

EPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES A

EXOSQUELETTE d'ASSISTANCE du POIGNET (orthèse)

Durée : 5 heures

PRÉSENTATION DU SUJET

Le sujet se composait :

- d'une présentation du système étudié : 4 pages ;
- du travail demandé (parties A à E : 23 pages) + 9 pages d'annexes ;
- du cahier réponses à rendre, comprenant 48 questions : 27 pages.

Le sujet portait sur l'étude d'un exosquelette d'assistance du poignet permettant de limiter l'apparition de troubles musculo-squelettiques lors de tâches manuelles répétitives en milieu industriel. Le support est original dans la mesure où les actionneurs qui le composent sont des muscles pneumatiques. Ces derniers se contractent lorsque la pression interne augmente.

Après une étude mécanique permettant de caractériser le nécessaire recours à une assistance, le sujet permet d'étudier spécifiquement le montage agoniste/antagoniste des actionneurs pneumatiques d'un point de vue mécanique et la régulation d'efforts associée. Enfin une étude thermodynamique et séquentielle est conduite autour du compresseur fournissant l'énergie pneumatique au système. On note ainsi que :

- les Parties A et B abordaient l'aspect mécanique et géométrique lié à la compatibilité de mouvement entre la main de l'opérateur et l'exosquelette ;
- la Partie C concernait l'étude d'un actionneur pneumatique puis la combinaison de deux de ces actionneurs en montage agoniste/antagoniste ;
- la Partie D portait sur la modélisation et les performances de l'asservissement d'effort ;
- enfin, la Partie E, dissociée des parties précédentes, apportait un complément avec l'étude thermodynamique et séquentielle d'un compresseur.

COMMENTAIRES GÉNÉRAUX

Le support choisi permettait de couvrir la majeure partie du programme. Il apportait toutefois une approche complémentaire aux sujets précédents avec les muscles de McKibben, actionneurs pneumatiques dont l'élongation est fonction de la pression interne et du chargement. Si le support était original, les candidats ont cependant pu appliquer les méthodes et utiliser les connaissances acquises pendant les années de classes préparatoires. La plupart des questions de l'épreuve étaient des questions classiques des sujets SIA.

Les cinq parties étaient indépendantes et elles-mêmes composées de sous-parties indépendantes. Quelques résultats intermédiaires étaient donnés afin de permettre aux candidats de poursuivre. La plupart des candidats ont traité au moins une question dans toutes les parties du sujet.

Pour chacune des questions du sujet, au moins 83 candidats ont obtenu la totalité des points

attribués. Pour un candidat, il n'y qu'une question à laquelle il n'obtient pas de point et 5 autres pour lesquels ils n'obtiennent pas de points à 2 questions du sujet. On peut donc en déduire que toutes les questions du sujet étaient faisables et que ce dernier était de longueur adaptée à la durée de l'épreuve.

Le jury précise que les candidats qui n'utilisent pas les bases vectorielles adaptées à la présentation des vecteurs (résultats projetés dans une base non idoine, ou confusion entre expression vectorielle et projection dans une base) se retrouvent vite bloqués pour les questions de cinématique et de dynamique. De surcroît, de nombreux candidats ne maîtrisent pas les bases de la mécanique des solides rigides (calculer un moment cinétique, un moment dynamique, utiliser des formules adaptées), qui faisaient l'objet des premières questions du sujet.

Même s'il reste encore quelques copies avec mélanges d'expressions littérales et numériques, on note une nette amélioration sur ce point. De même, beaucoup de candidats pensent à comparer la valeur numérique obtenue par calcul à la valeur attendue par le cahier des charges. D'autres candidats donnent des résultats sous forme fractionnaire sans unités et sans ordre de grandeur. Une valeur décimale exacte ou approchée est quasiment toujours attendue.

Enfin, la moyenne et l'écart type semblent adaptés. L'épreuve est donc classante. Les résultats sont en adéquation avec les attentes du jury.

