

Option

Sciences Industrielles de l'Ingénieur

Présentation du sujet

Le support de l'épreuve de S2I de la filière MP session 2023 porte sur l'exosquelette lombaire développé par la société JAPET.

L'étude proposée a pour objectif de valider la capacité du système à limiter la compression lombaire pour soulager les douleurs tout en garantissant la liberté de mouvement naturel du corps humain.

Analyse globale des résultats

Le sujet est conforme dans sa taille puisque la plupart des candidats ont abordé toutes les questions.

Les candidats préparés à une approche globale d'un problème ont produit des copies remarquables et ont su s'approprier les nombreuses informations fournies dans le texte. Par sa structure progressive, la démarche proposée a permis à la grande majorité des candidats de s'impliquer dans la résolution du problème proposé et à certains de conclure sur la problématique traitée dans le sujet. À l'opposé, les candidats qui ont parcouru le sujet à la recherche de points faciles ont échoué, car il était indispensable de s'approprier la problématique de l'étude pour pouvoir progresser.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Comme chaque année, le jury tient à rappeler, avec la plus grande insistance, que les réponses fournies ne peuvent se limiter à de simples affirmations. Les réponses sans argumentation ne sont pas prises en compte, quand bien même elles seraient correctes. Par la suite, ce rapport précise les attendus du jury sur cet aspect.

Dans la rédaction d'une réponse, la démarche retenue doit apparaître de façon explicite et ordonnée. Les hypothèses simplificatrices doivent être clairement indiquées et justifiées. Les points clés du développement doivent être mis en évidence. Les réponses littérales doivent apparaître sous une forme simplifiée et être exprimées en fonction des paramètres explicitement précisés dans la question, quand c'est le cas, et en fonction uniquement des paramètres du sujet dans le cas contraire. Les applications numériques doivent être posées. Les unités des différentes grandeurs exprimées numériquement doivent être systématiquement indiquées en se limitant aux unités de base et aux unités dérivées du Système International. Toute réponse sans unité ou avec des unités erronées est considérée comme fausse.

Trop de candidats trouvent des valeurs numériques sans se demander si elles sont cohérentes avec le système étudié, additionnent, voire comparent deux grandeurs d'unités différentes, ce qui conduit certains à valider des valeurs totalement aberrantes vis-à-vis de la fonction du système.

Le jury souhaite que les réponses soient rédigées dans l'ordre quand bien même elles seraient abordées dans un ordre différent, que les numéros des questions soient indiqués, que les réponses aux questions soient clairement mises en évidence, que les développements amenant à ces réponses soient rédigés de

manière lisible et compréhensible et que la formulation des réponses respecte les consignes indiquées dans le texte.

Partie I - Introduction

L'objectif de cette partie est de montrer que l'exosquelette conçu avec quatre actionneurs linéaires permet de diminuer la pression intradiscale.

Les deux questions de cette partie ne présentent pas de problèmes particuliers et ont d'ailleurs été réussies par la majorité des candidats. Toutefois, le jury insiste sur la nécessité d'apporter des réponses argumentées et concises. De plus, il est inutile de faire des analyses de courbes sans rapport avec la question posée.

Partie II - Étude de l'amplitude du déplacement de l'actionneur pour conserver un mouvement naturel

Cette partie a pour objectif de vérifier la capacité des candidats à analyser un modèle cinématique et à mettre en œuvre une démarche géométrique, dans le but de vérifier les niveaux des critères du cahier des charges spécifiant le déplacement de l'exosquelette.

La très grande majorité des candidats a su analyser le schéma cinématique pour en déduire l'écriture de l'équation vectorielle traduisant la fermeture géométrique de la chaîne de solides et de liaisons. Toutefois, le jury constate qu'un certain nombre de candidats ne trouve pas l'expression demandée par manque de rigueur dans le développement mathématique. La détermination de la course de l'actionneur a été moins bien traitée dans l'ensemble, le résultat numérique étant parfois donné sans justification. Le jury s'est attaché à valoriser la démarche et la rédaction et a sanctionné les valeurs numériques de l'élongation de l'actionneur linéaire aberrantes au regard des dimensions du corps humain.

Partie III - Élaboration du modèle de connaissance d'un actionneur linéaire placé sur un banc d'essai

L'objectif de cette partie est d'établir un modèle de connaissance de l'asservissement en force, de le valider par comparaison avec une mesure sur un banc d'essai et de vérifier les performances de l'actionneur linéaire dans le cadre limitatif de la mise en précontrainte.

Pour établir le modèle de connaissance de manière progressive, cette partie est subdivisée en deux sous-parties.

Partie III.A - Élaborer un modèle de connaissance de la dynamique d'un actionneur linéaire

La très grande majorité des candidats a trouvé l'expression correcte de la projection de la résultante de l'action exercée par le capteur sur la tige de vérin. Mais, le jury regrette le manque de rigueur dans la rédaction de la justification. Le jury insiste sur l'importance du vocabulaire. Il y a, par exemple, régulièrement une confusion entre le principe fondamental de la dynamique et le théorème de la résultante dynamique. Le jury tient à rappeler que la nullité de certaines composantes d'une action de liaison justifie le choix du théorème à utiliser et ce n'est pas parce qu'elles sont nulles qu'elles ne doivent pas apparaître dans l'inventaire. On citera par exemple, dans le contexte de cette étude, la composante de la liaison glissière, entre la tige du vérin et l'ensemble 3, en projection sur la direction du mouvement. Il y a trop souvent confusion entre

$$\begin{cases} \vec{X} + \vec{A} = \vec{0} \\ \vec{A} = \vec{0} \end{cases} \implies \vec{X} = \vec{0} \quad \text{et} \quad \begin{cases} \vec{X} \cdot \vec{y} + \vec{A} \cdot \vec{y} = 0 \\ \vec{A} \cdot \vec{y} = 0 \end{cases} \implies \vec{X} \cdot \vec{y} = 0.$$

Il en est de même dans l'expression du résultat avec la confusion entre $\vec{F}_{\text{cap} \rightarrow 4} \cdot \vec{y}_0 = F$ et $\vec{F}_{\text{cap} \rightarrow 4} = F \vec{y}_0$.

