

ÉPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES A

MOTEUR OPEN ROTOR

Durée : 5 heures

PRÉSENTATION DU SUJET

Le sujet se composait :

- d'une présentation du système étudié : 5 pages ;
- du travail demandé (parties I à IV : 17 pages) + 2 pages d'annexes ;
- du cahier réponses à rendre, comprenant 45 questions : 24 pages.

Il proposait d'analyser, de modéliser et de valider certaines solutions choisies pour la conception de l'Open Rotor, une approche de motorisation d'avion atypique puisque comportant une double hélice non carénée. On s'intéressait à l'architecture mécanique du moteur, ainsi qu'aux aspects commande et asservissement. Les différentes parties étaient indépendantes et elles-mêmes constituées de nombreuses questions qui pouvaient être traitées séparément :

- la Partie I abordait l'étude des actions mécaniques s'exerçant dans les aubes lors des différentes phases de fonctionnement ;
- la Partie II s'intéressait au système qui assure le mouvement contrarotatif ;
- la Partie III se concentrait sur la modélisation de la chaîne de puissance du système de calage des aubes ;
- la Partie IV portait sur les choix des correcteurs du système de calage des aubes.

COMMENTAIRES GÉNÉRAUX

Le sujet abordait au travers de la construction d'un modèle de comportement, puis de la synthèse d'une solution, une large part des connaissances du programme de première et de deuxième année de CPGE. Certaines questions plus ouvertes permettaient aux candidats de mettre en œuvre les compétences générales développées en Sciences industrielles pour l'ingénieur.

Le fait que les quatre parties soient indépendantes permettait aux candidats de poursuivre leur épreuve sans rester bloqués sur l'une d'entre elles. Ils ont su profiter de ces différents points d'entrées pour balayer l'ensemble des parties, au moins pour les aspects simples.

Rappelons, s'il est encore besoin, que la seule recopie dans le cahier réponses des informations données dans la question ne permet évidemment pas de marquer des points. De même, une simple conclusion à une question de la forme OUI ou NON, sans justification ou explication de la démarche, n'est pas recevable. Depuis quelques années, les copies où le candidat récite son cours sans chercher à résoudre la question sont devenues très rares, ce qui est évidemment une très bonne chose. Les copies sont, en général, bien présentées. Quelques rares candidats utilisent cependant le cahier réponses comme brouillon et écrivent les réponses au crayon de papier de manière quasi illisible, voire se contente de recopier le texte de la question dans chacune des cases.

Comme chaque année enfin, nous notons avec plaisir que quelques excellents candidats ont su prouver leurs grandes qualités en traitant parfaitement la quasi-totalité du sujet.

COMMENTAIRES SUR CHAQUE PARTIE DE L'ÉPREUVE

Partie I - Étude des actions mécaniques dans les aubes

Partie I.2 - Détermination de la vitesse en extrémité d'aube

Cette première partie avait pour objectif de rentrer dans le sujet en calculant quelques ordres de grandeurs de vitesses. Elle n'a généralement pas posé de souci aux candidats.

Partie I.3 - Détermination des actions mécaniques en pied d'aube

Cette seconde partie s'intéressait aux actions mécaniques dans une des aubes du moteur. C'était l'occasion d'utiliser le principe fondamental de la dynamique et de calculer un certain nombre de vitesses et accélérations. Les calculs ont généralement été bien menés, contrairement à la partie III. Les candidats qui n'ont pas réussi à les réaliser sont ceux qui s'évertuent à projeter tous les résultats dans la base liée au sol, voire à calculer les produits vectoriels « en colonnes », ce qui a pour effet de compliquer à l'excès tous les calculs.

Partie I.4 - Étude des actions mécaniques dans une aube

On se plaçait ici dans le cadre de la théorie des poutres pour déterminer l'allongement d'une aube sous l'effet des forces dynamiques. Pour cela, on montrait que l'on pouvait se ramener, dans le référentiel tournant lié à l'aube, à une expression très classique où les effets dynamiques se traduisaient par une force linéique. Cette partie a posé problème à de nombreux candidats qui, en interprétant les phénomènes physiques « avec le cœur », se sentaient obligés de changer les signes dans les expressions analytiques pourtant correctes qu'ils avaient montrées.