COMMENTAIRES SUR CHAQUE PARTIE DE L'ÉPREUVE

Partie A – Etude mécanique de l'ensemble main, poignet et avant-bras

Cette première partie avait pour objectif de justifier le recours à une assistance lors de tâches répétitives de découpe. Elle commence par une étude dynamique plutôt bien traitée par les candidats.

Lorsque les candidats utilisent des bases non adaptées, les calculs s'alourdissent et les candidats délaissent vite la partie. Environ un tiers des candidats commet une ou des fautes de signes lors du calcul des actions de pesanteur au point demandé.

En fin de partie, les candidats devaient conclure en déterminant la valeur du couple d'assistance requis. Beaucoup de candidats ont confondu le couple fourni par l'opérateur et le couple requis pour l'assistance. Cette question était pourtant celle qui permettait de justifier l'étude, on pourrait attendre de personnes s'engageant dans des filières de sciences de l'ingénieur qu'ils soient en mesure de répondre à ce type de question appliquée mais au combien importante dans un cadre industriel.

Partie B – Etude de la configuration mécanique de l'exosquelette

Partie B.2 – Réglage de l'orthèse par rapport au bras de l'opérateur

Cette première sous partie portait sur l'adaptabilité de l'exosquelette au bras de l'opérateur. En fonction du type de fixation sur le corps de l'opérateur et de la structure cinématique choisie pour l'exosquelette, l'étude devait permettre aux candidats de déterminer si l'opérateur pouvait accomplir sans gêne les mouvements nécessaires pour son travail.

Sur cette sous-partie, l'étude des liaisons équivalentes ainsi que des degrés d'hyperstatisme constituaient le cœur de la réflexion. Les candidats étaient libres de choisir la méthode de résolution ;

des approches cinématiques ou par les torseurs des actions transmissibles ont été choisies même si l'une était plus laborieuse dans son développement. Beaucoup de candidats ont apporté des hypothèses trop fortes pour l'étude géométrique ce qui revenait souvent à bloquer les mouvements de l'orthèse et par conséquent, également ceux de l'opérateur.

Partie B.3 – Etude des longueurs des muscles lors de l'orientation du gant vis-à-vis du brassard

Les muscles McKibben ont des plages de contraction et d'extension limitées. Afin de permettre à l'opérateur de réaliser les mouvements requis par son travail, il convenait de vérifier si les muscles choisis étaient compatibles.

Pour mener à bien l'étude, il convenait de procéder à une fermeture géométrique sur l'un des muscles d'une paire de muscles agoniste/antagoniste. Les expressions étant relativement lourdes, une solution était donnée pour un muscle de l'autre paire de muscles agoniste/antagoniste. Par un raisonnement simple basé sur les symétries du problème, il était demandé de trouver l'expression analytique associé au deuxième muscle de la deuxième paire. Seulement 30% des candidats ont identifié cette symétrie et de fait répondu simplement à la question.

La suite de la partie donnait place à une méthode numérique pour déterminer le modèle inverse, i.e. la longueur maximale des muscles pour une orientation du poignet donnée. Seulement 8% des candidats ont obtenu l'intégralité des points en proposant une méthode de Newton programmée en langage Python. Quelques candidats ont rédigé, avec succès, une version récursive de la fonction.

La fin de cette sous-partie donnait à exploiter les courbes et conclure quant aux valeurs requises par le cahier des charges. Beaucoup de candidat ont alors confondu périodicité et parité de la fonction cosinus. Heureusement, la plupart savent que la fonction cosinus est maximale en 0...

Partie C – Etude de l'actionnement mécanique d'une articulation

En début de cette partie une relation de comportement d'un muscle McKibben liant l'effort de traction, la pression interne et la contraction du muscle était donnée en fonction de nombreux paramètres. L'objectif était d'établir le couple généré lors d'une variation de la pression interne et des précontraintes par l'association de deux muscles en montage agoniste/antagoniste.