Les expressions des énergies cinétiques n'ont pas posé de problème pour la plupart des candidats. La justification de la nullité des puissances extérieures a, quant à elle, parfois manqué de rigueur : par manque de maîtrise de la définition des puissances ou par manque de compréhension du cas étudié. Les expressions des puissances des actions extérieures ont souvent été correctement définies, toutefois, la prise en compte du rendement a rarement été exprimée. Avec les hypothèses simplificatrices retenues, l'équation différentielle de comportement dynamique de l'actionneur linéaire est l'équation d'un oscillateur. Le jury regrette qu'un grand nombre de candidats n'ait pas fait preuve de bon sens physique pour évoquer l'instabilité de l'actionneur.

Partie III. B- Étude de l'effort d'assistance nécessaire au soutien lombaire

Les questions **Q14** et **Q15** ont été traitées correctement.

L'erreur d'énoncé à la question **Q16** était triviale et n'a gêné aucun candidat.

Étonnamment, pour répondre à la question **Q17**, certains candidats ont déterminé la fonction de transfert de la boucle fermée, alors que la question était très claire sur ce point. La méthode pour déterminer la constante de temps n'était pas donnée. Un grand nombre de candidats a compris qu'il fallait exprimer la phase de la fonction de transfert demandée. Mais le jury regrette que beaucoup n'aient pas su, soit déterminer la phase de manière correcte, soit exprimer la marge de phase pour pouvoir conclure.

Les questions **Q18** à **Q22** n'ont pas posé de problème particulier. Pour répondre à la question **Q23**, il suffisait de faire preuve de pertinence au regard des exigences données dans le tableau 5 pour conclure sur le non-respect de la vitesse maximale de montée. Toutefois, le jury insiste sur la qualité de l'argumentation. La réponse « La vitesse de montée est excessive » n'est pas recevable. Pour conclure quant au respect d'une exigence à partir d'une courbe, il faut relever les valeurs pertinentes, les comparer au niveau du critère à vérifier et conclure. Si l'un de ces trois points n'apparaît pas dans la rédaction, alors la réponse n'est pas valide.

Les questions **Q24** à **Q26** ont été globalement bien traitées. À la question **Q27** les trois cas de l'expression conditionnelle n'ont pas été clairement identifiés par un certain nombre de candidats.

À la question **Q28**, pour valider la commande retenue, il était proposé d'étudier l'écart entre les performances simulées et les performances souhaitées. Pour conclure quant aux respects des exigences pertinentes exprimées dans le tableau 5, il fallait analyser chaque exigence, s'assurer qu'elle était vérifiable avec les données de la figure 21, relever les valeurs sur la courbe, les comparer au niveau du critère à vérifier et conclure, ce qui a été réalisé correctement par un grand nombre de candidats, toutefois partiellement. Là encore, le jury rappelle que l'étude d'un écart doit être argumentée. Pour cela, il faut rappeler l'exigence étudiée, éventuellement par son numéro, relever les valeurs pertinentes, les comparer au niveau du critère à vérifier et conclure. Bien évidemment, les valeurs numériques doivent être accompagnées de leurs unités et on ne peut comparer que des grandeurs comparables.

Partie IV - Synthèse et ouverture de l'étude

Cette partie a pour objectif de valider le modèle de connaissance, valider la commande optimisée et envisager un prolongement à l'étude.

À la question **Q29** les candidats étaient invités à choisir un des écarts entre les performances attendues, mesurées et souhaitées. Ce qui a été fait par un grand nombre. Toutefois, et une fois encore, l'argumentation était souvent incomplète. Le jury rappelle que, dans le cas d'une validation d'une ou plusieurs performances du cahier des charges, il faut nécessairement préciser l'exigence par sa désignation ou son identifiant, puis indiquer la valeur atteinte, comparer par rapport au niveau du critère associé à cette exigence et enfin conclure : tout oubli d'un de ces points montre un manque de rigueur et de maîtrise de la démarche. Par ailleurs, dans le cas de la demande de validation de plusieurs performances, le jury conseille une présentation sous forme de tableau, structure synthétique très utile pour présenter ses résultats.

Les candidats qui s'étaient approprié l'ensemble de la problématique ont analysé l'influence d'une perturbation de manière satisfaisante et proposé une synthèse cohérente. Cependant, certains ont fait preuve de peu de sens physique en évoquant d'autres grandeurs que le mètre.

La dernière question invitait à porter un regard critique sur l'étude limitative effectuée. Il fallait s'être approprié les informations fournies dans le texte présentant le banc d'essai pour en comprendre les limites. Cette question placée en fin de sujet a donné lieu à de rares bonnes réponses.

Conclusion

La préparation de cette épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur ne s'improvise pas. Elle est destinée à valider des compétences transverses en s'appuyant sur des réalisations industrielles complexes qu'il faut appréhender dans leur globalité. Elle est transverse entre les champs disciplinaires enseignés en S2I mais aussi avec les autres disciplines de la filière. Cette préparation doit donc s'articuler autour de l'analyse et de la mise en œuvre de démarches de résolution rigoureuses s'appuyant sur des supports réels contextualisés.