

# BTS M.E.M.A

## Maintenance et exploitation des matériels aéronautiques

**Session : 2007**

Epreuve U4 : Mécanique et résistance des matériaux appliquées  
à la technologie des cellules et des systèmes

première partie : Mécanique et résistance des matériaux

Durée : 5 heures

Coefficient 3

Matériels autorisés :

- ✦ Calculatrice réglementaire
- ✦ Matériel habituel du dessinateur
- ✦ Tous documents autorisés

Ce dossier comprend :

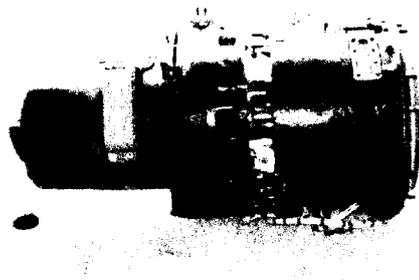
- ✦ Un dossier « Documents techniques »
- ✦ Un dossier « Questionnaire »
- ✦ Un dossier « Documents réponses »

Avant de commencer l'épreuve, les candidats sont invités :

- ✦ A vérifier que le dossier est complet
- ✦ A lire tout le sujet

*Nota : Les candidats sont invités à formuler les hypothèses qu'ils jugeront nécessaires*

**Support d'étude : Le CSD Constant Speed Drive**



# **BTS M.E.M.A**

**Session : 2007**

**Le CSD Constant Speed Drive**

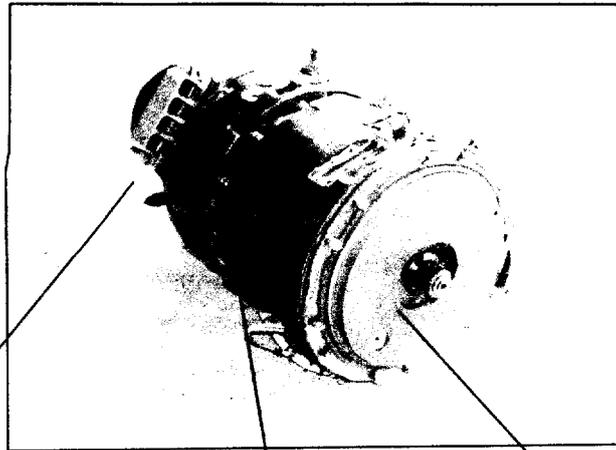
## **DOSSIER TECHNIQUE**

- ✦ Pages 1 à 6 : Présentation du CSD
- ✦ Document 1 : Schéma technologique du CSD complet
- ✦ Document 2 : Schéma technologique du différentiel uniquement
- ✦ Document 3 : Nomenclature des plans
- ✦ Document 4 : Dessin d'ensemble du régulateur à masselottes
- ✦ Document 5 : Dessin de l'ensemble « chemise tournante et masselottes » du régulateur
- ✦ Document 6 : Dessin de définition d'une masselotte
- ✦ Document 7 : Modèle d'étude d'une masselotte
- ✦ Document 8 : Dessin de définition du planétaire 3

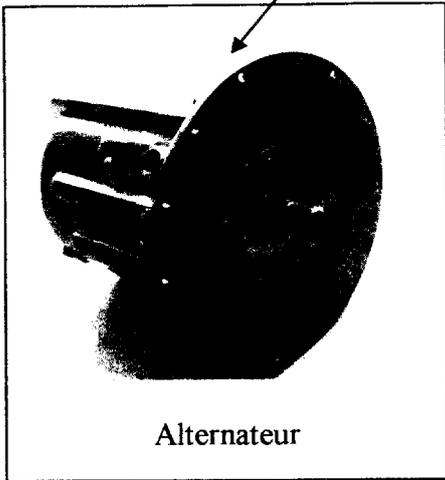
**BTS M.E.M.A**

Session : 2007

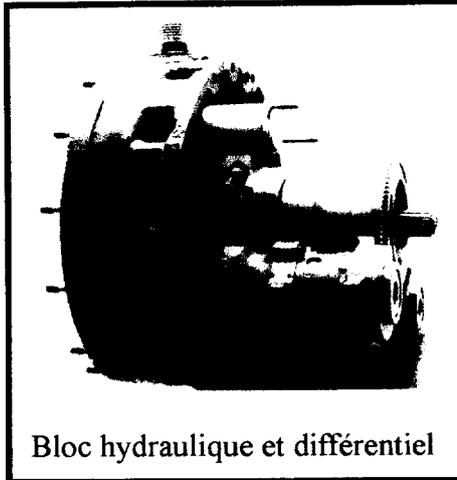
Constant Speed Drive



Zone développée dans ce sujet



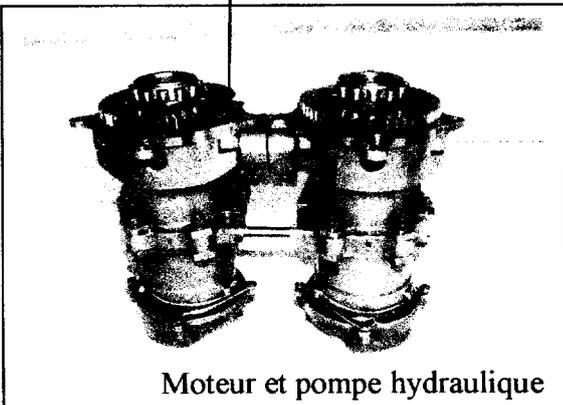
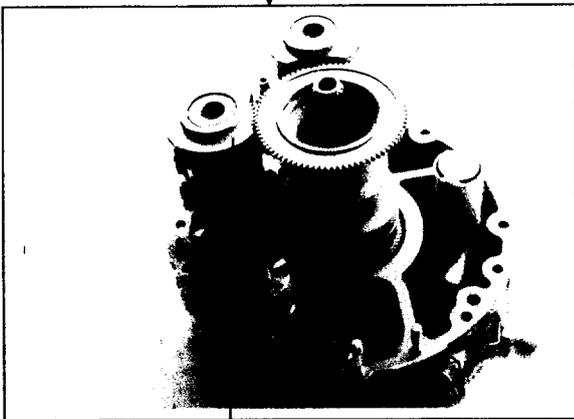
Alternateur



