

EPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES C

Robot d'inspection du réseau d'eau potable PATHFINDER

Durée : 6 heures

PRÉSENTATION DU SUJET

Le sujet portait sur l'analyse du robot d'inspection du réseau d'eau potable PATHFINDER produit par la société française ACWA Robotics. Le sujet était composé de 3 parties :

- Analyse du fonctionnement général du robot (capteurs, théorie des mécanismes, cinématique) [30% de la note finale].
- Industrialisation de la couronne du système de déploiement des bras pour se fixer dans les canalisations (spécifications géométriques et dimensionnelles, couple matériau procédé, fabrication additive, tournage 3 axes) [30% de la note finale].
- Conception du sous-système VERTEBRE pour assurer la fonction de déplacement du robot dans la canalisation (concevoir une pièce en optimisant le triptyque produit-procédés-matériaux, concevoir et dimensionner une liaison mécanique) [30% de la note finale].

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

COMMENTAIRES GÉNÉRAUX

Cette épreuve a pour objectif d'évaluer les capacités des candidat.es dans les domaines des sciences industrielles de l'ingénieur.e et plus précisément les aspects liés à l'analyse d'un système industriel, à la conception d'un sous-système mécanique et son industrialisation dans le cadre du tryptique produit-procédé-matériau.

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 et son comportement vis-à-vis de l'objectif de déplacement pour aboutir à l'analyse de la transmission de puissance. 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 et dans une moindre mesure de développement durable.

Le sujet traitait d'un système mécaniquement très classique. Les descriptions préliminaires ainsi que les informations données dans les documents ressources fournissaient les éléments importants nécessaires pour aborder toutes les questions. Il fallait pour cela que les candidat.es lisent avec rigueur le sujet et les documents fournis.

COMMENTAIRES SUR CHAQUE PARTIE DE L'ÉPREUVE

Partie 1 : Vérification des performances du robot

Q1.1 à Q1.4 : Cette première partie débutait par l'analyse du fonctionnement d'un codeur magnétique et le calcul de la résolution de mesure du déplacement des vérins. Cette partie a été très mal traitée alors même que ces questions sont récurrentes depuis plusieurs années, à l'écrit comme à l'oral. La notion de capteur absolu ou relatif n'est pas assimilée, le calcul de la résolution d'un déplacement n'est pas maîtrisé.

Bilan statistique de cette série de questions : [20% Non traitée ; 50% zéro ; 15% bonne réponse]

Q1.5 à Q1.6 : il s'agissait de déterminer la course effectuée par le robot à partir de la description de la séquence de déplacement pour une durée de 1h. Ces questions ont donné lieu à une erreur de fond quasi systématique. En effet, les candidats ont utilisé les performances fournies dans le document ressource pour faire leur calcul et non pas vérifier ces performances par un modèle cinématique du déplacement.

Bilan statistique de cette série de questions : [10% Non traitée ; 65% zéro ; 10% bonne réponse]

Q1.7 à Q1.11 : Il s'agissait ici d'étudier l'hyperstatisme du mécanisme de la VERTEBRE à partir du schéma cinématique fourni et de la géométrie des pièces, en particulier de la pièce Coulisseau. Le schéma attendu à la première question a rarement été pertinent et se limitait parfois à une recopie des figures du sujet sans illustrer le problème technique à identifier. Malgré la présence de quelques schémas explicites, cette question a mis en évidence la difficulté à proposer un schéma compréhensible par lui-même. La partie théorie des mécanismes a été mieux traitée que les années précédentes mais le sujet donnait la mobilité cinématique ce qui a limité les erreurs. Le sujet comportait une confusion sur la liaison à étudier pour rendre le mécanisme isostatique, les correcteurs en ont tenu compte en évaluant uniquement le raisonnement peu importe à quelle liaison il était appliqué. Enfin, Le dessin de la dernière question était souvent inachevé et limité au prolongement de quelques traits.

