

Epreuve de Sciences Industrielles C

Durée 6 h

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale au chef de salle, d'autre part il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

Composition du sujet :

- 1 cahier de 14 pages de texte, numérotées de 1 à 14 ;
- 1 cahier intitulé « **DOCUMENT RESSOURCE i** », avec $i = \text{I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX}$ imprimés recto verso ;
- 1 cahier format A4, intitulé « **DOCUMENT REPONSE i** », avec $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ imprimés recto verso ;
- 1 calque format A3, intitulé « **DOCUMENT REPONSE i** », avec $i = 7$.

Matériel autorisé : tous instruments usuels du dessinateur.

TOUTE AUTRE DOCUMENTATION EST INTERDITE

LES CALCULATRICES SONT AUTORISEES

Gestion du temps : *En admettant une durée de 30min pour la lecture et l'assimilation du sujet, il est vivement conseillé de consacrer environ 20% du temps à la partie I, environ 15% du temps à la partie II, environ 30% du temps à la partie III, environ 15% du temps à la partie IV et environ 20% du temps à la partie V.*

Avertissement : La présentation, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. Les candidats sont invités à encadrer les résultats de leurs calculs.

ÉTUDE D'UN TRAIN D'ATERRISSAGE AVANT

Présentation

Nous proposons d'étudier dans ce sujet un train d'atterrissage avant d'avions civils conçu et fabriqué par la société Messier-Dowty. Messier-Dowty, société du Groupe SAFRAN, est le leader mondial de la conception et de la fabrication des systèmes de trains d'atterrissage. Les atterrisseurs Messier-Dowty équipent environ 20.000 appareils et réalisent plus de 35.000 atterrissages chaque jour. La société fournit tout ou partie des atterrisseurs d'avions tels que l'A380, l'A350 XWB, le 787 Dreamliner, le Falcon 7x, etc.

L'étude proposée porte sur deux des phases de vie du train d'atterrissage avant : la phase de vol et la phase de roulage au sol. La première fonction de service (FS1) qui intéresse ce sujet apparaît lors de la phase de vol.

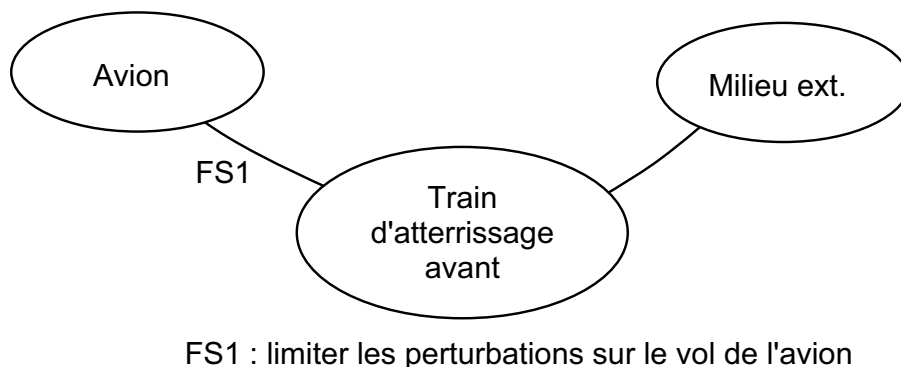
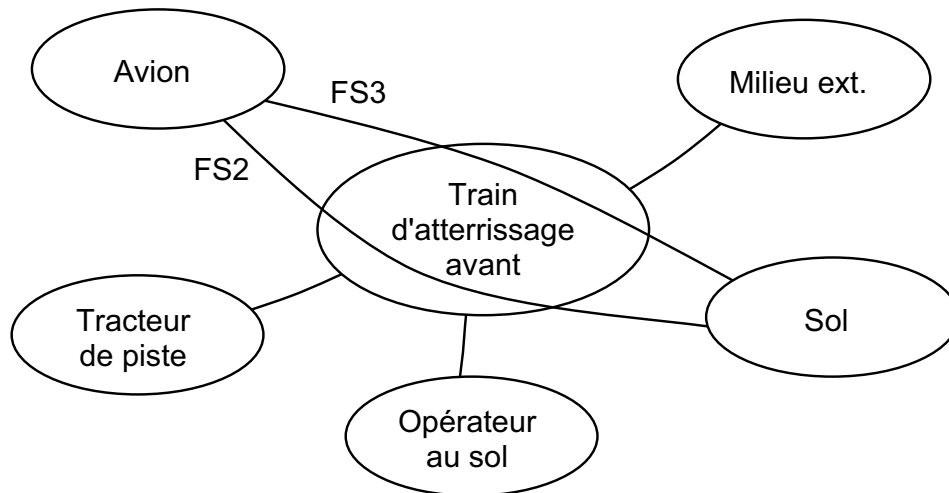