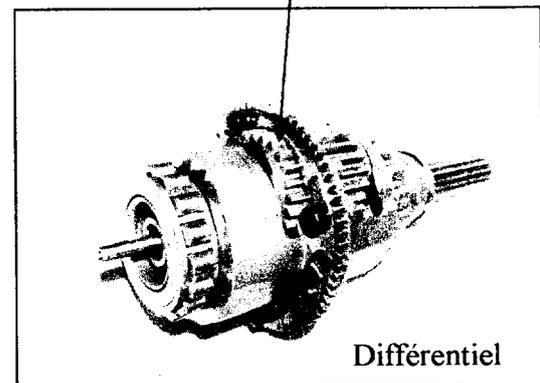
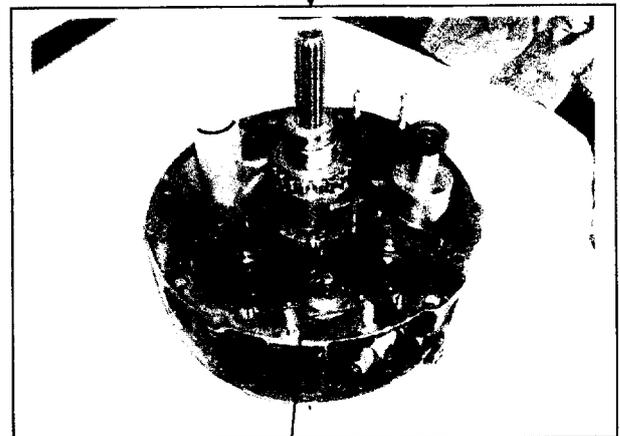
Bloc hydraulique et différentiel



Bloc d'entrée



Moteur et pompe hydraulique



Différentiel

# CSD ENTRAINEMENT A VITESSE CONSTANTE

## 1. Généralités

Sur certains types d'avions, l'énergie électrique de bord est fournie par trois alternateurs triphasés de 40KVA 115/200 Volts à 400 Hertz.

Ces alternateurs sont entraînés par les réacteurs à travers des transmissions hydrauliques à vitesse constante, permettant leur couplage en parallèle.

L'entraînement à vitesse constante maintient impérativement l'alternateur à une vitesse de 6000 tr/min plus ou moins une petite tolérance (plus ou moins 40 tr/min)

Ce dispositif permet donc d'ajuster la fréquence (tr/min) sur l'arbre de l'alternateur, et ce, quelque soit la fréquence de l'arbre accouplé au réacteur.

Chaque alternateur est supporté et entraîné à régime constant par un dispositif à rapport de transmission variable, qui prend son mouvement sur le boîtier des accessoires du réacteur.

Cet équipement, ou entraînement à différentiel, est fixé sur le réacteur par un collier à montage rapide.

Le poids d'un CSD est d'environ 35 kg.

On se propose d'étudier ce dispositif !

## 2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Voir le document 1

Trois cas peuvent se présenter :

- ★ **Sous vitesse** : exemple  $N_{6/0} = 4300$  tr/min: le régulateur incline le plateau de pompe. Le débit de la pompe fait tourner le moteur relié à l'arbre 4 qui entraîne 3 à une vitesse de  $N_{3/0} = 2747$  tr/min afin d'ajuster la fréquence de l'alternateur à 6000 tr/min.
- ★ **Vitesse nominale** :  $N_{6/0} = 6000$  tr/min le régulateur de vitesse commande le plateau de pompe. Le débit de la pompe fait tourner le moteur relié à l'arbre 4 qui entraîne 3 à une vitesse de  $N_{3/0} = 5712$  tr/min afin d'ajuster la fréquence de l'alternateur à 6000 tr/min.
- ★ **Sur vitesse** :  $N_{6/0} = 8600$  tr/min le régulateur de vitesse commande le plateau de pompe. Le débit de la pompe fait tourner le moteur relié à l'arbre 4 qui entraîne 3 à une vitesse de  $N_{3/0} = 10974$  tr/min afin d'ajuster la fréquence de l'alternateur à 6000 tr/min.

## 3. Constitution de ce CSD

C'est un ensemble moteur - pompe hydraulique à débit variable, contrôlé par un régulateur centrifuge asservi aux circuits de régulation de vitesse et de charge active de l'alternateur.

L'ensemble comprend trois parties principales :

- ★ **Un boîtier de débrayage ou encore de décrabotage** : il est placé à l'entrée. Il permet en cas d'avarie mécanique du CSD (ou de l'alternateur) d'être séparé de la transmission de puissance.
- ★ **Une transmission hydraulique** : elle comprend principalement un système moteur pompe et un différentiel. On distingue aussi deux pompes, l'une de mise en pression, l'autre de récupération aspirant l'huile dans un puisard. Cette huile est ensuite refroidie dans un radiateur (extérieur à la transmission) et stockée dans un réservoir.
- ★ **Des éléments de contrôle et de commande** : au panneau mécanicien on distingue généralement
  - un voyant de baisse de pression d'huile (en série avec le manostat)

- MEMRMAT1
- un indicateur de température d'huile (en relation avec les deux sondes de température)
  - une commande électrique de débrayage (en série avec le solénoïde)
  - quelque fois un potentiomètre permettant d'ajuster la fréquence : ceci est réalisé par action magnétique sur les masselottes du régulateur de vitesse

*Dans ce sujet, nous n'étudierons pas le bloc hydraulique « pompe moteur ».*

### **3.1. Le bloc hydraulique**

Chaque entraînement se compose essentiellement de deux blocs hydrauliques, type pompe à barillet, et un différentiel qui ajuste la fréquence de rotation pour l'alternateur.

Les blocs hydrauliques sont physiquement semblables, mais l'un à un plateau à inclinaison variable (pompe) tandis que l'autre à un plateau fixe (moteur), donc un déplacement par tour fixe. Les blocs hydrauliques tournent indépendamment l'un de l'autre et sont placés de chaque côté d'une glace de distribution.

La pompe a un rapport de vitesse angulaire fixe comparé à la vitesse d'entrée de la transmission. L'angle du plateau mobile peut varier continuellement.

Le déplacement de la pompe varie lui aussi continuellement entre débit nul et débit maxi.

Le moteur est entraîné par l'huile refoulée par la pompe. Le moteur peut donc tourner à toutes les vitesses comprises entre zéro et un maximum.

La pression de l'huile entre les deux blocs hydrauliques est proportionnelle au couple à transmettre à l'alternateur.

Aux basses vitesses d'entrée, la pompe travaille pour alimenter le moteur, qui ajuste des tours par l'intermédiaire du différentiel. Quand la vitesse d'entrée est juste celle nécessaire, le couple est transmis directement par le différentiel. Le plateau de pompe est légèrement décalé du zéro pour compenser les fuites internes.

