle la méthode pour effectuer le produit d'une matrice par un vecteur afin de calculer le moment cinétique.

$$\overline{\sigma}_{G(s2/R0)} = \overline{I}_{G(22)} \cdot \overline{\Omega}_{22/0} = \begin{bmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & B & 0 \\ 0 & 0 & C \end{bmatrix}_{R2} \cdot \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix}_{R2} = \begin{bmatrix} (A \times \alpha) \cdot \overline{x}_2 \\ (B \times \beta) \cdot \overline{y}_2 \\ (C \times \gamma) \cdot \overline{z}_2 \end{bmatrix}$$

Remarque : L'application numérique n'est demandée qu'à partir de la question 29.

$$\text{Rappel : } \left\{ \tau_{\text{Cinétique } 22/R0} \right\}_G = \left\{ \begin{array}{l} \overline{m \cdot V_{22/0}^G} \\ \overline{\sigma_{G(22/0)}} \end{array} \right\}_{\overline{x_2, y_2, z_2}}$$

Question 24. Montrer que les composantes du torseur cinétique de 22/R0 au point G dans le repère 2

$$\text{en fonction de } \alpha \text{ sont : } \left\{ \tau_{C \ 22/R0} \right\}_G = \left\{ \begin{array}{l} m \cdot \omega_{9/0} \left(a + \frac{l}{2} \cdot \sin \alpha \right) \cdot \overline{z}_2 \\ \frac{-ml^2}{12} \cdot \omega_{9/0} \cdot \sin \alpha \cdot \overline{y}_2 \end{array} \right\}$$

Par défaut vous admettez les résultats afin de poursuivre !

Question 25. En constatant sur le document 7 que $\vec{z}_2 = \vec{z}_1$, exprimer le torseur cinétique de 22/R0 au point G dans le repère 1.

$$\text{Rappel : } \left\{ \tau_{\text{Dynamique } 22/R0} \right\}_G = \left\{ \frac{m \cdot \overline{\Gamma}_{22/0}^G}{\overline{\delta}_{G(22/0)}} \right\}_{\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1} \quad \text{avec } \overline{\delta}_{G(22/0)} = \left[\frac{d}{dt} \overline{\sigma}_{G(22/0)} \right]_O$$

Question 26. Montrer que les composantes du torseur dynamique de 22/R0 au point G noté : $\left\{ \tau_D \right\}_{22/R0}$ dans le repère 1 sont :

$$\left\{ \tau_{\text{Dynamique } 22/R0} \right\}_G = \left\{ \begin{array}{l} -m \cdot \omega_{9/0}^2 \left(a + \frac{l}{2} \sin \alpha \right) \cdot \vec{y}_1 \\ -\frac{ml^2}{12} \cdot \omega_{9/0}^2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot \vec{z}_1 \end{array} \right\}_{\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1}$$

Par défaut vous admettez les résultats afin de poursuivre !

On isole une masselotte 22.

Hypothèses :

- le point G est le centre de gravité de la masselotte 22.
- L'étude peut être ramenée à un problème plan $(A, \vec{x}_1, \vec{y}_1)$
- Tous les calculs se feront dans le repère 1 !

L'étude se faisant dans le plan $(A, \vec{x}_1, \vec{y}_1)$, vous admettez que le torseur de la liaison entre les pièces 22 et 9

$$\text{est de la forme : } \left\{ \tau_{9 \rightarrow 22} \right\} = \left\{ \begin{array}{ll} X_A & 0 \\ Y_A & 0 \\ 0 & 0 \end{array} \right\}_{A(\vec{x}_1, \vec{y}_1, \vec{z}_1)}$$

Question 27. Ecrire le torseur de l'action du ressort sur une masselotte au point H.

On notera cette action $\overline{F}_{C \ 16/22}$

Question 28. Ecrire le torseur du poids d'une masselotte au point G.

Question 29. Appliquer le principe fondamental de la dynamique au point G à une masselotte 22.

Précision :

- Vous exprimerez littéralement les équations de la résultante dynamique sur les axes \vec{x}_1 et \vec{y}_1 et l'équation du moment dynamique autour de \vec{z}_1 .

Question 30. A ce stade, reprenez l'équation obtenue à la question 16, puis injectez la dans vos équations avec toutes les valeurs numériques connues.

$$m = 18 \text{ grammes}, l = 30 \text{ mm}, HA = 14 \text{ mm}, a = 13 \text{ mm}, \omega_{9/0} = 173,2 \text{ rd.s}^{-1}$$

La résolution de ce système d'équations, étant relativement complexe, n'est pas demandée dans cette épreuve par manque de temps.....

