Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV©

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
www.formav.co/explorer

Brevet de technicien supérieur

AÉRONAUTIQUE

Session 2013

Épreuve E4 – INGÉNIERIE D'ASSEMBLAGE ET DE MAINTENANCE

Sous épreuve : **ÉTUDE DE MODIFICATIONS PLURITECHNOLGIQUES**		
Unité U41	***Coefficient : 4***	***Durée : 6 heures***

Aucun document n'est autorisé

Matériel autorisé :

Calculatrice électronique de poche, y compris programmable, alphanumérique ou à écran graphique, à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout autre document et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Documents remis en début d'épreuve :

- **Dossier Sujet** DS 1 à DS 14
- **Dossier Technique** DT 1 à DT 15
- **Documents Réponses** DR 1 à DR 3
- Des feuilles de composition comportant un bandeau d'anonymat
- Des feuilles de brouillon

Documents à rendre obligatoirement en fin d'épreuve :

- Les feuilles de composition numérotées
- Les **Documents Réponses** complétés seront agrafés aux feuilles de composition

Recommandations :

- Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet
- Il est indispensable de commencer par lire la totalité du sujet
- S'il apparaît au candidat qu'une donnée est manquante ou erronée, il pourra formuler toutes les hypothèses qu'il jugera nécessaires pour résoudre les questions posées. Il justifiera, alors, clairement et précisément ces hypothèses.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

DOSSIER SUJET

Turbopropulseurs TP400 de l'aéronef A400M

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

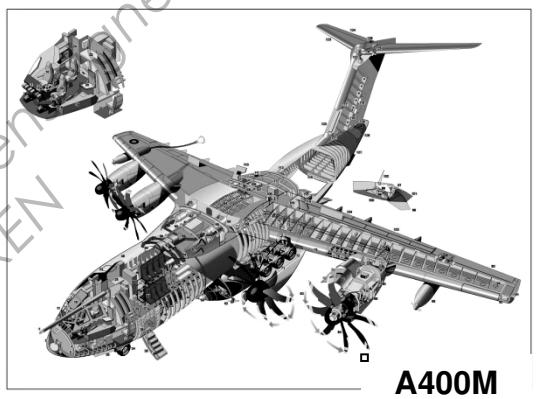
Mise en situation

Présentation de l'aéronef A400M et des moteurs TP400

L'A400M est un quadrimoteur de transport polyvalent commandé notamment par l'armée de l'air française.

Cet avion est équipé de quatre moteurs TP400 qui sont des turbopropulseurs de dernière génération.

Le moteur TP400 possède un générateur de gaz multi corps à chambre de combustion annulaire.



A400M

Présentation de la problématique

Au cours de sa mise au point, le turbopropulseur TP400 a présenté des difficultés de démarrage en conditions de basses températures provoquant des situations de « pompage » (effet d'un compresseur sur l'autre), ayant les conséquences suivantes :

- élévation exagérée de la pression induisant des refoulements vers l'entrée d'air ;
- augmentation de la température des gaz brûlés pouvant endommager les turbines ;
- vibrations importantes pouvant conduire à la détérioration des paliers ;
- bruits anormaux et violents, émission de flammes, extinction… ;
- chute de puissance.



Un moteur étant conçu pour fonctionner sans pompage dans un domaine d'utilisation défini, il est possible de rencontrer ce phénomène en explorant les limites d'utilisation du moteur ou en cas d'anomalie.

Le phénomène de pompage peut se manifester dans les cas suivants :

- dans le circuit amont : entrée d'air obstruée, compresseur endommagé, adaptation inertielle des compresseurs ;
- dans le circuit aval : réduction de la section de sortie, chambre et/ou turbine endommagée(s).

Le pompage peut se produire également lors d'une accélération trop brutale ou, dans le cas d'un turbomoteur, lorsqu'il y a surcharge et chute de régime.

Les problèmes rencontrés se sont traduits par des retards de mise au point et ont provoqué des avaries au niveau des compresseurs et des turbines.

Pour remédier au phénomène de pompage, les paramètres d'exploitation des moteurs ont été modifiés selon les points suivants :

- la régulation électrique a dû être adaptée aux nouvelles conditions de couple et de puissance ;
- les conditions de combustion et de détente turbine ont dû être revues. De ce fait la poussée s'est trouvée modifiée ;
- le réducteur a dû être modifié afin d'optimiser les régimes de rotation de l'hélice et les couples résistants par une meilleure maîtrise de l'inertie lors du démarrage ;
- l'instrumentation a dû être revue pour permettre les essais en vol des moteurs sur des appareils de plus ancienne génération.

Trame de l'étude

En premier lieu il sera demandé d'identifier les systèmes présents dans l'aéronef étudié, assurant d'une part la génération électrique (partie 1) et d'autre part la propulsion (partie 2).

Ensuite la problématique du pompage est abordée dans la partie 3, et il est demandé de valider les performances théoriques du moteur après que des modifications des conditions d'exploitation des moteurs aient été appliquées pour supprimer le pompage. Les conditions de mise en rotation de l'hélice (démarrage moteur) sont ensuite vérifiées dans la partie 4.

Les nouvelles conditions d'exploitation des moteurs sont testées en conditions réelles sur un aéronef (Hercule C130) dédié spécifiquement aux tests de moteurs. Les problèmes techniques liés à l'interfaçage de la commande des moteurs sur cet aéronef font l'objet de l'étude dans la partie 5.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Travail demandé

PARTIE 1 – Composants de la génération électrique

Le but de cette partie est d'appréhender les différents composants de la génération électrique. À partir de la documentation fournie dans le dossier DT 4/15 à DT 10/15, répondre sur feuille de copie par des phrases simples et concises aux questions suivantes.

Étude des batteries.

Question 1.1 : DT 4/15 à DT 10/15	**Indiquer** le nombre de batteries présentes sur ce type d'avion.

Question 1.2 : DT 4/15 à DT 10/15	**Donner**, pour chaque batterie, son repère sur le schéma électrique et le BUS qu'elle alimente.

Question 1.3 : DT 4/15 à DT 10/15	**Préciser** en quelques lignes le rôle de chaque batterie.

Étude des alternateurs.

Question 1.4 : DT 4/15 à DT 10/15	**Donner** la signification de VFGs.

Question 1.5 : DT 4/15 à DT 10/15	**Indiquer** le nombre d'alternateurs principaux présents.

Question 1.6 : DT 4/15 à DT 10/15	**Donner**, pour chaque alternateur, son repère sur le schéma électrique et le BUS qu'il alimente.

Question 1.7 : DT 4/15 à DT 10/15	**Préciser** en quelques lignes leur rôle.

Question 1.8 : DT 4/15 à DT 10/15	**Préciser** leurs principales caractéristiques électriques (tension, nombre de phases, …).

Étude de l'APU.

Question 1.9 : DT 4/15 à DT 10/15	**Donner** la signification de « APU ».

Question 1.10 : DT 4/15 à DT 10/15	**Indiquer** sa position physique et son repère sur avion en utilisant la vue détaillée de l'avion.

Question 1.11 : DT 4/15 à DT 10/15	**Donner** son repère sur le schéma électrique et le BUS qu'il alimente.

Question 1.12 : DT 4/15 à DT 10/15	**Préciser** en quelques lignes son rôle.

Question 1.13 : DT 4/15 à DT 10/15	**Préciser** ses principales caractéristiques électriques (tension, nombre de phases, …).

Banque Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Étude de la RAT.

Question 1.14 : DT 4/15 à DT 10/15	**Donner** la signification de « RAT ».

Question 1.15 : DT 4/15 à DT 10/15	**Indiquer** sa position physique et son repère sur avion en utilisant la vue détaillée de l'avion.

Question 1.16 : DT 4/15 à DT 10/15	**Donner** son repère sur le schéma électrique et le BUS qu'elle alimente.

Question 1.17 : DT 4/15 à DT 10/15	**Préciser** en quelques lignes son rôle.

Question 1.18 : DT 4/15 à DT 10/15	**Préciser** ses principales caractéristiques électriques (tension, nombre de phases, …).

Étude de l'alimentation électrique par groupe de parc.

Question 1.19 : DT 4/15 à DT 10/15	**Indiquer** combien de prises de parc sont présentes.

Question 1.20 : DT 4/15 à DT 10/15	**Préciser** leurs principales caractéristiques électriques.

Étude du BCRU.

Question 1.21 : DT 4/15 à DT 10/15	**Donner** la signification de « BCRU ».

Question 1.22 : DT 4/15 à DT 10/15	**Préciser** quel est son rôle.

Question 1.23 : DT 4/15 à DT 10/15	**Donner** le niveau des tensions d'entrée et de sortie.

Question 1.24 : DT 4/15 à DT 10/15	**Représenter** le BCRU sous la forme d'un actigramme A-0 (matière d'œuvre entrante, matière d'œuvre sortante, fonction du système, nom du système).

Étude du TRU.

Question 1.25 : DT 4/15 à DT 10/15	**Donner** la signification de « TRU ».

Question 1.26 : DT 4/15 à DT 10/15	**Préciser** quel est son rôle.

Question 1.27 : DT 4/15 à DT 10/15	**Donner** le niveau des tensions d'entrée et de sortie.

Question 1.28 : DT 4/15 à DT 10/15	**Représenter** schématiquement les éléments électriques qui permettent de réaliser ce convertisseur (indiquer les tensions d'entrée et de sortie).

Question 1.29 : DT 4/15 à DT 10/15	**Représenter** le TRU sous la forme d'un actigramme A-0 (matière d'œuvre entrante, matière d'œuvre sortante, fonction du système, nom du système).

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Étude des inverter.

Question 1.30 : DT 4/15 à DT 10/15	**Indiquer** quel est le rôle de l'inverter.

Question 1.31 : DT 4/15 à DT 10/15	**Donner** le niveau des tensions d'entrée et de sortie.

