



1/ PRESENTATION DE L'ÉPREUVE

La boîte de transmission principale (BTP) d'un hélicoptère est la partie mécanique permettant de relier les turbines au rotor principal, au rotor de queue et à différents accessoires. Le sujet de cette épreuve portait sur l'étude d'un banc d'essai dont le but était de vérifier que la BTP répondait au cahier des charges défini par Airbus Helicopters et ses clients. Le sujet était articulé en quatre parties. L'objectif de la première partie était de présenter le système puis d'analyser ses constituants. Les trois parties suivantes avaient pour objectif d'analyser trois des exigences du cahier des charges, à savoir :

- exigence 1.1 « accouplement en entrée de la BTP » : le but était de définir la puissance nécessaire à faire tourner le rotor dans le but de faire un choix de moteur, de variateur et d'étudier la commande de ce moteur ;
- exigence 1.2 : « accouplement en sortie du BTP » : le but était de concevoir la liaison entre l'arbre de sortie de la BTP et le banc d'essai ;
- exigence 1.3 : « supervision » : le but était d'analyser la chaîne de mesures et de concevoir leur gestion.

Ce sujet était composé de 41 questions à traiter en 6 heures. La compétence « communiquer » a été évaluée par le biais d'une appréciation de la présentation de la copie (orthographe, utilisation de couleurs, présentation de la copie...). Dans le but d'évaluer au mieux l'ensemble des étudiants de la filière TSI, il ne comportait pas, d'après les correcteurs, de difficultés particulières.

2/ REMARQUES GÉNÉRALES

À l'exception de la compétence « Expérimenter », chacune des macro-compétences au programme est évaluée par ce sujet. La plupart des « sous-compétences » est aussi testée.

Au vu des résultats, toutes les questions étaient faisables par les candidats. Cependant, même si certaines copies sont de bonne qualité, une majorité de candidats ne sont pas parvenus à aborder l'intégralité du sujet.

Si sur la forme, les correcteurs notent une amélioration de la qualité générale des copies, sur le fond les calculs et les raisonnements simples ne sont pas maîtrisés par les candidats, ce qui les pénalise lourdement. En effet, les aspects suivants ne semblent pas être maîtrisés :

- calcul de la puissance d'une action mécanique sur un solide en rotation ;
- application du pont diviseur de tension ;
- équations du moteur à courant continu ;
- écriture de la fonction de transfert en boucle fermée d'un système asservi ;
- application du principe fondamental de la statique dans le plan.

3/ REMARQUES SPÉCIFIQUES

Question 1

Cette question ne présentait pas de difficulté particulière. Elle pouvait être traitée par lecture du texte ou par transcription du diagramme de blocs internes.

Question 2

Connaissant le couple et la fréquence de rotation nécessaires à faire tourner les pales d'un hélicoptère (en sortie de BTP), le but de la question est de calculer le couple à fournir en entrée de BTP. Trop d'élèves font des erreurs sur l'utilisation du rapport de transmission alors que son expression est clairement définie dans l'énoncé. Beaucoup d'élèves oublient de prendre en compte le rendement en régime permanent dans le calcul du couple.

Question 3

L'objectif de cette question était de calculer le rapport de transmission du banc d'essai puis de la vitesse à fournir par un moteur pour faire tourner l'arbre d'entrée de la BTP. Le calcul du rapport de transmission pose peu de problèmes. On peut tout de même noter qu'en raisonnant en 3D, un renvoi conique ne provoque pas forcément un changement de sens de rotation. On trouve des erreurs sur le calcul de la fréquence de rotation du moteur. Ces calculs élémentaires doivent être maîtrisés et un esprit critique sur les valeurs numériques est attendu de la part de futurs ingénieurs.

Question 4

L'objectif était de calculer la puissance à fournir par le moteur en tenant compte d'un rendement par transmission, en régime permanent. Beaucoup de candidats oublient de considérer le rendement pour chaque étage de réduction. On remarque des erreurs sur le calcul de la puissance, les candidats oubliant de convertir les tours par minute en radians par seconde. La question est parfois partiellement traitée car elle n'est pas lue intégralement.

Question 5

L'objectif était de sélectionner la désignation complète d'un moteur électrique.

La question est plutôt bien traitée. Davantage d'explications sur le choix des moteurs auraient été appréciées des examinateurs.

Peu de candidat précisent l'indice du moteur.