Troisième partie

Dessin du planétaire d'entrée 3

Objectifs : Représenter en perspective isométrique une pièce avec coupe au quart

Documents :

- ✦ Dessin de définition du planétaire 3 du CSD (voir document 8)

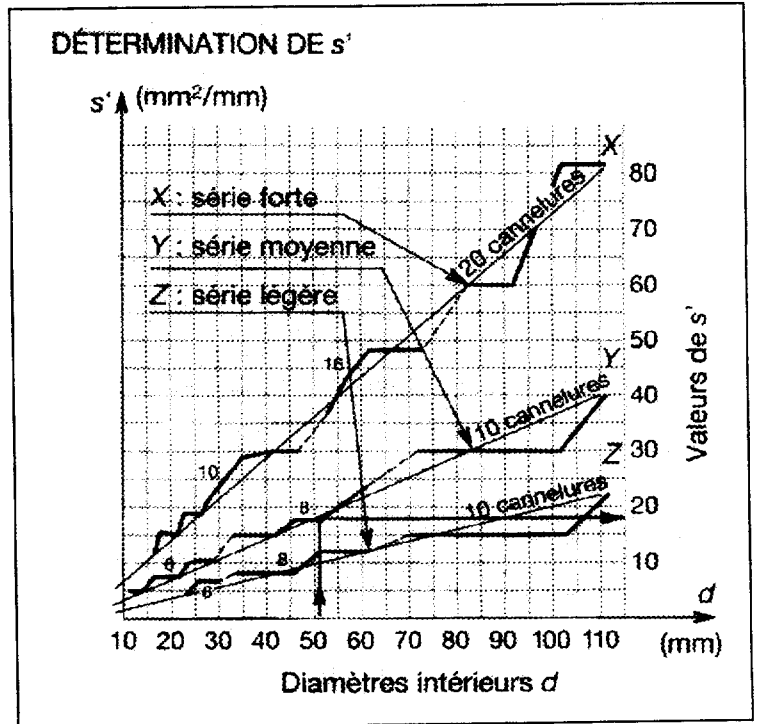
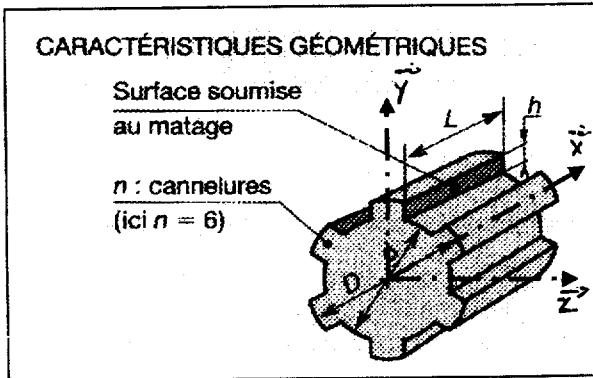
Question 31. Sur le document réponse N° 4, dessiner aux instruments (ou à main levée) le planétaire 3 du CSD en perspective isométrique avec une coupe au quart enlevé afin de faire apparaître les détails intérieurs.

- ✦ *Les pointillés ne sont pas exigés.*
- ✦ *Les dentures seront seulement représentées par leur diamètre primitif en trait mixte.*
- ✦ *L'échelle est laissée libre, cependant il est vivement conseillé de l'adapter le plus possible au format du document réponse afin de faciliter la compréhension.*
- ✦ *Le soin, la qualité du dessin, le respect des différents volumes et leurs proportions seront notamment pris en compte dans le barème de notation.*

Quatrième partie : Résistance des matériaux

Calcul de l'arbre cannelé d'entrée du CSD lié au moteur

Objectif : Par un calcul au matage, déterminer la longueur et le nombre de cannelures.
Abaque extrait du guide du calcul.



Données du constructeur :

- ✦ $d = 26 \text{ mm}$, $D = 32$.
- ✦ Puissance du moteur = 64 Cv (rappel 1Cv = 736 watt).
- ✦ La pression admissible sur le flanc des cannelures est de 5 Mpa, correspondant à des conditions de fonctionnement mauvaises, ce qui permettra de se mettre en sécurité pour le calcul.

Hypothèses :

- ✦ On fera l'étude en phase de mouvement uniforme $\{\tau_{AME}\} = \{0\}$ lorsque la fréquence $N = 6000 \text{ tr/min}$.
- ✦ On ne tiendra compte que du couple moteur sur l'arbre, tel que

$$\{\tau_{\text{Moteur}}\} = \begin{Bmatrix} 0 & Cm \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{O, \bar{x}, \bar{y}, \bar{z}}$$

- ✦ Les cannelures étant obtenues par brochage, on impose d'avoir $L < 2,5 \cdot d$
- ✦ On pourra s'inspirer de la méthode de calcul du « Guide du calcul en Mécanique ».

Question 32. Calculer le couple moteur sur l'arbre d'entrée 6.

Question 33. A l'aide de l'abaque, déterminer le nombre de cannelures « n » nécessaire et la surface réelle d'appui par mm de longueur de contact « s' »

Question 34. En déduire la longueur mini des cannelures, en précisant la série utilisée.

BTS M.E.M.A

Session : 2007

Le CSD Constant Speed Drive

DOSSIER REPONSE

✦ Document DR 1: Actigramme A-0

✦ Document DR 2 : Document réponse pour :

- le schéma cinématique, question 13
- la représentation des vecteurs, question 17

✦ Document DR 3 : Document réponse pour le dessin en perspective du planétaire 3

A la fin de l'épreuve vous devez joindre obligatoirement tous les documents réponses dans votre copie, même si vous ne les avez pas utilisés !