Après une simplification du modèle et quelques étapes intermédiaires, il était demandé de retrouver l'équation différentielle régissant le mouvement du poignet en présence d'un couple de muscles pneumatiques précontraints. S'il manquait un paramètre dimensionnel (R) dans la formule à retrouver, il est surprenant de constater que 2/3 des candidats ayant traité la question présentent un résultat identique à celui donné dans le sujet et que seulement 1/3 précisent la présence d'une erreur d'énoncé ou se contentent de donner la bonne version de la réponse. Cette erreur n'empêchait nullement la poursuite du sujet et le jury a tenu compte des différentes réponses possibles par la suite.

Une caractérisation du système était ensuite proposée à partir d'une courbe expérimentale présentant un offset en ordonnées et un échelon à $t > 0$. La plupart des candidats n'a pas tenu compte de l'offset se contentant de lire la valeur maximale atteinte et la valeur atteinte en régime permanent. Plus de candidats ont tenu compte du décalage temporel pour déterminer le temps de réponse à 5%.

Partie D – Etude de l’asservissement des mouvements de déviation radio-ulnaire

Partie D.1 – Chaîne fonctionnelle de l’asservissement d’effort

Pour amorcer l’étude de la régulation en effort de l’exosquelette, une présentation globale du système était donnée sous forme de diagramme ibd. Les candidats devaient simplement indiquer la nature des flux échangés entre les différents blocs. Le jury n’a pu octroyer que 31% des points disponibles pour cette question. De plus, bien que les fonctions génériques soient explicitement listées dans le programme de la filière PT (NOR : ESR52035781A arrêté du 5-1-2021 - JO du 7-2-2021), seulement 14% des points disponibles ont été obtenus par les candidats au moment de déterminer les éléments de la chaîne fonctionnelle et le nom générique associé.

Partie D.2.2 – Modélisation de l’asservissement du mouvement de déviation radio-ulnaire

La structure de l’asservissement est présentée en début de partie sous forme de schéma bloc fonctionnel. Le bloc lié à l’actionneur faisait l’objet de la partie C. Quelques blocs sont à déterminer parfois en simplifiant les expressions à l’aide d’un développement limité à l’ordre un qu’une partie non négligeable de candidats traite avec rigueur. La formule étant à démontrer les points n’ont pas été attribués aux démonstrations superficielles.

Partie D.2.3 – Performances de l’asservissement en effort

Comme l’objectif de l’asservissement est de maintenir un effort nul de la part de l’opérateur, l’asservissement porte principalement sur l’étude en régulation, i.e. l’influence de la perturbation en fonction du choix correcteur. Or trop de candidats se contentent de dire qu’avec un intégrateur l’erreur sera nulle. Encore faut-il connaître le nombre d’intégrateurs en amont de la perturbation et la nature de la perturbation.

Par ailleurs si l’expression de l’erreur statique en poursuite est connue en fonction de l’entrée, de la classe de la FTBO et de son gain statique, l’erreur en régulation est plus technique à obtenir. Les candidats sont invités à bien étudier les conditions d’applications des formules de cours et les hypothèses associées.

Partie E – Etude du groupe pneumatique

Enfin, la partie E se voulait être une ouverture du sujet en étudiant de façon connexe un compresseur associé à la chaîne fonctionnelle précédemment étudiée.

Un diagramme d’état associé à un scénario d’utilisation du compresseur permettait de mettre en évidence les problèmes de disponibilité de la ressource lors d’une utilisation intensive de l’exosquelette. 83 candidats ont obtenu la totalité des points en remplissant sans erreur le chronogramme donné.

Une approche thermodynamique permettait d’étudier les contraintes thermiques de remplissage du compresseur. La plupart des candidats ont réussi à déterminer la pression finale atteinte. De nombreuses valeurs aberrantes de température ont été trouvées sans pour autant être accompagnées de commentaires judicieux.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS

On conseille de nouveau aux candidats de prendre le temps de parcourir la totalité du sujet, des documents annexes et du document réponse. La durée indicative de 20 min donnée pour ce premier travail permet de répondre avec plus de pertinence aux questions et problématiques posées.

Il est conseillé de bien relire la question avant de passer à la suivante et vérifier que le résultat est valide, i.e. avec la bonne dimension pour son expression littérale et plausible pour sa valeur numérique.

