|  |
| --- |
| DOSSIER SUJET |

|  |
| --- |
| **AMÉLIORATION DES COMMANDES DE**  **GAUCHISSEMENT SUR BI-REACTEUR LÉGER** |

**Mise en situation**

Le constructeur d'un aéronef de type bi-réacteur léger a prévu son système de trim de gauchissement sur le principe de deux tabs commandés et placés sur les ailerons (un à droite et un à gauche).

Lors de la campagne d’essai d'ouverture du domaine de vol du prototype, un souci de dissymétrie en vol du trim de gauchissement est apparu suite au blocage d'un des deux tabs.

Le constructeur a donc décidé de résoudre ce problème en lançant une étude d'amélioration dans un but de gain de fiabilité et de poids.



Rappel, le trim appelé aussi compensateur de régime est un dispositif qui agit sur les efforts aux commandes. Ce dernier est réglé par le pilote, ce qui lui permet de supprimer les efforts permanents.

Initialement l’aéronef était prévu avec deux tabs (trim de gauchissement) commandés d’une longueur de 400 mm (un sur chaque demi-voilure droite et gauche).

Les différents vols d’essais et études ont démontré d’une part que le comportement de l’avion ne nécessitait pas la présence de tous ces appendices aérodynamiques et d’autre part que d’un point de vue des réglages, il faut intervenir sur chaque demi-voilure lors des opérations de maintenance, ce qui génère beaucoup de temps d’intervention.

Le constructeur demande donc d'étudier des solutions techniques en prenant en compte les contraintes suivantes :

* suppression du tab de gauchissement droit ;
* assurer la fonction trim de gauchissement avec un seul organe à gauche ;
* diminution maximale de la distance franchissable de 4 % ;
* temps maximum de manœuvre de l'organe de trim entre ses butées extrêmes : 15 s.

Ce sujet aborde l’étude de deux solutions techniques envisageables.

L’étude sera articulée en trois temps.

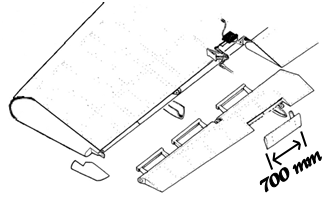
Les parties 1, 2 et 3 porteront sur l’étude de l’application de la solution 1.

La partie 4 portera sur l’étude de l’application de la solution 2.

La partie 5 sera l’étude comparative des deux solutions.

Solution 1 :

Suppression du tab sur la demi-voilure droite et implantation d’un tab commandé de plus grande dimension uniquement sur l’aileron gauche (700 mm au lieu de 400 mm).



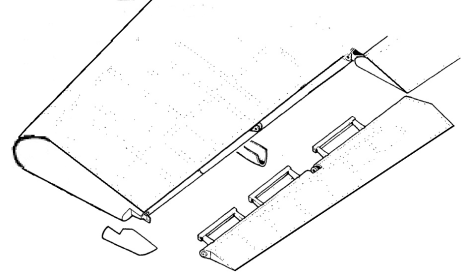
Voilure Gauche

Aileron Gauche

TAB

Solution 2 :

Suppression des deux tabs droit et gauche et mise en place d’une servocommande hydraulique actionnant directement l’aileron avec asservissement de position.



Voilure Gauche

Aileron Gauche

**Travail demandé**

PARTIE 1

*L'objectif de cette partie est de vérifier que le couple de propulseurs (deux turbofans JT15D-4) permet toujours de motoriser convenablement l'aéronef, on vérifiera les paramètres moteurs et leur influence sur la consommation et la distance franchissable.*

La modification du tab sur la voilure engendre une modification de traînée.

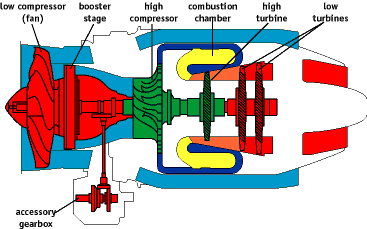
Des essais définitifs en soufflerie ont permis de chiffrer cette augmentation de traînée.

