

EPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES C

FormUp 350

Durée : 6 heures

PRÉSENTATION DU SUJET

Le sujet portait sur la machine de fabrication additive par fusion laser sur lit de poudre métallique FormUp350, développée par AddUP. La problématique générale portait successivement sur le pilotage de la tête de scanning afin d'assurer le positionnement du spot laser dans le plan de travail, la validation des performances du système pour déplacer le plateau de fabrication selon l'axe vertical, et enfin le système de mise en couche qui est au cœur du procédé.

Le sujet comportait trois parties, dont les poids relatifs étaient les suivants :

- Partie I (20%) : Validation de performances de la fonction « positionner le spot laser dans le plan de travail ».
- Partie II (35%) : Modélisation et validation performances de la fonction « déplacer le plateau de fabrication selon l'axe z » entre la production de deux couches successives.
- Partie III (45%) : Modélisation et validation de la fonction « étaler le lit de poudre »

Chaque partie pouvait être traitée indépendamment des autres. Quelques questions étaient « à tiroir » au sein des parties, mais cela restait marginal et permettait toutefois d'appréhender le raisonnement des candidats.

COMMENTAIRES GÉNÉRAUX

Cette épreuve a pour objectif d'évaluer les capacités des candidats dans les domaines des sciences industrielles de l'ingénieur et plus précisément les aspects liés à l'analyse d'un système industriel, à la conception d'un sous-système mécanique et son industrialisation. Les compétences attendues concernent : l'analyse, la prédiction et la vérification des performances attendues de systèmes ou sous-systèmes à partir de modélisations ; l'imagination, le choix, la définition et le dimensionnement de solutions techniques intégrant des contraintes du cycle de vie, en particulier celles d'industrialisation. Le spectre des questions était relativement large cependant le sujet ne se voulait pas difficile. L'objectif était d'une part de balayer des parties du programme qui n'avaient pas été abordées les années précédentes (transmission de données, résistance des matériaux (traction et flexion), choix de matériau, mesure et contrôle géométrique des pièces, ...) et d'autre part de revenir sur la maîtrise d'outils déjà évaluée récemment (modèle cinématique d'un mécanisme, spécifications géométriques, processus de fabrication, ...)

Nous constatons que la partie transmission de données a posé problème à de très nombreux candidats, tant sur les connaissances (topologies, caractéristiques) que les savoir-faire, en particulier sur la manipulation des bits et des octets. Alors que les systèmes industriels sont devenus majoritairement de type mécatronique, que les échanges d'information de la vie quotidienne se font de manière numérique, ces lacunes sont assez surprenantes pour de futurs ingénieurs.

L'analyse de mécanisme se fait sans maîtrise. Les formules sont a priori connues mais les candidats sont visiblement facilement perturbés face à des solutions qui ne sont pas exactement les mêmes que celles vues lors de leur préparation. On se trouve alors face des réponses parachutées ou décalées qui ne rapportent pas de points.

La partie RDM a été relativement bien abordée avec des résultats globalement corrects, mais des erreurs dans la détermination des conditions aux limites n'ont pas permis aux candidats de mener à bien leur calcul de la déformée. Enfin les problèmes d'homogénéité des résultats sont aussi très prégnants.

Systématique dans cette épreuve SiC, le décodage d'une spécification géométrique a posé des difficultés insurmontables pour une majorité de candidats quand il s'est agi de traiter une spécification avec une référence commune.

La partie industrialisation a été mieux traitée que les années précédentes ce qui n'est pas le cas de la partie métrologie qui n'a été que trop rarement abordée et conduite à son terme. Pourtant, tout le processus de détermination de l'élément associé par la méthode des moindres carrés avait été détaillé étape par étape pour parvenir in fine à déterminer le respect ou non de la tolérance.

Très classique, l'épreuve de conception a rencontré un vrai succès cette année et le jury a apprécié la proposition quasi systématique de solutions constructives souvent d'un très bon niveau pour la partie conception aux instruments, la partie à main levée ayant été moins bien traitée.

Les fondamentaux ont mis en évidence un écart-type important pour un niveau des candidats jugé dans l'ensemble assez faible, tandis que les questions portant sur des aspects moins souvent évalués les années précédentes ou ayant un caractère plus « original » n'ont fait qu'accroître cet écart-type, tout en laissant la moyenne à un niveau jugé très bas (voire à le baisser).