Question 1.32 : DT 4/15 à DT 10/15	**Représenter** l'inverter sous la forme d'un actigramme A-0 (matière d'œuvre entrante, matière d'œuvre sortante, fonction du système, nom du système).

Synthèse : étude du synoptique de la génération électrique.

Question 1.33 : DT 4/15 à DT 10/15 DR 1/3	**Colorier en bleu**, sur le document réponse DR 1/3, les éléments fournissant le DC et **tracer en bleu** les liaisons correspondantes entre ces éléments.

Question 1.34 : DT 4/15 à DT 10/15 DR 1/3	**Colorier en vert**, sur le document réponse DR 1/3, les éléments fournissant l'AC et **tracer en vert** les liaisons correspondantes entre ces éléments.

Question 1.35 : DT 4/15 à DT 10/15 DR 1/3	**Représenter** par des flèches, sur le document réponse DR 1/3, le sens du transfert de courant entre les différents éléments en respectant le code de couleur utilisé précédemment.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

PARTIE 2 – Structure des moteurs

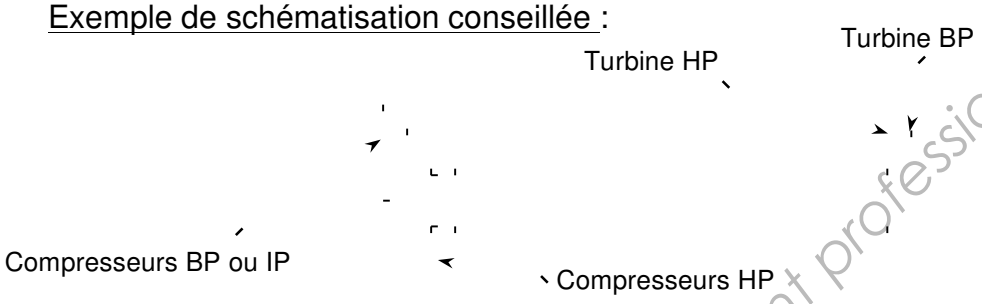
Le but de cette partie est d'identifier les différents composants et structures du moteur.

Question 2.1 :
DT 12/15

À partir de la coupe du moteur fournie ci-dessous par le constructeur, **proposer** sur votre copie d'examen un schéma de structure des différents corps HP et IP en respectant les nombres d'étages aux compresseurs et aux turbines.

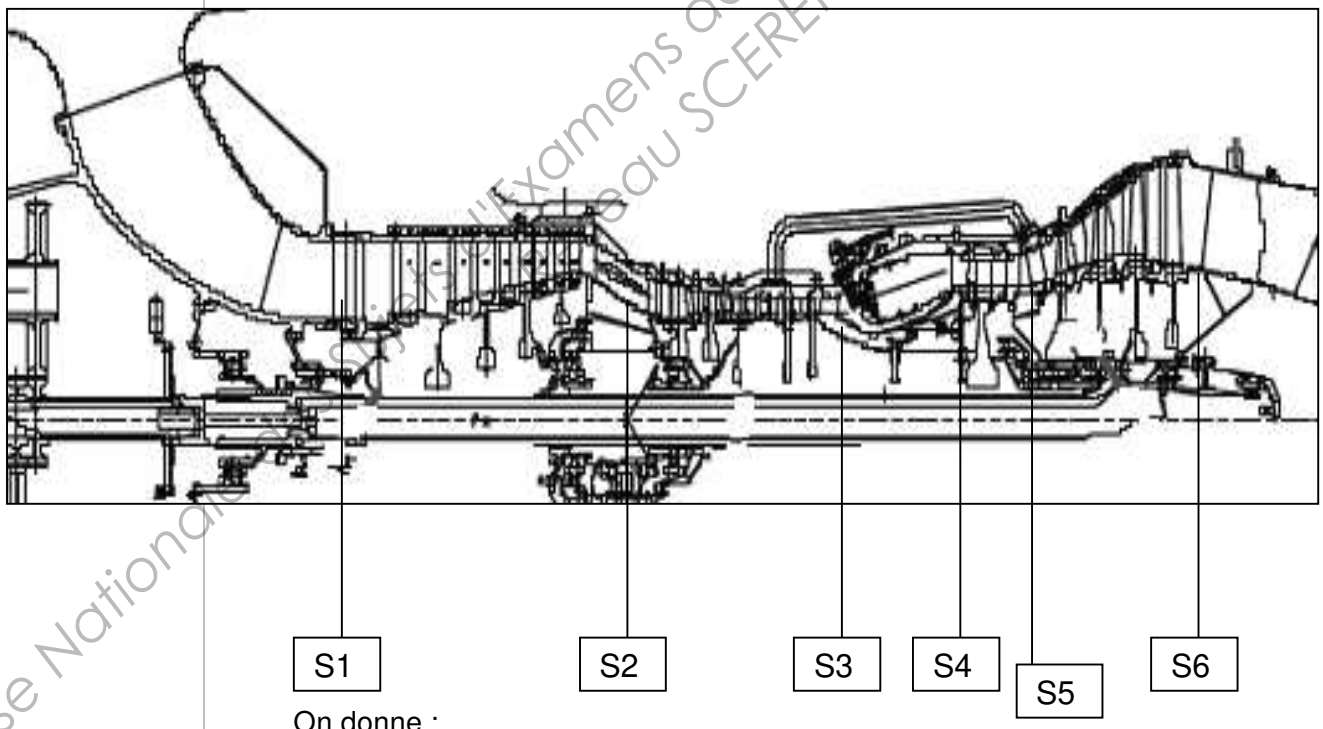
Il est demandé de respecter la schématique suivante propre aux turbomachines.

Exemple de schématisation conseillée :



Votre schéma devra faire apparaître clairement ces différentes sections, dont les indices caractériseront ultérieurement les températures, pressions et volumes de la masse d'air s'écoulant dans la machine. Paramètres qui seront soit donnés, soit à calculer.

Coupe Générateur de gaz TP400 :



On donne :

- S1 → section entrée compresseur IP
- S2 → section entrée compresseur HP
- S3 → section entrée chambre combustion
- S4 → section entrée turbine HP
- S5 → section entrée turbines IP
- S6 → section sortie turbines IP

Base Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

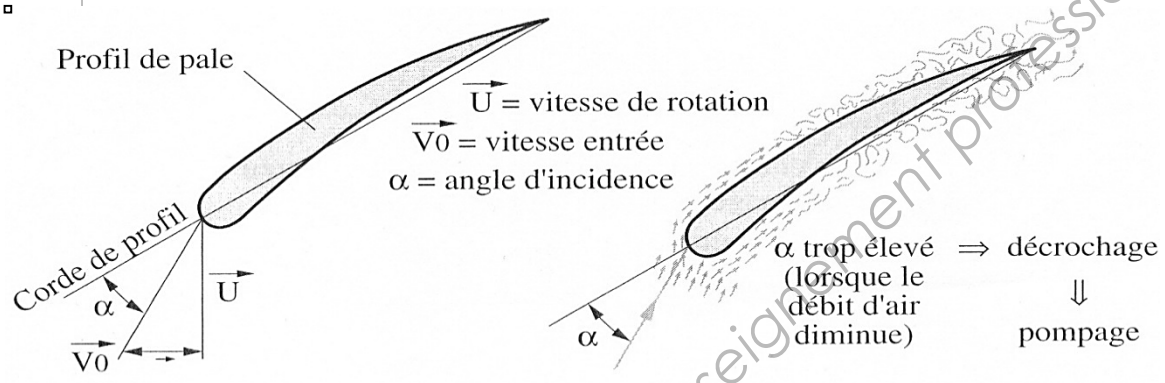
PARTIE 3 – Résolution du phénomène de pompage

Le but de cette partie est d'analyser le pompage et de résoudre les problèmes thermodynamiques associés.

Question 3.1 :
DT 11/15 à DT 15/15

Les difficultés de démarrage du moteur ont été résolues par notamment une augmentation de la puissance calorifique aux régimes de rotation caractéristiques de cette phase.

À partir du croquis ci-dessous, **expliquer** clairement le phénomène de pompage pouvant survenir au compresseur HP.



Question 3.2 :
DT 11/15 à DT 15/15

Répertorier les trois dispositifs de correction du pompage pouvant être installés sur ce type de compresseur. **Expliquer** leur fonctionnement (ne pas négliger l'usage de croquis).

Détermination des paramètres du flux dans les différentes sections du moteur.

Question 3.3 :
DT 11/15 à DT 15/15

Tracer qualitativement le diagramme enthalpique PV du cycle complet (flux primaire seulement).

Calculer le débit massique qui transite dans le flux chaud.

Pour cela on donne :

S1 = 0,75 m^2 [Section d'entrée du compresseur]

v1 = 64 m/s [vitesse de l'air à l'entrée du compresseur]

Nous prendrons une masse volumique correspondant à un point fixe en conditions ISA.

Question 3.4 :
DT 11/15 à DT 15/15

Calculer la température T2 à la sortie du compresseur IP, sachant que le taux de compression de l'ensemble IP est $\tau_{IP} = 7$. **Expliciter** les calculs.

Remarque : $\tau_{IP} = \frac{P2}{P1}$

Préciser sur le diagramme PV de la question précédente ce que représente le travail équivalent à la compression IP.

Calculer ce travail.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

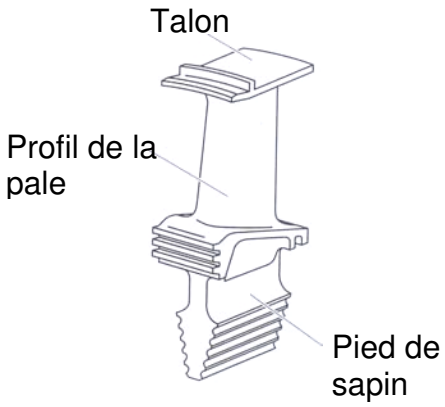
Question 3.5 : DT 11/15 à DT 15/15	Si la température T3 est de 520 K, **déterminer** le taux de compression de l'ensemble HP que l'on notera τ_{HP}. **Calculer** ensuite le taux de compression global.

