

1/ Présentation de l'épreuve

Le support de l'étude était un fauteuil verticaliseur à déplacement motorisé dénommé WHING (Wheelchair Initiative New Generation) développé par la société DRK, filiale de Segula Technologie, en lien étroit avec l'AFM (Association Française contre les Myopathies). Le sujet de cette épreuve comportait 3 parties indépendantes.

La première était dédiée à la découverte du système et de ses éléments caractéristiques. Elle faisait le lien entre les exigences du cahier des charges client et les solutions technologiques mises en place pour y répondre. La deuxième partie, plus conséquente, s'attachait à faire découvrir quelques spécificités du support en présentant tour à tour : l'architecture de la base roulante, le système de détection d'inclinaison du fauteuil, les mécanismes de basculement d'assise puis d'élévation. La dernière partie portait quant à elle sur l'étude et le dimensionnement d'une nouvelle solution de motorisation de la base roulante.

Cette épreuve, d'une durée de 6 heures, comportait 50 questions. Bien que ne présentant pas, selon les correcteurs, de difficulté particulière, celle-ci a semble-t-il été moins bien traitée que celles des années précédentes.

2/ Remarques générales

À l'exception de la compétence « Expérimenter », toutes les macro-compétences du programme étaient testées au travers de ce sujet qui couvrait à la fois le programme de 1^e et de 2^e année de CPGE TSI. Les problématiques abordées permettaient d'évaluer les compétences des candidats sur des thèmes usuels : principe fondamental de la statique, loi d'entrée-sortie, asservissement, mise en œuvre d'un capteur, mais balayaient également des champs disciplinaires peu traités jusqu'alors : cotation G.P.S, étude et commande des machines électriques synchrones. Sur ce dernier point plus précisément, l'objectif était de tester les connaissances des candidats sur une machine au programme et qui a toute son importance dans les systèmes d'entraînements à vitesse variable industriels : la machine synchrone brushless. Bien que le sujet portait sur des notions très générales concernant cette machine (en effet, bien qu'au programme, la modélisation n'était pas abordée dans le sujet), on note la méconnaissance des étudiants concernant ces aspects.

Plus généralement, sur la forme, même si la plupart des copies sont désormais soignées et de bonne qualité, la rédaction et l'orthographe mériteraient d'être améliorés. Sur le fond, il est demandé aux candidats d'avoir des connaissances de base solides en maîtrisant les éléments essentiels des cours mais également de savoir mettre en œuvre des méthodologies de résolution dès lors qu'ils sont confrontés à des problèmes nouveaux.

3/ Remarques spécifiques

- Q1. Sans difficulté, cette question n'a posé aucun problème. Les rares erreurs constatées portaient sur l'oubli d'un des critères de performances vraisemblablement imputable à une lecture trop hâtive du sujet.
- Q2. Il ne s'agissait là que de retranscrire des données extraites du diagramme de définition de blocs, cette question a été correctement traitée.
- Q3. La définition d'un actionneur n'est semble-t-il pas maîtrisée et est parfois confondue avec celle de capteur. Facilement identifiable dès lors qu'il est explicitement écrit (cas du vérin), l'identification devient plus problématique lorsque ce n'est pas le cas (moteurs-roues). Le candidat doit cependant faire preuve de bon sens en analysant le système objet de l'étude : un fauteuil à destination des personnes à mobilité réduite doit vraisemblablement disposer d'actionneurs permettant le déplacement de la base roulante. Cet actionneur doit être identifiable au moyen de ses caractéristiques en termes de couple, vitesse de rotation ou puissance. Rares sont les candidats ayant correctement répondu à cette question.