Figure 1 : Graphe des fonctions de services durant la phase de vol

Cette fonction a conduit au choix d'un train rétractable et l'utilisation de 4 trappes. Il existe donc 4 sous-phases, qui sont :

- train rentré (toutes les trappes sont fermées);
- train en déploiement (toutes les trappes sont ouvertes);
- train en repliement (toutes les trappes sont ouvertes);
- train sorti (seules les 2 trappes arrière sont ouvertes, les trappes avant étant fermées toujours pour limiter les effets aérodynamiques (voir **document ressource II**)).

Lors de la phase de roulage au sol, 2 autres fonctions de service (FS2 et FS3) sont à retenir.



FS2 : permettre de guider l'avant de avion par rapport au sol

FS3 : amortir les irrégularités du sol transmises à l'avion

Figure 2 : Graphe des fonctions de services durant la phase de roulage au sol

L'étude est composée de 5 parties largement indépendantes. La première partie vous propose d'étudier la commande des cycles de rentrée et de sortie du train d'atterrissage pendant la phase de vol (FS1). La deuxième partie s'intéresse au mécanisme d'ouverture, de fermeture et de verrouillage du train (FS1). Dans la troisième partie, nous étudions la pièce principale du train, « le caisson », d'un point de vue conception et fabrication (FS1, FS2 et FS3). La quatrième partie porte sur le mécanisme de transmission de la direction aux deux roues pour diriger l'avion au sol, d'un point de vue comportement sous charge (FS2). Enfin la cinquième partie vous propose de concevoir la transmission du mouvement d'orientation des deux roues pour diriger l'avion au sol, le compas (FS2).



Figure 3 : sortie des trains d'atterrissage sur l'A380

I. Etude des phases de rentrée et de sortie du train d'atterrissage

Dans cette partie, on s'intéresse aux phases de sortie et de rentrée du train d'atterrissage (FS1) du point de vue de la partie commande (**document ressource I**).

Un cycle de sortie ou de rentrée du train d'atterrissage s'effectue sur commande du pilote. Le train avant dispose de deux trappes avant et deux trappes arrière qui s'ouvrent pour laisser passer le train d'atterrissage (**document ressource II**).

Lorsque les trappes sont ouvertes, le crochet de déverrouillage du train est actionné ce qui autorise la sortie du vérin de déploiement du train. Une fois le train déployé, le verrouillage de la contre fiche se fait automatiquement par un système mécanique. Les trappes avant sont refermées pour diminuer les perturbations aérodynamiques.

Lors de la phase de rentrée, un vérin assure le déverrouillage de la contrefiche puis la rentrée du vérin de déploiement s'effectue. Le train est verrouillé en position rentrée par un système mécanique et les trappes se referment terminant le cycle de rentrée du train.

Deux informations train rentré (ITR) et train sorti (ITS) permettent d'informer le pilote sur l'état du train.

On propose dans cette question de construire deux grafjets, un premier pour la sortie du train et un second pour la rentrée du train.

I.1 : Donnez pour chaque phase de fonctionnement l'état initial du système ainsi que les deux équations logiques correspondant aux conditions initiales d'autorisation des phases. On appellera **cist** la condition initiale de sortie et **cirt** la condition initiale de rentrée.

I.2 : A partir de l'inventaire des entrées/sorties données dans le **document ressource II**, établir les deux grafjets de sortie et de rentrée du train.

