

Sciences industrielles de l'ingénieur

Présentation du sujet

Le support de l'épreuve 2022 concerne l'étude des performances du vélo d'appartement Pro-Form « Tour de France » qui permet, en plus des fonctionnalités classiques d'un vélo d'appartement traditionnel, de bénéficier d'une immersion dans un environnement réaliste. Ainsi, ce vélo permet au cycliste de s'entraîner à domicile en suivant à l'écran une des vingt-quatre étapes du Tour de France enregistrées. Le vélo va ajuster son inclinaison et la résistance au pédalage pour reproduire l'effort réel du cycliste en situation, tout en affichant à l'écran la vitesse, le rythme cardiaque, la distance parcourue et les calories brûlées.

La première partie du sujet étudie les performances de la connexion WIFI entre le vélo et le réseau local à domicile lui permettant d'accéder à Internet et de récupérer notamment les données d'altitude en ligne.

La deuxième partie permet de modéliser la résistance totale à l'avancement lors d'une utilisation réelle du vélo en extérieur puis d'analyser la solution technologique permettant d'imposer cette résistance à la roue du vélo.

La troisième partie permet de modéliser puis de régler le correcteur de l'asservissement de position des biellettes permettant un contrôle du dispositif de freinage.

La quatrième partie permet de valider le dimensionnement en puissance du vérin du dispositif d'inclinaison du vélo Pro-Form et de vérifier l'absence de risque de basculement du vélo lorsque le cycliste se met en danseuse pour palier une augmentation de la résistance au pédalage.

Pour terminer, une partie de synthèse justifie les démarches utilisées pour la vérification de chaque exigence du cahier des charges et permet d'évoquer les avantages et inconvénients du vélo d'appartement Pro Form par rapport au vélo d'appartement traditionnel. Cette partie suppose de prendre du recul par rapport à l'ensemble des études effectuées précédemment.

Analyse globale des résultats

L'ensemble des questions couvre de nombreux points du programme et les différentes parties de l'épreuve, progressives et cohérentes, permettent à une majorité de candidats de s'exprimer. Toutes les questions sont abordées, et certains candidats ont produit de bonnes copies.

Le jury note que les questions de synthèse sont plus souvent abordées par les candidats cette année. Néanmoins, le jury rappelle que les réponses à ces questions doivent se baser sur l'ensemble cohérent des études menées dans le sujet et des exigences présentées en début de sujet. Des réponses sans rapport avec les analyses des parties précédentes sont à proscrire.

Si une grande majorité des candidats rédige avec soin leur copie, le jury regrette de trouver encore trop de copies mal rédigées, où les questions, traitées dans le désordre, ne sont pas correctement identifiées et les résultats ne sont pas mis en évidence. Ces copies ont été sanctionnées par le malus de présentation. Le jury rappelle à ce propos que la démarche d'étude proposée dans le sujet est cohérente et progressive, et que les candidats qui traitent les questions dans le désordre ne sont pas en mesure de s'approprier correctement la problématique.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Le sujet comporte de nombreuses applications numériques qui permettent de conclure. Le jury rappelle qu'une application numérique doit comporter une unité et doit avoir un nombre de chiffres significatif cohérent vis-à-vis de l'énoncé.

Questions 1 à 6 : récupération du parcours virtuel sur internet

Si la notion d'adresse logique au sein d'un réseau est bien connue des candidats, les différents types de réseau et la notion d'adresse physique sont mal connus. Les tracés effectués sur le relevé spectral expérimental fourni sont partiels, peu précis et rarement argumentés correctement. Ces imprécisions de tracé ont conduit certains candidats à des données statistiques fausses. Le tableau de synthèse des résultats demandé au regard des exigences du cahier des charges doit être amélioré. La dernière question, permettant d'exercer des compétences du programme d'informatique pour tous, est bien traitée. Le jury regrette toutefois que les types des arguments de la fonction demandée ne soient pas bien analysés et interprétés.