Question 3.6 : DT 11/15 à DT 15/15	Si le débit de carburant lors du démarrage est caractérisé par un dosage (kéro/air) de 1/42, alors **calculer** la température T4 des gaz en fin de combustion en ne considérant que l'apport calorifique du carburant (Rappel : chaleur massique de l'air 1000 J/kg/K). **Calculer** la pression P4 et le volume V4 correspondant à l'expansion des gaz après combustion. On rappelle que ces paramètres influenceront les conditions de pompage. **Préciser** les hypothèses de calcul relatives aux conditions thermodynamiques.

Question 3.7 : DT 11/15 à DT 15/15	Si le taux de détente en turbine équivaut à 80% du taux de compression global des étages compresseurs (le reste de la détente s'effectuant dans la tuyère), alors **déterminer** la température T6. On considèrera pour cela que : P6 / P4 = 0,8 x (P1 / P3) **Indiquer** si cette température est importante pour la surveillance moteur par le FADEC ; **justifier** votre réponse.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Étude du fluage sur les pales de turbine.

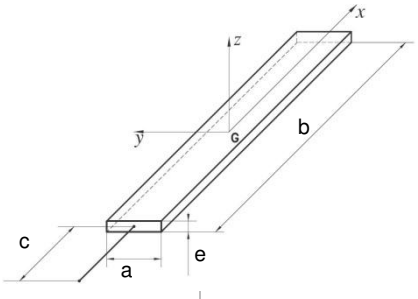
Question 3.8 : DT 11/15 à DT 15/15	Une des détériorations des étages turbine vient du fluage des pales de ces étages. **Expliquer** ce qu'est le fluage élastique et plastique et en quoi ces phénomènes affectent le potentiel du moteur. **Expliquer** le rôle des systèmes de contrôle de jeu carter/turbine de type HPTCC ou LPTCC (Hight and Low pressure control clearance). 

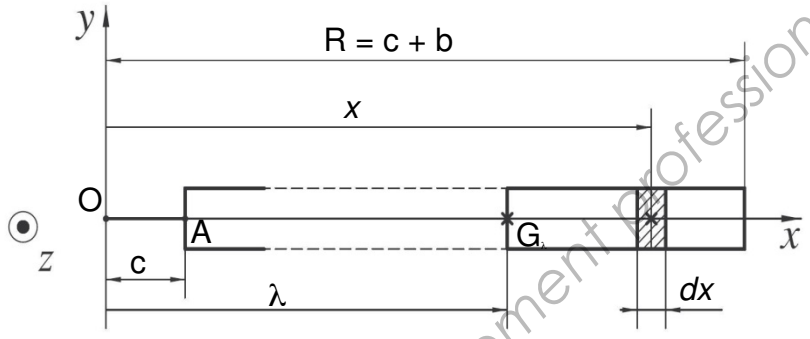
Question 3.9:

DT 11/15 à DT 15/15

Le fluage produit un allongement de la pale qui est modélisée par une poutre encastrée sur un disque tournant et soumise à de la traction due aux effets des forces fictives centrifuges.

On donne ci-dessous le modèle d'une pale de turbine, encastrée au point A sur un disque, tournant autour d'un axe (O, $\vec{z}$) à une vitesse angulaire ω :





Après l'étude dynamique d'une pale, il en résulte que l'évolution de la composante normale N du torseur des efforts de cohésion dans une section courante d'abscisse λ est de la forme suivante :

Avec : $$N(\lambda) = \rho \cdot \omega^2 \cdot S \cdot \int_{\lambda}^{R} x\, dx$$

ρ : masse volumique du matériau (acier réfractaire) constituant la pale (7850 kg/m^3).

S : section droite constante de la pale (e x a = 400 mm^2).

R : rayon extérieur de la pale (270 mm).

c : rayon intérieur de la pale (239 mm).

ω : vitesse angulaire du corps HP (1676 rad/s).

$E_{\text{à froid}}$: module d'élasticité longitudinal, à froid, du matériau constituant la pale (200000 MPa).

$E_{\text{à chaud}}$: module d'élasticité longitudinal, à chaud, du matériau constituant la pale (100000 MPa).

Expression de l'allongement total de la pale étudiée (noté : u) en condition froide **ou** chaude :

$$u = \int_{\lambda=c}^{\lambda=R} \frac{N(\lambda)\omega}{E \times S} d\lambda = \rho \frac{^2}{E} \left[\frac{R^3}{3} - \frac{R^2.c}{2} + \frac{c^3}{6} \right]$$

Calculer l'allongement d'une pale en condition froide et l'allongement d'une pale en condition chaude.

Nous noterons ces allongements : $u_{\text{à froid}}$ et $u_{\text{à chaud}}$.

Préciser quelle condition de fonctionnement donne l'allongement le plus important ; **justifier** votre réponse.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Choix de matériau des pales de turbine.

Question 3.10 : DT 11/15 à DT 15/15	**Déterminer** la contrainte normale de traction, engendrée par les effets centrifuges, en pied de pale et **choisir** un matériau parmi les exemples donnés ci-dessous. Pour cela nous considèrerons : ∗ Section de pied de pale : 160 mm^2 ∗ Norme de l'effort de traction dans chaque pale : 110700 N ∗ Acier type 1 : R_e = 350 MPa ∗ Acier type 2 : R_e = 700 MPa ∗ Acier type 3 : R_e = 1200 MPa ∗ Coefficient de sécurité minimum : s_{mini} = 1,2

Vérification du bon fonctionnement de la turbomachine aux nouvelles températures.

Question 3.11 : DT 11/15 à DT 15/15	Afin de contrôler le fluage lors du démarrage, le constructeur a procédé à une diminution du dosage carburant maintenant égal à 1/45. Cela a conduit à un taux de compression diminué, limitant ainsi les performances mais rendant la machine moins sensible au pompage. **Préciser et justifier** simplement, sans faire de calcul, si les nouvelles températures T4 et T6 augmentent ou diminuent.

Question 3.12 : DT 11/15 à DT 15/15	**Préciser** ce qu'est la poussée résiduelle d'un turbopropulseur. **Indiquer** si celle-ci augmente ou diminue en fonction de l'évolution de la température T6.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

PARTIE 4 – Étude de la phase de démarrage du moteur

Le but de cette partie est d'étudier l'adaptateur de vitesse situé entre l'arbre entraîné par la turbine basse pression IP et l'hélice.

Répartition de la puissance mécanique.

Question 4.1 : DT 11/15 à DT 15/15	**Calculer**, à partir des données fournies, pour un turbopropulseur en régime permanent, les puissances suivantes exprimées en Watt : $P_{élec}$, P_{hydrau}, P_e.
Question 4.2 : DT 11/15 à DT 15/15	**Calculer**, d'après les données fournies, le rapport de transmission d'entrée/sortie de l'adaptateur de vitesse situé entre l'arbre entraîné par la turbine basse pression du turbopropulseur et l'hélice. Nous noterons ce rapport de transmission : $i_{e/s} = \frac{\omega_e}{\omega_s}$
Question 4.3 : DT 11/15 à DT 15/15	**Déterminer**, en fonction du résultat obtenu à la question précédente, la nature de cet adaptateur de vitesse ainsi que le sens de rotation de l'hélice en fonction du sens de rotation de l'arbre d'entrée.
Question 4.4 : DT 11/15 à DT 15/15	**Calculer** la puissance nominale, exprimée en Watt, disponible sur l'hélice sachant que chaque étage de l'adaptateur de vitesse est affecté d'un rendement de 95% et que la puissance nominale d'entrée de l'adaptateur de vitesse entraînant l'hélice (notée : P_e) est estimée à 9500 ch. Nous noterons cette puissance : P_s
Question 4.5 : DT 11/15 à DT 15/15	**Calculer** la vitesse angulaire à laquelle doit tourner l'arbre entraîné par la turbine basse pression du turbopropulseur (notée : ω_2) afin que l'hélice tourne à sa fréquence de rotation nominale $N_{hélice}$ = 842 tr/min, correspondant à son point de fonctionnement. Pour cette question nous prendrons comme loi d'entrée/sortie de l'adaptateur de vitesse la relation suivante : $\omega_s = 0{,}114 \times \omega_e$.

Étude de la mise en rotation de l'hélice lors de la phase de démarrage du moteur.

Données et hypothèses :

- La fréquence de rotation nominale de la turbine basse pression du turbopropulseur a pour valeur :
  N_2 = 7390 tr/min
- Le modèle retenu de l'hélice est donné sur le document **DT 14**.
- La liaison pivot d'axe (B, $\vec{y}_0$) est parfaite.
- Le moyeu de l'hélice est considéré comme étant un disque homogène en acier plein dont les caractéristiques dimensionnelles sont les suivantes :
  Diamètre : d_{moyeu} = 500 mm.
  Épaisseur : e_{moyeu} = 200 mm.
- L'hélice est parfaitement équilibrée et son centre de gravité $G_{hélice}$ est confondu avec le point O.