Elle est égale à **Tx = 420 N** en conditions nominales de vol, c'est-à-dire en croisière.

* **constante des gaz parfaits : R = 8,32 Jmol-1.K-1**
* **constante de Mayer : r = Cp – Cv = 287 Jkg-1.K-1**
* **masse volumique de l’air en conditions ISA : ρair = 1,225 kgm-3**
* **pouvoir calorifique du kérosène : Pci = 44 000 kJkg-1**
* **masse volumique du kérosène : ρkéro = 790 kgm-3**
* **pour un gaz parfait diatomique :**

**γ = Cp / Cv = 1,4 ; Cp = 1000 Jkg-1K-1 ;  Cv = 713 Jkg-1K-1**

* **poussée totale d’un flux chaud : Ftotale = Fbrute + Fnette + Fculot**



**S1**

**S0**

**S2**

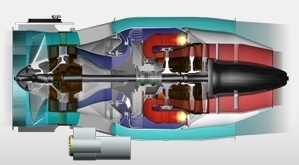
**S3**

**S4**

**S5**

**S6**





Note importante : un formulaire de thermodynamique vous est proposé en document DT 12.

**Schématisation du TurboFan**

Sachant que ce moteur double flux, possède un compresseur mixte (corps Fan + BP 1 étage axial et corps HP 1 étage centrifuge avec une turbine axiale sur le corps HP et deux turbines sur le corps BP).

La chambre de combustion est du type "inversée".

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 1.1 :** | Désigner sur le document réponse les éléments manquants dans les cases suivant la légende proposée. |
| DR 1 |

**Répartition 2 moteurs**

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 1.2 :** | Les 2 moteurs contribuant à la poussée totale appliquée à l'aéronef, calculer la poussée supplémentaire que devra fournir chaque moteur pour vaincre la traînée augmentée de 420 N.  Sachant que la poussée maximale d’un moteur dans sa version initiale D-4 est de 10 560 N, calculer en pourcentage l'augmentation de poussée qui est demandée. |
|  |

**Anomalie de compression**

L’augmentation de poussée entraîne un apport calorifique supplémentaire. Il en résulte une augmentation du taux de compression impliquant un risque accru de pompage.

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 1.3 :** | Décrire le principe de phénomène de pompage et les risques induits. |
|  |

**Dispositifs de correction**

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 1.4 :** | Citer une solution possible permettant de réduire les risques de pompage. |
|  |

**Diagramme Pression Volume**

L’étude qui suit vise à examiner l’incidence de l’augmentation de poussée sur la température T3 et T4 aux sections S3 et S4.

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 1.5 :** | Compléter sur le document réponse le diagramme P V du cycle complet (flux primaire seulement). |
| DR 1 |

**Température T3**

On se place en condition ISA corrigée avec une altitude de 18 000 pieds et une température T1 de 252°K. On considère la pression à cette altitude à 50000 Pa.

On pose l'hypothèse d'une compression adiabatique et réversible.

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 1.6 :** | Soit P3 et T3 respectivement la pression et la température des gaz en sortie compresseur HP (Section S3)  Sachant que la pression P3 est de 205600 Pa,calculer la température T3. |
| DT 12 |

**Combustion et Température T4 initiale**

À partir de cette question on considère que T3 = 380°K

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 1.7 :** | Le débit carburant initial vaut qc = 0,310 kgs-1 et la valeur du débit d’air chaud est qmair = 24,45 kgs-1.  Déterminer la température du flux T4 de la section S4 après combustion. |
| DT 12 |

**Évolution de la consommation**

La traînée supplémentaire générée par le tab oblige à vérifier les performances du moteur afin de garantir le domaine de vol de l'appareil.

