

EPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES A VITRINE SÉCURISÉE - Durée : 5 heures

PRÉSENTATION DU SUJET

Le sujet se composait :

- d'une présentation du système étudié : 4 pages ;
- du travail demandé (parties 1, 2, 3 et 4) : 23 pages ;
- du cahier réponses à rendre, comprenant 53 questions : 22 pages.

Le sujet est basé sur la phase de développement d'une vitrine sécurisée. Cette vitrine doit mettre en valeur les objets en présentation (bijoux...) mais aussi les protéger en les confinant en cas de tentative de vol. Les différentes parties s'intéressaient aux dimensionnements et réglages d'éléments composants le système de confinement.

Les quatre parties étaient indépendantes et elles-mêmes constituées de nombreuses questions qui pouvaient être traitées séparément :

- la **Partie 1** permettait d'appréhender le comportement du système en mode de présentation client, de définir complètement les grandeurs nécessaires au choix des éléments constitutifs de la chaîne d'énergie de relevage/escamotage du module cloche, de dimensionner un amortisseur de chocs et de vérifier le non arc-boutement de la glissière ;
- la **Partie 2** abordait l'analyse du fonctionnement et la validation de l'architecture de puissance intégrée dans le variateur associée à la stratégie de sa commande rapprochée ;
- la **Partie 3** s'intéressait à l'architecture asservie de commande en courant de la MSAP afin d'assurer le déplacement contrôlé en couple du module cloche. Une première partie s'attachait à la stabilité statique et la détermination du couple électromagnétique généré par la MSAP (machine synchrone autopilotée) et une seconde partie permettait de vérifier la capacité en régime permanent de l'ensemble MSAP/variateur ;
- la **Partie 4**, enfin, portait sur l'architecture asservie de commande en position de la MSAP afin d'assurer un déplacement en suivi du profil d'escamotage/relevage du module cloche ;

COMMENTAIRES GÉNÉRAUX

Le sujet permettait aux candidats de mettre en œuvre une large part des compétences du programme de première et de deuxième année de CPGE, développées en Sciences industrielles pour l'ingénieur.

Les problématiques abordées dans ce sujet permettaient d'utiliser, pour la première fois, des connaissances et compétences du nouveau programme de la filière PT : utilisation d'un modèle de la machine synchrone, modélisation d'un onduleur. Elles permettaient aussi d'utiliser des outils, comme la représentation par GIC, qui bien que faisant partie du programme n'avaient été que très peu utilisés ces dernières années.

La construction du sujet assurait aux candidats d'aborder les problématiques quasiment dans leur ensemble du fait de leur indépendance et de résultats intermédiaires permettant de ne pas être bloqué dans la progression du traitement de chaque partie. Cependant, quand un résultat est donné dans le sujet, les correcteurs attendent uniquement la méthode permettant de l'établir.

De manière générale, les candidats abordent toutes les parties et balayent ainsi l'ensemble du sujet.

Les calculs numériques étaient très réduits par l'utilisation de valeurs numériques simples et l'utilisation d'abaques. Il n'en reste pas moins que l'absence de calculatrice ne peut expliquer des erreurs grossières de calcul ni l'oubli de l'unité du résultat.

On trouve encore des copies dans lesquelles le candidat récite son cours sans chercher à résoudre la question. Rappelons que les compétences ne se sont pas de simples connaissances.

Les copies sont, en général, bien présentées (le formatage par cahier réponses aide en ce sens très certainement). Quelques candidats utilisent cependant le cahier réponses comme brouillon et écrivent les réponses au crayon de papier de manière quasi illisible.

Pour finir, notons que comme chaque année, 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 1 – FONCTION SHOW-ROOM, DIMENSIONNEMENT DE LA MOTORISATION DE L'ESCAMOTAGE / RELEVAGE DU MODULE CLOCHE, DE L'AMORTISSEURS DE CHOCS ET DE LA GLISSIÈRE FONCTIONANALYSE ET MODÉLISATION DU SYSTÈME

La première question permettait d'appréhender le comportement du système par l'analyse d'une machine à état. Finalement, peu de candidats interprètent correctement l'enchaînement des états. Les réponses sont parfois simplistes, laissant au correcteur le soin d'interpréter lui-même une recopie du sujet.

