

1/ CONSIGNES GÉNÉRALES

L'étude portait sur la mise en œuvre d'une plate-forme robotisée d'étude des instruments utilisée pour reproduire les gestes musicaux.

Dans la première partie, on demandait aux candidats de valider les niveaux des exigences de la plate-forme robotisée par rapport aux performances mesurées d'une musicienne jouant du clavecin.

La deuxième partie consistait, au travers des modèles géométrique et cinématique du robot, à valider ces exigences de surface de travail, de vitesse maximale et de résolution spatiale.

Au cours de la troisième partie, une étude énergétique du clavecin permettait de simuler l'effort de contact entre la touche de l'instrument et le doigt de la plate-forme robotisée.

Dans la quatrième partie, les candidats devaient modéliser le robot du point de vue dynamique. Le modèle complet obtenu permettait ensuite de valider la capacité des deux motoréducteurs à imposer l'effort maximal sur la touche du clavecin.

La cinquième partie portait sur le modèle des asservissements de la plate-forme robotisée. Après une étude du modèle complet, on demandait aux candidats de justifier puis de régler la correction de la boucle d'asservissement de courant puis d'analyser les performances mesurées. Ensuite, le choix de la correction de la boucle d'asservissement en position devait également être justifié et ses réglages validés. Une simulation devait permettre de critiquer le modèle ainsi obtenu. Enfin, on demandait aux candidats d'analyser les performances mesurées.

Au cours de la sixième partie de synthèse, les candidats devaient valider les performances du robot à partir d'essais sur le clavecin mais aussi la harpe.

2/ REMARQUES GÉNÉRALES

Au vu des questions traitées par les candidats, la longueur du sujet, composé de 37 questions réparties en différentes parties largement indépendantes, est en adéquation avec la durée de composition (4h). Le sujet qui couvrait une grande partie du programme de SII a permis de classer les candidats correctement, malgré les circonstances particulières dans la fin de leur préparation.

Les réponses, portées intégralement sur un document réponse, étaient globalement correctement rédigées même si des améliorations sensibles sont possibles. Certains candidats ne sont manifestement pas préparés à composer sur un document réponse. Même si cela n'était pas explicitement demandé, il était bien sûr conseillé d'entourer ou d'encadrer les résultats. Il convenait également de bien exploiter l'espace dédié à chaque question afin de pouvoir développer, parfois de façon synthétique, les justifications et calculs permettant de mener au résultat final. L'utilisation d'un brouillon aurait pu s'avérer utile dans certains cas.

Les copies les plus faibles ont fait apparaître même sur les questions élémentaires des réponses surprenantes pour des candidats ayant suivi pendant deux ans une formation en sciences industrielles pour l'ingénieur. À l'opposé, les très bonnes copies ont répondu quasiment intégralement aux attentes des correcteurs.

Dans l'ensemble, les correcteurs ont relevé un manque récurrent de rigueur quant aux justifications des réponses et aux théorèmes utilisés mais aussi de précision dans les réponses proposées (validation d'une exigence sans préciser les valeurs attendues, calculées ou simulées...). Un certain nombre de conclusions erronées a trahi un manque de compréhension globale du système. Par ailleurs, une analyse critique des résultats obtenus (homogénéité d'une expression, ordre de grandeur d'une valeur...) aurait souvent pu éviter des erreurs grossières.

De plus, les consignes ou indications de l'énoncé n'ont pas toujours été suivies alors que celles-ci doivent aider et guider les candidats. Il est donc conseillé de mieux lire énoncés et questions mais aussi les annexes qui regroupaient ici les principales données. Les questions qui se suivent dans une même partie étaient souvent liées alors qu'elles ont parfois été traitées sans lien entre elles.

Enfin, des progrès sont également à réaliser au niveau de la gestion du temps : le sujet n'étant pas de difficulté croissante avec les questions, il était dommage de constater que trop de candidats se sont contentés d'aborder les différentes parties dans l'ordre de l'énoncé.

3/ REMARQUES SPÉCIFIQUES

Q1 : de trop nombreux candidats ont cru qu'il fallait valider les performances de la musicienne alors qu'il fallait au contraire valider le choix des performances attendues du robot.

