

EPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES C **HELICOPTERES LEGERS - Durée : 6 heures**

PRESENTATION DU SUJET

Le sujet portait les architectures d'hélicoptères légers, de type Dynali, de faible encombrement, destinées aux missions civiles. L'étude demandée visait : l'analyse de quelques architectures alternatives (principes de vol), l'estimation des énergies et puissance mises en jeu, l'analyse de la partie mécanique (rotors, commandes de vol), l'étude d'une version électrique (autonomie, pré-actionneur, capteurs), enfin la fabrication du barillet de commande de l'incidence des pales du rotor arrière.

Le sujet comportait cinq parties, dont les poids relatifs étaient les suivants :

- Partie I (21%) : Analyse de plusieurs architectures existantes et des fonctions des aéronefs de mission, comparaison et compréhension des sous-systèmes technologiques qui assurent le fonctionnement d'un hélicoptère et de ses différentes phases de vols.
- Partie II (20%) : Analyse cinématique des mécanismes permettant au pilote d'actionner les éléments qui contrôlent le vol de l'aéronef en fonction de la mission de l'hélicoptère.
- Partie III (17%) : Analyse de la transmission de puissance : étudier et discuter les solutions technologiques choisies lors de la conception du système.
- Partie IV (17%) : Version d'hélicoptère léger électrique : cette partie étudiera la faisabilité de remplacer la motorisation thermique actuelle par une motorisation électrique, en abordant les exigences en autonomie pour la mission imposée.
- Partie V (25%) : Analyse critique de l'industrialisation d'une pièce impliquée dans la transmission de puissance du rotor arrière.

Chaque partie pouvait être traitée indépendamment des autres. Quelques questions étaient « à tiroir » au sein des parties mais cela restait marginal et permettaient toutefois d'appréhender le raisonnement des candidats.

COMMENTAIRES GENERAUX

Cette épreuve a pour objectif d'évaluer les capacités des candidats dans les domaines des sciences industrielles de l'ingénieur et plus précisément les aspects liés à l'analyse d'un système industriel, à la conception d'un sous-système mécanique et son industrialisation. Les compétences attendues concernent : l'analyse, la prédiction et la vérification des performances attendues de systèmes ou sous-systèmes à partir de modélisations ; l'imagination, le choix, la définition et le dimensionnement de solutions techniques intégrant des contraintes du cycle de vie, en particulier celles d'industrialisation.

Le spectre des questions était relativement large mais le sujet ne se voulait pas difficile. Certaines questions traitaient de sujets non abordés les années précédentes (SysML, analyse technico-économique) alors que d'autres reprennent des éléments très classiques (énergie, cinématique, codeur, métrologie...). Dans l'ensemble le sujet n'est que partiellement traité et plusieurs questions, a priori simples, ne sont pas maîtrisées ; certaines sont récurrentes dans l'évaluation depuis plusieurs années (calcul du travail, cotation GPS...), certaines sont nouvelles mais ne demandant que du « bon sens » (analyse SysML).

Le sujet a fait appel à des descriptions préliminaires, à chaque partie, avec des compléments d'information détaillés, nécessaires pour aborder les questions. L'utilisation de ces explications, bien qu'elles aient vocation à offrir simplement les formules ou les démarches nécessaires pour aborder un

domaine relativement nouveau, a mis en évidence les difficultés de certains candidats à manipuler des concepts de base hors d'un cadre classique « déjà vu ». Les fondamentaux (calculs énergétiques, puissances, calcul d'hyperstatisme, schéma cinématique) ont mis en évidence un écart-type important pour un niveau des candidats jugé dans l'ensemble assez faible, tandis que les questions portant sur des aspects moins souvent évalués les années précédentes ou ayant un caractère plus « original » n'ont fait qu'accroître cet écart-type, tout en laissant la moyenne à un niveau jugé très bas (voire à le baisser).