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 1.8 :** | Si l'on considère que le maintien de la vitesse de croisière de l'appareil induit un  nouveau débit carburant est qc = 0,315 kgs-1, calculer la nouvelle température T4. |
| DT 12 |

**Consommation spécifique (Cs)**

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 1.9 :** | Calculer la consommation spécifique, sachant que la poussée totale après la  modification est de 11 050 N. |
| DT 12 |

**Étude du fluage**

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 1.10 :** | Cette évolution de température a-t-elle une incidence sur le fluage des aubes de turbine. Justifier votre réponse.  Citer un procédé permettant de contrôler l'état de fluage des aubes. |

**Distance franchissable**

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 1.11 :** | La distance franchissable en vol était de 2200 km. Donner sa nouvelle valeur si la consommation évolue de 0,310 à 0,315 kgs-1.  Par mesure de simplification, on considère que la distance parcourue est proportionnelle à la consommation.  Le cahier des charges autorise une diminution maximale de la distance de 4 %.  Conclure quant à la validité de la solution. |
|  |

PARTIE 2

*L'objectif de cette partie est de vérifier si les composants existants dimensionnés pour manœuvrer les tabs d’ancienne génération (de plus petite surface) peuvent convenir pour manœuvrer le tab de nouvelle génération (de plus grande surface) conformément à la solution 1.*

Pour cela nous reprenons les études existantes avec les données numériques suivantes :

* débattements angulaires du tab du système trim tab d’aileron commandé (ancienne et nouvelle génération) par rapport à la corde de l’aileron : + / -
* temps maximum imposé pour manœuvrer le système trim tab d’aileron commandé (ancienne et nouvelle génération) entre ses deux positions extrêmes (débattement angulaire de ) :
  + tmaxi = 15 s.
* largeur du tab du système trim tab d’aileron commandé (ancienne et nouvelle génération) :
  + Largeur ltab = 70 mm.
* longueur du tab du système trim tab d’aileron commandé (nouvelle génération) :
  + Longueur Ltab = 700 mm.
* norme de la résultante de l’effort maximal aérodynamique s’exerçant sur le tab du système trim tab d’aileron commandé (nouvelle génération) :
* référence du vérin avant modification : ALE-28DC41W40

Dans l’étude qui suit, nous allons chercher à déterminer la puissance mécanique minimale que devra produire la tige du vérin de l’actionneur linéaire électrique pour manœuvrer le tab de nouvelle génération (de surface plus grande).

La solution technique choisie impose de l’adapter sur la cinématique du tab d’ancienne génération (Dossier Technique **DT 5** à **DT 11**).

Dans l’étude qui suit on négligera le poids des éléments étudiés.

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 2.1 :** | Déterminer graphiquement, sur le schéma cinématique du système trim tab du document réponse, l’effort exercé par le sous-ensemble tab repère S5 (de nouvelle génération) sur la biellette de commande de tab repère S3.  Nous noterons cet effort : |
| DT 5 à 11  DR 2 |

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 2.2 :** | Identifier d’après les résultats obtenus à la question précédente en lien avec le document réponse, le type de sollicitation à laquelle est soumise la biellette de commande de tab repère S3. |
| DT 5 à 11  DR 2 |

Nous allons étudier maintenant l’équilibre statique du renvoi de commande de tab repère S2 dans la position neutre qu’occupe le mécanisme tel qu’il est représenté sur le document technique **DT 10.**

Pour cela nous donnons la modélisation des actions mécaniques suivante :

* Action mécanique exercée par la biellette de commande de tab repère S3 sur le renvoi de commande de tab repère S2, appliquée au point D0 :
* Action mécanique exercée par l’actionneur de commande de tab repère S1 sur le renvoi de commande de tab repère S2, appliquée au point B0 :

* On donne les coordonnées cartésiennes dans la base B (**,,**) du repère R (C;,,) :

On souligne que le problème n’est pas plan et on admet que la liaison mécanique entre l’aileron gauche repère S4 et le renvoi de commande de tab repère S2 est de type :

 : Liaison Pivot parfaite d’axe (C;).