Bilan statistique de cette série de questions : [9% Non traitée ; 25% zéro ; 30% bonne réponse]

Q1.12 à Q1.14 : Cette partie s'intéressait à la relation entrée-sortie relative au déploiement des bras. La détermination des diamètres de canalisations a été très bien traitée mis à part quelques confusions entre diamètre et rayon. A l'inverse, l'établissement des rapports des vitesses a posé de grosses difficultés. Le fait que les deux couronnes tournent à des vitesses opposées n'a pas été une évidence, empêchant une prise de recul sur les propositions de réponses.

Bilan statistique de cette série de questions : [23% Non traitée ; 25% zéro ; 28% bonne réponse]

Partie 2 : Industrialisation de la couronne

Q2.1 à Q2.3 : Cette série de questions portait sur les spécifications géométriques et dimensionnelles. La notion de bipoints ou de taille n'est pas connue des candidat.es, ce qui a conduit à des réponses erronées dans 75% des cas. Les spécifications géométriques ont été mieux traitées, en particulier la cylindricité et la localisation. Le battement a été bien moins réussi. Le jury rappelle que dans le cadre du SiC, la feuille GPS utilisée est la version 1.

Bilan statistique des réponses pour les spécifications géométriques : [11% Non traitée ; 19% zéro ; 21% bonne réponse]

Q2.4 à Q2.8 : Ces questions portaient sur le choix du matériau puis du procédé. L'approche proposée consistait à développer un indicateur de performances puis à choisir les familles de matériaux et les matériaux les plus adaptés dans une table d'Ashby. Manifestement, la majorité des candidat.es ne sait pas exploiter ces graphes de sélection à partir d'un indice de performance, ce qui conduit à des propositions de matériaux farfelues (bétons, mousse, etc.).

Bilan statistique de cette série de questions : [15% non traitée ; 25% zéro ; 24% bonne réponse]

Q2.9 à Q2.14 : le processus étudié pour l'industrialisation des couronnes reposait sur l'obtention d'une pièce brute par fabrication additive, soit par dépôt de fil polymère fondu, soit par fusion laser sur lit de poudre. Manifestement, les candidat.es méconnaissent ces procédés, ce qui est difficile à comprendre pour le FDM, procédé utilisé dans les imprimantes 3D grand public. Une part importante des candidat.es a décrit ces procédés comme des procédés d'assemblage de deux pièces par soudure.

Bilan statistique de cette série de questions : [19% non traitée ; 32% zéro ; 8% bonne réponse]

Q2.15 à Q2.17 : Cette partie abordait un procédé plus classique, le tournage, avec ici la nécessité d'une cinématique à 3 axes, donc avec un axe C et des outils tournants. Si les procédés de fabrication additive n'avaient été que peu ou pas abordés dans les sujets précédents, il n'en va pas de même pour le tournage, qui a été mobilisé à plusieurs reprises dans l'épreuve. Force est de constater que cette cinématique est très mal connue des candidat.es, ainsi que la présence d'une tourelle dotée d'emplacements motorisés pour des opérations hors axe de rotation. La réalisation d'une surface fonctionnelle de révolution par un travail d'enveloppe constitue également une difficulté. Les trajectoires et les géométries d'outils, même si leur typologie ne doit pas être apprise, constituent une base fondamentale pour déterminer si une surface est usinable ou non. Cette partie d'usinage a finalement été moins bien traitée que la partie FA.

Bilan statistique de cette série de questions : [26% non traitée ; 24% zéro ; 4% bonne réponse]

Partie 3 : Conception de la « VERTEBRE »

Dans cette partie, on s'intéresse à la réalisation de la fonction de déplacement du robot dans la conduite et plus particulièrement à la VERTEBRE. Celle-ci assure le déploiement de deux couples de vérins électriques, chacun piloté par un moteur électrique, afin de translater et orienter successivement les modules MASTER et SLAVE au cours du cycle de progression du robot dans la conduite. La conception est divisée en six fonctions à réaliser.