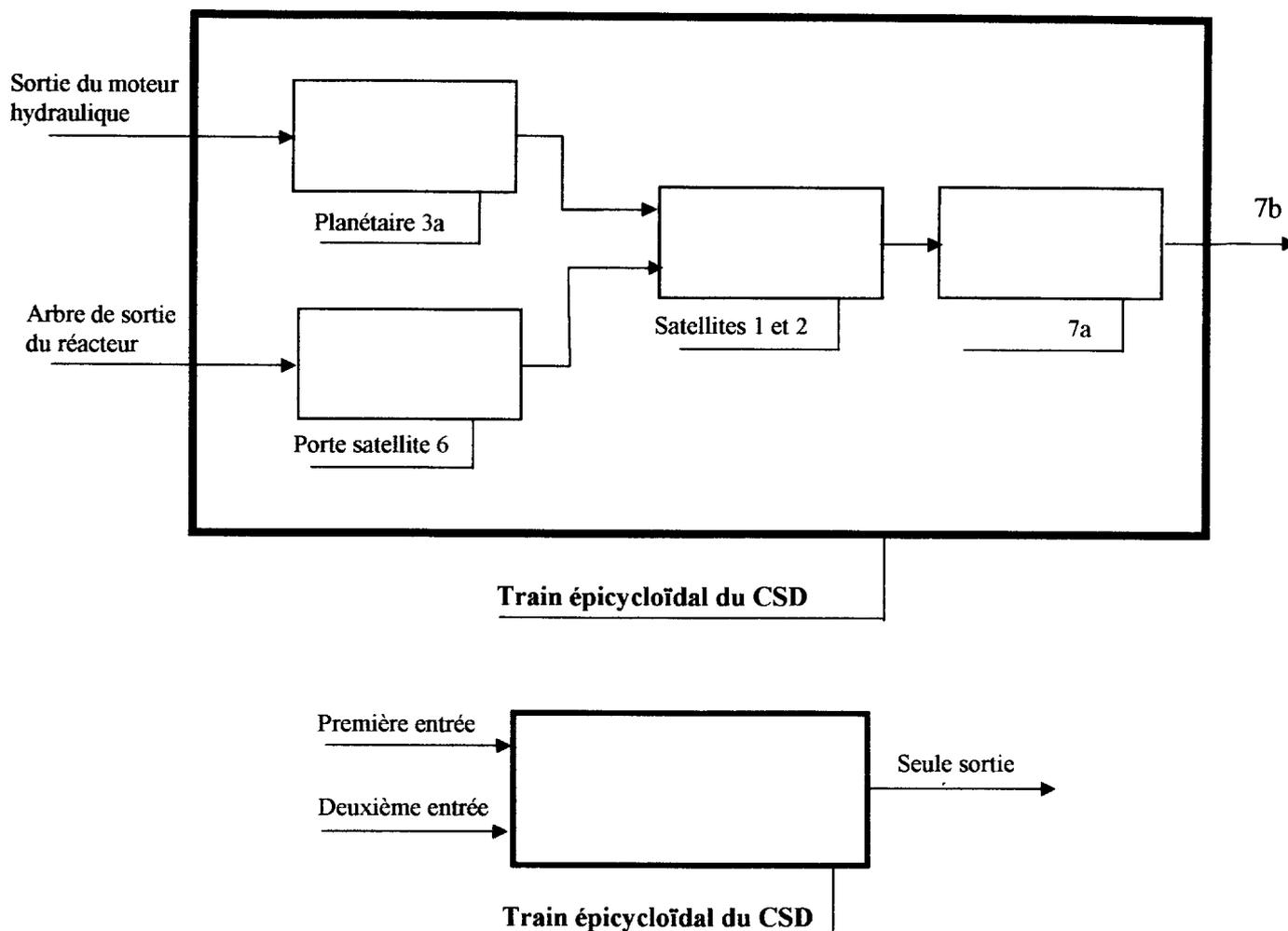
Aux vitesses d'entrée supérieures à la normale nécessaire, le plateau mobile s'incline de manière à ajuster la fréquence de l'alternateur.

*Cette partie ne sera pas étudiée dans ce sujet ! Elle est juste précisée pour avoir une vue d'ensemble sur le CSD.*

### 3.2. Le différentiel (étudié en partie A)

voir également Documents 1 et 2

## Synoptique du train épicycloïdal



Dans ce différentiel, les satellites (repères 1 et 2) sont au centre et les planétaires (repères 3 et 7) à l'extérieur.

Les satellites tournent autour de leur axe propre et tournent aussi autour de l'axe du porte-satellites repéré 6.

Le porte-satellites est entraîné par la couronne (Z3a) et par l'arbre de sortie du réacteur.

La pompe est entraînée par le pignon Z6, puis transmet la puissance au pignon moteur Z4.

Le moteur transmet ensuite la puissance par l'engrenage Z4 - Z3b.

Le planétaire de sortie (7) est couplé avec l'arbre d'entraînement de l'alternateur.

La vitesse du planétaire de sortie est maintenue constante en « ajustant » des tours à la vitesse des satellites, en contrôlant la vitesse de rotation du planétaire d'entrée. Le régulateur de vitesse et les pompes sont entraînés indépendamment en sortie du différentiel.

Le différentiel est composé :

- ✦ d'un arbre porte-satellites repéré 6
- ✦ deux satellites repérés 1 et 2
- ✦ deux planétaires (entrée repéré 3 et sortie repéré 7).

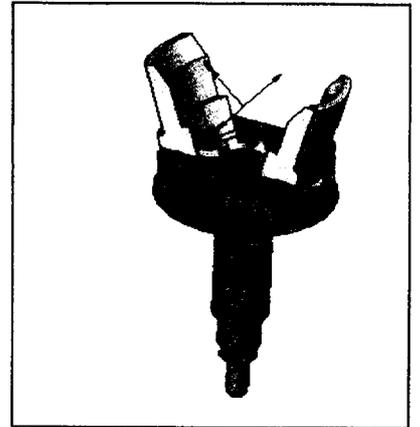
### 3.3. Le régulateur à masselottes (étudié en partie B)

voir également Documents 4 et 5

La puissance principale est transmise directement à la sortie par l'intermédiaire du dispositif de dérabotage et du différentiel. Il faut donc compenser les fluctuations de vitesse du réacteur.

Pour cela un régulateur de vitesse détermine la correction à apporter. Il commande un vérin auxiliaire (cylindre de contrôle) en liaison avec le plateau d'une pompe hydraulique.

Cette pompe a une capacité variable suivant l'inclinaison du plateau. Elle délivre son débit à un moteur hydraulique qui se chargera de l'appoint de vitesse.



Il se compose de trois parties principales

#### ★ Mécanique :

Elle comprend l'arbre d'entraînement considéré comme une chemise tournante (20) dans laquelle peut se déplacer un tiroir (19) commandé par des masselottes en "ALNICO"(22), sous l'action de la force centrifuge.

Un ressort (16) antagoniste est réglé pour maintenir une fréquence constante à la sortie de l'alternateur. Lors de la maintenance du CSD, il est possible d'intervenir manuellement sur un système de réglage « roue 12 et vis sans fin » afin d'ajuster l'effort sur le ressort 16 qui positionne les masselottes.

Si l'alternateur tourne à une vitesse supérieure à 6000 tr/min, les masselottes sont écartées par l'action de la force centrifuge. Le tiroir dirige la pression du circuit dans la chambre côté ressort du piston de commande du plateau de pompe. La chambre opposée se vidange par l'intermédiaire du régulateur de vitesse par un drain vers le carter.

Le débit de la pompe est ajusté, la fréquence de l'arbre de sortie du moteur hydraulique repéré 4 est également ajustée afin d'assurer  $N_{\text{alternateur}}=6000$  tr/min.

Le phénomène inverse peut se produire.