- Q4. Cette question a été dans son ensemble bien traitée.
- Q5. Question assez bien traitée dans l'ensemble mais avec régulièrement des réponses partielles (définition d'une liaison pivot sans définir son axe, représentation de la liaison pivot sur le document réponse mal orientée...). Il y a tout de même des réponses complètement fausses démontrant les difficultés de compréhension de certains candidats (liaison sphérique ou liaison encastrement...).
- Q6. Beaucoup de bonnes réponses globalement, mais également un nombre important d'étudiants qui ne savent pas calculer les mobilités utiles et internes. De nombreuses réponses manquent de réflexion ($h < 0$).
- Q7. Quelques bonnes réponses mais globalement les candidats ne répondent que sur la définition de la valeur de h (hyperstatique, hypostatique ou isostatique). Les conséquences d'un hyperstatisme sur un mécanisme ne représentent rien de concret pour les étudiants.
- Q8. La loi des mailles permettant d'aboutir à la réponse a été source de difficultés pour un certain nombre de candidats. Le rôle de la résistance, quand il a été abordé, a été correctement traité.
- Q9. Le « oui » attendu n'était pas présent dans toutes les copies ! La notion de « liaison synchrone » est encore « floue » pour certains candidats.
- Q10. La mention d'opérations de « lecture et écriture », sans avoir recours à un argumentaire basé sur l'analyse approfondie de l'annexe 6, suffisait à justifier la bi-directionnalité. C'est peut-être la mauvaise interprétation d'une « ligne bi-directionnelle » qui est à l'origine des réponses fausses.
- Q11. La lecture de l'annexe 4a permettait de trouver le calibre et la résolution : question relativement bien traitée.
- Q12. Sans raison particulière, l'application de la relation proposée à l'annexe 5 n'a pas toujours donné le bon résultat. Le changement de format (10 bits / 16 bits) par recopie du bit de signe a été mentionné par très peu de candidats.
- Q13. De nombreuses bonnes réponses à partir des valeurs max, min ou typiques, de la sensibilité et de l'offset. Cependant, le fait de devoir calibrer le capteur n'a été que très rarement évoqué.
- Q14. Question souvent abordée et globalement bien traitée, sauf par quelques candidats ne positionnant pas \vec{g} suivant \vec{Z}_0 .
- Q15. La majorité des candidats ayant répondu à cette question a simplement écrit « $a_y = \left(\frac{g_{y1}}{g}\right)$ » alors que la réponse attendue - sous réserve des hypothèses données dans l'énoncé - était : « a_y est une mesure de la grandeur $\left(\frac{g_{y1}}{g}\right)$ ».
- Q16. Comme le laisse supposer la justification du choix dans les copies, le texte introduisant la question n'a été bien interprété que par un nombre relativement limité de candidats.
- Q17. Très peu de copies mentionnent que l'accélération du WHING s'ajoute à g_{y1} pendant la phase de démarrage. Au vu des autres réponses, certains candidats n'ont pas réellement compris le procédé de mesure de l'inclinaison.
- Q18. La quasi-totalité des candidats a reconnu le filtre passe-bas et correctement donné sa bande passante. Concernant son rôle, il a souvent été question de parasites électromagnétiques HF à éliminer, très peu ont spécifié les accélérations liées aux irrégularités du profil routier.
- Q19. L'écriture de l'équation vectorielle associée à la fermeture géométrique, ainsi que l'obtention des deux équations de projection ont dans la majorité des cas été correctement menées. Il est cependant fort regrettable

qu'une majorité des candidats ne soit pas en mesure d'effectuer la simplification permettant d'aboutir à la loi d'entrée-sortie en fonction des paramètres demandés.