La seconde partie permettait de dimensionner la motorisation électrique du système à l'aide d'une méthode industrielle. Le système étant soumis à la gravité, on cherchait à vérifier la validité du frein embarqué sur l'axe de la motorisation électrique. La justification des résultats est parfois fantaisiste sans chercher des causes plus fonctionnelles. Les calculs présentent des arrondis plus qu'approximatifs ce qui conduit parfois à des résultats erronés dans les valeurs de temps d'action. Les calculs de pression et de couple de freinage sont en moyenne bien effectués mais on trouve encore beaucoup d'inversion entre pression et effort et des expressions fausses de l'aire d'un disque. À de rares exceptions, le chronogramme des couples est faux de bout en bout. Enfin les questions portant sur les validations des exigences doivent être rédigées de façon plus explicites, avec une conclusion claire à chaque critère et pas uniquement une simple inégalité.

En cas de rupture d'un élément de la chaîne cinématique, la troisième partie permettait le dimensionnement d'un amortisseur de choc. Si on rencontre assez fréquemment un calcul juste de la vitesse d'un objet en chute libre, le choix de l'amortisseur qui en découle est moins souvent bien effectué. Quant à la valeur de la décélération, elle n'a été que rarement obtenue.

Enfin, on devait s'assurer du non arc-boutement de la liaison glissière. De fréquentes erreurs de signes sur les forces de liaison ont conduit à des résultats faux par la suite, avec des conclusions à l'opposé du bon sens.

Partie 2 – STRATÉGIE D'ALIMENTATION DE LA MOTORISATION D'ESCAMOTAGE/RELEVAGE DE LA CLOCHE

Cette partie, en s'adossant aux Graphes Informationnels Causaux –GIC–, permettait de modéliser une partie de l'architecture d'électronique de puissance du variateur alimentant la motorisation électrique. Les notions de base des GIC sont, très souvent, mal maîtrisées.

L'analyse d'un signal modulé est, elle aussi, souvent traitée de manière approximative.

Partie 3 – MODÈLE DE GÉNÉRATION DE COUPLE DE LA MOTORISATION D'ESCAMOTAGE/RELEVAGE

Cette partie permettait de montrer le nécessaire autopilotage d'une MSAP.

Beaucoup d'éléments étaient fournies, mais les candidats ont souvent très peu de connaissances de la manipulation de modèles électrotechniques (rares sont les candidats à donner l'unité d'une réactance).

La manipulation de formules trigonométriques est souvent fautive.

Les vecteurs de Fresnel sont, pour beaucoup de candidats, inconnus.

La dernière partie permettant de régler la boucle de courant est généralement bien traitée. Il ressort de cette partie, colorée électrotechnique, que les candidats doivent approfondir leurs connaissances et compétences dans ce domaine.

Partie 4 – RÉGLAGE DES PROFILS DE DÉPLACEMENT DU MODULE CLOCHE

Cette partie faisait appel à des notions d'automatique classique et a généralement été bien traitée.

Par contre, la détermination de gain de capteurs est souvent erronée.

Enfin l'analyse de résultats à comparer aux exigences client est aussi bien traitée. On rappelle qu'une réponse lacunaire de type « toutes les exigences sont vérifiées (ou non vérifiées) » n'est pas suffisante. Le candidat doit préciser qu'elle exigences et le comparer avec les résultats fournis.

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 20 min est 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.

Ainsi, 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.

ÉPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES B
ÉTUDE DU SYSTÈME D'ÉTALEMENT DE PÂTE SUR UNE MACHINE DE
STÉRÉOLITHOGRAPHIE POUR PIÈCES CÉRAMIQUES - Durée : 6 heures

PRÉSENTATION DU SUJET

Le sujet porte sur l'étude du système d'étalement de la pâte sur une machine de fabrication par stéréolithographie de pièces en céramique. Le racleur, dont le mouvement de translation permet l'étalement de la pâte, supporte le porte-lame et la lame dont la fonction est d'assurer l'obtention d'une fine couche de pâte (30 μm d'épaisseur) régulière sur toute la surface du plateau de fabrication. La précision obtenue sur ce point est une exigence forte que l'on retrouve dans plusieurs aspects de la conception et du dimensionnement des sous-parties du système. Les mouvements de levée-descente de la lame et du porte-lame sont pilotés par deux vérins pneumatiques tout-ou-rien double effet, la position de butée basse (position de raclage) étant positionnée précisément par deux vis de réglage micrométrique. Le mouvement de raclage est guidé en translation horizontale par rapport au plateau de fabrication par des rails de guidage linéaires supportant des patins à billes. La motorisation du racleur se compose d'un système de type vis à billes entraîné par un moteur électrique via une courroie synchrone.

Les poids relatifs des différentes parties du sujet sont :

II. Notice justificative	52%
III. Dessin d'étude de construction mécanique	48%

La répartition de la notation des différentes parties de la notice a été faite de la manière suivante :

- Dimensionnement des vérins pneumatiques de montée-descente (Q1 à Q5) : 8%
- Etude des déformations de la lame en phase de raclage (Q6 à Q15) : 14%
- Analyse de la solution de guidage linéaire (Q16 à Q20) : 6%
- Dimensionnement de la vis à billes (Q21 à Q28) : 11%
- Etude de la motorisation (Q29 à Q36) : 13%

Le dessin d'étude de construction mécanique, outil indispensable à maîtriser pour une bonne communication technique, proposait de concevoir :

- la fixation du moteur sur le support et la liaison complète entre la poulie dentée et l'arbre moteur (Q37 et Q38) ;
- le guidage en rotation de la vis à billes et la fixation de la poulie sur la vis (Q39 et Q40) ;
- l'implantation de l'écrou à billes sur le support (Q41).

COMMENTAIRE GÉNÉRAL DE L'ÉPREUVE

Le sujet est structurellement long et varié, les candidats peuvent ainsi s'exprimer sur l'ensemble de leurs compétences et montrer leur capacité à aborder un problème dans sa globalité. Une lecture complète du sujet est conseillée en début d'épreuve afin de s'imprégner du sujet. Les candidats sont invités à consacrer à peu près le même temps à la notice justificative et au dessin de construction mécanique.

Les calculatrices sont interdites. Les valeurs numériques données dans le sujet avaient été choisies afin de simplifier grandement les applications numériques à effectuer. Certaines applications numériques restaient délicates et demandaient donc une aptitude à effectuer des approximations pour pouvoir obtenir le résultat. Lors de l'évaluation des copies, une tolérance a été appliquée sur la

précision des résultats numériques obtenus. Le jury note cependant que certains calculs simples, comme des changements d'unités sur des durées ou sur des vitesses de rotation, ont mis beaucoup de candidats en difficulté même lorsqu'ils étaient censés être abordables.

Le sujet ne posait pas de difficulté particulière de compréhension.

Toutes les questions posées sont au niveau des candidats (à chaque question, plusieurs candidats obtiennent le maximum des points, et, pour 58% des questions, au moins 10% des candidats obtiennent le maximum des points).

Dans toutes les parties du sujet, des connaissances de base sont évaluées. Bon nombre de candidats ne les maîtrisent pas.

Une grande majorité des candidats a traité ou entamé chaque partie.

Les candidats ont fréquemment abandonné la notice justificative, notamment la dernière sous-partie, pour se consacrer au dessin : ils obtiennent en moyenne 47% de leurs points sur la notice et 53% sur le dessin d'étude de construction mécanique.

