

ÉPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES A ROBOT BAXTER

Durée : 5 heures

PRÉSENTATION DU SUJET

Le sujet se composait :

- d'une présentation du système étudié : 3 pages ;
- du travail demandé (parties 1, 2, 3 et 4) : 22 pages ;
- du cahier réponses à rendre, comprenant 50 questions : 24 pages.

Le sujet est basé sur la phase de développement d'un robot collaboratif *-cobot-*. Ce robot a, entre autres, vocation à pouvoir travailler à la place d'humains et/ou en interaction avec des humains. Son architecture se rapproche donc d'un humanoïde pour la partie tronc et bras.

Pour pouvoir assurer ces fonctions de travail collaboratif, le robot doit mettre en œuvre différentes technologies visant à accroître la sécurité :

- Ne pas présenter de surfaces dangereuses pour l'humain (formes arrondies) ;
- Limiter les efforts et les vitesses de déplacement (articulations élastiques) ;
- Détecter les collisions.

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

- La **Partie 1** proposait une étude cinématique d'un bras du robot permettant de déterminer certaines grandeurs (positions, vitesses). L'étude montrait que le bras du robot était constitué exclusivement d'articulations construites avec des pivots, une modélisation en découlait.
- La **Partie 2** abordait la conception d'une articulation. Ces articulations ont la spécificité d'être élastique. Une conception de l'élément central de cette articulation, le ressort, était suivi d'une étude de l'asservissement en couple de l'articulation.
- La **Partie 3** s'intéressait d'abord à la modélisation de la motorisation de l'articulation puis à l'asservissement interne de cette motorisation pour générer le couple.
- La **Partie 4** enfin, permettait de vérifier le bon dimensionnement de la motorisation et de son variateur pour un point de fonctionnement.

COMMENTAIRES GÉNÉRAUX

Le sujet permettait aux candidats de mettre en œuvre des compétences du programme de première et de deuxième année de CPGE, développées en Sciences Industrielles pour l'Ingénieur.

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. 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. Certains candidats ont obtenu des valeurs numériques disproportionnées (des milliers

de Nm par ex.). Bien souvent ils ont précisé que leurs valeurs étaient, très certainement, erronées. Cette réaction est appréciée des correcteurs.

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).

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 – ETUDE CINEMATIQUE D'UN BRAS DU ROBOT BAXTER

La première question demandait aux candidats de réaliser le schéma cinématique du bras gauche. Les candidats ont très généralement bien réalisé cette question mais attention à la représentation.

Ensuite le sujet proposait une démarche très progressive de modélisation d'une partie du bras pour ensuite la valider. Cette partie demandait de la rigueur mais sans difficultés particulières. Beaucoup de candidats ont bien avancé sur cette partie. Par contre peu ont su analyser correctement les résultats d'utilisation du modèle (de simples réflexions permettaient de valider ou invalider le modèle trouvé).

Partie 2 – ETUDE D'UNE ARTICULATION ELASTIQUE DU BAXTER

Une première partie permettait de dimensionner le ressort de torsion qui fait la spécificité des articulations de ce robot (SEA). Malgré le fait de donner beaucoup d'éléments, peu de candidats ont réussi à dimensionner ce ressort correctement.

La seconde partie permettait de mettre en place la commande du SEA. La détermination des 2 équations temporelles reliant les couples aux angles et accélération a mis en difficulté nombre de candidats. Cela a étonné les correcteurs. S'en déduisait l'apparition de 2 pôles imaginaires purs dont peu de candidats ont vu qu'ils faisaient apparaître un oscillateur. La partie réglage d'architecture de correction, classique, a été très souvent bien réalisée.

Partie 3 – ASSERVISSEMENT EN COUPLE DE LA MOTORISATION D'UNE ARTICULATION ELASTIQUE DU BAXTER

Cette partie se décomposait en 2 sous partie.

Une première partie permettait de modéliser la motorisation par transformation triphasé-diphasé. Beaucoup d'éléments de modélisation étaient donnés et la démarche était très détaillée. Un grand nombre de candidats a réalisé une partie importante de cette modélisation. Les blocages sont généralement dû à des erreurs de manipulation en trigonométrie.

La seconde partie permettait de mettre en place une partie de la commande du moteur. La partie réglage d'architecture de correction, encore une fois classique, a été très souvent bien réalisée.