Nous recommandons également aux candidats de détailler leurs réponses ainsi que leurs raisonnements. Une réponse fausse accompagnée d'un raisonnement juste permet souvent d'obtenir une partie des points.

EPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES B

Durée : 6 heures

PRÉSENTATION DU SUJET

Le sujet portait sur l'étude d'une centrifugeuse de précision permettant de calibrer des accéléromètres à haute performance. Le sujet comportait quatre parties visant à dimensionner, valider ou faire évoluer des solutions techniques en regard du cahier des charges fourni.

La première partie avait pour objectif final de choisir un moteur permettant de satisfaire différentes exigences du cahier des charges : niveau d'accélération imposé au capteur et temps de montée au régime maximal. Pour cela, il était nécessaire de lier vitesse angulaire et accélération centripète, modéliser les efforts de frottement dans l'air et estimer le couple moteur nécessaire pour compenser ces frottements au régime maximal. La deuxième partie visait à vérifier les exigences liées au fonctionnement sécurisé du système à travers la détection d'un déséquilibre lié au placement des capteurs à calibrer et la bonne tenue dans le temps du guidage en rotation du bras. Le premier point conduisait à estimer, via une étude statique, la valeur moyenne et la variation d'effort mesurable sur un pied de la centrifugeuse, et à choisir un capteur d'effort adapté. Le second point conduisait à discuter un choix de roulements à contact oblique préchargés et à en estimer la durée de vie. La troisième partie permettait de mettre en évidence l'impact des déformations d'origine mécanique et thermique sur la précision de la calibration. Pour cela, le bras était vu comme une poutre en traction sollicitée par une force répartie non uniforme et une force ponctuelle. La quatrième et dernière partie visait à pré-dimensionner une évolution technique permettant de compenser la rotation du plateau supportant les capteurs à calibrer, sous l'action des charges dynamiques. Le sujet proposait d'ajouter une masse mobile et de pré-dimensionner un dispositif électromécanique permettant de la positionner correctement en un temps raisonnable.

Les poids relatifs des différentes parties du sujet sont relativement équilibrés :

Performances du système et choix de motorisation Q1 à Q13	24%
Sécurité de fonctionnement Q14 à Q28	28%
Précision de la calibration sous les effets mécaniques et thermiques Q28 à Q40	20%
Étude d'une solution d'avant-projet Q41 à Q56	28%

COMMENTAIRE GÉNÉRAL SUR L'ÉPREUVE

Le sujet est structurellement long, les candidats peuvent ainsi s'exprimer sur l'ensemble de leurs compétences et montrer leur capacité à aborder un problème dans sa globalité. Une lecture complète du sujet en début d'épreuve est conseillée afin de bien s'en imprégner.

Les calculatrices sont interdites. Certaines applications numériques demandent une aptitude à effectuer des approximations pour pouvoir atteindre le résultat. Lors de l'évaluation des copies, une tolérance de quelques pourcents est appliquée sur la précision des résultats numériques obtenus. Lorsque le calcul ne demande aucune approximation, aucune tolérance n'est appliquée.

Le sujet ne pose pas de difficulté particulière de compréhension et toutes les questions posées sont au niveau des candidats ; à chaque question, plusieurs candidats obtiennent le maximum des points.

Dans toutes les parties du sujet, des connaissances de base sont évaluées. Bon nombre de candidats ne les maîtrisent pas.

Les candidats ont su tirer profit des parties et des questions indépendantes.

Sur la forme, le jury regrette qu'un nombre important de copies présentent des résultats analytiques bruts, sans simplification ni mise en forme adaptée (factorisation ou regroupement de termes, notamment). Cela nuit évidemment à l'interprétation ou l'exploitation que peuvent faire les candidats de leur résultat, ou à la réalisation des applications numériques qui peuvent ainsi devenir complexes alors même qu'elles étaient prévues pour être simples.