Q2 : même si l'échelle n'a pas toujours été bien respectée, la plupart des candidats ont bien abouti au tracé d'un quart de disque. Quelques rares copies ont même fait apparaître la zone en effet non accessible dans ce quart de disque. Pour la détermination de l'aire, cette zone n'était pas à considérer car tout le doigt 2 peut être utilisé pour actionner la touche ou la corde. Même si une évaluation graphique était possible, il s'agissait bien de la surface réelle et non de celle à l'échelle du schéma. Le calcul de la surface d'un (quart de) disque n'est curieusement pas toujours maîtrisé.

Q3 : l'origine de l'angle θ_2 n'a pas toujours été respecté. Il convient en toute rigueur de préciser le repère de dérivation pour celle du vecteur position.

Q4 : la question précédente n'a pas systématiquement été utilisée. Le calcul de la norme n'est curieusement pas toujours maîtrisé.

Q5 & Q6 : la question précédente n'a pas systématiquement été utilisée. Le réducteur et le système poulies-courroie intercalés entre le moteur et l'axe du doigt 2 ont été trop souvent oubliés ou mal modélisés.

Q7 & Q8 : même remarque concernant le réducteur. La notion de résolution ne semble pas être bien comprise.

Q9 : cette question a été globalement bien traitée.

Q10 : trop de précipitation dans les copies a été observée : le mouvement de rotation autour d'un axe fixe est bien identifié mais le moment d'inertie est donné par rapport au centre de gravité et non par rapport à l'axe de rotation.

Q11 : le principe de décomposition est bien maîtrisé mais les erreurs des questions précédentes ont trop rarement permis d'aboutir à une expression correcte.

Q12 : il convenait de bien respecter l'ensemble isolé pour ne considérer que les inter-efforts entre la touche 3 et le sautereau 4 et non pas des actions extérieures.

Q13 : il convenait également de bien respecter l'ensemble isolé. Les actions de pesanteur sont trop souvent omises du bilan des actions mécaniques extérieures. Certains des candidats ne distinguent pas la touche 3 et le sautereau 4, ce qui pose des difficultés pour le calcul des puissances extérieures. L'effort du doigt 2 sur la touche 3 était l'action réciproque de celle donnée en annexe. Une analyse des signes des puissances aurait permis d'éviter certaines erreurs. L'hypothèse de petit angle ne concernant pas cette question, ce n'étaient pas les expressions linéarisées qui étaient attendues.

Q14 : le théorème de l'énergie cinétique n'est pas toujours bien énoncé. La confusion récurrente entre la fonction tangente et sinus était sans conséquence après linéarisation de l'expression.

Q15 : il convenait de valider le choix du niveau de l'effort maximum du diagramme d'exigences par rapport à la simulation du modèle du clavecin et non de valider les performances du robot, qui n'est pas l'objet de cette partie.

Q16 : l'action de pesanteur et l'action du doigt 1 transmise par la liaison pivot sont trop souvent omises du bilan des actions mécaniques extérieures. L'application de la relation de Varignon n'est pas toujours bien maîtrisée. Une analyse des signes des moments aurait permis d'éviter certaines erreurs.

Q17 : le théorème du moment dynamique n'est pas toujours bien énoncé. Comme le doigt 2 n'est pas en rotation autour d'un axe fixe, le théorème du moment cinétique utilisé en physique, dans ce cas particulier, n'était pas valable ici. Seuls les candidats menant de façon rigoureuse et méthodique les calculs des moments cinétique puis dynamique, en travaillant d'abord au centre de gravité, sont parvenus au résultat demandé.

Q18 : il n'est pas naturel pour certains candidats d'isoler un ensemble de solides. Appliqué à l'ensemble doigts 1 et 2, le théorème du moment dynamique en O_1 projeté sur \vec{z}_0 permettait, avec l'équation de la question précédente, d'obtenir l'équation proposée. Le théorème de l'énergie cinétique appliqué au même ensemble a été également intelligemment envisagé par de nombreux candidats.

Q19 : la présence d'équations différentielles n'est pas systématiquement reconnue. Le couplage des équations est davantage identifié que les non-linéarités. La résolution numérique est souvent proposée ainsi qu'une résolution analytique en linéarisant sous l'hypothèse des petits angles. Des hypothèses parfois trop radicales sont proposées pour le découplage.