Q3.1 : La première fonction est l'accouplement du manchon avec l'arbre de sortie du réducteur. Ce dernier était représenté sur le dessin avec sa clavette. Il s'agissait donc de dessiner le manchon afin d'assurer le guidage et la transmission par obstacle. Parmi les erreurs de conception, on pourra souligner de nombreuses solutions non usinables, ainsi que l'utilisation des surfaces à l'avant du moteur réducteur pour centrer le manchon.

Bilan statistique de cette question : [4% non traitée ; 24% zéro ; 14% bonne réponse]

Q3.2 : La seconde fonction est la liaison rotule entre le manchon et le bâti, au moyen d'un roulement rigide à billes, à choisir dans une liste de référence réduite afin de respecter des contraintes d'encombrement. On constate que dans une majorité de solutions proposées, les arrêts axiaux ne sont pas en nombre suffisant pour créer une liaison rotule. De plus, dans de nombreux cas, la bague extérieure n'est pas guidée sur toute sa longueur

Bilan statistique de cette question : [3% non traitée ; 9% zéro ; 19% bonne réponse]

Q3.3 : La troisième fonction est la liaison encastrement entre le manchon et la vis. Dans la solution industrielle la vis possède une deuxième partie filetée et un centrage pour se visser dans le manchon. Les solutions proposées ont majoritairement utilisé l'ajout de vis avec un encombrement important. L'accessibilité aux vis et la facilité de montage de l'ensemble ont souvent fait défaut.

Bilan statistique de cette question : [8% non traitée ; 25% zéro ; 5% bonne réponse]

Q3.4 : La quatrième fonction est le guidage en liaison glissière entre la tige et le fourreau. Des formes d'écrous issues du catalogue de la société IGUS étaient proposées dont les géométries pouvaient être

retravaillées. Ces propositions ont a priori peu inspiré et les copies ont présenté, pour les solutions correctes, des géométries très massives.

Bilan statistique de cette question : [15% non traitée ; 31% zéro ; 20% bonne réponse]

Q3.5 : La cinquième fonction est la liaison encastrement entre l'écrou et la tige. Cette question, peut être par sa position à la fin du sujet, a été moins abordée et moins bien exécutées. Les deux principaux écueils des solutions proposées concernaient la montabilité et la réalisation des surfaces fonctionnelles, notamment dans le cas de rainures de clavette non débouchantes.

Bilan statistique de cette question : [20% non traitée ; 39% zéro ; 2% bonne réponse]

Q3.6 : Enfin la sixième fonction est la liaison encastrement entre la tige et la chape par goupille. La remarque est la même que pour la question précédente quant à sa position dans le sujet bien qu'à priori plus simple. Les goupilles ont souvent traversé la vis et les mises en position axiale comportaient trop d'appuis.

Bilan statistique de cette question : [25% non traitée ; 35% zéro ; 5% bonne réponse]

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDAT.ES

Les conseils donnés ci-après sont identiques à ceux des années précédentes. Le jury regrette en particulier le peu de soin apporté à la rédaction et aux justifications des réponses ainsi qu'à la propreté de certaines copies.

Ainsi, il est encore une fois conseillé aux futurs candidat.es de faire une première lecture rapide du sujet afin de prendre connaissance du problème dans sa globalité et de comprendre sa structure. Beaucoup d'éléments de compréhension, voire de réponses, sont fournis dans les documents. Dans la mesure où les parties sont indépendantes et à condition d'avoir cette vision globale de la problématique et d'avoir en mémoire les documents ressources proposés, les parties peuvent être abordées dans le désordre. De plus, le barème est proportionnel au temps pour traiter chacune des parties, et indiqué sur la première page du sujet.

Au-delà des résultats quantitatifs, qu'ils soient justes ou faux, et bien que certaines questions soient classiques pour l'épreuve SIC, le raisonnement reste toujours pris en considération. En particulier, la qualité des réponses est fortement prise en compte (détails parcimonieux). Il est fortement conseillé aux candidat.es 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 selon une logique et une cohérence, et non pas 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. À contrario, les explications confuses et contradictoires, ainsi que les fautes d'orthographe et de grammaire récurrentes, sont pénalisées.