Partie 4 – VERIFICATION D’UN POINT DE FONCTIONNEMENT DE L’ARTICULATION DU COUDE

Cette dernière partie faisait appel à des notions simples de mécanique et d’électrotechnique. Elle a été peu traitée et encore moins finalisée (est-ce lié au fait que c’était la dernière partie de ce sujet ?).

Les vecteurs de Fresnel et leurs manipulations sont, pour beaucoup de candidats, encore inconnus.

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 rigoureusement le cheminement qui l’a amené à ces dernières (« faire un TEC » ou « par application du PFD » ne suffisent pas).

.

ÉPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES B
ÉTUDE D'UN SYSTEME DE LEVAGE DE PLATEAUX DE MATERIELS ELECTRIQUES
POUR PALETTISATION

Durée : 6 heures

PRÉSENTATION DU SUJET

Le sujet porte sur un système industriel de palettisation de matériels électriques composé d'une part de trois ascenseurs (appelés systèmes de levage des plateaux), et d'autre part d'un préhenseur de manipulation, ce dernier ne faisant pas l'objet d'étude lors de l'épreuve.

Dans un premier temps, l'exigence d'encombrement ayant imposé de disposer en porte-à-faux la motorisation du système d'entraînement par vis/écrou à billes, il en résulte des efforts potentiellement néfastes pour le fonctionnement du système. La notice propose, à partir d'un modèle de liaison fourni, de vérifier ou justifier différents choix de composants en regard des déformations possiblement induites par les efforts transitant dans le système. Ainsi, la déformation liée à la flexion de la vis à billes permet de vérifier le rotulage des paliers choisis. Puis, les tolérances de fabrication de la liaison glissière entre les colonnes fixes et les douilles de guidage du plateau permettent d'étudier le jeu angulaire disponible pour ce guidage. Dans un second temps, les questions de la notice concernent le dimensionnement du servomoteur d'entraînement selon plusieurs modèles. Après avoir analysé le rapport de transmission, la validation des servomoteurs est d'abord proposée lors d'une phase à vitesse constante sur des critères de temps de montée et de couple nécessaire. Ensuite le modèle est affiné avec l'emploi d'une loi de pilotage trapézoïdale du moteur. Une fois les choix validés, la seconde partie de l'épreuve consiste à proposer une solution constructive pour réaliser l'implantation du servomoteur sur le support et des éléments de transmission et de guidage associés.

Les poids relatifs des différentes parties du sujet sont :

- Notice justificative 50 %
- Dessin d'étude de construction mécanique 50 %

Thématiquement, sur la notice justificative, la répartition de la notation a été faite de la manière suivante :

- Étude des actions mécaniques et de la déformation de la vis à billes Q1 à Q6 26 %
- Étude des rotulages vis/bâti et plateau/colonnes de guidage Q7 à Q13 23 %
- Étude de la transmission et dimensionnement en vitesse constante Q14 à Q25 26 %
- Dimensionnement avec loi de montée trapézoïdale Q26 à Q37 25 %

COMMENTAIRE GÉNÉRAL DE 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 est conseillée en début d'épreuve afin de s'imprégner de la logique de son organisation.

Les calculatrices sont interdites. Certaines applications numériques demandaient une aptitude à effectuer des approximations pour pouvoir atteindre le résultat. Lors de l'évaluation des copies, une tolérance de quelques pourcents a été appliquée sur la précision des résultats numériques obtenus.

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 80% des questions, au moins 8% 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 sous-partie de la notice, profitant éventuellement de l'indépendance des questions du sujet et des résultats intermédiaires fournis régulièrement pour « sauter » une question plus délicate à traiter.

Les candidats ont fréquemment abandonné certaines questions de la notice justificative pour se consacrer au dessin qui est le plus souvent traité dans son intégralité : ils obtiennent ainsi en moyenne 46% de leurs points sur la notice et 54% sur le dessin d'étude de construction mécanique.

ANALYSE PAR PARTIE

Remarques sur la partie notice justificative

Remarques générales :

Le jury remarque que les candidats semblent familiers de ce format d'épreuve avec cahier réponse. Néanmoins encore trop d'entre eux ont eu visiblement un raisonnement juste mais ne répondent pas précisément à la question posée (donnent l'expression littérale au lieu de l'application numérique, et inversement, n'expriment pas les résultats en fonction des quantités demandées ou n'effectuent pas leurs applications numériques dans l'unité demandée), ce qui les pénalise fortement.