Le jury remarque enfin que les candidats sont familiers de ce format d'épreuve avec cahier réponse. La démarche est fortement guidée par le sujet si bien que les calculs à produire pour chaque question sont finalement très raisonnables et que les réponses à fournir dans les espaces prévus sont simples. Certains candidats pensent néanmoins judicieux d'écrire ces détails de calcul dans la zone de réponse rendant de facto celle-ci illisible, alors même que ça n'est pas demandé. Quelques candidats ont ainsi dû exploiter l'espace disponible en fin de cahier réponse afin de remplacer un espace réponse devenu illisible dans le cahier. Encore trop de candidats ne respectent pas les notations imposées en introduisant les leurs, ou expriment la réponse en fonction d'autres quantités que celles imposées.

ANALYSE PAR PARTIE

Performances du système et choix de motorisation :

Cette première partie avait pour objectif terminal de choisir un moteur couple permettant d'atteindre le niveau d'accélération maximal souhaité pour le capteur avec un temps de montée jusqu'au régime maximal satisfaisant. La démarche proposée consistait tout d'abord à relier vitesse de rotation du bras et accélération centripète vue par le capteur accélérométrique positionné en bout de bras. L'étude conduisait à estimer la vitesse de rotation devant être atteinte par le système. Ces premiers calculs de cinématique ont été plutôt bien traités, mis à part l'application numérique à faire dans différentes unités qui n'a été totalement juste que pour 35% des candidats, alors que plus de 50% des candidats avaient répondu correctement aux précédentes questions.

Il était ensuite proposé d'estimer l'inertie de l'ensemble tournant, de calculer le couple résistant lié aux effets aérodynamiques et d'en déduire l'équation de mouvement. Plus de 80% des candidats réussissent très bien les premières questions de cette sous-partie, mais les résultats se dégradent dans la suite, notamment à cause d'erreurs de signe, d'intégration, ou dans les produits vectoriels.

Bien que non-linéaire, la solution analytique pouvait être trouvée (la forme de la solution étant donnée dans le sujet) et un tableau récapitulant les temps de montée et les vitesses maximales obtenues était fourni. Sur cette base, la partie se terminait en évoquant les critères de choix et en sélectionnant les moteurs adaptés dans un catalogue proposé. Bien que seulement 20% des candidats concluent correctement cette partie en allant au bout du choix de moteur, elle a été globalement bien traitée :

- 75% des candidats obtiennent plus de 50% des points ;
- 35% des candidats obtiennent plus de 75% des points ;
- 58 candidats ont obtenu tous les points de cette partie.

Sécurité de fonctionnement :

Cette seconde partie avait un objectif double : choisir un capteur d'effort à intégrer dans un pied de la centrifugeuse et permettant de détecter un éventuel problème dans la mise en place des capteurs, valider un choix de montage de roulements et une précharge associée. Le choix du capteur s'appuyait sur une analyse statique relativement simple permettant de vérifier le niveau des oscillations à mesurer en cas de déséquilibre ainsi que l'effort nominal à supporter. Cette première sous-partie a été relativement bien traitée puisque plus de 50% des candidats vont jusqu'à un choix judicieux de capteur. La deuxième sous-partie visait tout d'abord à justifier le choix d'un montage en O plutôt qu'en X. Bien que classiques, seulement 20% des candidats répondent de façon satisfaisante à ces questions technologiques. Le choix d'une précharge axiale pour le montage était ensuite très guidé à travers différentes questions et un schéma détaillant les notations et les phases de repos, de précharge, et de chargement extérieur. Malgré cela, les questions associées sont très mal traitées, avec près de 80% d'échec complet pour certaines. Enfin, le calcul de la durée de vie des roulements, qui pouvait être fait sans avoir traité les questions précédentes puisque les efforts étaient donnés, a lui aussi été souvent

escamoté. Seulement 10% des candidats calculent la durée de vie correctement, application numérique incluse.

Cette partie a été moins bien traitée que la première dans l'ensemble notamment à cause de la sous-partie portant sur le montage de roulements :

- 30% des candidats obtiennent plus de 50% des points ;
- 5% seulement des candidats obtiennent plus de 75% des points ;
- Seulement 2 candidats ont obtenu tous les points de cette partie.