- Q20. Très peu de bonnes réponses pour cette question qui ne présentait pourtant pas de difficulté particulière. L'expression de la pression de contact au sein d'un coussinet dans le cas d'une répartition de pression supposée uniforme n'était pas rappelée et ne semble pas connue.
- Q21. Cette question ouverte venait valider le bon dimensionnement des coussinets. Elle donnait la possibilité au candidat de démontrer sa capacité d'analyse de document et de synthèse mais n'a que très rarement été abordée. Comme pour la question précédente, le critère de dimensionnement énergétique des coussinets n'est pas connu.
- Q22. Très peu d'étudiants abordent cette question. Les conceptions sont parfois fantaisistes et proposées au mépris des éléments de cahier des charges imposés dans le sujet (présence de roulements, montages sans coussinets). Il est rappelé que la formalisation de solutions techniques au moyen d'esquisses ou de vues standard est un élément de communication incontournable que de futurs élèves ingénieurs doivent maîtriser et dont ils doivent ressentir toute l'utilité et la pertinence.
- Q23. La majorité des candidats ne traite pas cette question. Certains confondent spécification géométrique et dimensionnelle et tentent de décrypter l'ajustement au moyen de la grille fournie ... sans succès.
- Q24. Cette question simple et indépendante a été dans l'ensemble correctement traitée. À noter que même pour ce type de question un minimum de rédaction est nécessaire. Il ne s'agit pas uniquement de tracer un trait sur le document réponse, mais également de fournir au correcteur le minimum d'explication nécessaire à la compréhension du tracé (rappel de l'exigence extraite du diagramme de définition des blocs, conversion de la valeur pour tracé).
- Q25. Il s'agissait ici de tracer l'épure associée à un parallélogramme déformable dans une position donnée. Un pourcentage très faible de candidats traite la question. L'épure proposée est bien souvent fantaisiste et ne respecte pas les dimensions des composants imposées, ni le positionnement géométrique des axes de rotation.
- Q26. Des réponses correctes mais beaucoup de difficultés à faire le changement d'unités pour de nombreux candidats. Il faut rappeler qu'un résultat sans unité est sanctionné dans la notation.
- Q27. Quelques bonnes réponses (pour ceux qui ont traité la Q26) mais globalement des difficultés apparaissent notamment sur des inversions et sur l'utilisation du rendement.
- Q28. Les candidats ne sont pas à l'aise avec l'utilisation de documents industriels, mais dans le cas où le document réponse a été utilisé, les candidats trouvent assez facilement la réponse.
- Q29. Il est surprenant de voir des composantes tangentielles qui ne s'opposent pas au mouvement, mais également des erreurs sur l'opposition entre couple réducteur et l'effort T_{BS} . L'objectif de cette question était d'obliger les candidats à réfléchir au positionnement des efforts avant de se lancer dans les calculs.
- Q30. Peu de candidats ont répondu intégralement à la question et notamment sur l'expression du moment. Les signes ont posé de nombreuses difficultés et on s'aperçoit également des difficultés de calculs.
- Q31. Quelques bonnes réponses mais également de nombreux étudiants ont appliqué un frottement statique au lieu d'appliquer les informations sur la résistance au roulement.
- Q32. En règle générale, question peu traitée ou fausse.
- Q33. La justification du signe de T_{BS} est globalement bien traitée, mais aucune bonne réponse sur le calcul de C_m (rapport de réduction oublié...).

- Q34. Cette question était l'occasion pour les élèves de montrer leurs connaissances du cours concernant les avantages et les inconvénients des différentes motorisations au programme. Même si cela n'était pas spécifié dans la question, un tableau comparatif mettant en avant le prix, la robustesse, la puissance massique, l'entretien (maintenance), la facilité de commande, aurait été bienvenu. Bien souvent les avantages et les inconvénients de la machine brushless étaient donnés, ce qui est bien, mais en omettant les autres motorisations.
- Q35. On attendait ici une simple lecture de document où « réducté » était opposé à « entraînement direct » avec ensuite une interprétation de ces termes et des avantages supposés des systèmes à entraînements directs. Si le terme « entraînement direct » a parfois été mal interprété, lorsque ce dernier a été compris, les gains d'un tel entraînement ont souvent été bien expliqués.
- Q36. Cette question d'interprétation d'un schéma où l'on demandait une relation simple entre trois angles a plutôt été bien traitée même si la conclusion concernant le synchronisme où l'on attendait de l'étudiant qu'il précise l'importance de la constance de ξ , a été souvent galvaudée.
- Q37. On attendait dans cette question que l'étudiant montre qu'une machine dispose de son couple maximum lorsque les champs magnétiques statoriques et rotoriques sont en quadratures. Pour cela, il suffisait d'utiliser l'expression du couple donné dans l'énoncé et d'en déduire la valeur de ψ puis celle de ξ , ce qui ne présentait pas de difficulté et a souvent été bien fait. En revanche, le lien avec la machine à courant continu où les champs sont en quadratures du fait de la présence de l'ensemble « collecteur-balais » a souvent été ignoré.
- Q38. Cette question, plutôt difficile, demandait un peu de recul de la part des étudiants. Beaucoup d'entre eux ont tenté d'y répondre mais sont partis dans des explications concernant le vieillissement de la machine, les problèmes de montage ou de changement d'alimentation alors qu'on attendait d'eux une réponse concernant l'augmentation du couple de charge. La notion de décrochage n'est pas simple, mais elle est au programme. L'interprétation mathématique a, quant à elle, été plutôt bien traitée et il en découle la bonne explication concernant l'importance de la maîtrise de ψ .
- Q39. Cette question, mal traitée, ne comportait pourtant pas de difficulté. On attendait des candidats qu'ils analysent un bloc d'un schéma d'asservissement tant du point de vue de son contenu que de ses entrées : la fréquence des courants statoriques étant liée à la vitesse du rotor, le synchronisme est alors assuré ; le couple électromagnétique C_{em} dépendant des grandeurs I et ψ , ces dernières étant en consignes, la maîtrise du couple est assurée.
- Q40. Là encore, on ne demandait pas l'impossible et il est étonnant de voir si peu de bonnes réponses pour le nom du convertisseur statique. Quant à M.L.I., de nombreux « Modulateurs Linéaires Intégrés » ont vu le jour mais la palme revient à « Masse Linéaire Intégrée ». Il s'agissait ici encore d'une question faisant appel aux connaissances du cours. Bien souvent, les étudiants ont mélangé la commande des transistors de l'onduleur et ses conséquences sur les tensions aux bornes du moteur ; il en découle alors que ce sont les tensions du moteur qui règlent les angles de commutations des transistors !
- Q41. L'écriture de l'équation différentielle liée au modèle électrique de la machine et sa réécriture dans le domaine de Laplace n'ont pas causé de difficultés particulières, mis à part quelques problèmes dûs à la non-maîtrise de la loi des mailles. L'expression de la fonction de transfert est souvent correcte, sauf pour quelques candidats n'ayant pas réellement analysé la figure 18.
- Q42. La notion de fonction de transfert en boucle ouverte est connue par la majorité des candidats. Les réponses fausses sont imputables à des erreurs de calcul.
- Q43. La définition de la fonction de transfert en boucle fermée est aussi connue par une grande majorité de candidats. Ce sont encore les erreurs de calculs qui sont à l'origine des réponses incorrectes. Quant à la stabilité, elle a été aussi bien traitée avec comme justificatifs : FTBF du 1^{er} ordre, FTBF du 1^{er} ordre et constante de temps positive, FTBF avec un pôle réel négatif.