I.3 : Lors de la phase de sortie, il peut arriver que le crochet ne se déverrouille pas. Dans ce cas une alarme est déclenchée au poste de pilotage au bout de 10s. Lorsque le pilote acquiesce cette alarme, les trappes se referment et le système se retrouve en position initiale. Modifiez les grafjets précédents pour prendre en compte ce comportement.

II. Etude du système

II-A. Etude préliminaire du système

Le schéma de principe relatif au train avant est donné sur le **document ressource III**. Le caisson (**S1**) est en liaison pivot avec le fuselage (**S0**) de l'appareil permettant le déploiement du train. En position sortie, la rotation du tube tournant (**S2**) par rapport au caisson doit permettre l'orientation des roues pour la direction de l'appareil lors des manœuvres au sol. La commande de cette rotation est réalisée par une crémaillère agissant sur un secteur denté du tube tournant (**document ressource IV**). Ce dispositif de commande n'est pas représenté sur le **document ressource III** et ne sera pas pris en considération dans toute la partie II.

Afin d'assurer la suspension du train avant, les roues sont montées sur la tige coulissante (**S3**) en liaison pivot glissant avec le tube tournant. Le compas composé des 2 pièces principales, le compas supérieur (**S4**) et le compas inférieur (**S5**), permet alors de transmettre le mouvement de rotation du tube tournant à la tige coulissante en laissant libre le mouvement de translation.

Une contrefiche composée des 2 bras (**S6**) et (**S7**) sert à reprendre les efforts exercés sur le train et à le maintenir déployé. Elle est équipée d'un dispositif de verrouillage empêchant son repli involontaire.

II-A.1 Effectuez le graphe des liaisons de cette modélisation.

II-A.2 Donnez le degré d'hyperstatisme pour le sous-ensemble $\{(\mathbf{S0});(\mathbf{S1});(\mathbf{S6});(\mathbf{S7})\}$.

II-A.3 Donnez le degré d'hyperstatisme de l'ensemble.

II-A.4 Complétez avec les symboles normalisés des liaisons le **document réponse 1** afin d'obtenir un modèle isostatique en modifiant uniquement les liaisons suivantes :

- la liaison entre le compas supérieur et le compas inférieur;
- la liaison entre la contrefiche inférieure et le caisson;
- la liaison entre la contrefiche supérieure et la contrefiche inférieure.

Vous justifierez l'isostatisme du schéma obtenu sur le document réponse.

II-B. Etude graphique de la rentrée du train

Le corps du vérin hydraulique de commande du train est articulé en J sur le fuselage de l'appareil et sa tige est articulée en I au caisson (**voir document réponse 2**). La phase de rentrée du train correspond à la sortie de la tige du vérin. La disposition du vérin permet une étude plane de la cinématique du train et on supposera pour celle-ci une vitesse de sortie de la tige par rapport au corps du vérin de 10 mm/s.

II-B.1 Sur ce même document, représentez avec l'échelle indiquée la vitesse $\overrightarrow{V_{I,S1/S0}}$. Vous indiquerez clairement les constructions graphiques réalisées.

II-B.2 En déduire la représentation graphique de $\overrightarrow{V_{G,S7/S0}}$ et indiquez la valeur de sa norme.

III. Etude du caisson

La réalisation technique des fonctions étudiées FS1, FS2 et FS3 s'appuie sur une pièce principale du train d'atterrissage appelée « le caisson ». On étudie dans cette partie le procédé de fabrication du caisson et en particulier l'obtention du brut ainsi que l'analyse et le réglage du porte-pièce dédié à la réalisation de certaines opérations d'usinage.

III-A. Cotation

On propose d'étudier certaines spécifications dimensionnelles et géométriques du dessin de définition du caisson (**document ressource V**).

III.A.1 : Sur votre copie, interprétez la spécification dimensionnelle suivante :

$\varnothing 42 \pm 0.5 \text{ H7}$

III.A.2 : Sur les **documents réponses 3, 4 et 5**, interprétez les spécifications géométriques suivantes :

ZONE COMMUNE

$\varnothing 0.04$

E

$\perp 0.04 \text{ J}$

$\equiv 0.4 \text{ E - R R}$

III-B. Matériaux et obtention du brut

III-B.1 : Donnez la signification du matériau désigné par : Al Zn 6 Mg Cu.