Base Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

∗ À la fin de la phase de démarrage, le régime culmine à 70 % du nominal (IDLE) sachant que :

$$N_2 = N_e = \frac{178 \times 93}{46 \times 41} \times 842 \approx 7390 \text{ tr/min}$$

∗ Lors de la phase de démarrage du moteur les pales de l'hélice sont calées avec un pas nul (transparence). Nous considèrerons alors que la seule action mécanique agissant sur l'hélice, pendant sa mise en rotation, est le couple $\overrightarrow{C_s}$ supposé constant et se projetant positivement sur l'axe (O, $\vec{y}_0$) avec la norme suivante :

$$\|\overrightarrow{C_s}\| = 5.10^3 \text{ N.m}$$

Question 4.6 : DT 11/15 à DT 15/15	**Calculer**, d'après les données fournies, la masse du moyeu de l'hélice. Nous noterons cette masse : m_{moyeu}

Question 4.7 : DT 11/15 à DT 15/15	**Écrire** le théorème du moment dynamique appliqué à l'hélice, lors de la phase de démarrage du moteur et calculer la valeur de l'accélération angulaire de l'hélice. Sachant que nous avons : $\left[I_{(O,\vec{y}_0)}\right]_{hélice} = 1947 \text{ kg.m}^2$ Nous noterons cette accélération : $\alpha(t) = \frac{d\omega(t)}{dt}$

Question 4.8 : DT 11/15 à DT 15/15	**Calculer**, à partir de l'accélération déterminée précédemment, le temps au bout duquel l'hélice atteint sa fréquence de rotation correspondant à la fin de la phase de démarrage du moteur. Nous noterons ce temps : $t_{Démarrage}$ **Spécifier**, en justifiant la réponse, si ce temps de démarrage est satisfaisant.

PARTIE 5 – Éssais en vol

Le but de cette partie est d'étudier l'interfaçage du nouveau turbopropulseur TP400 sur l'avion de test Hercules C130, ce qui a également retardé le programme A400M suite à des incompatibilités d'instruments de bord.

Question 5.1 :	**Indiquer** quels peuvent être les problèmes d'interfaçage du point de vue avionique entre l'A400M et l'Hercules C130.

Question 5.2 : DR 2/3	La photographie proposée sur le document réponse DR 2/3 représente le cockpit de l'A400M. **Entourer** sur la photographie la zone concernant les indicateurs relatifs aux moteurs. **Donner**, sur le document réponse DR 2/3, le nom usuel du système d'affichage associé.

Question 5.3 :	En plus de l'indication de fréquence de rotation, **citer** les autres afficheurs de surveillance typiques d'un turbopropulseur. Quand l'aiguille de l'indicateur de vitesse de rotation se situe sur l'arc de couleur rouge, s'agit-il de la vitesse maximale atteinte ou d'une plage de vitesse à éviter ?

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Le transfert et codage des données entre le FADEC et les différents calculateurs embarqués se fait par la norme AFDX qui est principalement un sous-ensemble de l'ARINC 664, développé par Rockwell Collins pour Airbus. Ce bus entre dans le concept de l' « avionique nouvelle » qui a été utilisé en premier dans l'Airbus A380 et qui dorénavant est également utilisé sur l'A400M.

Le format des messages est le suivant :



Avec :

PA : préambule de 56 bits qui permettent à la station réceptrice de détecter et de synchroniser le signal.

SFD : délimiteur de début de trame d'1 octet.

FCS : vérification de la trame par un CRC (Cyclic Redundancy Check) de 4 octets.

Question 5.4 :	**Indiquer** sur votre feuille de copie la nature et la fonction des autres parties du code données ci-dessous : DA SA L/T DATA

Analogie avec un codage existant

La norme ARINC 664 est issue du concept ETHERNET. L'Ethernet est basé sur un principe de dialogue sans connexion et donc sans fiabilité. Les trames sont envoyées par l'adaptateur sans aucune procédure de type « handshake » avec l'adaptateur destinataire. Le service sans connexion d'Ethernet est également non-fiable, ce qui signifie qu'aucun acquittement, positif ou négatif, n'est émis lorsqu'une trame passe le contrôle CRC avec succès ou lorsque celle-ci échoue. Cette absence de fiabilité constitue sans doute la clé de la simplicité et des coûts modérés des systèmes Ethernet.

Adresses destination et source :

Ce champ est codé sur 6 octets et représente l'adresse MAC (Medium Access Control) de l'adaptateur destinataire. Dans le cadre d'un broadcast, l'adresse utilisée est FF-FF-FF-FF-FF-FF.

Ether Type :

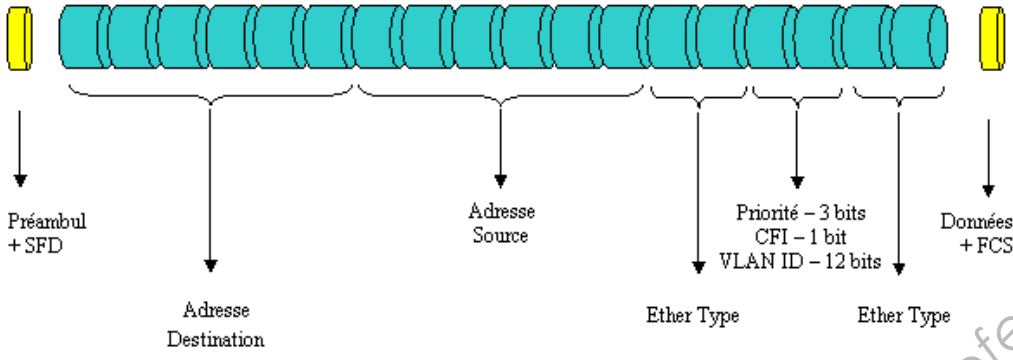
Ce champ est codé sur 2 octets et indique le type de protocole inséré dans le champ donné.

Voici un extrait des différentes correspondances :

0x6000 - DEC	0x8019 - Domain
0x0609 - DEC	0x8035 - RARP
0x0600 - XNS	0x809B - AppleTalk
0x0800 - IPv4	0x8100 - 802.1Q
0x0806 - ARP	0x86DD - IPv6

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

La représentation d'une trame type est donnée ci-dessous:



Question 5.5 : DR 3/3	On donne un extrait d'une trame AFDX dont le codage est donné en hexadécimal : **08200C001085220D72080000080045000041254BA20418006001CC2A1B247C2B59102** NOTA : Les parties PA et SFD ont été enlevées. Sur le document réponse DR 3/3, **entourer et indiquer** les parties DA, SA et **justifier** que le type de protocole utilisé est l'IPV4.

Question 5.6 : DR 3/3	Sur le document réponse DR 3/3, **compléter** le tableau et **indiquer** les deux différences principales entre le protocole AFDX et l'ARINC 429.

Question 5.7 :	**Indiquer** l'équivalent de la fonction FCS de l'AFDX sur ARINC 429.

Question 5.8 : DR 3/3	Sur le document réponse DR 3/3, pour la trame ARINC 429 donnée, **indiquer** en les entourant les parties correspondantes à la parité, la Data, le statut, l'étiquette et l'identifiant de source.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

DOSSIER TECHNIQUE

Turbopropulseurs TP400 de l'aéronef A400M

Contenu du dossier

Sommaire	**DT 1/15**
Présentation générale de l'aéronef A400M	**DT 2/15**
Vue d'ensemble de l'aéronef A400M	**DT 3/15**
Sources électriques de l'aéronef A400M	**DT 4/15**
Schéma général de la génération électrique de l'aéronef A400M	**DT 5/15**
Distribution de l'énergie électrique en courant alternatif à bord de l'aéronef A400M	**DT 6/15**
Génération électrique à partir de l'APU (Auxilary Power Unit) de l'aéronef A400M	**DT 7/15**
Génération électrique à partir de la RAT (Ram Air Turbine) de l'aéronef A400M	**DT 8/15**
Alimentation électrique à partir de la prise de parc de l'aéronef A400M	**DT 9/15**
Les batteries et les HOT BUS de l'aéronef A400M	**DT 10/15**
Présentation du moteur TP400 de l'aéronef A400M	**DT 11/15**
Vue en coupe du moteur TP400 de l'aéronef A400M	**DT 12/15**
Modélisation d'un adaptateur de vitesse en sortie de chaque moteur de l'aéronef A400M	**DT 13/15**
Modélisation des hélices de propulsion de l'aéronef A400M	**DT 14/15**
Données nécessaires aux calculs des différentes parties du sujet de l'aéronef A400M	**DT 15/15**

Base Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Présentation générale de l'aéronef A400M

Grâce à sa conception aérodynamique avancée l'A400M peut atteindre des vitesses de croisière allant jusqu'à Mach 0,72 (≈ 780 km/h) à une altitude de 37.000 pieds (≈11.300 m).

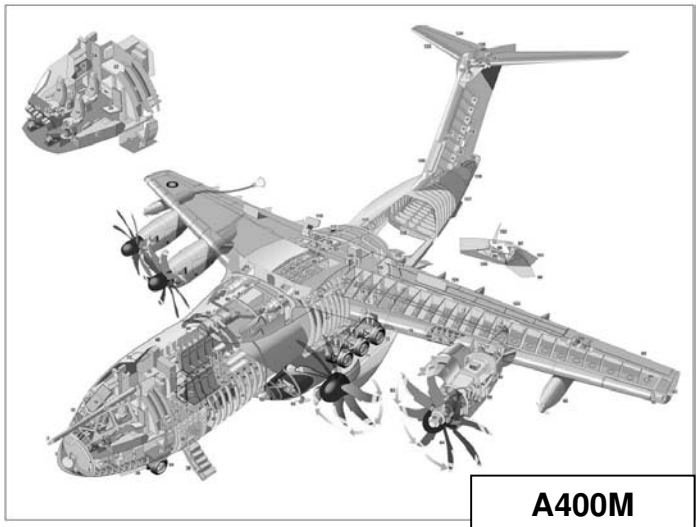
L'A400M est doté de quatre turbopropulseurs **TP400-D6** contrarotatifs entraînant des hélices à huit pales.