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 2.3 :** | Donner l’expression littérale du torseur de l’action mécanique exercée au point C par l’aileron gauche repère S4 sur le renvoi de commande de tab repère S2. |
| DT 10 |

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 2.4 :** | Étudier l’équilibre statique du renvoi de commande de tab repère S2 et déterminer analytiquement les actions mécaniques inconnues agissant sur celui-ci. |
| DT 10 |

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 2.5 :** | Déterminer et tracer sur le document réponse la trajectoire du point B0 appartenant à S2 dans son mouvement par rapport à S4.  Nous noterons cette trajectoire : TB, S2/S4. |
| DR 3 |

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 2.6 :** | Déterminer et positionner sur le document réponsele point B1 (tige du vérin rentrée) et le point B2 (tige du vérin sortie) appartenant à S2.  Nous supposerons que le débattement angulaire du renvoi de commande de tab repère S2 est de + 15° et - 15° autour de la position neutre B0. |
| DR 3 |

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 2.7 :** | Déterminer l’expression littérale de la course de S1 en fonction des positions respectives des points A, B1 et B2 d’après la représentation du schéma cinématique, proposé sur le document réponse.  Nous noterons cette course : Ctige |
| DR 3 |
| **Question 2.8 :** | Mesurer sur le schéma cinématique du document réponse, les longueurs (AB2) et (AB1) afin de déterminer la course de S1. |
| DR3 |

On considère que la course de S1 vaut : Ctige = 32 mm quels que soient les résultats précédents.

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 2.9 :** | Calculer la vitesse moyenne Vmoyenne tige de translation de la tige de S1. |
|  |

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 2.10 :** | Déterminer, en justifiant votre réponse, sur la courbe de simulation proposée ci-dessous, la valeur maximale de la norme de l’effort FActionneur maxi que doit fournir l’actionneur linéaire électrique pour manœuvrer le tab.  **Evolution de la norme de l’effort exercé par l’actionneur linéaire électrique du tab nouvelle génération [N]**    Position angulaire du tab [°] |
|  |

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 2.11 :** | Calculer, suivant les exigences du cahier des charges, la puissance mécanique PActionneur  transmise à la tige de S1. |
|  |

Pour la suite de l’étude, on considère que l’actionneur linéaire électrique existant permet de satisfaire le CdCf du tab commandé d’ancienne génération et de nouvelle génération.

Cependant, pour des raisons de sécurité, il est souhaitable que le moteur électrique de l’actionneur de tab soit deux fois plus puissant que la puissance nominale qu’il peut développer.

L’équipementier qui fournit habituellement les actionneurs linéaires électriques possède dans son catalogue une gamme complète avec des variantes sur deux entrées : course et puissance.

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 2.12 :** | Choisir le modèle de l’actionneur linéaire électrique à retenir pour manœuvrer le tab de nouvelle génération parmi les modèles proposés dans le tableau du document technique. Justifier la réponse.  Les critères du choix sont les suivants :   * puissance minimale du moteur électrique  78 W ; * la course minimale de l’actionneur  32 mm ; * encombrement minimum. |
| DT 4 |

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 2.13 :** | L’équipementier qui fournit ces actionneurs linéaires électriques précise que le mécanisme des modèles proposés dans le tableau du document technique est irréversible.  Justifier l’intérêt de l’irréversibilité dans ce cas d’utilisation. |
| DT 4 |

PARTIE 3

*L'objectif de cette partie est d’étudier la modification engendrée par l’application de la solution 1 du point de vue électrique suite au changement d’actionneur.*

Pour la suite de cette étude on utilise l’actionneur ALE-28DC82W50 dont les caractéristiques sont données dans le Dossier Technique **DT4.**

**Étude de la modification du câblage**

L’objectif de cette partie est d’étudier la modification du câblage électrique entre le moteur et le boitier de contrôle suite au changement du type d’actionneur linéaire.