Les candidats ont su profiter des sous-parties indépendantes et des questions indépendantes à l'intérieur de chaque sous-partie. Le cas de sous-parties entièrement non traitées reste peu fréquent, suggérant que les candidats ont su gérer efficacement leur temps pour aborder l'ensemble du sujet proposé.

Actions de liaison sur la vis à billes :

Cette partie introduisait la modélisation des actions mécaniques nécessaires au calcul des déformations nécessaires à la vérification des rotulages autorisés. L'utilisation du principe fondamental de la statique et les modèles de liaisons ont été correctement identifiés par près des trois quarts des candidats. Cependant la résolution des actions mécaniques de liaison dans le cas isostatique n'a abouti que pour 20% d'entre eux. Les choses se compliquent lorsqu'on s'intéresse à une modélisation de type « poutre » de la vis à billes : seulement la moitié des candidats parvient à effectuer un bilan des actions mécaniques extérieures convenable, et moins de 10% à en déduire le type d'actions de cohésion (leur résolution mathématique n'était pas demandée). Dans la continuité, les questions relevant plus du « sens physique » n'ont quant à elles été correctement traitées que dans 15% des cas.

Étude des rotulages vis/bâti et plateau/colonnes de guidage

Les courbes de résultat du modèle « poutre » précédent étaient directement fournies aux candidats pour compréhension et interprétation. La compréhension élémentaire (signes, formes de la vis associées) a été correcte pour plus d'un candidat sur deux. Cependant très peu de candidats ont prolongé le raisonnement jusqu'à faire le lien entre l'angle de flexion de la vis et les rotulages admissibles par les paliers, ce qui était pourtant un des objectifs du modèle proposé. Concernant les bagues de guidage, seulement un candidat sur deux est capable de *justifier* le choix en indiquant les valeurs limites données par le constructeur. Un modèle simple de rotulage, basé sur les tolérances de fabrication d'un arbre et d'un alésage, est ensuite utilisé pour vérifier les valeurs « constructeur ». 56% des candidats ont fourni l'expression théorique des rotulages minimaux et maximaux attendus. Cependant la résolution numérique n'est réussie que par 3% des candidats, soient que les résultats soient faux, soient qu'ils aient décidé de « gagner du temps » en passant à la suite. Une question de « sens physique » demandant de prévoir l'évolution dans le cas d'un système réel a été comprise par 56% des candidats, mais de manière très partielle.

Étude de la transmission

La transmission se composait d'un système d'entraînement par poulie et courroie, puis d'un système vis-écrou à billes. En guise d'introduction, les candidats étaient interrogés sur la course possible compte tenu des encombrements des paliers et de l'écrou. Cette partie, nécessitant un lien entre l'encombrement et le mouvement possible des pièces, a été faiblement réussie (31%). Le sujet donnait donc une valeur de la course à utiliser dans la suite, ce qui a permis à 75% des candidats de donner le rapport de transmission correct. Cependant l'application numérique, relativement simple, n'est effectuée avec précision que par 10% des candidats. Il s'ensuivait des questions sur les relations cinématiques intermédiaires ou globales en vue du calcul des vitesses de servomoteurs nécessaires pour respecter le temps de montée fourni par le cahier de charge. Lors de ces questions, les expressions analytiques ont été en général correctement établies (plus de 50%), cependant les applications numériques ont été insuffisantes (moins de 25% de réussite).

Dimensionnement dans le cas d'un pilotage à vitesse constante

À l'aide des relations établies précédemment, un modèle négligeant les temps d'accélération et de décélération était proposé pour effectuer un prédimensionnement rapide en termes de vitesse et de couple nécessaires. Le calcul des temps de montée a ainsi été effectué par 80% des candidats, mais est resté relativement imprécis pour les trois quarts d'entre eux. Concernant le calcul du couple nécessaire, la relation entrée/sortie a été établie correctement ; cependant les hypothèses nécessaires pour utiliser la relation cinématique dans un tel cas ne sont précisément justifiées par 10% des candidats. L'application numérique, là encore, n'est que très faiblement réussie (13%).

