

EPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES B

Durée : 6 heures

PRÉSENTATION DU SUJET

Le sujet portait sur l'étude d'une centrifugeuse de précision permettant de calibrer des accéléromètres à haute performance. Le sujet comportait quatre parties visant à dimensionner, valider ou faire évoluer des solutions techniques en regard du cahier des charges fourni.

La première partie avait pour objectif final de choisir un moteur permettant de satisfaire différentes exigences du cahier des charges : niveau d'accélération imposé au capteur et temps de montée au régime maximal. Pour cela, il était nécessaire de lier vitesse angulaire et accélération centripète, modéliser les efforts de frottement dans l'air et estimer le couple moteur nécessaire pour compenser ces frottements au régime maximal. La deuxième partie visait à vérifier les exigences liées au fonctionnement sécurisé du système à travers la détection d'un déséquilibre lié au placement des capteurs à calibrer et la bonne tenue dans le temps du guidage en rotation du bras. Le premier point conduisait à estimer, via une étude statique, la valeur moyenne et la variation d'effort mesurable sur un pied de la centrifugeuse, et à choisir un capteur d'effort adapté. Le second point conduisait à discuter un choix de roulements à contact oblique préchargés et à en estimer la durée de vie. La troisième partie permettait de mettre en évidence l'impact des déformations d'origine mécanique et thermique sur la précision de la calibration. Pour cela, le bras était vu comme une poutre en traction sollicitée par une force répartie non uniforme et une force ponctuelle. La quatrième et dernière partie visait à pré-dimensionner une évolution technique permettant de compenser la rotation du plateau supportant les capteurs à calibrer, sous l'action des charges dynamiques. Le sujet proposait d'ajouter une masse mobile et de pré-dimensionner un dispositif électromécanique permettant de la positionner correctement en un temps raisonnable.

Les poids relatifs des différentes parties du sujet sont relativement équilibrés :

Performances du système et choix de motorisation Q1 à Q13	24%
Sécurité de fonctionnement Q14 à Q28	28%
Précision de la calibration sous les effets mécaniques et thermiques Q28 à Q40	20%
Étude d'une solution d'avant-projet Q41 à Q56	28%

COMMENTAIRE GÉNÉRAL SUR L'ÉPREUVE

Le sujet est structurellement long, 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 en début d'épreuve est conseillée afin de bien s'en imprégner.

Les calculatrices sont interdites. Certaines applications numériques demandent une aptitude à effectuer des approximations pour pouvoir atteindre le résultat. Lors de l'évaluation des copies, une tolérance de quelques pourcents est appliquée sur la précision des résultats numériques obtenus. Lorsque le calcul ne demande aucune approximation, aucune tolérance n'est appliquée.

Le sujet ne pose pas de difficulté particulière de compréhension et toutes les questions posées sont au niveau des candidats ; à chaque question, plusieurs 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.

Les candidats ont su tirer profit des parties et des questions indépendantes.

Sur la forme, le jury regrette qu'un nombre important de copies présentent des résultats analytiques bruts, sans simplification ni mise en forme adaptée (factorisation ou regroupement de termes, notamment). Cela nuit évidemment à l'interprétation ou l'exploitation que peuvent faire les candidats de leur résultat, ou à la réalisation des applications numériques qui peuvent ainsi devenir complexes alors même qu'elles étaient prévues pour être simples.

Le jury remarque enfin que les candidats sont familiers de ce format d'épreuve avec cahier réponse. La démarche est fortement guidée par le sujet si bien que les calculs à produire pour chaque question sont finalement très raisonnables et que les réponses à fournir dans les espaces prévus sont simples. Certains candidats pensent néanmoins judicieux d'écrire ces détails de calcul dans la zone de réponse rendant de facto celle-ci illisible, alors même que ça n'est pas demandé. Quelques candidats ont ainsi dû exploiter l'espace disponible en fin de cahier réponse afin de remplacer un espace réponse devenu illisible dans le cahier. Encore trop de candidats ne respectent pas les notations imposées en introduisant les leurs, ou expriment la réponse en fonction d'autres quantités que celles imposées.

ANALYSE PAR PARTIE

Performances du système et choix de motorisation :

Cette première partie avait pour objectif terminal de choisir un moteur couple permettant d'atteindre le niveau d'accélération maximal souhaité pour le capteur avec un temps de montée jusqu'au régime maximal satisfaisant. La démarche proposée consistait tout d'abord à relier vitesse de rotation du bras et accélération centripète vue par le capteur accélérométrique positionné en bout de bras. L'étude conduisait à estimer la vitesse de rotation devant être atteinte par le système. Ces premiers calculs de cinématique ont été plutôt bien traités, mis à part l'application numérique à faire dans différentes unités qui n'a été totalement juste que pour 35% des candidats, alors que plus de 50% des candidats avaient répondu correctement aux précédentes questions.

Il était ensuite proposé d'estimer l'inertie de l'ensemble tournant, de calculer le couple résistant lié aux effets aérodynamiques et d'en déduire l'équation de mouvement. Plus de 80% des candidats réussissent très bien les premières questions de cette sous-partie, mais les résultats se dégradent dans la suite, notamment à cause d'erreurs de signe, d'intégration, ou dans les produits vectoriels.

Bien que non-linéaire, la solution analytique pouvait être trouvée (la forme de la solution étant donnée dans le sujet) et un tableau récapitulant les temps de montée et les vitesses maximales obtenues était fourni. Sur cette base, la partie se terminait en évoquant les critères de choix et en sélectionnant les moteurs adaptés dans un catalogue proposé. Bien que seulement 20% des candidats concluent correctement cette partie en allant au bout du choix de moteur, elle a été globalement bien traitée :

- 75% des candidats obtiennent plus de 50% des points ;
- 35% des candidats obtiennent plus de 75% des points ;
- 58 candidats ont obtenu tous les points de cette partie.