Rappel : Densité de courant (Amm-²)

L'échauffement d'un fil n'est pas le même selon qu'il est seul à courir le long du fuselage, ou noyé au milieu d’un toron à l'intérieur d'une gaine.

* fil en toron dans une gaine, régime continu : densité maxi = 5 Amm-² ;
* fil seul, régime continu : densité maxi = 10 Amm-² ;
* fil seul, régime intermittent (max 1 minute) : densité maxi = 12 Amm-² .

Pour toutes les valeurs de densité ci-dessus un coefficient de sécurité est déjà intégré.

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 3.1 :** | Sachant que le câblage circulera dans un toron sous gaine, calculer la section minimale du câblage d’alimentation du moteur ALE-28DC82W50. |
| DT 3  DT 4 |

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 3.2 :** | En prenant la section trouvée à la question 3.1, choisir à l’aide du tableau ci-dessous la jauge du câblage à mettre sur avion. |
| DT 3  DT 4 |

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 3.3 :** | Cette jauge est-elle compatible avec celle actuellement sur avion ? |
| DT 3  DT 4 |

Chute de tension en ligne

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 3.4 :** | La distance entre le boitier de contrôle et le moteur de trim est de 8 m.  Sachant que la résistivité du câble est de 1,7.10-8 Ωm, calculer la section minimale du conducteur si on veut que la chute de tension maximale en ligne au régime de fonctionnement nominal du moteur soit limité à 0,5 V. |
| DT 3  DT 4 |

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 3.5 :** | À l’aide du tableau de la question 3.2, choisir la jauge minimale à monter sur avion pour respecter la contrainte de chute de tension en ligne. |
|  |

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 3.6 :** | En fonction des jauges de câble que vous avez trouvées aux questions 3.2 et 3.5, donner celle qu’il faut utiliser sur avion pour l’application de la solution 1. |
|  |

**Étude de la chaine de mesure de position du tab**

Le changement du vérin induit un changement de course. Le réglage de la chaîne de mesure doit être reconsidéré afin de ne pas avoir à changer l’afficheur. L’objectif de cette partie est de déterminer les nouvelles valeurs de réglage de P1 et P2.

Synoptique de la chaîne de mesure :

P2

28 Vdc

P1

Pactionneur

0 Vdc

Affichage

Pour l’ensemble de l’étude, on considérera que l’impédance du module d’affichage est très grande par rapport à celle du potentiomètre de l’actionneur donc qu’elle n’engendre pas de perturbation de la mesure.

Étude avant modification (actionneur ALE-28DC41W40 et potentiomètres P1 et P2 réglés sur 10 KΩ)

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 3.7 :** | Sachant que la course utile du potentiomètre de l’actionneurest de +/- 15 mm par rapport à son point milieu, calculer les tensions générées vers l’afficheur au point milieu et aux deux butées. |
| DT 4 |

Étude après modification (actionneur ALE-28DC82W50)

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 3.8 :** | Calculer le réglage de résistance des potentiomètres P1 et P2 pour que les tensions générées vers l’afficheur aux 3 points étudiés à la question 3.7 restent identiques. |
| DT 4 |

PARTIE 4

*L'objectif de cette partie est d’étudier la solution 2 (un actionneur de type vérin hydraulique permettant d’actionner directement l’aileron).*

*L’étude consiste à dimensionner le vérin, les tuyauteries ainsi que la pompe.*

**Données techniques**:

L’ensemble du schéma hydraulique du système est défini dans le document DR4

Le circuit :

* la pression choisie dans le circuit HP est de 34,5 bar et dans le circuit BP de 2,5 bar ;
* la pompe puise le fluide dans un réservoir (bâche) pressurisé à 2,5 bar ;
* il est spécifié que le vérin est à 1 m au-dessus de la pompe.

Le fluide hydraulique:

* densité 0,78 et viscosité cinématique 9.10-6 m2s-1.