Si la vitesse de l'alternateur est à une vitesse inférieure à 6000 tr/min, les masselottes sont rapprochées, et le tiroir descend. La pression du circuit est dirigée dans la chambre côté opposé au ressort du piston de commande du plateau de pompe.

Le débit de la pompe est de nouveau ajusté, la fréquence de l'arbre de sortie du moteur hydraulique repéré 4 est également réajustée afin d'assurer  $N_{\text{alternateur}}=6000$  tr/min

*En conclusion le régulateur de vitesse ne modifie la position du tiroir que s'il y a variation de vitesse de l'alternateur.*

- ★ Electromagnétique on effectue un réglage précis de la vitesse de rotation par une intervention électromagnétique sur les masselottes ; c'est pourquoi ces masselottes sont des aimants permanents.

Suivant le sens du courant continu dans la bobine on crée des faces Nord ou Sud ce qui écarte ou rapproche les masselottes de la bobine simulant ainsi une survitesse ou une sous-vitesse (la fréquence alternateur est modifiée d'autant).

Ce courant continu est élaboré par le "contrôleur de charge" lui-même commandé par le potentiomètre « fréquence ».

Cette partie ne sera pas étudiée

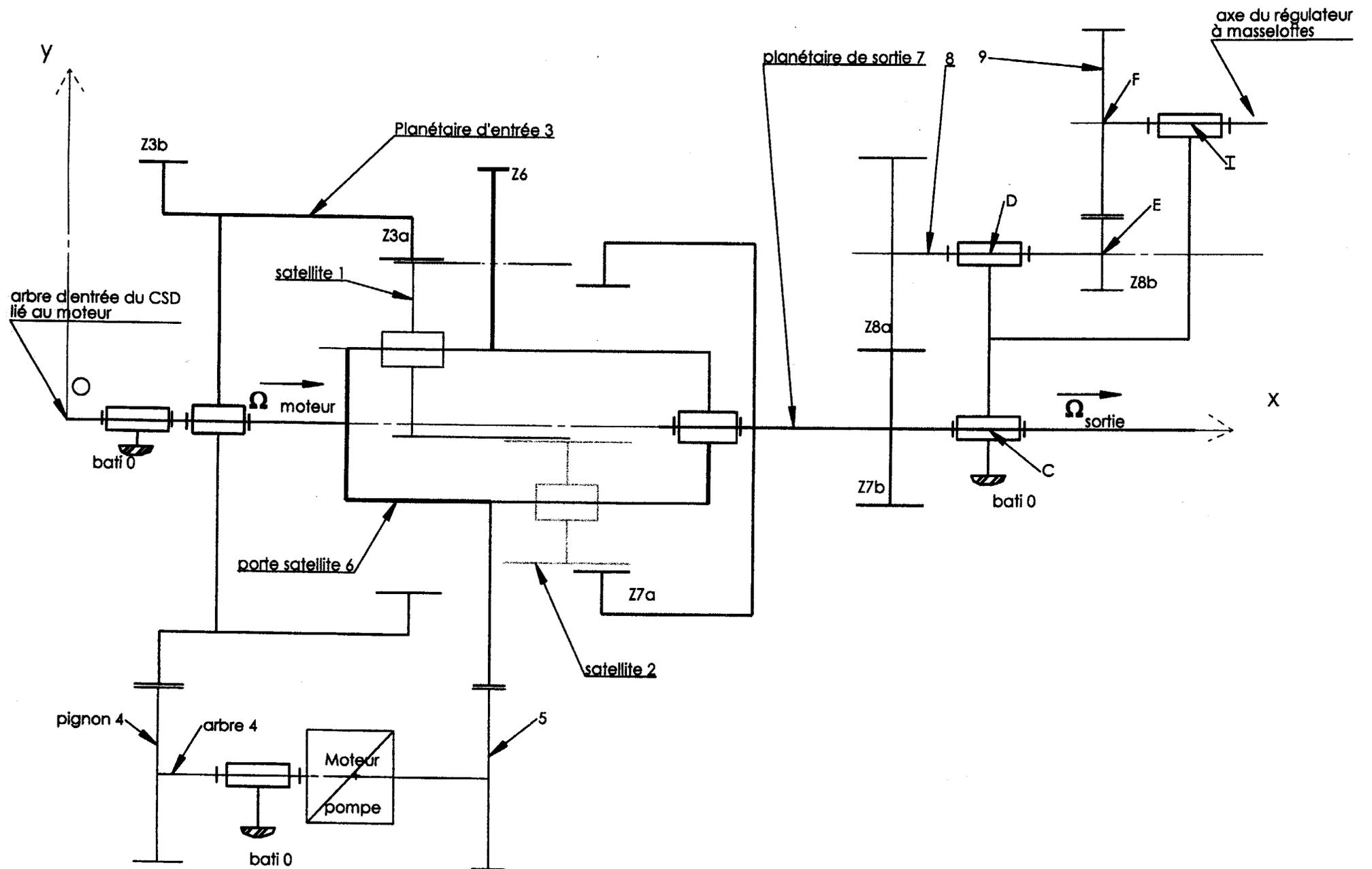
★ Réglage manuel

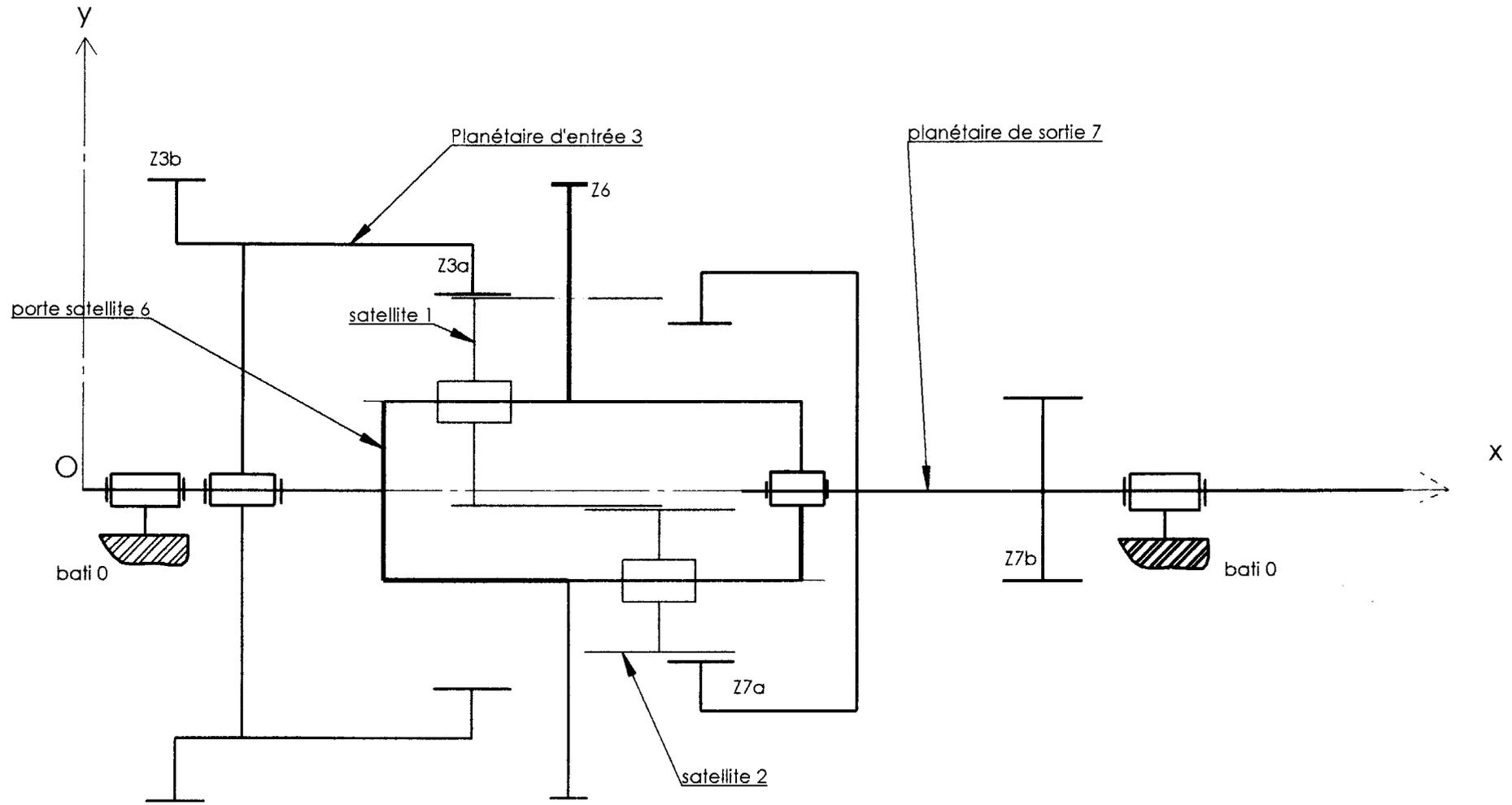
Lors des grandes visites, l'agent de maintenance peut agir sur un système d'engrenage pour ajuster la tension dans le ressort de rappel 16.