- Le turbopropulseur TP400-D6, développé par le consortium européen Europrop regroupant le motoriste français Snecma (Safran), le motoriste britannique Rolls-Royce, le motoriste allemand MTU et le motoriste espagnol ITP, est le turbopropulseur le plus puissant du monde occidental jamais construit. Il autorise une vitesse de croisière proche de celle des jets.
- Les hélices **FH386** Ratier-Figeac dont le diamètre est de 5,33 m possèdent 8 pales en matériaux composites, avec un longeron en fibres de carbone et une coque en composite de type « Kevlar ». De plus, les pales sont protégées contre l'érosion et les impacts par un revêtement en polyuréthanne. Par ailleurs, un dispositif de dégivrage électrique est mis en place le long du bord d'attaque inférieur, alors que la partie supérieure du bord d'attaque est pourvue d'une protection anti-impacts en nickel.
  La commande de l'hélice est intégrée au système de régulation électronique du moteur (**FADEC : F**ull **A**uthority **D**igital **E**ngine **C**ontrol), pour une meilleure ergonomie du poste de pilotage. Ce système **FADEC**, par action sur le pas des pales, est programmé de façon à sélectionner et à maintenir constante la vitesse de rotation de l'hélice à son point de rendement maximal aux conditions de vol choisies. Le système de régulation est également doté d'une capacité de mise en drapeau automatique des hélices en cas de détection de la panne d'un des moteurs, en particulier lors de la phase critique de décollage. Lors de l'atterrissage, le régulateur peut commander l'inversion de la poussée des hélices pour freiner l'avion de façon plus efficace.

Par ailleurs, le sens de rotation des hélices des moteurs internes et externes est symétrique sur les deux ailes selon le concept **DBE** (**D**own **B**etween **E**ngines) : **pales descendantes entre les moteurs**. En fait, le sens de rotation des hélices des moteurs internes et externes est symétrique sur les deux ailes. Le mouvement descendant des pales se produit entre les moteurs et ce environ au milieu de l'aile, de sorte que l'écoulement du souffle des pales soit concentré. Ceci a de nombreuses implications et notamment des efforts moindres sur la voilure, donc allègement possible de la structure, ce qui permet d'augmenter la portance. De plus, la taille de la dérive a pu être réduite, ce qui offre une plus grande distance franchissable par diminution de la trainée.

Caractéristiques :

Envergure (m)	42,40
Longueur (m)	45,10
Hauteur (m)	14,70
Surface alaire (m²)	221,5
Masse max. au décollage MTOW (tonne)	136,5
Masse max. à l'atterrissage (tonne)	120,0
Masse max. utile (tonne)	37,0
Masse totale de carburant embarquable (tonne)	47,7

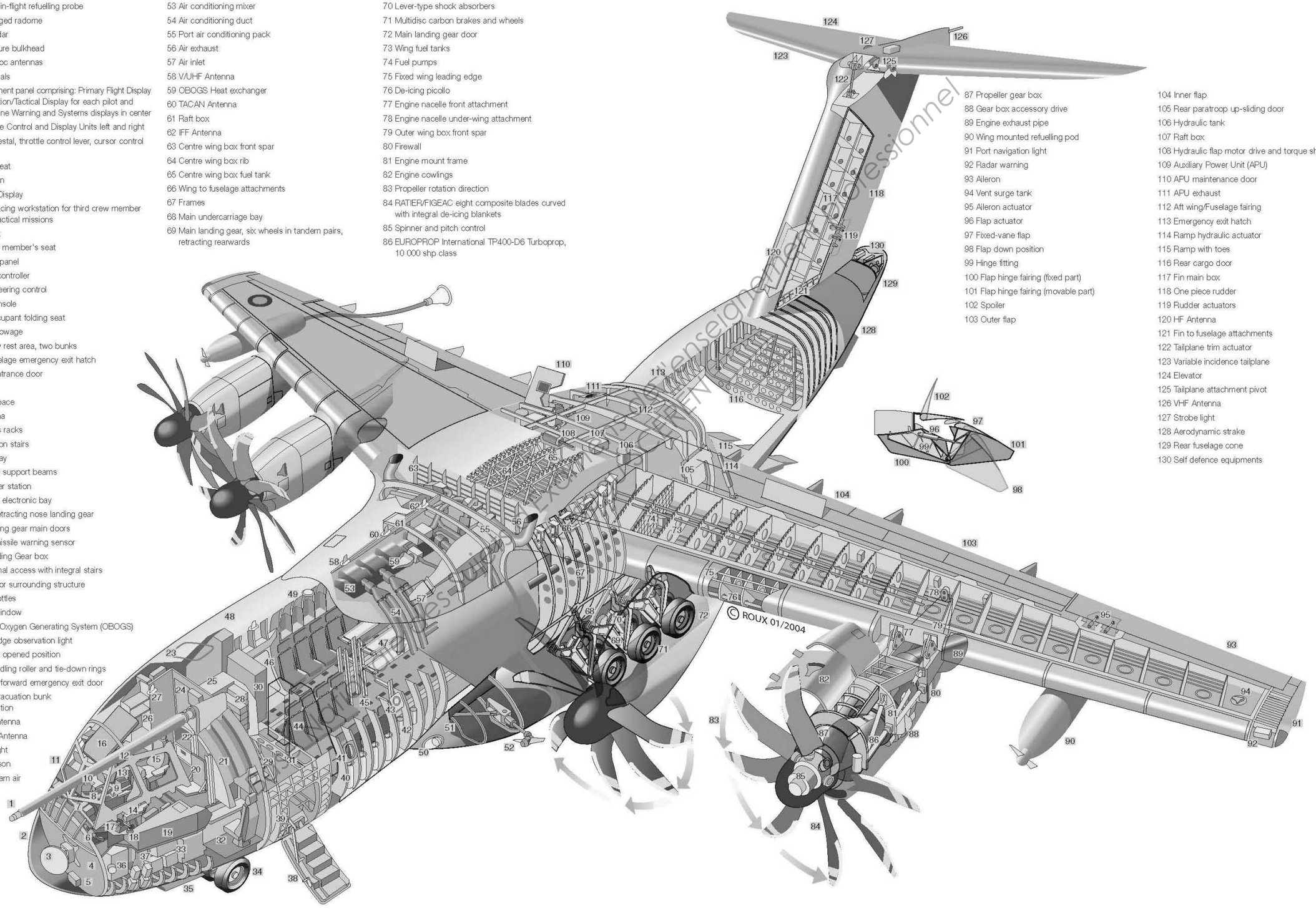


A400M

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Vue d'ensemble de l'aéronef A400M

1 Removable in-flight refuelling probe
2 Upward hinged radome
3 Weather radar
4 Front pressure bulkhead
5 Glide and Loc antennas
6 Rudder pedals
7 Front Instrument panel comprising: Primary Flight Display and Navigation/Tactical Display for each pilot and copilot, Engine Warning and Systems displays in center
8 Multipurpose Control and Display Units left and right
9 Center pedestal, throttle control lever, cursor control device
10 Copilot's seat
11 Windscreen
12 Head-Up Display
13 Forward facing workstation for third crew member to assist tactical missions
14 Pilot's seat
15 Third crew member's seat
16 Overhead panel
17 Sidestick controller
18 Ground steering control
19 Lateral console
20 Fourth occupant folding seat
21 Cockpit stowage
22 Flight crew rest area, two bunks
23 Upper fuselage emergency exit hatch
24 Cockpit entrance door
25 Galley
26 Storage space
27 IFF Antenna
28 Electronics racks
29 Flight station stairs
30 Avionics bay
31 Mezzanine support beams
32 Loadmaster station
33 Underfloor electronic bay
34 Forward retracting nose landing gear
35 Nose landing gear main doors
36 Forward missile warning sensor
37 Nose Landing Gear box
38 Crew normal access with integral stairs
39 Frame, door surrounding structure
40 Oxygen bottles
41 Forward window
42 On Board Oxygen Generating System (OBOGS)
43 Leading edge observation light
44 Troop seat opened position
45 Cargo handling roller and tie-down rings
46 Starboard forward emergency exit door
47 Medical evacuation bunk accomodation
48 TACAN Antenna
49 SATCOM Antenna
50 Landing light
51 Port sponson
52 Drop out ram air turbine
53 Air conditioning mixer
54 Air conditioning duct
55 Port air conditioning pack
56 Air exhaust
57 Air inlet
58 V/UHF Antenna
59 OBOGS Heat exchanger
60 TACAN Antenna
61 Raft box
62 IFF Antenna
63 Centre wing box front spar
64 Centre wing box rib
65 Centre wing box fuel tank
66 Wing to fuselage attachments
67 Frames
68 Main undercarriage bay
69 Main landing gear, six wheels in tandem pairs, retracting rearwards
70 Lever-type shock absorbers
71 Multidisc carbon brakes and wheels
72 Main landing gear door
73 Wing fuel tanks
74 Fuel pumps
75 Fixed wing leading edge
76 De-icing picollo
77 Engine nacelle front attachment
78 Engine nacelle under-wing attachment
79 Outer wing box front spar
80 Firewall
81 Engine mount frame
82 Engine cowlings
83 Propeller rotation direction
84 RATIER/FIGEAC eight composite blades curved with integral de-icing blankets
85 Spinner and pitch control
86 EUROPROP International TP400-D6 Turboprop, 10 000 shp class
87 Propeller gear box
88 Gear box accessory drive
89 Engine exhaust pipe
90 Wing mounted refuelling pod
91 Port navigation light
92 Radar warning
93 Aileron
94 Vent surge tank
95 Aileron actuator
96 Flap actuator
97 Fixed-vane flap
98 Flap down position
99 Hinge fitting
100 Flap hinge fairing (fixed part)
101 Flap hinge fairing (movable part)
102 Spoiler
103 Outer flap
104 Inner flap
105 Rear paratroop up-sliding door
106 Hydraulic tank
107 Raft box
108 Hydraulic flap motor drive and torque shaft
109 Auxiliary Power Unit (APU)
110 APU maintenance door
111 APU exhaust
112 Aft wing/Fuselage fairing
113 Emergency exit hatch
114 Ramp hydraulic actuator
115 Ramp with toes
116 Rear cargo door
117 Fin main box
118 One piece rudder
119 Rudder actuators
120 HF Antenna
121 Fin to fuselage attachments
122 Tailplane trim actuator
123 Variable incidence tailplane
124 Elevator
125 Tailplane attachment pivot
126 VHF Antenna
127 Strobe light
128 Aerodynamic strake
129 Rear fuselage cone
130 Self defence equipments