Le vérin :

* la force maximale appliquée sur le vérin de manœuvre de l’aileron sera au de5000 N ;
* la vitesse de sortie de la tige du vérin sera supposée constante et de 0,5 ms-1;
* le diamètre (d) de la tige du vérin est de 15 mm ;
* pour cette étude la tige du vérin est rentrée (chambre B alimentée).

Les tuyauteries :

* la vitesse maximale d’écoulement dans les tuyauteries est de 5 ms-1. On gardera cette valeur pour tous les calculs ;
* la longueur totale des tuyauteries entre la bâche et le vérin est de 8 m ;
* on suppose que la pompe et la bâche sont à la même altitude et on négligera les pertes de charge singulières.

La pompe :

* la pression est générée par une électropompe de rendement global 94 %

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 4.1 :** | Exprimer l’équation littérale permettant de calculer le diamètre du piston du vérin.  Donner la valeur numérique en arrondissant le résultat au mm. |
|  |

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 4.2 :** | Calculer le débit volumique du fluide dans l’alimentation de la chambre B du vérin pour un diamètre de piston de 45 mm. |
|  |

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 4.3 :** | Calculer le diamètre de la tuyauterie d’alimentation de la chambre HP du vérin.  Si la vitesse du fluide est au maximum de 0,5 m. s-1 dans la tuyauterie, le diamètre de la tuyauterie devra-t-il être supérieur ou inférieur à la valeur calculée ? |
|  |

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 4.4 :** | Calculer le nombre de Reynolds de l’écoulement dans la tuyauterie d’alimentation de la chambre HP du vérin et en déduire le type d’écoulement. |
|  |

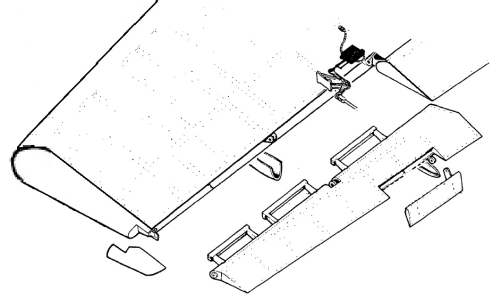
|  |  |
| --- | --- |
| **Question 4.5 :** | Calculer les pertes de charges linéaires en Jkg-1 et en Pa dans cette tuyauterie HP. |
|  |

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 4.6 :** | Calculer la puissance hydraulique de la pompe après avoir noté sur le document réponse, les points 1 et 2 de départ et d’arrivée de la résolution. |
| DR 4 |

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 4.7 :** | Calculer la puissance électrique consommée par le moteur qui entraîne cette pompe. |

PARTIE 5

*L'objectif de cette partie est de conclure sur les 2 solutions étudiées.*



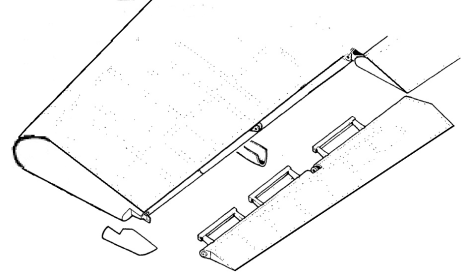
Voilure Gauche

Aileron Gauche

* Solution 1 :

Suppression du tab sur la demi-voilure droite et implantation d’un tab commandé de plus grande dimension (700 mm au lieu de 400 mm) uniquement sur l’aileron gauche.

TAB

* Solution 2 :

Voilure Gauche

Suppression des deux tabs droit et gauche et

mise en place d’une servocommande

hydraulique actionnant directement l’aileron

avec asservissement de position.

Aileron Gauche

|  |  |
| --- | --- |
| **Question 5.1 :** | En fonction des résultats trouvés aux questions précédentes, quelle solution vous paraît la plus adaptée au regard des contraintes de gain de fiabilité et de poids. |
|  |