Nous constatons que globalement le sujet n'est pas réellement lu et que les questions sont traitées de manière à « gagner » des points localement et non pas dans une suite logique qui permet de comprendre le sujet traité et de répondre plus facilement aux questions. Typiquement, la partie 4 traitant d'une version « électrique » de l'hélicoptère est introduite avec de nouvelles données (masse...) non prises en compte dans la majorité des copies. Cela s'accompagne par un manque de précisions dans les réponses aux questions (applications numériques non calculées alors que le calcul est facilement réalisable sans calculatrice, calcul de l'hyperstatisme sans justification « $h=0$, c'est donc isostatique » ou avec certains arrangements pour arriver à $h=0$, différentiation pivot/pivot glissant/glissière dans le schéma cinématique...). Globalement il y a une dérive dans la lisibilité des copies qui contiennent parfois beaucoup de « blabla » au lieu de donner les éléments tangibles pour justifier et argumenter les réponses (ex : fonctionnement d'un hacheur ou d'un codeur).

A l'inverse, le jury a apprécié la bonne compréhension, pour la majorité, des éléments théoriques du vol de l'hélicoptère donnés en annexe. Il est également à noter la bonne réaction à une erreur sur le document réponse (grille GPS) face au sujet ; la majorité des élèves l'ont signalé et essayé de répondre à la bonne question du sujet.

Finalement, l'épreuve a permis de classer les candidats mais les résultats restent, comme l'an dernier, faibles par rapport aux attentes du jury. Le contexte « concours » ne doit pas faire oublier la maîtrise des fondamentaux en Science de l'Ingénieur que les étudiants doivent connaître.

COMMENTAIRES SUR CHAQUE PARTIE DE L'EPREUVE

Partie I (24% de réussite) : Analyse des architectures existantes et fonctions des aéronefs de mission

Cette première partie avait pour but de comprendre les fonctions principales de l'hélicoptère et des technologies associées (rotor principal et rotor arrière). L'idée était de montrer la variation des couples en fonction des phases de vol.

L'analyse des diagrammes SYSML est globalement décevante. Les concepts des diagrammes de spécifications et de décomposition structurelle ne semblent pas être maîtrisés (comme tout modèle, un diagramme SYSML doit respecter des règles pour être correct).

Paradoxalement, l'analyse énergétique globale basée sur la théorie de Rankine-Froude (questions 2 à 4) a été bien comprise. La majorité des étudiants ont bien compris la relation entre la vitesse induite et la masse de l'appareil.

Les questions 5 et 6 de compréhension générale du rotor arrière sont traitées mais il faut noter le manque de clarté et précision de certaines réponses.

La question 8 a moins bien été traitée. Il fallait correctement intégrer la poussée donnée pour un élément de pale.

La suite des questions n'a pas été beaucoup traitée. Nous reconnaissons qu'elles dépendaient en partie des réponses aux questions précédentes mais la correction tient toutefois compte des éléments de raisonnement donnés.

Partie II (30% de réussite) : Analyse cinématique des mécanismes de commande

Il s'agissait ici d'avancer pas à pas pour comprendre les mécanismes de commande du rotor principal et du rotor arrière.

Les schémas cinématiques (questions 12 et 16) ne sont globalement pas satisfaisants (18% de réussite) vu les nombreux détails donnés sur les documents ressources. Nous espérons une meilleure compréhension.

L'analyse de l'hyperstatisme n'est correctement traitée que par 50% des étudiants ! Le document ressource VII donne pourtant l'ensemble des classes d'équivalence ainsi que la schématisation des liaisons cinématiques.

La question 18 est très peu traitée alors qu'il s'agissait de bien écrire l'analyse trigonométrique.

Les autres questions étaient assez faciles (explication du mécanisme) en lisant en profondeur le sujet et les documents ressources pour comprendre les principes des éléments de commande. Elles ont été globalement bien traitées.

Partie III (38% de réussite) : Analyse de la transmission de puissance

Cette partie embrassait plus en profondeur les éléments de technologies mécaniques. C'est la partie la « mieux réussie », celle qui demandaient le moins de calculs, mais une forte culture sur les technologies et la conception de systèmes (montage de roulements).

Les questions 19 et 20 (rapport de réduction de réducteurs simples) sont traitées correctement à 60%. Ce taux devrait être bien plus élevé en fin de classe préparatoire PT.

Les autres questions d'analyse et de modification des solutions pour le montage de roulements montrent une bonne connaissance des règles générales mais de fortes lacunes dans les justifications physiques ou technologiques des solutions (ex : analyse des solutions pour réaliser un pallier, analyse des efforts...).

Partie IV (19% de réussite) : Version d'hélicoptère léger électrique

Cette partie traitait l'électrification de la motorisation de l'hélicoptère. Elle était certainement la moins conventionnelle dans l'épreuve SIC malgré une récurrence des questions EEA depuis plusieurs années dans cette épreuve.