La pièce brute dans laquelle est usiné le caisson est obtenue par forgeage. La pièce brute est représentée sur le **document ressource VI**.

III-B.2 : Expliquez le principe du procédé d'obtention de cette pièce brute par forgeage. Vous pourrez illustrer vos propos par un dessin.

III-B.3 : Proposez trois autres couples de matériaux / procédés envisageables pour cette application. Pour chaque couple proposé, vous indiquerez les avantages et les inconvénients dans un tableau. Justifiez alors le choix du couple matériau / procédé retenu par le constructeur.

III-C Usinage du caisson

L'usinage du caisson est réalisé au moyen de plusieurs phases d'usinage. La première phase est une phase de fraisage sur une fraiseuse 4 axes. La pièce est mise et maintenue en position au moyen d'un porte-pièce spécifique rigide. La modélisation de la mise en position de la pièce est proposée sur le **document ressource VII**.

III-C.1 A l'aide d'un outil de représentation graphique, établir les fonctions de service (fonctions principales et fonctions contraintes) à réaliser par un porte-pièce dans sa phase d'utilisation sur la machine pendant l'usinage.

III-C.2 Proposez une modélisation des liaisons entre la pièce et le porte-pièce du **document ressource VII**. La mise en position proposée est-elle isostatique ? Justifiez votre réponse. Pourquoi devrait-elle l'être ?

III-C.3 Une fois fixée sur le porte-pièce, quels défauts dus à la pièce ou au porte-pièce peuvent provoquer des variations de position et d'orientation de la pièce dans la machine?

La réalisation technologique du porte-pièce conduit à six appuis ponctuels réalisés par des supports sphériques (**document ressource VII**). Soit R le repère (O_p, X, Y, Z) associé au montage. Les points de contact M_i (avec $i = 1, \dots, 6$) entre la pièce et le porte-pièce sont définis par leurs coordonnées (x_i, y_i, z_i) et les normales de contact \vec{n}_i à chaque appui par (n_{xi}, n_{yi}, n_{zi}) . Le porte-pièce n'étant pas parfait, le point d'appui M_i du porte-pièce se déplace d'une valeur $\overrightarrow{DM_i}$ (figure 4).

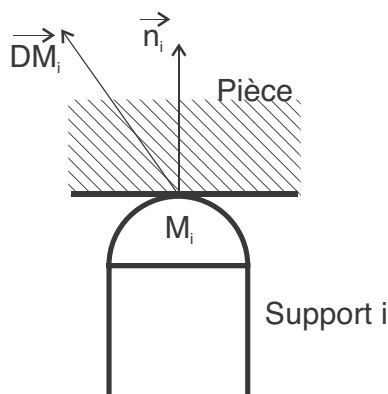


Figure 4 : modélisation du contact support i / pièce

III-C.4 : Quelle composante du vecteur $\overrightarrow{DM_i}$ est nuisible au positionnement de la pièce dans le porte-pièce et pourquoi?

On appelle ξ_i cette composante. On propose de modéliser les défauts de mise en position de la pièce au moyen d'un torseur de « petits déplacements » T exprimé au point Op de la manière suivante :

$$T = \left\{ \overrightarrow{\Omega} \quad \overrightarrow{D} \right\}_{Op} = \left\{ \begin{array}{cc} \alpha & u \\ \beta & v \\ \gamma & w \end{array} \right\}_{Op}$$

III-C.5 : Le champ de déplacements très petits étant un champ de moment de torseur, exprimez la composante ξ_i du petit déplacement $\overrightarrow{DM_i}$, engendré par un « petit déplacement » modélisé par T au point Op .

III-C.6 : En déduire l'expression du torseur N_i au point Op (appelé torseur des coordonnées plückériennes de $\overrightarrow{n_i}$) tel que le co-moment de T et N_i est égal à ξ_i .