Question 6

L'objectif était de choisir un variateur. Peu de candidats pensent à préciser le calibre.

Question 7

Question plutôt bien traitée. On note beaucoup d'erreurs entre la tension et le courant qui amènent le changement de sens de rotation du moteur. La justification n'est pas souvent précisée. Le fait de demander des « grandeurs électriques » a dérouté des candidats.

Question 8

Question moyennement traitée. Des réponses justes sur le sens des courants mais pas sur le groupe de thyristors en jeu.

Question 9

Peu de réponses justes. Question peu traitée.

Question 10

Question peu ou pas abordée.

Question 11

L'objectif était de déterminer l'équation électrique du moteur à courant continu.

Trop de candidats oublient de donner une justification à l'origine de l'équation électrique. Beaucoup de candidats font, à tort, l'hypothèse du régime permanent ce qui les conduit à ne pas prendre en compte le terme $L \cdot \frac{di(t)}{dt}$.

Par ailleurs des candidats se lancent dans la résolution de l'équation différentielle, ce qui n'était pas demandé.

Question 12

L'objectif était de déterminer l'énergie équivalente d'une partie du système de transmission. Lorsqu'elle est traitée, cette question est globalement bien abordée. On remarque quelques erreurs dans l'utilisation du rapport de transmission ou quelques oublis d'élévation au carré.

Question 13

L'objectif était de déterminer l'équation mécanique du moteur à courant continu. Des candidats préfèrent l'utilisation du théorème de l'énergie cinétique à l'application du théorème de la résultante dynamique. Cela se

traduit souvent par des calculs plus longs et erronés et par l'oubli du couple moteur dans le bilan de puissance ou par des erreurs dans l'expression des pertes dues au frottement fluide.

Beaucoup de candidats justifient cette équation par « le cours » plutôt que par un des théorèmes de la mécanique générale.

Question 14

L'objectif était de modéliser le moteur à courant continu sous forme de schéma bloc.

Dans la correction, il est tenu compte des erreurs faites aux questions précédentes. Ainsi, une erreur faite aux questions 11, 12 ou 13 n'est pas répercutée dans cette question (à condition que la transformée de l'équation dans le domaine de Laplace et le schéma bloc soient conformes à l'équation déterminée préalablement).

Beaucoup de candidats ne semblent pas connaître la structure classique du moteur à courant continu.

Question 15

L'objectif était de tester les connaissances des candidats sur les capteurs de vitesse. Trop peu de candidats sont en mesure de proposer des capteurs de vitesse. On trouve comme réponses « capteur de vitesse » ou « capteur de position » sans précision sur la technologie du capteur. La question du choix du gain d'adaptation n'a pas été comprise par les candidats.

Question 16

L'objectif était de calculer des fonctions de transfert et les de mettre sous forme canonique dans le but de calculer ultérieurement un écart statique. Beaucoup d'erreurs de calculs.

Question 17

L'objectif était de faire retracer le schéma bloc du candidat pour qu'il puisse « sereinement » aborder la question suivante. Le signe « - » est souvent oublié.

Question 18

L'objectif était de calculer des fonctions de transfert et de mettre sous forme canonique dans le but de calculer l'écart statique ultérieurement.

Cette question est peu ou mal traitée par la plupart des candidats.

Question 19

L'objectif était d'appliquer directement le théorème de superposition.

Lorsque la question est traitée, il y a globalement peu d'erreurs dans la réponse. Cependant, on retrouve avec une certaine régularité des candidats présentant le théorème de superposition comme une moyenne des signaux ou comme la somme de deux fonctions de transfert.

Question 20

L'objectif était de calculer un écart statique dans le but de vérifier une des exigences du cahier des charges.

La question n'est pas toujours bien traitée.

Les examinateurs encouragent les candidats à énoncer clairement le théorème de la valeur finale, ainsi que les entrées du système avant de formuler des réponses.

Questions 21 et 22

L'objectif était d'évaluer le candidat sur sa connaissance des correcteurs.

Globalement les candidats sont en mesure d'énoncer les effets d'un correcteur intégral sur le système.

Question 23

Question souvent traitée. Peu de réponses exactes, surtout sur la partie filtre et self.

Questions 24 et 25

Les candidats ont traités les signaux KA et F1, peu ont vu l'implication du signal « vitesse nulle » sur les signaux KM1.

Question 26

L'objectif était d'exprimer le torseur de cohésion ainsi que les sollicitations qui en résultent.