Précision de la calibration sous les effets mécaniques et thermiques :

Cette troisième partie permettait de mettre en évidence l'impact des déformations d'origine mécanique et thermique sur la précision de la calibration. Le bras était vu comme une poutre en traction sollicitée par des chargements axiaux : un effort linéique sur tout le bras et un effort ponctuel en bout de bras. Le calcul de la réaction en A et le calcul de l'effort normal ont posé problème à un bon nombre de candidats : seulement 30% ont répondu correctement à ces deux questions. En effet, très souvent, l'effort linéique, qui variait linéairement sur le bras, a été remplacé par un effort linéique uniforme. Cela a conduit à des erreurs également dans le calcul de l'allongement associé. L'écriture de l'erreur relative sur l'accélération a été bien traitée, mais l'application numérique et la conclusion associée nettement moins : très souvent, les candidats n'ont pas exploité correctement le cahier des charges fourni qui spécifiait une précision en ppm (avec une illustration). Seulement 15% des candidats répondent correctement à cette question. Les trois dernières questions permettaient d'ajouter les erreurs d'origine thermique, prépondérantes, puis de conclure sur le non-respect du cahier des charges et sur la nécessité d'apporter des modifications structurelles ou de compenser ces erreurs. Seulement 15% des candidats répondent correctement à ces questions pourtant simples.

Cette partie a été traitée globalement de manière satisfaisante :

- 50% des candidats obtiennent plus de 50% des points ;
- 15% des candidats obtiennent plus de 75% des points ;
- 13 candidats ont obtenu tous les points de cette partie.

Étude d'une solution d'avant-projet :

Cette dernière partie avait pour objectif de pré-dimensionner une évolution technique permettant de compenser la rotation du plateau supportant les capteurs à calibrer sous l'action des charges dynamiques. Le principe proposé était d'adapter la position d'une masse mobile pour ajouter un contre-effort permettant de limiter la rotation du plateau. Après avoir calculé le torseur d'actions mécaniques imposé au centre du plateau, le sujet proposait de scinder l'étude RdM en deux sous-problèmes classiques : l'étude d'une poutre encastree avec effort transversal en bout, et l'étude d'une poutre encastree avec moment de flexion en bout. Cette sous-partie a été correctement traitée dans l'ensemble, malgré des erreurs de signe fréquentes liées à la masse qui était représentée avec une coordonnée z négative, et grâce à des résultats intermédiaires fournis dans le sujet. La seconde sous-partie conduisait à choisir un ensemble moteur, réducteur et codeur. Pourtant facile, et relativement indépendante du reste de l'épreuve, elle a été très peu traitée : elle n'a rapporté aucun point à près de 80% des candidats.

Cette partie a été traitée de manière assez incomplète, avec des résultats contrastés :

- 45% des candidats obtiennent plus de 50% des points ;
- 7% des candidats obtiennent plus de 75% des points ;
- Seulement 2 candidats ont obtenu tous les points de cette partie.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS

Écrire lisiblement, assez gros et avec une encre pas trop claire. Marquer suffisamment les tracés au crayon.

Lire l'ensemble du sujet en début d'épreuve afin d'aller chercher les parties dans lesquelles les candidats se sentent les plus à l'aise.

Répondre précisément aux questions posées en différenciant bien expression littérale et application numérique. Prendre le temps de simplifier les expressions littérales obtenues (factorisation, simplification de fractions, etc). Exprimer les applications numériques dans l'unité requise, préciser l'unité si celle-ci n'est pas imposée, et donner les expressions littérales en fonction des variables spécifiées dans la question uniquement.

Connaître et maîtriser les connaissances de base : torseur de cohésion, formules de résistance des matériaux, application du PFS, du PFD, du théorème de l'énergie cinétique...

Effectuer les applications numériques en dépit de l'interdiction des calculatrices et porter un regard critique sur les résultats numériques obtenus en se posant la question élémentaire : le résultat est-il plausible vis-à-vis du produit étudié ?

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.