Pour cela il agit sur une vis sans fin (non représentée) en contact avec le pignon 12, ce qui modifiera la tension du ressort 16 en contact avec la tige creuse 19, elle-même en contact avec les masselottes.

De ce fait l'inclinaison initiale des masselottes peut être ajustée à la demande

*On se propose d'étudier ce réglage en troisième partie C !*





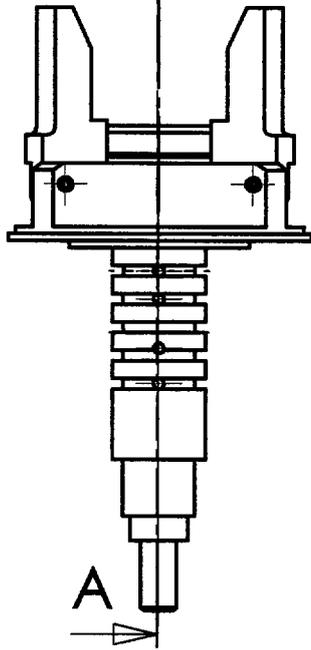
## MEMRMAT1

Numéro de pièce	Nombre	Désignation	Remarque
1	1	Satellite	Z1 = 23
2	1	Satellite	Z2 = 21
3	1	Planétaire d'entrée	Z3a = 46 Z3b = 81
4	1	Pignon de sortie de moteur hydraulique	Z4 = 45
5	1	Pignon d'entrée de la pompe hydraulique	Z5 = 55
6	1	Porte satellite	Z6 = 71
7	1	Planétaire de sortie	Z7a = 42 Z7b = 55
8	1	arbre intermédiaire	Z8a = 56 Z8b = 16
9	1	pignon de régulateur à masselottes	Z9 = 57
10	1	Roulement à rouleaux A:	
11	1	Roulement à rouleaux B:	
12	1	Pignon de réglage	Z12 = 54, mn=1, Béta = 4°
13	1	Vis de réglage	M10 * 1,5
14	1	Corps supérieur	
15	1	Ressort secondaire	
16	1	Ressort principal	
17	1	Corps inférieur	
18	1	Carter du régulateur	
19	1	Tige creuse	
20	1	Chemise tournante	
21	2	axe de masselottes	
22	2	masselottes	Matière ALNICO
23	1	Ecrou H-M5	
24	3	Vis d'assemblage CHC M5-35	
25	3	Ecrou H-M5	
26	1	Butée à billes	

MEMRMAT1

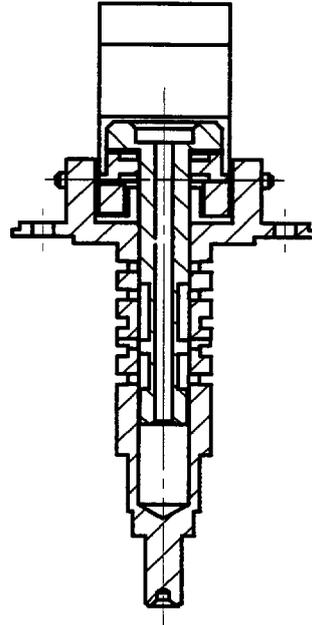
A

A



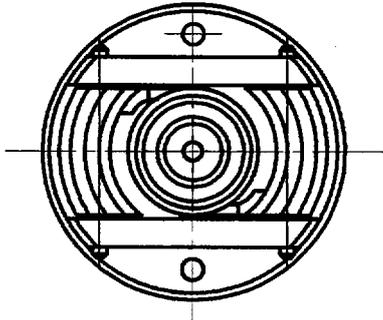
B

A-A (1:1)