Sécurité de fonctionnement :

Cette seconde partie avait un objectif double : choisir un capteur d'effort à intégrer dans un pied de la centrifugeuse et permettant de détecter un éventuel problème dans la mise en place des capteurs, valider un choix de montage de roulements et une précharge associée. Le choix du capteur s'appuyait sur une analyse statique relativement simple permettant de vérifier le niveau des oscillations à mesurer en cas de déséquilibre ainsi que l'effort nominal à supporter. Cette première sous-partie a été relativement bien traitée puisque plus de 50% des candidats vont jusqu'à un choix judicieux de capteur. La deuxième sous-partie visait tout d'abord à justifier le choix d'un montage en O plutôt qu'en X. Bien que classiques, seulement 20% des candidats répondent de façon satisfaisante à ces questions technologiques. Le choix d'une précharge axiale pour le montage était ensuite très guidé à travers différentes questions et un schéma détaillant les notations et les phases de repos, de précharge, et de chargement extérieur. Malgré cela, les questions associées sont très mal traitées, avec près de 80% d'échec complet pour certaines. Enfin, le calcul de la durée de vie des roulements, qui pouvait être fait sans avoir traité les questions précédentes puisque les efforts étaient donnés, a lui aussi été souvent

escamoté. Seulement 10% des candidats calculent la durée de vie correctement, application numérique incluse.

Cette partie a été moins bien traitée que la première dans l'ensemble notamment à cause de la sous-partie portant sur le montage de roulements :

- 30% des candidats obtiennent plus de 50% des points ;
- 5% seulement des candidats obtiennent plus de 75% des points ;
- Seulement 2 candidats ont obtenu tous les points de cette partie.

Précision de la calibration sous les effets mécaniques et thermiques :

Cette troisième partie permettait de mettre en évidence l'impact des déformations d'origine mécanique et thermique sur la précision de la calibration. Le bras était vu comme une poutre en traction sollicitée par des chargements axiaux : un effort linéique sur tout le bras et un effort ponctuel en bout de bras. Le calcul de la réaction en A et le calcul de l'effort normal ont posé problème à un bon nombre de candidats : seulement 30% ont répondu correctement à ces deux questions. En effet, très souvent, l'effort linéique, qui variait linéairement sur le bras, a été remplacé par un effort linéique uniforme. Cela a conduit à des erreurs également dans le calcul de l'allongement associé. L'écriture de l'erreur relative sur l'accélération a été bien traitée, mais l'application numérique et la conclusion associée nettement moins : très souvent, les candidats n'ont pas exploité correctement le cahier des charges fourni qui spécifiait une précision en ppm (avec une illustration). Seulement 15% des candidats répondent correctement à cette question. Les trois dernières questions permettaient d'ajouter les erreurs d'origine thermique, prépondérantes, puis de conclure sur le non-respect du cahier des charges et sur la nécessité d'apporter des modifications structurelles ou de compenser ces erreurs. Seulement 15% des candidats répondent correctement à ces questions pourtant simples.

Cette partie a été traitée globalement de manière satisfaisante :

- 50% des candidats obtiennent plus de 50% des points ;
- 15% des candidats obtiennent plus de 75% des points ;
- 13 candidats ont obtenu tous les points de cette partie.

Étude d'une solution d'avant-projet :

Cette dernière partie avait pour objectif de pré-dimensionner une évolution technique permettant de compenser la rotation du plateau supportant les capteurs à calibrer sous l'action des charges dynamiques. Le principe proposé était d'adapter la position d'une masse mobile pour ajouter un contre-effort permettant de limiter la rotation du plateau. Après avoir calculé le torseur d'actions mécaniques imposé au centre du plateau, le sujet proposait de scinder l'étude RdM en deux sous-problèmes classiques : l'étude d'une poutre encastree avec effort transversal en bout, et l'étude d'une poutre encastree avec moment de flexion en bout. Cette sous-partie a été correctement traitée dans l'ensemble, malgré des erreurs de signe fréquentes liées à la masse qui était représentée avec une coordonnée z négative, et grâce à des résultats intermédiaires fournis dans le sujet. La seconde sous-partie conduisait à choisir un ensemble moteur, réducteur et codeur. Pourtant facile, et relativement indépendante du reste de l'épreuve, elle a été très peu traitée : elle n'a rapporté aucun point à près de 80% des candidats.

Cette partie a été traitée de manière assez incomplète, avec des résultats contrastés :

- 45% des candidats obtiennent plus de 50% des points ;
- 7% des candidats obtiennent plus de 75% des points ;
- Seulement 2 candidats ont obtenu tous les points de cette partie.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS

Écrire lisiblement, assez gros et avec une encre pas trop claire. Marquer suffisamment les tracés au crayon.

Lire l'ensemble du sujet en début d'épreuve afin d'aller chercher les parties dans lesquelles les candidats se sentent les plus à l'aise.

Répondre précisément aux questions posées en différenciant bien expression littérale et application numérique. Prendre le temps de simplifier les expressions littérales obtenues (factorisation, simplification de fractions, etc). Exprimer les applications numériques dans l'unité requise, préciser l'unité si celle-ci n'est pas imposée, et donner les expressions littérales en fonction des variables spécifiées dans la question uniquement.

Connaître et maîtriser les connaissances de base : torseur de cohésion, formules de résistance des matériaux, application du PFS, du PFD, du théorème de l'énergie cinétique...

Effectuer les applications numériques en dépit de l'interdiction des calculatrices et porter un regard critique sur les résultats numériques obtenus en se posant la question élémentaire : le résultat est-il plausible vis-à-vis du produit étudié ?