Dimensionnement dans le cas d'une loi de vitesse trapézoïdale

Une approche énergétique était fortement suggérée afin d'établir les relations nécessaires dans le cas des phases d'accélération et de décélération. Dans l'ensemble, les candidats ont su établir l'expression des énergies cinétiques (entre 60 et 80%), avec cependant moins de succès pour celle du plateau. Les applications numériques sont cependant restées décevantes (entre 8% et 53% de succès), soit par erreur de calcul, soit par erreur dans la considération des unités à utiliser. La maîtrise du théorème de l'énergie cinétique et des hypothèses requises a été entièrement réussie par la moitié des candidats. Cependant, l'application de la formule fournie dans l'énoncé a souvent donné lieu à des erreurs de signe, voire d'homogénéité dans les résultats des candidats. Les dernières questions de cette partie ont probablement été résolues avec hâte par les candidats, afin de conserver un temps suffisant pour le dessin.

Remarques sur la partie « dessin d'étude de construction mécanique »

Remarques générales :

Le dessin était constitué de plusieurs zones de conception indiquées dans le sujet, dans lesquelles devaient être représentées :

- Une solution permettant la fixation du moteur « décalé » de la plaque support avec possibilité de réglage de la tension de la courroie par variation de l'entraxe entre la vis à billes et l'arbre moteur ;
- La fixation démontable de la poulie motrice sur l'arbre moteur avec possibilité de réglage axial de sa position et transmission de puissance par obstacle ; le tout en utilisant une pièce intermédiaire afin de respecter les formes de l'arbre moteur ;
- La mise en place du guidage de la vis à billes par les paliers indiqués dans l'énoncé fixés sur les plaques support, de manière à ce que l'ensemble reste démontable tout en satisfaisant un montage de type « palier fixe – palier libre », ainsi que la fixation démontable de la poulie réceptrice sur la vis à billes ;

- Une liaison entre l'écrou à billes et la fourche de levage autorisant les mobilités nécessaires pour éviter le blocage du système (hyperstatisme) tout permettant de transformer la rotation de la vis à billes en translation verticale de la fourche.

Les candidats n'ont pas montré de difficulté pour appréhender l'environnement.

Les dessins sont globalement d'une qualité satisfaisante, laissant peu d'ambiguïté sur les solutions techniques proposées par les candidats.

Fixation du moteur déportée par rapport à la plaque support inférieure

Quasiment tous les candidats donnent des éléments de solution pour cette partie. Un petit nombre de candidats montre une compréhension très insuffisante des formes dessinées : pièces fixes et mobiles solidarisées par des liaisons complètes, certaines mobilités non bloquées entre pièces du même ensemble cinématique, etc.

La fixation est globalement réalisée, mais seulement un quart des candidats proposent des solutions convenables pour la mise en position permettant le réglage de l'entraxe des poulies. Certains candidats n'ont pas respecté la consigne d'une conception mécano-soudée, ou n'ont pas pensé à l'espace nécessaire pour le passage de la courroie.

Fixation de la poulie motrice sur l'arbre moteur

Dans l'ensemble, cette partie est traitée par la grande majorité des candidats. La fixation, utilisant une pièce intermédiaire, devait assurer un double centrage par rapport à l'axe moteur, une transmission de puissance par obstacles et un réglage axial. Environ 50% des solutions proposées remplissent deux des conditions, mais seulement un cinquième des solutions respectent l'ensemble des fonctions demandées.

Guidage de la vis à billes et fixation de la poulie réceptrice

La plupart des candidats ont proposé une solution à cette partie.

L'utilisation des paliers fournis dans le sujet n'a pas toujours été respectée par les candidats. De même les jeux et arrêts axiaux nécessaires au montage en « palier libre » ou « palier fixe » ne sont respectés que pour un cinquième des candidats.

La fixation de la poulie réceptrice a été mieux réussie ; plus de la moitié des solutions rendues assurent correctement à la fois la mise en position, le maintien en position et le démontage possible de la poulie.