ANALYSE PAR PARTIE

Remarques sur la partie notice justificative

Remarques générales :

Les candidats semblent familiers avec le format de cahier réponse déjà utilisé les années précédentes.

Les candidats ont su profiter des sous-parties indépendantes et des questions indépendantes à l'intérieur de chaque partie. Toutes les sous-parties ont été abordées par plus de 97% des candidats, à l'exception de la dernière (90%) probablement par manque de temps. Parfois certains candidats ignorent entièrement plusieurs sous-parties de la notice.

La plupart des candidats semblent saisir l'enjeu des questions posées, mais néanmoins beaucoup de candidats ne répondent pas assez précisément à la question posée (ou bien ont mal lu la question posée) ce qui les pénalise fortement. Par exemple, ils donnent l'expression littérale au lieu de l'application numérique, ou inversement. Beaucoup de candidats n'expriment pas leurs applications numériques dans l'unité demandée. Parfois même l'unité ne correspond pas à une unité physique possible pour la grandeur demandée (à ce propos, une erreur présente dans le sujet sur l'une des unités demandées était susceptible d'induire les candidats en erreur ; l'ensemble des correcteurs a pris la décision de ne pas tenir compte des erreurs d'unité pour cette question).

Dimensionnement des vérins pneumatiques (Q1 à Q5)

Cette partie portait sur l'analyse des vérins pneumatiques permettant le mouvement de levée-descente de l'ensemble {lame + porte-lame}. Les candidats ont eu des difficultés à calculer précisément la nouvelle masse de l'ensemble (seulement 7% de réussite). Les questions sur les justifications technologiques ont été plus correctement traitées. Malheureusement les applications littérales et numériques ont été mal menées par les candidats, parmi lesquels beaucoup ont oublié qu'il y avait 2 vérins à prendre en compte, ou ont oublié le coefficient de sécurité. Par conséquent le choix final des vérins n'a été réussi que par 15% des candidats. Des résultats d'application numérique aberrants ont trop souvent été proposés par les candidats : un futur élève ingénieur doit savoir qu'un vérin de 10 m

de diamètre n'est pas une réponse correcte au dimensionnement demandé et devrait dans ce cas annuler sa réponse.

Etude des déformations de la lame en phase de raclage (Q6 à Q15)

Cette partie proposait une étude des déformations de la lame liées aux efforts durant la phase de raclage. Le sujet posait des questions sur la justification du modèle RDM et, donnant la formule à utiliser pour calculer la flèche, questionnait les candidats sur l'influence des paramètres intervenant dans cette formule en vue d'atteindre le critère de précision de l'épaisseur de la couche de pâte. Les questions sur la modélisation (Q6 à Q10) n'ont été totalement réussies, en moyenne, que par 42% des candidats. C'est notamment le cas sur des questions de base concernant les sollicitations élémentaires (Q9). Les éléments du torseur de cohésion (non chiffrés) ont été donnés correctement dans 75% des réponses. Malheureusement les applications numériques de la formule donnée (Q11 à Q15) n'ont été réussies correctement que par 13% des candidats au plus, à l'exception d'une question qualitative de choix de matériau (45% de réponses convenables).

Analyse de la solution de guidage linéaire (Q16 à Q20)

Cette partie abordait le choix technologique de guidages linéaires en regard du critère sur la précision de l'épaisseur d'une couche de pâte. 66% des candidats ont su indiquer les solutions qui respectaient les critères indiqués (Q16 et Q17). Néanmoins les questions suivantes ont reçu moins de succès, moins d'un candidat réalisant correctement le schéma cinématique ou le calcul du degré d'hyperstatisme du système (Q18 à Q20).