Les réponses sont toutefois assez décevantes et montrent ici un manque d'analyse des candidats. Les premières questions (25 à 27) demandaient une lecture fine du sujet pour prendre en compte la nouvelle configuration des paramètres de l'hélicoptère et pour bien mettre en équation les calculs (puissance, autonomie...). La majorité des candidats n'ont pas lu (ou vu) ce changement de paramètres (masse...).

Les questions 28 et 29 auraient pu être mieux traitées. Malgré une apparence complexe, elles pouvaient être facilement résolues (surtout la 29 qui était une dérivée de l'équation donnée dans le sujet).

Les questions 30 et 31 sont traitées correctement à 25%. La notion de hacheur et de codeur sont des questions maintenant récurrentes dans le sujet SIC depuis quelques années. Nous attendions des réponses purement théoriques (pas de calcul spécifique), les réponses montrent aussi bien un manque de maîtrise du domaine qu'un manque de rigueur dans la rédaction de la part de candidat.

Partie V (27% de réussite) : Analyse critique de l'industrialisation d'une pièce.

Cette dernière partie bien que moins calculatoire est également décevante pour l'épreuve SIC qui doit traiter des relations produit-matériaux-procédés. Elle couplait des concepts de base classiques du concours (cotation GPS, gamme générale de fabrication.) avec des éléments de réflexion qualitative sur les procédés de fabrication (analyse des surfaces fonctionnelles, comparaison technico-économique).

Concernant les concepts classiques (questions 34, 35 et 38) quelques étudiants maîtrisent (environ 20%), la plupart (43%) ne répondent pas ou de manière trop approximative, les autres ont compris mais la rédaction montre des erreurs. Pour la question 37 il fallait bien lire le sujet qui demandait de se focaliser sur les mises en position, les surfaces usinées et les mouvements machine (14% de réussite à la question !). Ceci n'est plus réellement acceptable pour cette épreuve.

Pour les réflexions d'analyse produit-procédés (questions 32, 33, 39 et 40) les réponses demandées étaient qualitatives. Nous recherchions avant tout de la réflexion et un raisonnement même avec de fortes hypothèses simplificatrices. Exemple, pour la question 40, une analyse de l'amortissement des outillages face au nombre de pièces fabriquées. Ceci-dit, à peine 20% des étudiants traitent ces questions.

La question 36 demandait une bonne lecture du sujet et du document ressource.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS (et à leurs formateurs)

Il est encore une fois conseillé aux futurs candidats de faire une première lecture rapide du sujet pour prendre connaissance du problème dans sa globalité. Il pourra alors, dans la mesure où beaucoup de parties sont indépendantes, débiter par les parties qui lui semblent les plus évidentes et avoir en mémoire les documents ressources qui lui sont proposés.

Au-delà des résultats quantitatifs justes ou faux, et bien que certaines questions soient classiques pour l'épreuve SIC, le raisonnement est pris en considération. La qualité des réponses est fortement prise en compte (détails parcimonieux). Il est fortement conseillé aux candidats de justifier brièvement mais systématiquement les démarches et les solutions proposées. Cette qualité demande une compréhension générale du sujet d'étude traité (ici un hélicoptère), rédigé en suivant une logique et une cohérence, et non plus uniquement des réponses locales à chacune des questions indépendamment des autres.

Nous reconnaissons que certaines réponses quantitatives dépendaient en partie des réponses aux questions précédentes mais la correction tient toutefois compte des éléments de raisonnement donnés. Encore une fois, si le système d'étude est compris, les réponses en seront d'autant plus logiques et justifiées correctement.

Les ordres de grandeur de longueur, de masse, de force ou de puissance sont à connaître. **Les écritures soignées, l'utilisation de couleurs en particulier pour mettre en valeur les schémas et faire ressortir les résultats, sont très appréciées.** A contrario, les explications confuses, contradictoires ainsi que l'excès de fautes d'orthographe et de grammaire sont pénalisés.

Les questions originales de l'épreuve SIC (comparé à SIA et SIB) s'appuient sur une relation produit-matériaux-procédés forte. Elles ne peuvent plus se baser uniquement sur des questions « de culture générale » sans modèle ni calcul. Cette relation doit être maîtrisée en classes préparatoires PT.