Liaison entre l'écrou à billes et la fourche de guidage

Cette partie a été plus faiblement traitée (seulement 65% de propositions) probablement par manque de temps. Si la plupart des solutions respectent l'utilisation d'une pièce de jonction intermédiaire, beaucoup de candidats n'ont pas pensé à effectuer une mise en position rigoureuse par rapport à l'écrou. Enfin, la liaison de cette pièce intermédiaire avec la fourche était délicate du fait d'un jeu nécessaire pour soulager l'hyperstatisme du système. Son principe était décrit par un schéma de principe dans le sujet, mais il a posé des difficultés aux candidats. Beaucoup ont opté pour une liaison complète, ce qui était contraire aux indications de l'énoncé.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS

Sur la base des difficultés ou erreurs relevées par les correcteurs, un ensemble de conseils est proposé par les correcteurs aux futurs candidats.

Dans le cahier réponse, il est important d'écrire lisiblement et avec une encre pas trop claire. Lors de dessin de construction, les candidats sont invités à marquer suffisamment les tracés au crayon. Les cahiers réponses et les dessins sont aujourd'hui numérisés et les traits ou les écritures trop légers sont souvent difficiles à « lire ».

Un conseil classique mais essentiel est de commencer par parcourir l'ensemble du sujet afin : de repérer les parties dans lesquelles le candidat se sent le plus à l'aise, mais surtout de comprendre la cohérence du déroulé des parties.

Il est attendu de la part des candidats de répondre précisément aux questions posées, notamment en différenciant bien expression littérale et application numérique, comme indiqué dans les questions du sujet. Pour les applications numériques, il est indispensable de spécifier l'unité, et si l'unité est précisée dans l'énoncé, il faut obligatoirement l'utiliser. L'unité générique « SI » ou « USI » comme « unité du système international » est considérée par les correcteurs comme une absence de connaissance de la part du candidat. Pour les expressions littérales, il faut utiliser les variables spécifiées dans la question le cas échéant, et vérifier systématiquement l'homogénéité des expressions présentées.

Dans cette épreuve, il est essentiel de connaître et maîtriser les connaissances de base : modélisation des liaisons ; théorie des poutres ; énoncés, hypothèses et application des théorèmes fondamentaux de la mécanique ; conception des liaisons élémentaires et éléments de machines (encastrement, pivot, réalisation d'un montage de roulements, d'une transmission de puissance par obstacle ou par adhérence ...).

En dépit de l'interdiction des calculatrices, effectuer les applications numériques en effectuant des simplifications adéquates pour gagner du temps (par exemple, $\pi = 3$). Prendre du recul sur les résultats numériques obtenus en se posant la question élémentaire de son ordre de grandeur (et de son unité) : le résultat est-il plausible vis-à-vis du produit étudié ?

Dans la partie « dessin d'étude de construction mécanique », réfléchir à l'ensemble d'une solution avant de la dessiner. Bien identifier les mobilités relatives entre les différents ensembles cinématiques. Pour la réalisation de liaisons complètes, de guidages, d'étanchéité, etc., ne pas appliquer systématiquement des solutions types vues sur d'autres systèmes. Prendre le temps d'analyser les spécificités du système étudié et de vérifier l'adéquation de la solution proposée aux contraintes indiquées dans le sujet.

Privilégier les solutions qui soient les plus simples possibles. En particulier, se poser systématiquement la question de la montabilité des solutions, de leur faisabilité, du démontage éventuel.

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

EPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES C

HELICOPTERES LEGERS

Durée : 6 heures

PRESENTATION DU SUJET

Le sujet portait sur l'analyse d'un effecteur de perçage à assistance vibratoire commandée par un actionneur piézoélectrique. Le sujet était composé de 4 parties : l'analyse énergétique globale de la cellule (déplacements, vitesses, puissances), ainsi que les phénomènes de perçage nécessitant un nez d'accostage pour le bon déroulement de l'usinage (calcul de déformées...) ; analyse de l'assistance vibratoire au perçage (cinématique, fréquence, amplitude) ; analyse de l'effecteur de perçage (cinématique, hyperstatisme, commande électronique, dessin de solutions technologiques) ; industrialisation d'une des pièces (analyse des procédés et du contrôle de la pièce).