C

A



D



E

Echelle 1:2

chemise tournante et masselottes

D-S

F

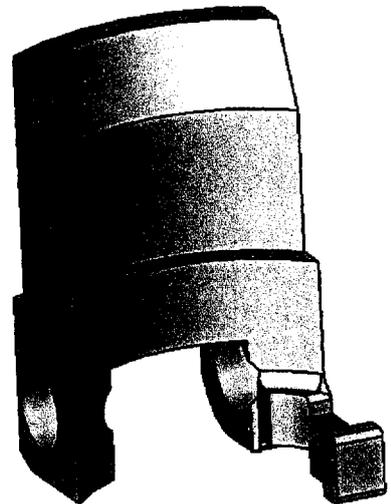
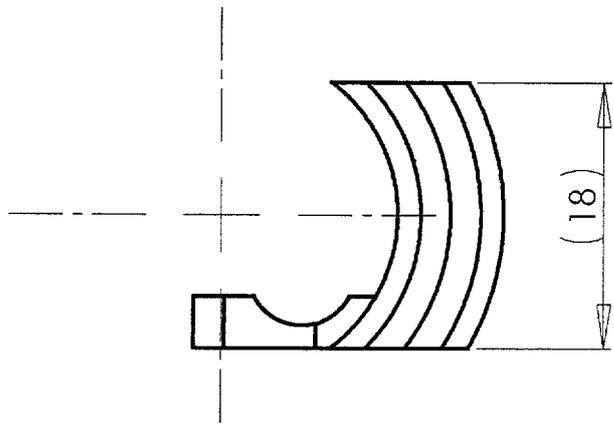
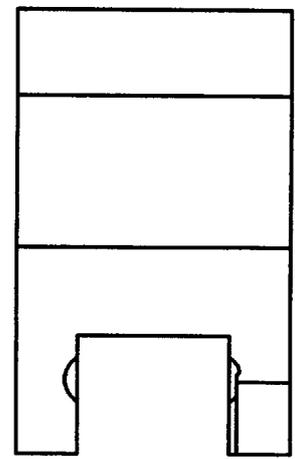
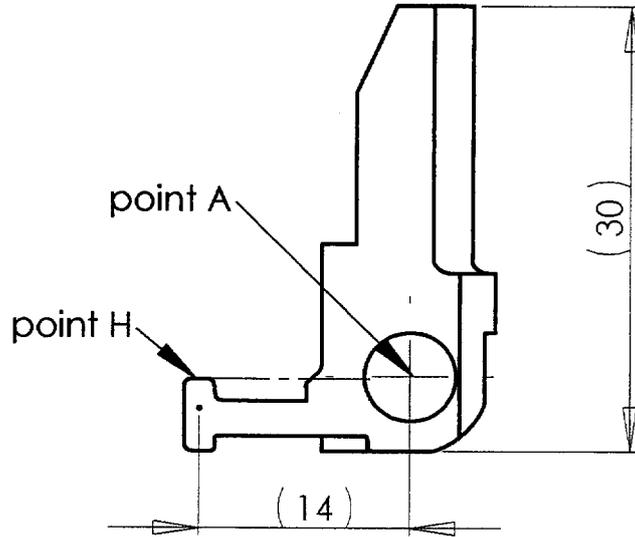
Licence d'éducation SolidWorks  
 A titre éducatif uniquement  
 Format A4

Le :

Document 5

MEMRMAT1

A  
B  
C  
D  
E



Echelle 2:1

masselottes

S.D

Licence d'éducation SolidWorks  
A titre éducatif uniquement

Document 6

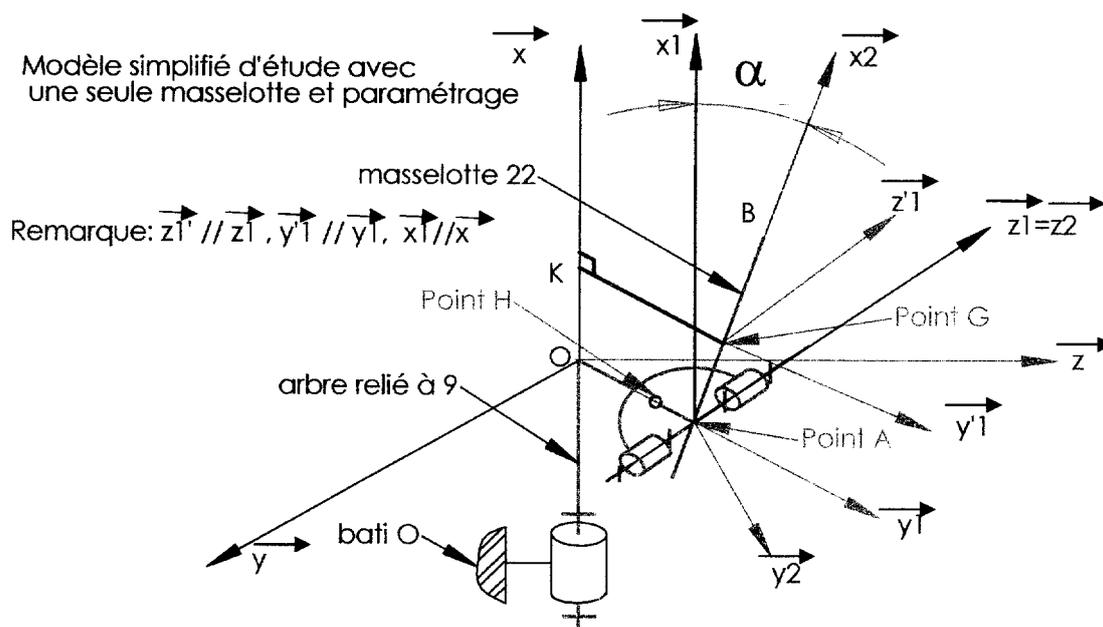
Modèle réel de l'assemblage des masselottes et de la chemise tournante