Questions 7 à 15 : résistance au pédalage

Le jury constate que les candidats ont des difficultés à faire des applications numériques exactes à partir de l'expression littérale fournie de la résistance totale et à analyser la contribution de certains paramètres du calcul. L'analyse, l'interprétation et l'exploitation du modèle affine de la résistance totale en fonction du carré de la vitesse posent certains soucis ; le jury rappelle que l'observation du paramètre en abscisse est essentielle et qu'il est nécessaire de différencier une fonction linéaire et une fonction affine.

Le passage du modèle local au modèle global, dans le cadre de la modélisation des actions mécaniques du freinage magnétique, est trop souvent effectué sans prêter attention aux bornes d'intégration, notamment angulaires. Le jury note des confusions sur l'analyse de l'expression du moment de freinage obtenue. En effet, ce moment est proportionnel à la vitesse de rotation et doit évoquer un type de frottement visqueux et non sec, ne permettant donc pas de stopper complètement la roue.

La loi entrée-sortie géométrique du système de biellettes obtenue par bouclage géométrique est correctement abordée, en dehors de quelques erreurs de signe et de projection.

L'analyse des différents tracés fournis pouvait être abordée de manière littérale (après linéarisation) ou graphique. Dans le cadre d'une analyse graphique, le jury rappelle aux candidats qu'il est nécessaire de légender précisément le graphique proposé et d'en expliciter sur la copie un modèle linéaire, conformément à la question posée. Un graphique tracé approximativement, sans préciser les grandeurs des différents axes et leurs unités, et sans proposition d'un modèle de comportement linéaire dont le coefficient directeur est précisé sur la copie ne peut pas constituer une réponse complète à la question posée.

Questions 16 à 27 : contrôle du freinage

Le jury rappelle aux candidats que les unités des différentes constantes proposées doivent être indiquées. Des soucis d'homogénéité ont conduit certains candidats à des valeurs erronées dans les valeurs numériques.

La justification de la structure de la commande de l'actionneur doit être faite en lien direct avec l'application étudiée. Le moteur du dispositif de freinage permet le déplacement (dans un sens ou dans l'autre) des aimants. Le jury regrette que certains candidats évoquent le cas général d'une éventuelle récupération de l'énergie lors du freinage, récupération hors sujet par rapport au dispositif étudié ici.

Le jury conseille aux candidats d'évoquer en premier lieu les sources de non linéarités traditionnelles rencontrées en travaux pratiques, comme les saturations en tension des alimentations des hacheurs. Le jury s'étonne que la présence d'un intégrateur ou d'un correcteur soit vue comme une non-linéarité.

L'identification d'un modèle de comportement du premier ordre (de type passe-bas ou à constante de temps) autour d'un point de fonctionnement a posé souci aux candidats, en raison des valeurs des conditions initiales non nulles.

Le jury s'inquiète des confusions entre fonction de transfert en boucle ouverte et fonction de transfert en boucle fermée ainsi que de la prise en compte ou non de certains blocs de la chaîne de retour dans la fonction de transfert en boucle ouverte. Le jury conseille aux futurs candidats de savoir exprimer la fonction de transfert en boucle ouverte, même lorsque le retour n'est pas unitaire. Le lien entre précision et classe de la fonction de transfert en boucle ouverte est correctement fait. Le jury regrette néanmoins les traditionnelles confusions entre stabilité et précision.

De nombreux candidats ne précisent pas correctement les sens des inégalités obtenues sur les valeurs limites du correcteur proportionnel permettant de satisfaire les différentes exigences, ce qui pose par la suite des soucis dans les conclusions et encadrements demandés.

Dans l'objectif de la détermination de la valeur du gain K_c du correcteur proportionnel, l'expression littérale de la fonction de transfert en boucle fermée demandée doit faire apparaître ce paramètre.

La condition sur la valeur du facteur d'amortissement d'une fonction de transfert classique du second ordre afin de ne pas avoir de dépassement dans la réponse indicielle n'est pas correctement maîtrisée.

Il est regretté que l'exigence de rapidité ne soit que très rarement reliée à la valeur souhaitée de la pulsation de coupure à 0 dB de la boucle ouverte fournie dans les exigences.