Même si l'expression d'un torseur de cohésion pour des sollicitations composées est à la limite du programme, cela n'a pas empêché les candidats de bien traiter cette question.

Question 27

L'objectif de cette question était d'exprimer le diamètre minimal de l'arbre à partir de formules de la RDM données au candidat. Cette question aisée est plutôt bien traitée même si un nombre non négligeable de candidats oublie la racine cubique.

Le choix des rédacteurs n'était pas d'évaluer le candidat sur une connaissance « par cœur » de formule, mais d'évaluer l'aptitude du candidat à s'adapter au problème.

Question 28

L'objectif de cette question était de proposer un choix de matériau et de procédé pour réaliser l'arbre d'accouplement entre la sortie de la BTP et le banc d'essai.

Ne voulant pas « piéger » le candidat sur l'utilisation des cartes d'Ashby, une recherche simple de matériaux est demandée. Mis à part quelques propositions originales ou quelques confusions, la question est assez bien traitée (même si certains candidats semblent ne pas avoir lu la totalité de la question).

Question 29

L'objectif était de finaliser le dimensionnement de l'arbre.

On constate trop d'erreurs d'unités dans la réponse à cette question.

Question 30

L'objectif était de dimensionner les actions mécaniques dans des liaisons mécaniques. Les auteurs conviennent un manque de précision dans l'énoncé de la question, ce qui ne semble pas avoir perturbé les candidats.

Les examinateurs ont apprécié les réponses mettant en évidence clairement la méthode de résolution (isolement, bilan des actions mécaniques, écriture des équations du PFS). Les examinateurs encouragent fortement les candidats à adopter cette démarche.

Question 31

Pas de difficultés particulières.

Question 32

L'objectif était de valider, ou non, le choix d'un roulement.

Un grand nombre de candidats sont en mesure d'appliquer la méthode proposée en annexe en s'arrêtant au nombre de millions de tours. Le calcul « final » de la durée de fonctionnement en heure puis la comparaison avec le cahier des charges a pu poser problème ou être oubliée.

Beaucoup de candidats ne pensent pas à invalider le choix du roulement proposé au vu du cahier des charges.

Question 33

L'objectif de cette question était de justifier un choix d'architecture de roulement et de proposer la conception d'une solution.

La question est globalement peu abordée par les étudiants. Quelques candidats répondent très bien à cette question.

Question 34

Question traitée moyennement.

Généralement, la réponse littérale est juste et l'application numérique est fautive. Quelques candidats font des erreurs de signe.

Les conditions d'équilibre sont peu données.

Question 35

Question traitée moyennement. Certains candidats ne connaissent pas l'expression de la résistance d'un fil. Des erreurs d'unité (mètre, millimètre carré,...)
Erreur en pourcentage peu traitée.

Question 36

Question traitée moyennement.
Conditions à l'équilibre bien traitées.

Question 37

Question traitée moyennement.
Beaucoup ont utilisé le théorème de Millmann (et se sont perdus) alors que le diviseur de tension était beaucoup plus simple

Question 38

Question très bien traitée. Beaucoup de réponses justes.

Question 39

Question traitée moyennement.
Résultats souvent corrects mais des difficultés pour mettre de la forme Offset + Gain.

Question 40

Question quasiment pas traitée.
Peu de réponses justes.

Question 41

Question très souvent traitée.
Beaucoup ont compris ce que l'on attendait d'eux
La structure de l'organigramme est bien comprise. Certains ne font pas la nuance entre « voie » et « capteur ».

4/ CONSEILS POUR LES FUTURS CANDIDATS

Les conseils prodigués par les rapports des années précédentes restent d'actualité.

Il est indispensable que les calculs littéraux soient menés à leur terme, avant de réaliser un calcul numérique. Il est évident qu'une valeur numérique fautive sans l'expression littérale permettant de réaliser le calcul ne rapporte pas de point.

Même si le calcul n'est pas une fin en soi en Sciences Industrielles de l'Ingénieur, il convient, pour un futur ingénieur, de maîtriser les calculs élémentaires : calcul de fractions, résolution d'équations et de systèmes d'équations simples...

Certaines des questions sont en plusieurs parties. Il convient de les lire en entier pour ne pas oublier des morceaux de réponse.

Les examinateurs rappellent que les Sciences Industrielles de l'Ingénieur doivent être abordées dans leur globalité et que le questionnement peut fluctuer en fonction du support d'étude.