III-C.7 : A partir des écarts ξ_i évalués sur machine à mesurer tridimensionnelle et donnés ci-dessous, des coordonnées des points et des normales de contact dans le repère R , données sur le **document ressource VII**, écrire le système linéaire permettant le calcul des écarts ξ_i en fonction des inconnues $(\alpha, \beta, \gamma, u, v, w)$ du torseur des petits déplacements T exprimé au point Op sous forme numérique. Il n'est pas demandé de résoudre le système linéaire résultant.

$\xi_1 = 0.2\text{mm}$; $\xi_2 = 0.25\text{ mm}$; $\xi_3 = 0\text{ mm}$; $\xi_4 = 0\text{ mm}$; $\xi_5 = 0.15\text{ mm}$; $\xi_6 = 0\text{ mm}$

Après résolution, on trouve :

$\alpha = 0,00069$; $\beta = 0,00013$; $\gamma = 0,00027$; $u = -0,0447\text{ mm}$; $v = -0,018\text{ mm}$; $w = 0,1257\text{ mm}$

On s'intéresse plus particulièrement à l'usinage des deux alésages $\varnothing 42 \pm 0.05$ H7 d'axes H et J.

III-C.8 : On fait l'hypothèse que les deux entités sont réalisées de la même manière. On vous demande de détailler les opérations d'usinage nécessaires à l'obtention de l'entité d'axe J en fraisage en complétant le contrat de phase du **document réponse 6**. Vous indiquerez en particulier :

- Dans la partie haute (dessin) : les croquis de la géométrie des outils utilisés et les trajectoires d'usinage de chacun des outils.
- Dans la partie basse (tableau) : la désignation des opérations, les outils utilisés (nom et matériau de l'outil) et l'ordre de grandeur des conditions de coupe pour chaque outil.

Vos choix devront intégrer la géométrie des formes à usiner et les tolérances à respecter.

III-C.9 : À partir des valeurs du torseur des petits déplacements calculées précédemment, calculez la position effective des points $H_1 (0, 230, 0)$ et $J_1 (0, -230, 0)$, centre des sections droites extrêmes extérieures des alésages H et J.

III-C.10 : On précise que les deux cylindres sont usinés selon la direction z de la machine.

ZONE COMMUNE

$\varnothing 0.04$

E

La spécification de rectitude est elle respectée ? Justifiez votre réponse. Quels sont alors les défauts engendrés au niveau des deux alésages d'axes H et J ?

III-C. 11 : Dessinez à main levée sur votre copie une solution technique permettant de régler la hauteur des appuis ponctuels compatible avec l'ordre de grandeur des écarts ξ_i mesurés.

IV. Etude statique des efforts transmis pour le pivotement de l'axe des roues

Cette étude se propose de déterminer une partie des efforts transmis lors du pivotement de l'axe des roues avant. L'étude réalisée est statique, l'appareil est considéré au repos et l'écrasement de la suspension conduit à la géométrie du compas donnée document **ressource IX**.

Sur ce même document sont précisées les actions mécaniques :

- du sol sur les 2 roues où C_p représente le couple résistant maximum de pivotement pour lequel le train est dimensionné,
- de l'huile utilisée pour l'amortissement de la suspension sur la tige coulissante;
- du compas supérieur sur le compas inférieur assimilable à un glisseur.

ainsi qu'une modélisation plus fine de la liaison entre le compas inférieur où la liaison pivot est en fait constituée de 2 liaisons rotules de centres F_1 et F_2 . On appellera composante radiale d'effort transmissible pour chacune des liaisons rotules les composantes normales à l'axe (F_1F_2) de la résultante.

IV.1 On suppose la valeur de C_p connue ($C_p = 1\,300\text{ N.m}$), déterminez la valeur numérique de F_{cs} (action du compas supérieur sur le compas inférieur) correspondant à l'équilibre du train.

IV.2 Par une démarche analytique, en déduire les composantes radiales transmises par les 2 liaisons rotules.

IV.3 Les caractéristiques de la crémaillère étant données **document ressource IV**, donnez l'effort axial qui doit être appliqué à la crémaillère pour transmettre ce couple.