Dimensionnement de la vis à billes (Q21 à Q28)

Après des calculs simples sur la vitesse et les temps caractéristiques de dépose et de retour (Q21 à Q23) réussies par plus de 70% des candidats, cette partie abordait le dimensionnement des guidages linéaires à partir d'un document constructeur. La lecture des documents constructeur a été comprise par la plupart des candidats ayant abordé ces questions ; cependant beaucoup ont oublié de tenir compte des coefficients de sécurité indiqués, ce qui a conduit seulement un candidat sur deux à trouver la bonne vitesse critique de la vis à billes (Q25), permettant à seulement un quart des candidats d'effectuer le bon dimensionnement à la charge statique. La méthodologie présentée pour le calcul à la charge dynamique était identique à celle connue des candidats pour le calcul de durée de vie des montages de roulement. Néanmoins, les questions Q27 et Q28 n'ont connu qu'une réussite très faible (10% en moyenne) en raison des applications numériques délicates qui étaient attendues. Notamment les conversions ont souvent été mal effectuées par les candidats.

Etude de la motorisation (Q29 à Q36)

Cette dernière partie de la notice proposait aux candidats le choix d'une motorisation basée sur les caractéristiques constructeurs nécessaires dans deux phases de fonctionnement (accélération et raclage). Les expressions littérales des questions Q29 et Q30 ont été assez correctement traitées (69% et 57% de réussite) mais les erreurs dans les applications numériques, éventuellement lors de conversions simples, ont lourdement dégradé la suite de cette sous-partie. Moins d'un candidat sur cinq a finalement obtenu le couple et la puissance nécessaires en phase d'accélération. Les questions Q34 à Q36 ont été également mal traitées (moins de 20% de réussite en moyenne), les erreurs concernant principalement la prise en compte des rendements et des coefficients de sécurité (l'ensemble des correcteurs a finalement accordé une indulgence sur ce point), mais aussi les relations cinématiques ou statiques dans la transformation du mouvement par le système vis-écrou.

Remarques sur la partie dessin d'étude de construction mécanique

Remarques générales :

Le dessin était constitué de cinq zones précisées dans l'énoncé, dans lesquelles devaient être représentées :

- la proposition de solution assurant la liaison complète démontable du moteur sur la plaque support ;
- la proposition de solution assurant la liaison complète démontable et réglable de la poulie de transmission sur l'arbre moteur ;
- la proposition de solution assurant le guidage en rotation de la vis à billes par des roulements à billes à contact obliques préchargés ;
- la proposition de solution assurant la liaison complète démontable de la poulie réceptrice sur la vis à billes ;
- la proposition de solution assurant la liaison complète démontable et réglable de l'écrou à billes sur la plaque support.

Les candidats ont repéré sans ambiguïté les différentes zones concernées et n'ont pas eu de difficulté à cerner l'environnement déjà représenté sur le calque. Les quatre premières solutions ont été proposées par plus de 95% des candidats, tandis que la dernière n'a été réalisée que par 66% des candidats, probablement par manque de temps.

Les dessins produits sont dans l'ensemble d'une qualité satisfaisante, permettant une évaluation sans ambiguïté des solutions techniques proposées par les candidats.

Le jury a constaté que certains candidats fournissent des solutions techniques qui assurent la fonction principale demandée, mais ne respectent pas les consignes indiquées ; et il suppose que ces candidats cherchent à reproduire une solution étudiée pendant la formation sans l'adapter aux contraintes demandées par le présent sujet. Par exemple certaines solutions assurant une liaison complète par adhérence lorsqu'il est demandé une liaison par obstacle, ou un montage de roulements à billes à contact radial lorsqu'il est demandé un montage à contact oblique précontraint.

Liaison complète démontable du moteur sur la plaque support et liaison complète démontable et réglable de la poulie de transmission sur l'arbre moteur

La liaison du moteur sur la plaque support a été correctement réalisée par près de 60% des candidats, les autres n'effectuant pas correctement la mise en position sur le support. La fixation de la poulie sur l'arbre moteur a été moins bien réussie (moins de 25% de réponses totalement correctes). Les candidats ont régulièrement négligé de prévoir une possibilité de réglage ou laisser un double réglage (entre l'arbre moteur et la pièce intermédiaire puis entre cette dernière et la poulie) et certains n'ont pas utilisé de pièce intermédiaire comme cela était demandé.