Sujet d'enseignement professionnel
Tous droits réservés © ALEXANDRE ROUX

BTS AÉRONAUTIQUE		Session : 2013
Étude de modifications pluritechnologiques	Code : AE4EMPT	**DT 3/15**

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

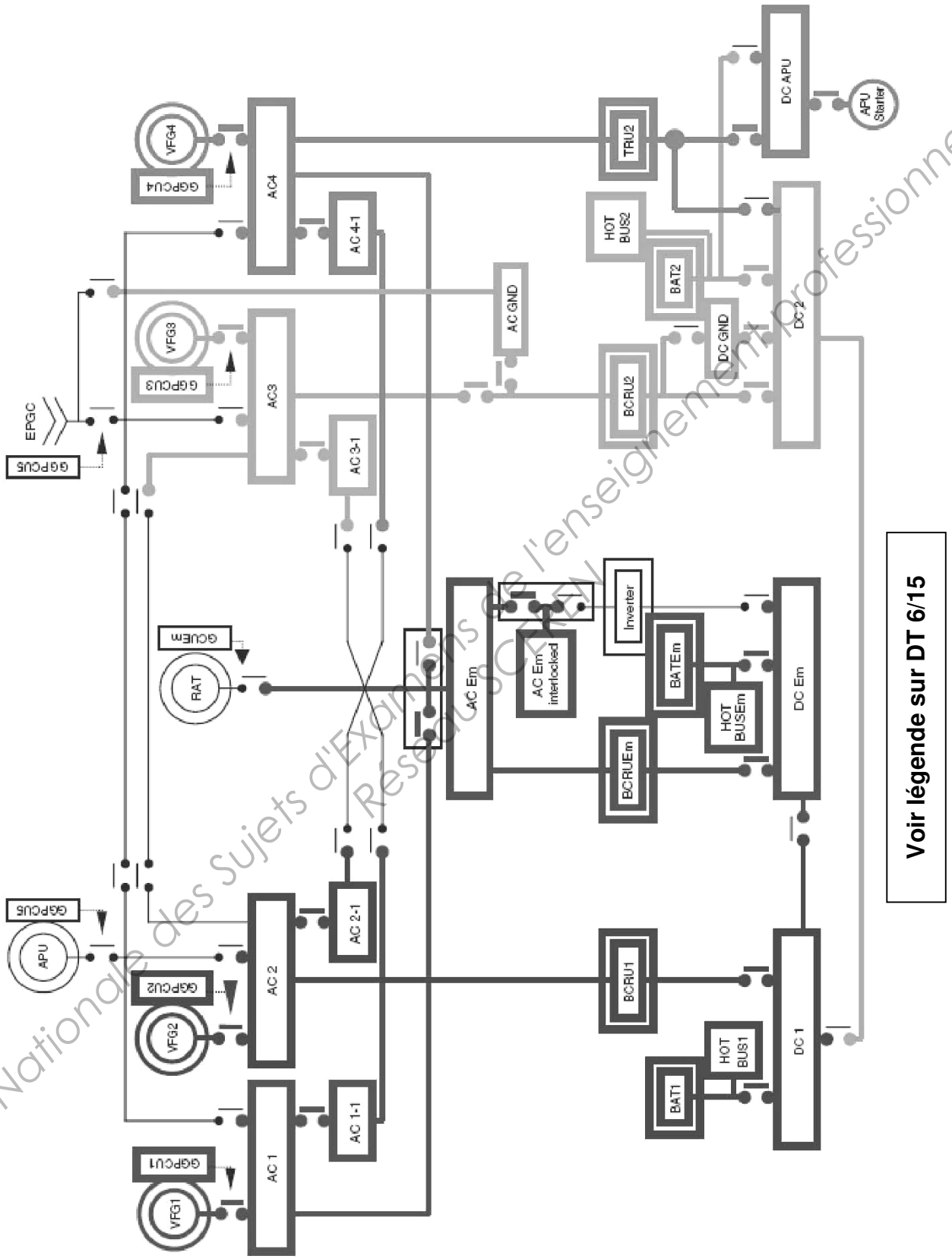
Les sources électriques :

Il existe quatre sources de puissance électrique alternative et plusieurs sources de puissance électrique continue sur cet avion :

Le 115 V alternatif 400 Hz (V_{AC}) produit par :

- Des VFG_S (générateurs) :
  - 115-200 V triphasé (3 phases + 1 neutre)
  - 370/800 Hz
  - 75 kVA
  - Masse : 50 kg
- Un APU
- Une RAT (secours)
- Une prise de parc

Schéma général de la génération électrique de l'aéronef A400M



Voir légende sur DT 6/15

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Les éléments de la distribution de la puissance alternative.

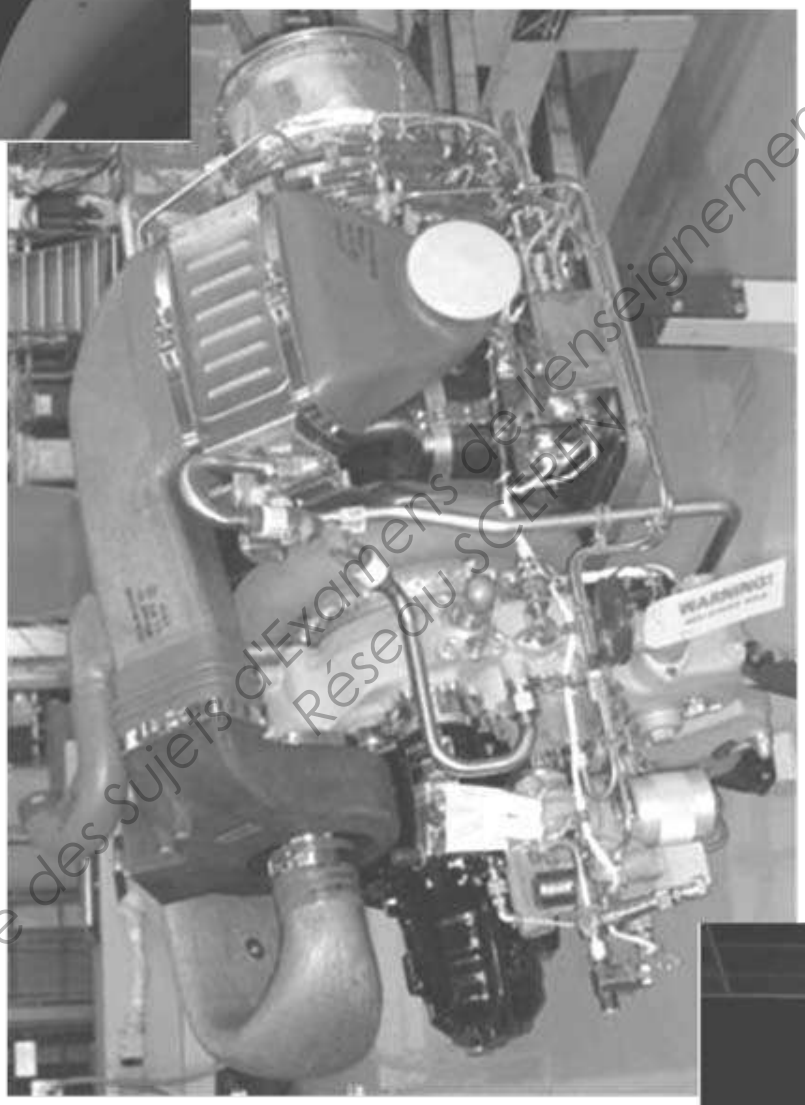
- AC : Alternating Current
- APU : Auxiliary Power Unit
- BCRU : Battery Charger and Rectifier Unit
- DC : Direct Current
- FADEC : Full Authority Digital Engine Control
- TRU : Transformer Rectifier Unit
- VFG : Variable Frequency Generator
- Ni/Cd : Nickel/Cadmium
- EPCG : External Power Ground Connector (prise de parc)

Générateur APU

L'alternateur de secours peut délivrer 90 kVA.

3 phases
115-200 V
400 Hz
90 kVA
Masse : 32 kg







Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN





RAT

La Ram Air Turbine peut délivrer 45 kVA.

3 phases
115 V
370/800 Hz
45 kVA
Masse : 80 kg



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Les batteries :

En l'absence des sources d'alimentation (VFGS, APU, RAT, EPGC) il faut pouvoir disposer d'une autre source d'alimentation, en l'occurrence des batteries :

24 VDC – 50 Ah – Ni/Cd

Les HOT BUS :

Ce sont les barres bus continues toujours alimentées en direct (28 V en fonctionnement normal et en 24 V par les batteries en mode secours). Leur rôle est d'assurer l'alimentation continue des systèmes de sécurité (derniers secours) ou des opérations de base :

- Au sol : démarrage APU, alimentation panneau carburant, etc …
- En vol : extincteurs moteurs, convertisseur statique, etc …

Présentation du moteur TP400 de l'aéronef A400M

Le moteur TP400 est un turbopropulseur de dernière génération, destiné à équiper l'Airbus A400M.
Cet avion est un quadrimoteur de transport multi rôles commandé notamment par l'armée de l'air française.

Le moteur TP400 possède un générateur de gaz multi corps à chambre de combustion annulaire.
Sa construction a fait l'objet d'un partage industriel au sein d'un consortium européen.