IV.4 En déduire la différence de pression correspondante dans les 2 chambres aux extrémités de la crémaillère.

IV.5 Contrairement au piston de droite, la liaison entre la crémaillère et le piston de gauche présente plusieurs mobilités. Justifiez cette différence.

V. Etude de solutions constructives

Cette partie conduit à la réalisation technique de la liaison entre le compas supérieur et le compas inférieur ainsi que la liaison entre le compas supérieur et le tube tournant. Il est rappelé que la fonction du compas est de transmettre la rotation du tube tournant à la tige coulissante tout en leur laissant la possibilité de coulisser l'un dans l'autre.

La solution technique retenue pour la réalisation de ces liaisons est d'utiliser des coussinets en bronze. La liaison entre le compas supérieur et le tube tournant se fera par 2 paliers, et la liaison entre le compas supérieur et le compas inférieur se fera par un seul palier (leurs positions sont indiquées sur le **document réponse 7**). Ces paliers seront lubrifiés à la graisse avec utilisation de graisseurs pour le renouvellement de la graisse lors des périodes de maintenance. Le détail de ces éléments est donné sur le **document ressource VIII**.

V-A Questions préliminaires

V-A.1 Précisez ce qui rend l'emploi de paliers lisses plus adapté à l'utilisation de roulements.

V-A.2 Rappelez les critères de dimensionnement d'un palier lisse.

V-A.3 Montrez que la pression spécifique p servant de critère de dimensionnement pour un palier lisse, et définie par :

$$p = \frac{F}{L.D}$$

correspond à une pression uniforme sur un demi palier pour une charge radiale centrée F transmise par le palier, et où L et D représentent respectivement la longueur et le diamètre du palier.

V-B Conception des liaisons

Pour cette partie de conception, il est demandé de répondre sur le **calque pré-imprimé format A3 document réponse 7**.

Une attention particulière sera portée sur la qualité graphique, sur les ajustements fonctionnels permettant le fonctionnement et le montage ainsi qu'à la définition des formes nécessaires à la compréhension du système. Ces formes devront être compatibles avec un procédé d'obtention probable.

V-B.1 Concevez la liaison **tube tournant / compas supérieur** en respectant les points suivants :

- utilisation de coussinets en bronze dont les formes peuvent être spécifiques si nécessaire;
- dispositif de graissage des paliers par utilisation de graisseurs;
- jeu axial réglable de 0.1 ± 0.025 mm;
- facilité de montage/démontage;
- blocage de sécurité des éléments de visserie utilisés.

Vous indiquerez sur le dessin les ajustements préconisés.

De plus, le dimensionnement des paliers s'appuiera sur les points suivants :

- charge radiale Fr_1 devant être supportée par les paliers de 17 000 N;
- charge axiale Fa_1 devant être supportée par les paliers de 8 600 N;

V-B.2 Justifiez du bon dimensionnement de vos paliers vis à vis du critère de pression spécifique p pour cette liaison sur votre copie.

V-B.3 Concevez la liaison **compas supérieur / compas inférieur** en respectant les points suivants :

- utilisation de coussinets en bronze dont les formes peuvent être spécifiques si nécessaire;
- dispositif de graissage du palier par utilisation d'un graisseur;
- jeu axial réglable de 0.1 ± 0.025 mm;
- facilité de montage/démontage manuel sans outillage particulier ⁽¹⁾;
- blocage des éléments de visserie utilisés.

Vous indiquerez sur le dessin les ajustements préconisés.

De plus, le dimensionnement du palier s'appuiera sur les points suivants :

- charge radiale Fr_2 devant être supportée par le palier de 2 000 N;
- charge axiale Fa_2 devant être supportée par le palier de 8 600 N;

(1) lorsque l'appareil est tracté au sol, certaines manœuvres nécessitent une rotation de la tige coulissante d'une valeur supérieure à ce que permet la crémaillère. En démontant la liaison entre le compas supérieur et inférieur, la tige coulissante devient libre de pivoter autant que nécessaire.