- Q44. Très peu de bonnes réponses pour les quelques candidats ayant abordé cette question. La mention de « régime sinusoïdal permanent », dans l'énoncé, voulait renvoyer à la réponse harmonique $H(j\omega)$ et à l'étude des filtres du premier ordre pour obtenir simplement la réponse.
- Q45. La réponse est certes triviale, mais le dire sans aucune explication ne rapporte pas de points ! Il suffisait d'écrire $i_3(t) = -i_1(t) - i_2(t)$! Mais trop peu de candidats l'ont fait !
- Q46. La connaissance de ces deux relations simples $V = R.\Omega$ et $f = p.N/60$ suffisait pour mener à bien cette question. Encore faut-il les employer avec les bonnes unités.
- Q47. La détermination de la vitesse à partir de la connaissance de la position a posé des problèmes aux candidats ayant cherché à intégrer plutôt qu'à dériver... il n'y avait pas de difficulté dans cette question. Ensuite, il s'agissait d'une simple application numérique, mais la plupart du temps le calcul a été fait en considérant le courant consigne comme une grandeur maximale alors qu'il s'agissait d'une valeur efficace.
- Q48. Cette question qui a plutôt été bien traitée ne comportait pas de difficulté.
- Q49. Cette question qui a plutôt été bien traitée ne comportait pas de difficulté.
- Q50. Cette question qui a plutôt été bien traitée ne comportait pas de difficulté mais trop souvent n'était écrite qu'une expression littérale sans application numérique.

4/ conseils à l'attention des futurs candidats

Même si les connaissances attendues sont vastes, il ne faut pas faire d'impasse. Toutes les parties du programme peuvent potentiellement être traitées dans un sujet de concours. La machine synchrone, l'onduleur, la cotation géométrique dans ce sujet en sont des exemples. Dans tout sujet de concours, il y a une partie qui fait appel à la connaissance du cours où il y a possibilité pour le candidat de gagner des points ; encore faut-il que le cours soit compris ! Appliquer des relations sans connaître les conditions d'applications et les unités utilisées s'avère nécessairement contre-productif. Les correcteurs attendent du candidat qu'il démontre ses capacités d'analyse et de réflexion en le confrontant à différentes problématiques réelles centrées sur un seul et même support. Le candidat se doit de garder cet élément en tête afin d'aborder le sujet dans les meilleures conditions et d'essayer de dégager dans chaque élément de réponse qu'il propose, un lien avec la problématique présentée en début d'épreuve.