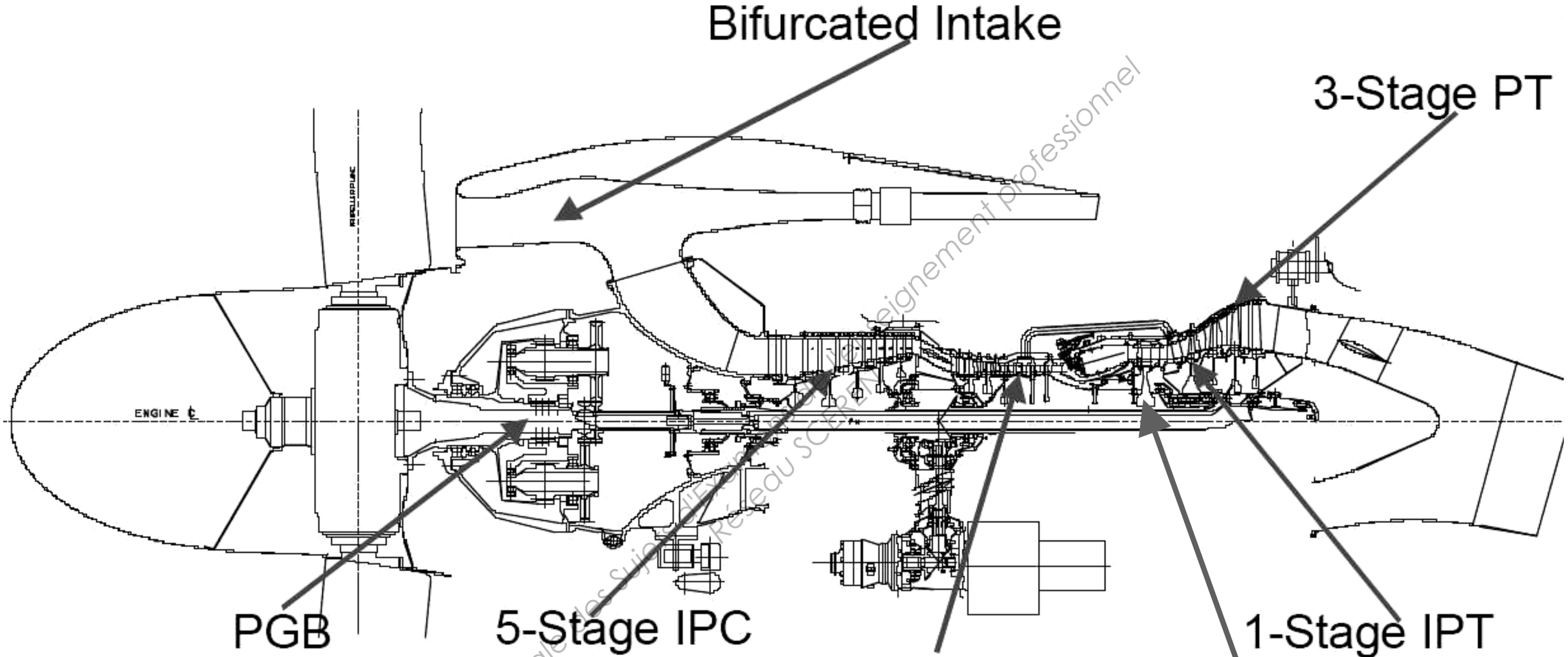
La coupe du moteur se trouve sur le document **DT 12**. Elle permet de détailler les différents corps et sous-ensembles de cette machine.

La puissance maximale d'un TP400 est de 11000 chevaux. Cette puissance représente la somme des puissances des différents corps en rotation.

Les régimes de rotation de chaque corps sont donnés dans le tableau suivant :

TP400	Hélice (propeller)	Corps IP	Corps HP
	N_1 Fréquence de rotation sortie adaptateur de vitesse	N_2 Fréquence de rotation entrée adaptateur de vitesse	N_3 Fréquence de rotation arbre du corps HP
Seuil de démarrage (50%) (allumage bougies et carburant)	421 tr/min	A déterminer	8000 tr/mn
Régime Ralenti (IDLE) (70%)	590 tr/min	A déterminer	11200 tr/mn
Régime nominal(100%)	842 tr/min	A déterminer	16000 tr/mn

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN



Direction of Rotation (aft looking forwards):

- HP Spool: clockwise
- IP-Spool: anti-clockwise
- Power-Spool: anti-clockwise
- Propeller: clockwise

Base Nationale des Sujets d'Enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Coupe de l'adaptateur de vitesse situé entre l'arbre entrainé par la turbine basse pression du turbopropulseur et l'hélice.

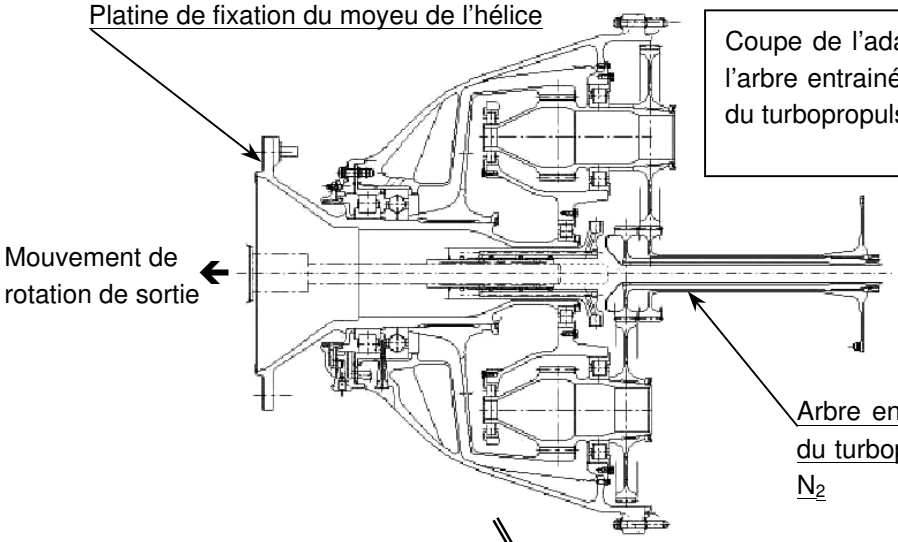
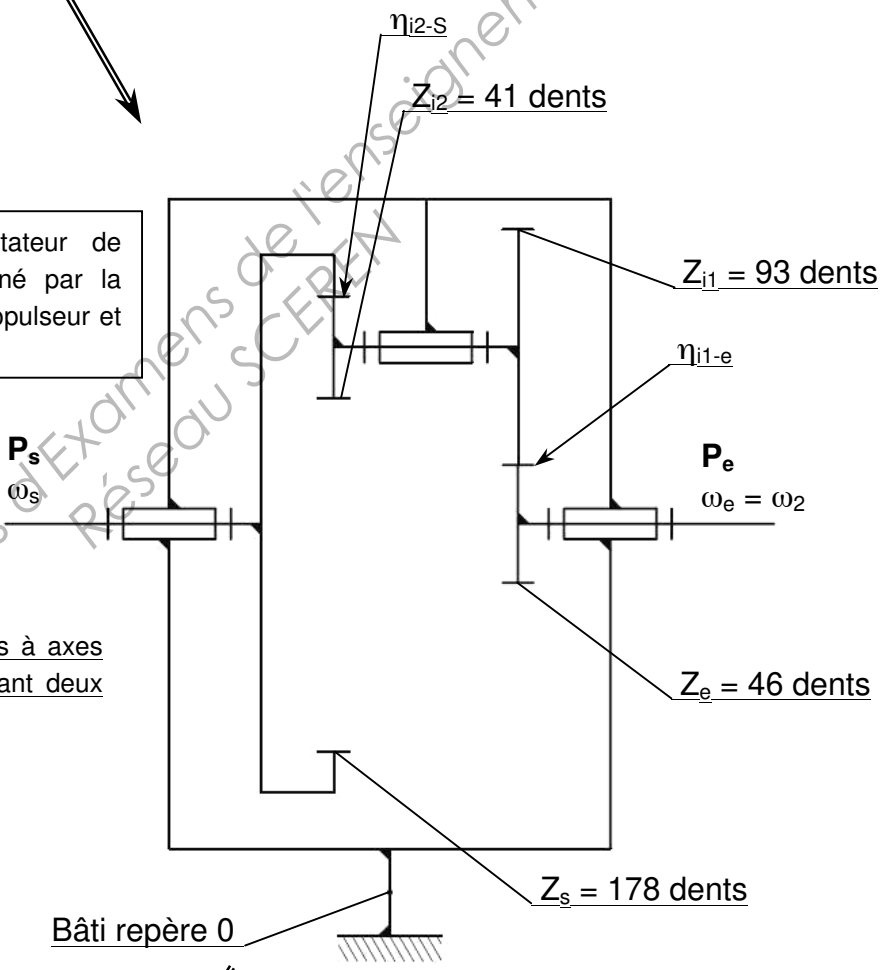
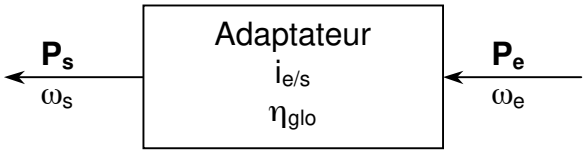


Schéma cinématique de l'adaptateur de vitesse situé entre l'arbre entrainé par la turbine basse pression du turbopropulseur et l'hélice.