Guidage en rotation de la vis à billes par des roulements à billes à contact obliques préchargés et liaison complète démontable de la poulie réceptrice sur la vis à billes

Environ 70% des candidats ont su produire un montage en « O » utilisant deux roulements à billes à contact obliques pour le guidage « avant », mais les arrêts axiaux et le réglage de la précharge ne sont permis que dans 30% des solutions proposées. Le guidage « arrière », par un roulement à contact radial, n'est correctement implanté que dans 30% des cas, la plupart des candidats bloquant trop d'arrêts axiaux pour l'ensemble de la solution. Enfin des aspects importants comme l'étanchéité des montages de roulements, la montabilité du système dans le carter, ou la forme usinée des parties recevant les roulements et autres pièces de maintien, sont régulièrement mal prises en compte par les candidats.

La fixation de la poulie réceptrice sur la vis a été correctement réussie par un candidat sur deux, certaines solutions oubliant de proposer une mise en position, une transmission par obstacle, ou n'étant pas démontable, ou encore interférant avec le carter fixe.

La proposition de solution assurant la liaison complète démontable et réglable de l'écrou à billes sur la plaque support

Cette partie a été correctement traitée par moins d'un candidat sur cinq l'ayant abordée. La plupart des solutions proposées ont montré une mauvaise compréhension de la forme des pièces dans l'espace par les candidats, notamment par des incohérences dans la correspondance entre les deux vues concernées par cette partie. Beaucoup de candidats ont aussi négligé la possibilité d'un réglage du positionnement de l'écrou permettant son alignement avec la vis à billes ou proposé un réglage dans la direction de l'axe de la vis à bille n'étant pas utile au fonctionnement correct du mécanisme, ce qui était pourtant une exigence essentielle pour la réalisation de cette solution.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS

Regarder l'ensemble du sujet afin d'aller chercher les parties dans lesquelles ils se sentent le plus à l'aise. Lire attentivement les questions et y répondre précisément en différenciant bien expression littérale et application numérique lorsque cela est spécifié. Exprimer les applications numériques dans l'unité requise, spécifier l'unité si cette dernière n'est pas imposée, et exprimer les expressions littérales en fonction des variables spécifiées dans la question ou à défaut dans le sujet. Vérifier l'homogénéité des expressions littérales et des unités lors des applications numériques.

Connaître et maîtriser les connaissances de base de mécanique : torseur de cohésion, formules de résistance de matériaux, application du PFS, du PFD, du théorème de l'énergie cinétique, calcul du degré d'hyperstatisme, réalisation des liaisons élémentaires (encastrement, pivot, méthode pour la réalisation d'un montage de roulements)...

En dépit de l'interdiction des calculatrices, effectuer les applications numériques (souvent simples) et prendre du recul sur les résultats numériques obtenus en se posant la question élémentaire : l'ordre de grandeur du résultat est-il cohérent vis-à-vis du produit étudié ?

Développer une culture technologique afin de proposer des solutions réalistes, par exemple en multipliant les activités d'analyse sur des systèmes réels.

Dans la partie « dessin d'étude de construction mécanique », privilégier les solutions qui soient les plus simples possibles. Penser à indiquer les jeux fonctionnels ainsi que les ajustements. Vérifier (au moins a posteriori) que la solution proposée est « montable », et que les pièces supposées en mouvement relatif n'ont pas d'interférences entre elles, et ne sont pas solidarisées, par des vis en particulier.

Ne pas appliquer systématiquement des solutions types mais bien prendre en compte les consignes données dans l'énoncé : par exemple lorsqu'une transmission de puissance est demandé par obstacle, ne pas proposer une solution par adhérence. Trop de candidats restituent sans réfléchir des solutions valables pour d'autres conceptions (issue d'autres sujets de concours par exemple), mais qui ne respectent pas les exigences de l'énoncé proposé.

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.