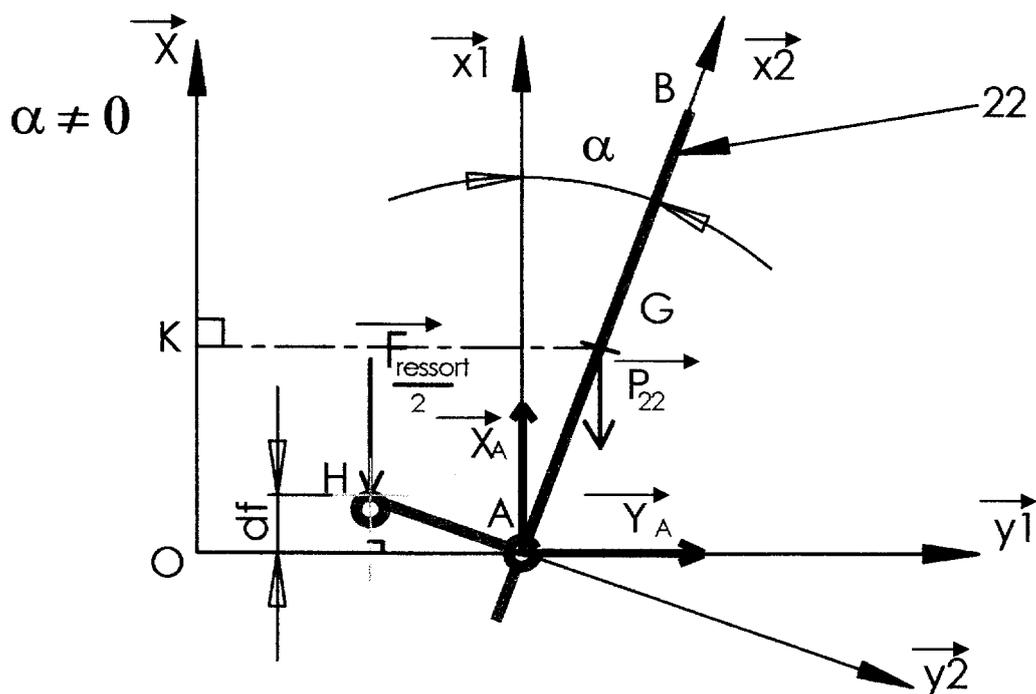
$$HA = \lambda = 14 \text{ mm}$$

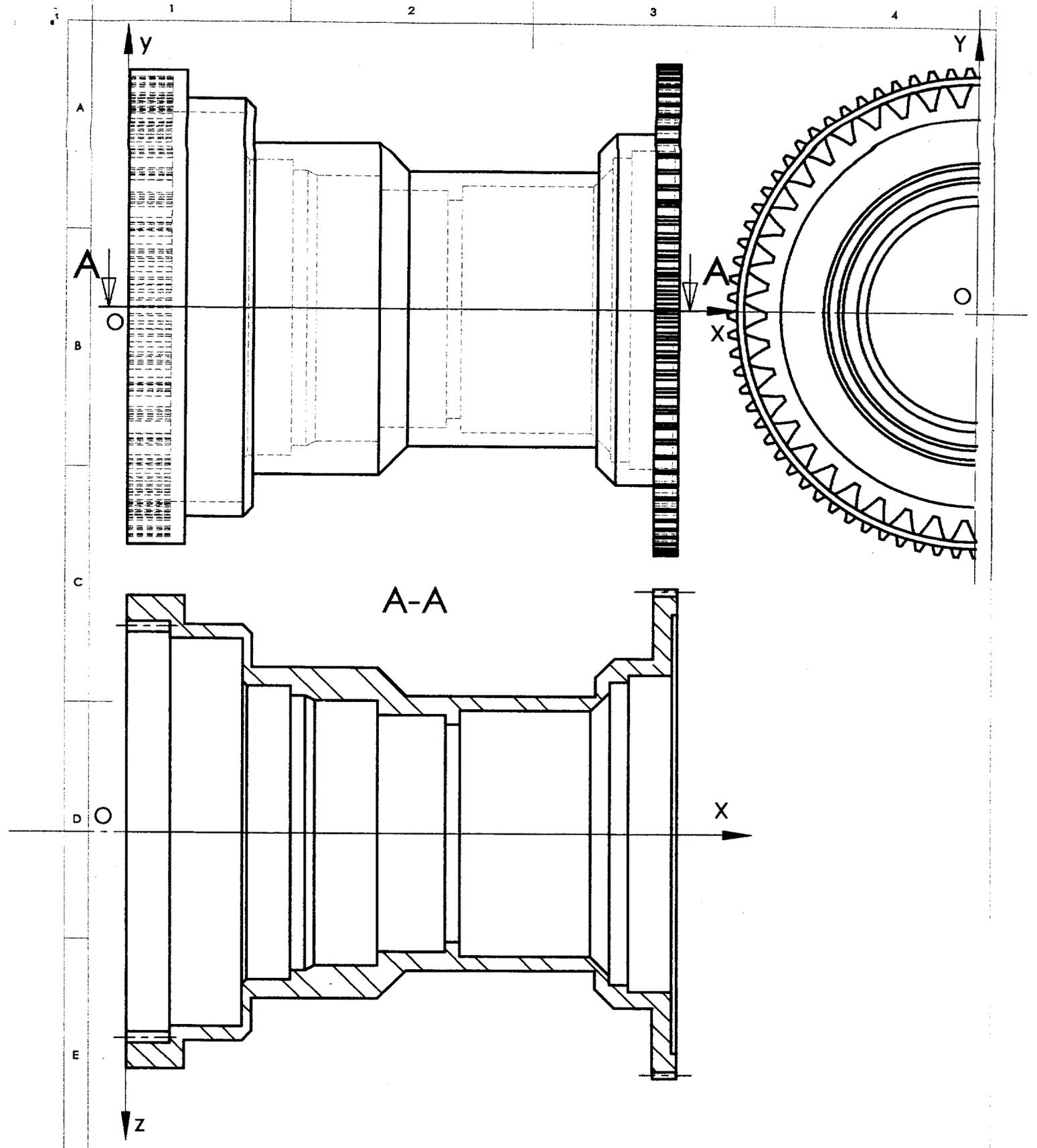
$$\overline{OA} = a \cdot \overline{y_1} \text{ et } \overline{AB} = l \cdot \overline{x_2} \text{ et } G : \text{milieu de } AB.$$

$$l = 30 \text{ mm}, a = 13 \text{ mm}$$



Position quelconque d'une masselotte





Echelle 1:1

planétaire 3 du CSD

DS

Le :

Licence d'éducation SolidWorks  
A titre éducatif uniquement  
Format A4

Document 8

MEMRMAT1

# **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  $\alpha$
- ✦  $\alpha$  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.

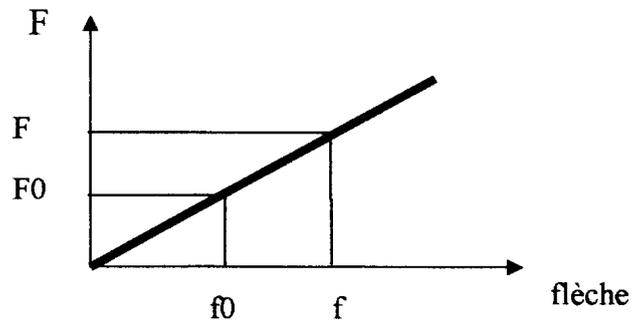
Cette vis de réglage est réglée manuellement lors de la maintenance de grande visite afin d'ajuster si besoin l'effort sur le ressort principal repéré 16.

Ce ressort est en contact avec les deux masselottes, il permet d'ajuster leur position et ainsi d'intervenir sur l'angle  $\alpha$ . 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  $f_0$
- ✦  $\lambda$ , longueur HA
- ✦ l'angle  $\alpha$

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

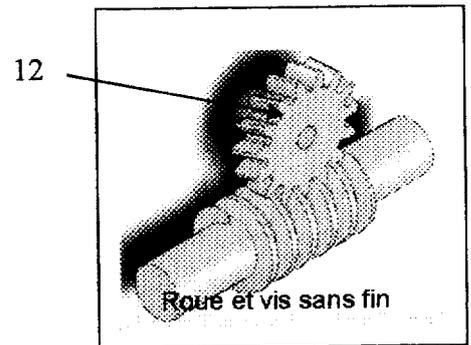
## Etude du réglage manuel sur le système roue 12 et vis sans fin

### 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  $\beta_{vis}$  ?

**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  $\overline{O_x}$ ,  $\overline{\Omega}_{9/0} = +\omega_{9/0} \cdot \overline{x}$ .

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

★ Liaison de 22 (masselottes)/ 9 : pivot d'axe  $\overline{A_{z1}}$ .

★ 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  $\alpha = (\overline{A_{x1}}, \overline{A_{x2}})$ .

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

☞ Attention tous les résultats seront exprimés impérativement dans le repère R1 ( $\overline{x_1}, \overline{y_1}, \overline{z_1}$ ).

☞ Une attention particulière sera portée sur votre démarche.