Partie II - Étude du système contrarotatif

Cette partie s'intéressait au système contrarotatif qui prenait, dans la version simplifiée proposée ici, la forme d'un train épicycloïdal. La relation qui liait les vitesses de rotation des différents ensembles était donnée, afin de ne pas pénaliser la démarche des autres questions et les candidats ont souvent réussi à la redémontrer, avec parfois quelques difficultés avec les signes. Les relations entre les couples pouvaient être montrées aisément en utilisant le théorème de l'énergie cinétique. Si bon nombre de candidats ont pensé à l'employer, beaucoup n'ont pas pensé à utiliser le fait qu'on se situait en régime permanent pour simplifier les relations.

Partie III - Modélisation du comportement de la chaîne de transmission de puissance du calage des aubes

III.2 - Loi entrée/sortie géométrique de l'adaptateur mécanique

Pas de problème pour l'immense majorité des candidats pour cette question dont le développement était élémentaire.

III.3 - Modélisation du comportement dynamique

Cette partie proposait l'étude du comportement dynamique d'un vérin hydraulique, ce thème ayant déjà été abordé dans plusieurs sujets antérieurs. La difficulté ici était d'obtenir les équations de mouvement d'une pàle en rotation. Seuls quelques rares candidats y sont parvenus. Faire un bilan des actions mécaniques sur un système isolé reste semble-t-il difficile, même avec très peu d'actions mécaniques comme dans le sujet. Les équations découlant du principe fondamental sont donc très souvent fausses. De plus, seule une petite minorité de candidats a pensé à prendre en compte l'action de l'ensemble des pàles dans l'obtention de l'équation dynamique du mouvement du vérin.

III.4 - Analyse du comportement vis-à-vis du cahier des charges

Les fonctions de transferts étaient données mais le traitement de cette partie reste très décevant. A peine 10% des candidats ont su tracer correctement le diagramme de Bode asymptotique de la FTBO proposée (Q37) alors les asymptotes pouvaient être obtenues à partir du diagramme réel représenté sur le graphique de la question suivante... De plus, le travail avec le diagramme de Bode en FTBO avec une correction proportionnelle pour atteindre une certaine exigence de marge de gain n'est pas une évidence pour beaucoup. Les critères et conditions liées aux questions 39 et 40 ne sont connus que de très peu de candidats.

Partie IV – Choix et dimensionnement des correcteurs du système de calage des aubes

Beaucoup de candidats ont trouvé la condition demandée dans la question 41 mais le repérage des zones concernées sur la pôle était très aléatoire. La question 42 a été bien traitée, une majorité de candidats a bien interprété la courbe de dépassements relatifs. Si les conditions sur la classe de la FTBO et à la précision du système bouclé vis-à-vis de la consigne sont connues et maîtrisées par la grande majorité des candidats, celles concernant la perturbation le sont beaucoup moins. De plus, la présence du dérivateur au niveau de la perturbation avant le comparateur n'a été perçue que par une poignée de candidats. Concernant la question 44, les pentes du diagramme de gain ont été plus ou moins bien tracées, parfois avec un décalage par rapport à la valeur souhaitée. Beaucoup de candidats n'ont pas compris le retraçage de la nouvelle échelle de phase.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS

On conseille de nouveau aux candidats de prendre le temps de parcourir la totalité du sujet pour assimiler les problématiques proposées ainsi que les démarches de résolution associées (une durée indicative de 30 min était donnée dans l'introduction pour découvrir le sujet dans sa globalité). Cela permet d'une part de mieux gérer le temps imparti pour l'épreuve et de prendre du recul face à la problématique et d'autre part d'avoir un parcours de réponses aux questions plus harmonieux qu'un simple picorage des questions. Des candidats développent parfois une longue démarche pour une question, avant de se rendre compte qu'ils sont en train de répondre aux questions qui suivent et de tenter une renumérotation du cahier avec force flèches et couleurs...

Les correcteurs sont sensibles aux candidats qui traitent une partie dans sa continuité, montrant alors des compétences manifestes, plutôt que des connaissances parcellaires en traitant une question par-ci par-là. En termes de rendu d'épreuve, le cahier réponses ne doit pas être utilisé comme un cahier de brouillon (la qualité de la rédaction n'entre pas explicitement dans la notation, mais elle est très appréciée des correcteurs et joue un rôle non négligeable dans l'évaluation), ni se limiter à un simple catalogue de réponses sans justifications. Les conclusions de certaines questions ne peuvent être valorisées que si le candidat précise le cheminement qui l'a amené à ces dernières.