- La **PARTIE I** (20%) analysera, à partir des dimensions de la structure à percer, les besoins, contraintes et performances à imposer à la base mobile (VGA / véhicule à guidage automatique) pour satisfaire les fonctions « positionner le robot par rapport à la pièce », « assurer la stabilité de la cellule pendant le processus de perçage » et « accostage ». Cette dernière fonction est nécessaire pour le bon déroulement de l'opération de perçage lorsqu'on perce un empilement de tôles déformables ;
- La **PARTIE II** (15%) étudiera une fonction exigée pour certaines opérations de perçage, nécessaire pour la fonction « fragmenter les copeaux ». Elle consiste à superposer à un mouvement d'avance du foret (classiquement de vitesse constante), des oscillations d'amplitudes et fréquences contrôlées, afin de provoquer des entrées et sorties successives de l'outil dans la matière ;
- La **PARTIE III** (45%) étudiera la cinématique de l'effecteur de perçage, en proposant des études visant le fonctionnement des deux méthodes de génération d'oscillations, la chaîne de commande d'un des actionneurs intégrés et la conception d'une liaison cinématique importante pour le bon fonctionnement de l'effecteur ;
- La **PARTIE IV** (15%) portera sur la fabrication et le contrôle de spécifications d'un des composants de l'effecteur.

Chaque partie pouvait être traitée indépendamment des autres, à condition de lire attentivement l'énoncé. Quelques questions étaient « à tiroir » au sein des parties mais cela restait marginal et permettaient toutefois d'appréhender le raisonnement global des candidats face à la construction du sujet.

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, ses aspects commande/contrôle et son industrialisation. Les compétences attendues concernent tout d'abord : l'analyse et la vérification des performances attendues de systèmes ou sous-systèmes à partir de modélisations (dessin de définition, modèles analytiques, schéma cinématique...). L'analyse a été segmentée en démarrant par la structure globale du système (base mobile + robot + effecteur de perçage) pour aboutir à l'analyse du comportement interne de l'effecteur de perçage lui-même. Dans un second temps, les compétences attendues concernent les 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. Certaines questions théoriques étaient « classiques » par rapport aux sujets des années précédentes (entre autres les questions d'industrialisation de la partie IV). D'autres, également « classiques », demandaient un raisonnement simple du système étudié (ex : mécanique du solide, analyse énergétique, analyse de l'hyperstatisme...). D'autres (environ une dizaine en partie II et III) demandaient une réflexion plus fine et une certaine compréhension du système. La moyenne de l'épreuve est de 5,45/20 (écart type 2,64) alors que les réponses aux questions purement théoriques (sans avoir besoin de comprendre le système d'étude) permettaient d'approcher les 6/20. Le sujet traitait un système dynamique a priori complexe mais des descriptions préliminaires, à chaque partie, avec des compléments d'information détaillés, fournissaient des éléments importants nécessaires pour aborder les questions. Il fallait pour cela que les candidats lisent avec rigueur le 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'ÉPREUVE

Partie I : Compréhension et analyse macroscopique de la cellule robotisée et de l'interface robot / structure à percer

Cette première partie avait pour but, dans un premier temps (A), de comprendre le fonctionnement global du système (base mobile + robot + effecteur de perçage) dans son environnement global autour du nez de l'avion. L'idée était d'analyser les caractéristiques globales de déplacement, vitesse et accélération pour le perçage de l'ensemble du nez de l'avion. Paradoxalement, pour des questions simples de mécanique du solide seuls 57% des candidats ne donnent pas de réponses (ou des réponses totalement fausses) à ces questions.

Dans un second temps (B), les questions portaient sur la notion de précontrainte générée sur les tôles par l'accostage de l'effecteur. A nouveau, outre la question 10 pour laquelle la réponse était dans les documents ressources, 39% des candidats présentent une mise en équation correcte pour 2 ressorts en parallèle avec précharge. Seule la forme littérale était demandée.

Partie II : Compréhension et analyse de la cinématique du perçage à assistance vibratoire

Il s'agissait ici de comprendre le mécanisme d'oscillation nécessaire à la fragmentation du copeau. Cette partie peu classique débutait par trois questions purement théoriques de manipulation des équations. Elles ont été très bien traitées.

Les deux dernières questions d'analyse, qui demandaient aux candidats d'interpréter et donner un sens physique à ces résultats, ont eu moins de succès.