Q20 : en raison de la présence du deuxième motoréducteur, l'expression obtenue du couple statique C_{r1} n'était pas intuitive et il s'agissait bien d'utiliser l'équation de l'énoncé. Les termes de vitesses et d'accélération angulaires ne sont pas systématiquement simplifiés en situation statique. Le rendement est souvent confondu avec le rapport de réduction.

Q21 : en situation statique, il convenait en toute rigueur d'utiliser le courant nominal et non de démarrage.

Q22 : le bon sens a étonnamment manqué à certains candidats pour l'analyse du système poulies-courroie avec des poulies de même diamètre !

Q23 : cette question, pourtant classique, a été généralement très mal traitée. Très peu de candidats sont arrivés au résultat correct. Les notations n'étant pas définies sur le diagramme SysML de définition des blocs les candidats pouvaient bien entendu utiliser leurs propres notations pour se rapprocher de données techniques brutes, à conditions de les définir clairement. Malgré des mouvements simples de rotation, les bilans d'énergie cinétique ont rarement été complets et corrects. L'inertie du réducteur a rarement été considérée ramenée au moteur même si c'était explicitement écrit sur le diagramme. À nouveau pour le système poulies-courroie, le bon sens a souvent manqué pour compter deux poulies et non une seule, tournant à la même vitesse que le doigt 2. Enfin, le rendement a souvent de nouveau été confondu avec le rapport de réduction.

Q24 : il fallait bien identifier l'angle du moteur défini en radians sur le schéma-bloc pour répondre correctement à cette question classique.

Q25 : cette question, à nouveau classique, a été bien traitée par la plupart des candidats qui ont bien suivi la méthode proposée.

Q26 : la détermination de la fonction de transfert du moteur était moins classique que ça en avait l'air comme il fallait considérer l'intensité en sortie. Néanmoins, cette question a été plutôt réussie.

Q27 : rien à signaler.

Q28 : il ne s'agissait pas de déterminer les marges de stabilité mais de régler la marge de gain avant de valider la marge de phase. La définition des marges de stabilité n'est pas complètement maîtrisée au niveau des références ou des signes, alors que c'était fondamental pour régler correctement le gain du correcteur.

Q29 : il fallait s'appuyer sur le cours et la classe de la fonction de transfert en boucle ouverte pour cibler l'exigence de précision. Certains candidats ont pensé récolter des points en citant toutes les exigences.

Q30 : la question a été très peu abordée. Même si le correcteur proportionnel-intégral est classique, les diagrammes de Bode sont trop peu souvent corrects, à commencer par la pulsation de cassure.

Q31 : les candidats s'appuient rarement sur les diagrammes de Bode du correcteur pour remarquer que l'action intégrale agit sur les basses pulsations, bien en-deçà des pulsations associées aux marges de stabilité.

Q32 & Q36 : même si les questions le demandaient explicitement, les valeurs mesurées des performances ne sont pas systématiquement données. Il convenait également de respecter les

indications sur les figures pour la lecture graphique pour laquelle une tolérance a été acceptée. La définition du dépassement n'est pas connue de tous les candidats.

Q33 : il fallait s'appuyer sur le cours, notamment la fonction de transfert en boucle ouverte de classe 2 et la position dans le schéma bloc de l'action intégrale par rapport à la perturbation. Certains candidats se lancent dans des calculs qui ne risquent pas d'aboutir au résultat.

Q34 : une tolérance a été acceptée au niveau de la lecture graphique à condition que les tracés et conclusions soient cohérents. À nouveau, les correcteurs ont noté que la définition des marges de stabilité n'est pas complètement maîtrisée au niveau des références ou des signes.

Q35 : la notion de saturation n'est pas connue de tous les candidats.

Q37 : la question a été très peu abordée. Il ne fallait pas se contenter de résumer le sujet mais bien d'analyser les performances réelles et aussi de comparer les deux utilisations du robot.

4/ CONCLUSION

La nature de l'épreuve de Sciences Industrielles de l'Ingénieur va rester du même ordre en termes de difficultés et de couverture du programme. Les candidats sont donc invités à lire les derniers rapports et à s'entraîner sur les derniers sujets afin de bien se préparer.

À noter qu'à partir de la session 2021, les calculatrices ne seront plus autorisées.