Questions 28 à 34 : étude du dispositif d'inclinaison

Le jury est très surpris par le manque de soin apporté dans la réalisation du graphe des liaisons et des actions mécaniques du modèle proposé. Il est rappelé que la nature des mouvements (par exemple translation) ne doit pas figurer dans ce graphe et que les caractéristiques des liaisons et des actions mécaniques doivent être clairement indiquées. C'est notamment sur ces caractéristiques que la stratégie de résolution reposera ensuite. Le jury note aussi des confusions entre liaison sphère-plan et liaison sphérique. L'énoncé précisait clairement les actions mécaniques à prendre en compte dans le graphe ce que beaucoup de candidats n'ont pas exploité.

La stratégie de résolution pour trouver la composante normale N_E de l'action mécanique en E du sol sur le vélo supposait de se placer en dynamique et non en statique. S'il était possible d'appliquer successivement plusieurs fois le principe fondamental de la dynamique à l'ensemble isolé pour déterminer la composante demandée, le jury rappelle que la stratégie la plus rapide et la plus efficace est à privilégier. De plus, le jury conseille aux futurs candidats de revoir le calcul d'un moment dynamique pour un solide en translation par rapport à un référentiel Galiléen. Si ce moment est nul au centre de gravité, il est non nul en un autre point, ce qui a posé d'importants soucis aux candidats. Par ailleurs, le jury note toujours un manque important de recul des candidats par rapport à l'application des théorèmes fondamentaux et s'étonne de voir figurer l'accélération dans la résultante d'une action mécanique extérieure. D'importants soucis d'homogénéité des relations obtenues sont aussi à noter. Le jury rappelle à nouveau que les théorèmes généraux de la dynamique se décomposent en deux : théorème de la résultante dynamique (en projection selon un ou plusieurs axes à définir), théorème du moment dynamique (en un point et en projection selon un ou plusieurs axes à définir). Le jury regrette l'application beaucoup trop vague du principe fondamental de la dynamique.

Les calculs de vitesses demandés pour valider le dimensionnement en effort du vérin ne présentent pas de difficultés et le jury s'étonne en conséquence des nombreuses fautes de signe dans les dérivations vectorielles, ou d'expressions littérales complexes et difficilement lisibles car conservées dans des bases non appropriées. Enfin, beaucoup de résultats ne sont pas homogènes et il manque bien souvent des vecteurs.

Peut-être traitée trop rapidement car placée en fin d'épreuve, l'évaluation de la vitesse maximale du vérin repose sur la lecture d'une courbe fournie préalablement dans l'énoncé. Cette lecture n'est pas réalisée correctement dans la plupart des copies.

Questions 35 et 36 : synthèse

Si la partie de synthèse est abordée de manière plus importante par les candidats, le jury note un manque de recul par rapport à la démarche de l'ingénieur utilisée dans le sujet pour valider les différentes exigences. Cette démarche peut s'appuyer sur l'analyse d'une courbe expérimentale, l'élaboration et l'utilisation d'un modèle ou d'une simulation. Le jury note que les candidats évoquent rarement, dans la démarche utilisée, ce nécessaire recours à un relevé expérimental, une modélisation ou une simulation.

Pour terminer, le jury précise que la comparaison entre le vélo d'appartement traditionnel et le vélo d'appartement Pro-Form sous la forme d'avantages et d'inconvénients ne peut se faire qu'en se basant sur les différentes parties abordées dans l'étude proposée. Cette question ne peut pas être traitée de manière déconnectée des études précédentes. Il est d'ailleurs surprenant de constater que certains candidats traitent cette partie sans avoir répondu à de nombreuses questions des parties précédentes et évoquent des différences par rapport à un vélo sur route, hors du cadre de l'étude du sujet.

Conclusion

L'épreuve de sciences industrielles de l'ingénieur est destinée à valider d'autres compétences que celles évaluées par les autres disciplines, en s'appuyant sur des réalisations industrielles qu'il faut appréhender dans leur complexité. Il est recommandé aux candidats de lire attentivement l'énoncé et de traiter les questions dans l'ordre pour appréhender correctement la problématique et la démarche de résolution proposée. Il est essentiel que les candidats s'attachent à répondre aux questions d'analyse, de critique, de validation des modèles et des solutions technologiques proposées. En dernier lieu, une bonne culture technologique est indispensable pour réussir cette épreuve.