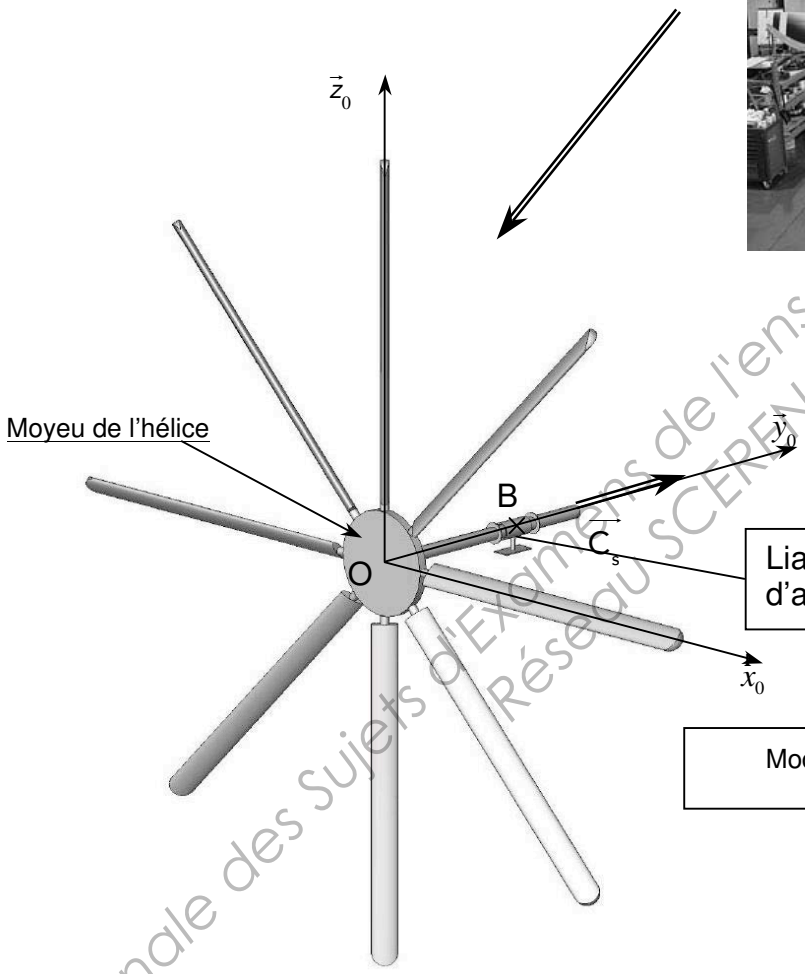
Adaptateur de vitesse à engrenages à axes parallèles à trains simples comportant deux étages.



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Hélice complète prête pour être assemblée sur la platine de fixation du moyeu de l'hélice en sortie de l'adaptateur de vitesse.





Modèle simplifié de l'hélice complète.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Données nécessaires aux calculs des différentes parties du sujet de l'aéronef A400M

Thermodynamique :

- Constante des gaz parfaits :
  $R = 8,32$ J/mol/K
- Constante de Mayer :
  $r = Cp - Cv = 287$ J/kg/K
- Masse volumique de l'air en conditions ISA (altitude zéro) :
  $\rho_{air} = 1,225$ kg/m^3
- Température de l'air en condition ISA (altitude zéro) :
  $T1 = 288$ K
- Pouvoir calorifique du kérosène :
  $Pci = 44\ 000$ kJ/kg
- Masse volumique du kérosène :
  $\rho_{kéro} = 790$ kg/m^3
- Pour un gaz parfait diatomique :
  $\gamma = Cp / Cv = 1,4$; $Cp = 1000$ J/kg/K ; $Cv = 713$ J/kg/K

Mécanique :

- Norme du vecteur accélération de pesanteur :
  $g = 9,81$ m/s^2
- Puissance mécanique maximale délivrée par un turbopropulseur :
  $P_{maximale} = 11000$ ch $= 110\%$ de $P_{nominale}$
- Correspondance des puissances : 1 ch = 736 W
- Distribution de la puissance mécanique délivrée par un turbopropulseur en régime permanent :
  - Puissance disponible pour la génération électrique :
    $P_{élec} = 0,6\%$ de $P_{nominale}$
  - Puissance disponible pour la génération hydraulique :
    $P_{hydrau} = 4,4\%$ de $P_{nominale}$
  - Puissance d'entrée de l'adaptateur de vitesse d'entrainement de l'hélice :
    $P_2 = P_e = P_{nominale} - P_{élec} - P_{hydrau}$
- Masse volumique de l'acier :
  $\rho_{acier} = 7850$ kg/m^3
- Diamètre de l'hélice :
  $d_{hélice} = 5,33$ m
- Masse d'une pale d'hélice :
  $m_{pale} = 30$ kg
- Temps maximal de mise en rotation de l'hélice pour atteindre la fréquence de rotation à la fin de la phase de démarrage :
  $t_{Maxi\ démarrage} = 30$ s
- Poids des pales négligeable devant les autres actions mécaniques mises en jeu.
- Inertie des composants de l'adaptateur de vitesse situé entre l'arbre entraîné par la turbine basse pression du turbopropulseur et l'hélice négligeable devant l'inertie de l'hélice.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

DOCUMENT RÉPONSE DR 1/3

Questions 1.33, 1.34, 1.35 :

BAT 1, 2, Em

DC SYSTEM

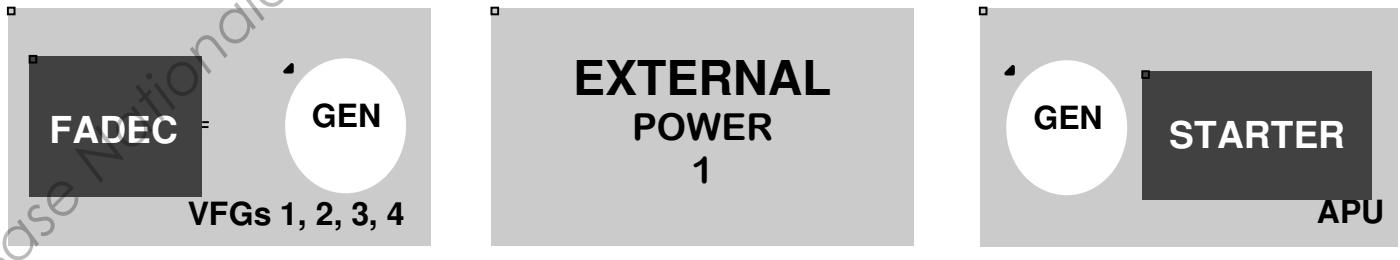
TRU 2

STATIC INVERTER

BCRU 1, 2, Em

EMER GEN

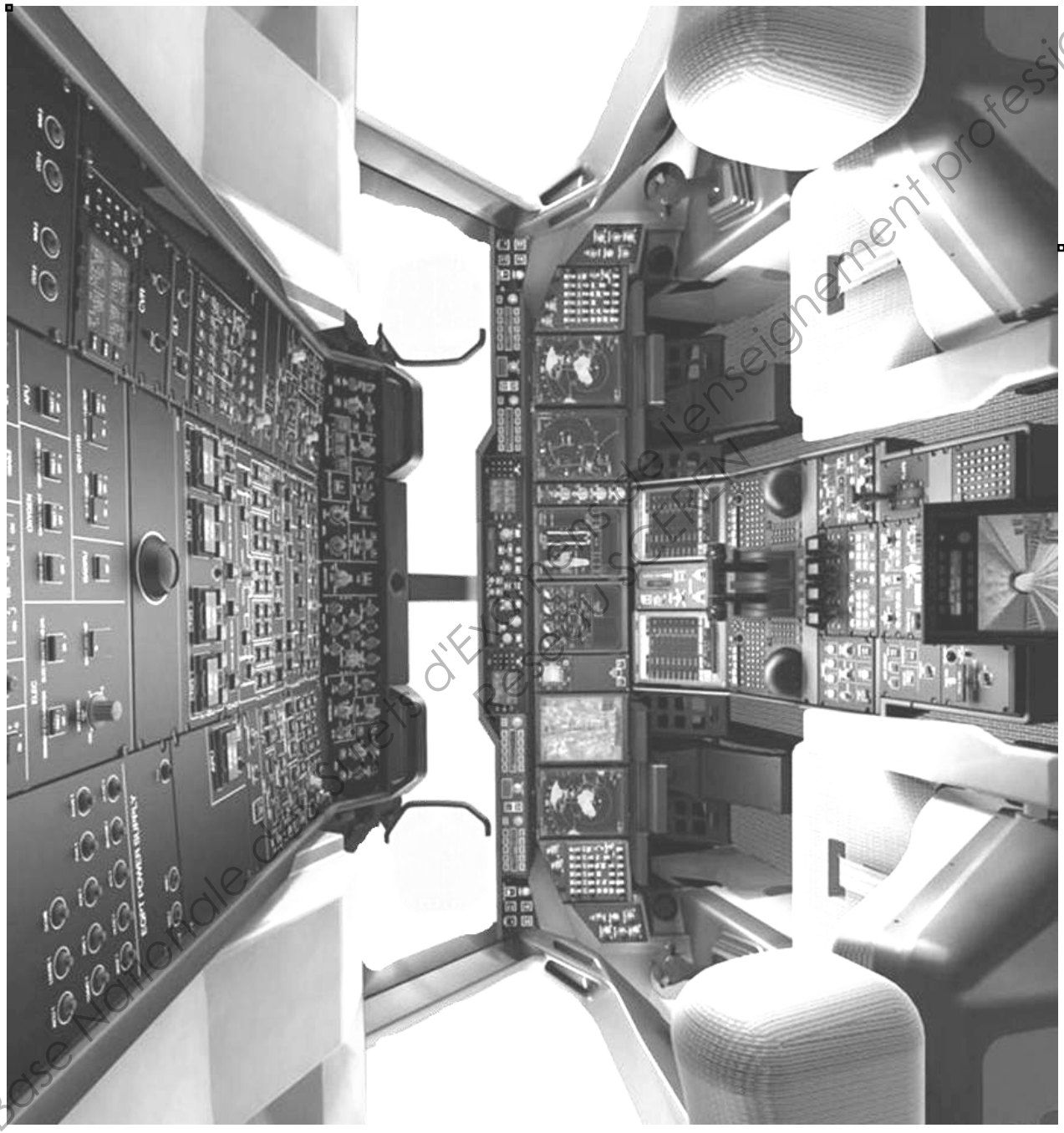
AC SYSTEM



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

DOCUMENT RÉPONSE DR 2/3

Question 5.2



Nom usuel du système d'affichage associé : .....

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

DOCUMENT RÉPONSE DR 3/3

Question 5.5

08200C001085220D72080000080045000041254BA20418006001CC2A1B247C2B59102

Question 5.6

	Débit (en bps)	Volume DATA transférée par trame	Aéronefs concernés	Date de conception
ARINC 429				
AFDX *(ARINC 664)*				

Question 5.8

Bit number	32																													1
Value	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau SCEREN

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.