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

☞ Pour  $\overline{V}_{22/0}^G$  et  $\overline{\Gamma}_{22/0}^G$  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  $\overline{KG}$ )

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

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

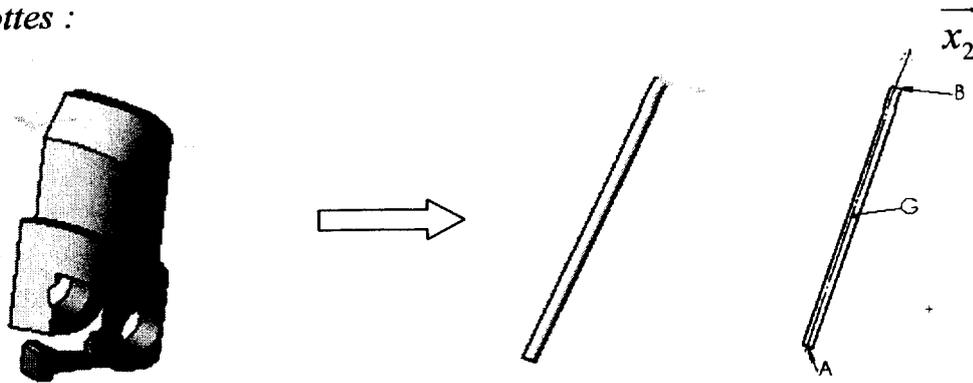
En déduire le torseur cinématique  $\left\{ \mathcal{T}_{22/0}^G \right\}_G$  de 22/0 au point G.

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

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

$$\overline{\Gamma}_{S2/0}^G = \begin{pmatrix} 0 \\ -\omega_{9/0}^2 \cdot \left( a + \frac{l}{2} \sin \alpha \right) \\ 0 \end{pmatrix}_{(\overline{x_1}, \overline{y_1}, \overline{z_1})}$$

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)

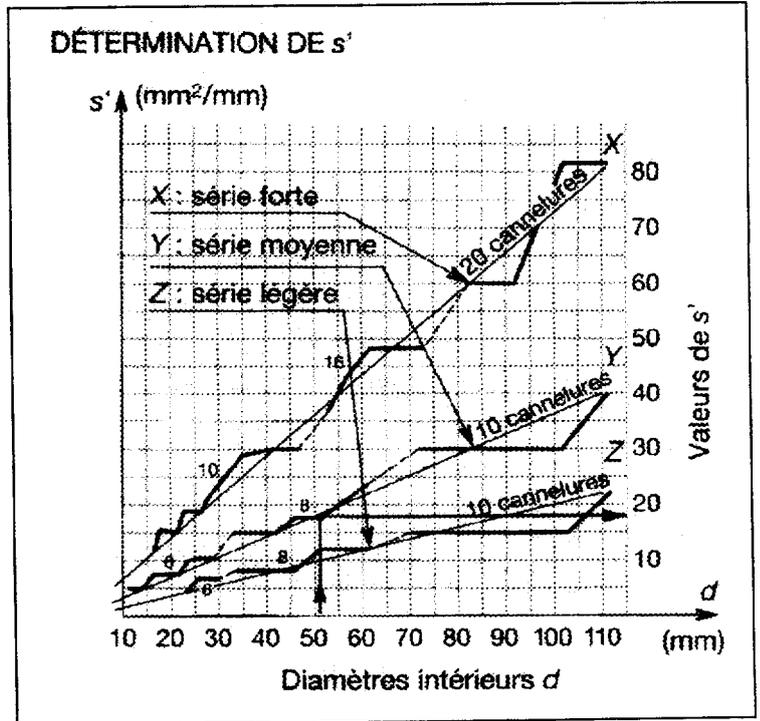
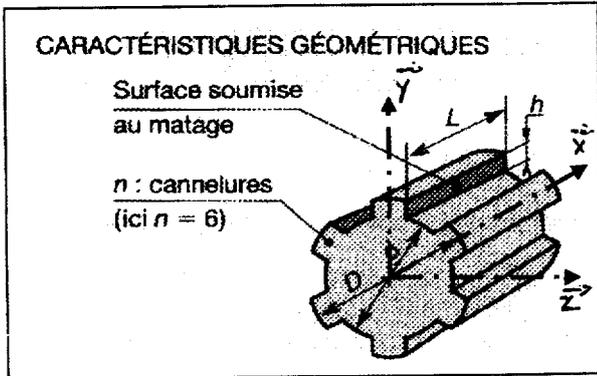
**Question 31.** Sur le document réponse N° 4, dessiner aux instruments ( ou à main levée) le planétaire 3 du CSD en perspective isométrique avec une coupe au quart enlevé afin de faire apparaître les détails intérieurs.

- ✦ *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 !**

**BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR**  
**MAINTENANCE ET EXPLOITATION**  
**DES MATÉRIELS AÉRONAUTIQUES**

SESSION 2007

**Épreuve E4 : Mécanique et résistance des matériaux  
appliquées à la technologie des cellules et systèmes.**

**Deuxième partie : Technologie des cellules et des systèmes.**

Durée : 2 h

Coefficient : 3

**Matériel autorisé**

- Aucun

## 1/ Circuit de freinage des roues

Les fusibles hydrauliques : expliquer leur fonction et décrire succinctement leur fonctionnement.

## 2/ Les pneumatiques

a/ Sur le flanc d'un pneumatique, on lit l'inscription suivante : 46X16-20. Donner la signification de ce marquage et différencier un pneumatique à carcasse radiale d'un pneumatique à carcasse axiale du point de vue de sa constitution.

b/ Les pneumatiques sont gonflés à l'azote. Justifier l'emploi de ce gaz.

## 3/ La génération électrique

a/ Les générations de courant alternatif à bord des avions peuvent être des générations utilisant des alternateurs couplés en parallèle. Préciser l'intérêt du couplage d'alternateurs en parallèle ainsi que les conditions pour réaliser ce couplage.

b/ Réaliser le schéma de principe d'une génération d'alternateurs non interconnectés (2 alternateurs) utilisant un groupe de parc et un alternateur APU (Auxiliary Power Unit). Préciser la fonction de chacun des contacteurs suivants :

- relais d'excitation,
- relais de ligne,
- relais de transfert,
- relais de ligne APU,
- relais de groupe de parc.

c/ Citer pour une génération d'alternateurs non interconnectés, les différents défauts surveillés par le GCU (Generator Control Unit). Préciser les fonctions du GCU.

d/ Expliquer le principe de fonctionnement de la protection différentielle assurée par le GCU sur une génération d'alternateurs non interconnectés.

## 4/ Architecture d'un circuit hydraulique

a/ Réaliser le schéma de principe d'un circuit hydraulique d'un avion à ailes hautes dont les moteurs se trouvent sur les ailes et le compartiment hydraulique au niveau du train principal. Ce circuit est alimenté par deux pompes mécaniques entraînées par les turbopropulseurs.

b/ Expliquer le fonctionnement d'une des pompes entraînée par un moteur et représentée ANNEXE A.

c/ L'angle  $\alpha$  mini (ANNEXE A) peut-il être nul ? Commenter votre réponse et préciser les cas de figure où il est minimal.

ANNEXE A