Partie III : Compréhension et analyse de l'effecteur

Cette partie était la plus importante du sujet et était divisée en 5 sous-parties pour aborder l'analyse cinématique globale de l'effecteur de perçage, l'analyse cinématique pour la création des oscillations par les deux moteurs, l'analyse des oscillations fournies par le matériau piézoélectrique seul, de sa commande, pour terminer par des éléments de conception mécanique de la solution.

La section (A) était relativement facile dès lors que le schéma cinématique et les caractéristiques du « flector » étaient donnés. La compréhension du dessin de définition n'était pas nécessaire, il ne donnait qu'une représentation spatiale pour ceux qui en avait besoin. Les questions théoriques relatives au calcul de l'hyperstatisme sont correctement traitées (64% de réponses), ce qui est largement moins le cas des 3 suivantes (19% de réponses). Cela montre un niveau assez faible d'analyse de mécanisme en dehors des formules classiques, souvent apprises par cœur et appliquées sans discernement ou tout simplement avec erreurs.

Dans la même logique, la section (B) débute par 2 questions théoriques portant sur la résolution cinématique du mécanisme dans un cas particulier (simple) et se termine par des analyses du

mouvement oscillant. Outre la 1^{ère} question, les résultats sont décevants encore une fois car les réponses théoriques (à partir des éléments donnés dans les documents ressources) ne préjugeaient pas de la compréhension de la lecture du plan.

La section (C) est peut-être la partie moins triviale si les candidats n'ont pas visualisé l'actionneur piézoélectrique au sein du système. Ceci-dit il est clairement introduit dans le sujet. Les résultats confirment (18% de réponses).

La section (D) traite de la commande de l'actionneur piézoélectrique. Cette partie est assez classiques depuis 4/5 ans et fait appel aux connaissances théoriques des candidats en électronique de puissance (pré-actionneurs). Les 3 premières questions étaient purement théoriques. Les 28% de réponse montrent que ces notions, soit ne sont pas abordées dans certaines classes préparatoires, soient ne sont pas maîtrisées par les candidats.

La section (E) pour finir aborde l'analyse critique des choix et du dimensionnement de la solution technologique retenue. Malgré des réponses correctes aux deux questions qui demandent une bonne lecture du sujet et des ressources, l'analyse mécanique demandée aux candidats dans les questions 39 et 40 est très décevante (16% de réponses). Cela montre un manque fort de compétences technologiques et à leur utilisation dans des solutions de conception de système.

Partie IV : Industrialisation de la fabrication d'un composant mécanique

Cette dernière partie bien que moins calculatoire est également décevante pour l'épreuve SIC qui doit traiter des relations produit-matériaux-procédés de manière plus profonde que les épreuves SIA et SIB. Elle couplait, dans les sections (A) et (B), des concepts de base classiques du concours (cotation GPS, traitements thermiques, gammes générales de fabrication...). A la vue des programmes, ces éléments ne peuvent aujourd'hui être traités que de manière théorique. Les questions sont abordées pas la majorité des candidats mais les moyennes sont très basses (7/20). A nouveau, et vue la récurrence de ce constat depuis plusieurs années, soit ces notions ne sont pas abordées, soit elles le sont mais pas suffisamment pour donner une maîtrise « matériaux / procédés / produits » aux candidats.

La section (C) abordait la théorie des petits déplacements pour analyser une spécification de la pièce. Elle était très similaire au sujet 2020. Néanmoins seuls 10% des candidats donnent une réponse pas totalement fausse. Encore une fois, ces questions étaient purement théoriques (équations vectorielles, écritures matricielles...), guidées par le sujet et indépendante de la compréhension du mécanisme.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS

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, sans se faire peur avec des considérations sur la difficulté. Beaucoup d'éléments de compréhension, voire de réponses, sont donnés dans les documents. Il pourra alors, dans la mesure où beaucoup de parties sont indépendantes et à condition d'avoir cette vision globale de la problématique, 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, et de souligner les réponses (formules ou calculs). Cette qualité demande une compréhension générale du sujet d'étude traité, rédigé en suivant une logique et une cohérence, et non plus uniquement des réponses locales à chacune des questions indépendamment des autres.

Les ordres de grandeur de longueur, de masse, de force ou de puissance sont à connaître pour éviter des résultats aberrants. **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 les fautes d'orthographe et de grammaire à répétition sont pénalisées.

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