Finalement, l'épreuve a permis de classer les candidats, mais les résultats restent, davantage que l'an dernier, faibles par rapport aux attentes du jury, une partie des candidats n'ayant pas traité et répondu à un nombre suffisant de questions. Les circonstances exceptionnelles dans lesquelles les candidats ont terminé leur année et passer les épreuves n'y sont sans doute pas étrangères. On retrouve dans la répartition des notes une loi normale centrée sous la moyenne avec un écart type significatif.

Enfin le contexte « concours » ne doit pas faire oublier non plus la maîtrise des fondamentaux en Science de l'Ingénieur que les étudiants doivent connaître.

COMMENTAIRES SUR CHAQUE PARTIE DE L'ÉPREUVE

Partie I : validation de performances de la fonction « positionner le spot laser dans le plan de travail »

Cette première partie avait pour but d'appréhender le procédé par des questions préliminaires assez générales sur les paramètres et les trajectoires de lasage puis de traiter l'acquisition et les transmissions de données pour commander les variateurs des galvanomètres.

Q1 : Même sans connaître le procédé, l'analyse dimensionnelle des paramètres proposés ont permis aux candidats de déterminer l'expression correcte de l'énergie volumique et de sa valeur.

Q2 : Cette question a été plutôt mal traitée dans l'ensemble alors qu'il s'agissait soit d'un problème de géométrie dans un triangle pour trouver une longueur caractéristique, soit d'une proportionnalité en passant par le calcul du temps de parcours.

Q3 : D'un point de vue géométrique, les solutions proposées ont souvent été à la hauteur des attentes du jury, mais trop peu ont considéré que le laser devait s'allumer une fois la vitesse de balayage atteinte.

Q4 et Q5 : Alors même que cette question avait été posée en 2019, la notion de résolution d'un codeur et son expression ne sont pas maîtrisées. La réponse à la question 5 a souvent pâti d'une erreur à la question Q4. Le jury rappelle également que si une expression analytique est demandée (Q4), il n'est pas nécessaire de faire une application numérique.

Q6 : Le fait de demander de faire un schéma explicatif a été très révélateur de la méconnaissance du fonctionnement du capteur à effet Hall alors même que la question avait été posée en 2019. Les candidats ont aussi plutôt tendance à vouloir expliquer comment assurer la réalisation technologique (position du capteur sur le système) ce qui n'était pas l'objet de la question.

Q7 et Q8 : Il s'agissait de questions de cours. Les topologies semblent être connues d'une majorité de candidats, mais leurs avantages et inconvénients sont bien moins maîtrisés. En ce qui concerne le protocole Ethercat, comme en 2017 avec le protocole CAN, on touche le fond ou presque concernant le vocabulaire.

Q9 à Q11 : Ces questions sur la bande passante reposaient principalement sur des calculs de ratios de bit ou d'octets à transmettre. Les erreurs viennent majoritairement des conversions entre bits et octets.

Partie II: Modélisation et validation performances de la fonction « déplacer le plateau de fabrication selon l'axe z »

Cette partie était assez classique sans pour autant avoir été bien traitée. L'étude portait sur la solution choisie pour assurer la translation du plateau entre la réalisation de chaque couche ainsi que sur la maîtrise de l'épaisseur de celle-ci.

Q1 : Le spectre des réponses a été large. Néanmoins les réponses expliquant que la disposition des contacts avec les éléments roulants conduisait à une liaison rotule interroge sur le recul qui a été pris lors de la description d'une liaison pivot.

Q2 : Malgré quelques confusions sur la modélisation dont il fallait donner le degré d'hyperstatisme, l'emploi des formules de théorie des mécanismes est bien maîtrisé. Il est cependant dommage de trouver des erreurs de calcul lors d'opérations simples portant sur des nombres entiers.

Q3 : Des réponses génériques mais globalement satisfaisant.

Q4 : Cette question a été un fiasco. Les copies donnant la bonne réponse, voire une réponse erronée mais basée sur un raisonnement correct ont été extrêmement rares. Le passage d'une liaison pivot à une liaison pivot glissant semble être une réponse « clé en main ».

Q5 : Cette question semble avoir dérouté beaucoup de candidats certainement du fait de la mise en position du roulement qui ne se réalise pas sur une portée cylindrique. Très peu ont su s'adapter et analyser l'intérêt de la mise en position par appui-plan et le maintien par vis.

Q6 : Ici les réponses ont certainement été trop rapides pour beaucoup qui ont oublié que le capteur se situe sur l'axe moteur.

Q7 : De tout.

Q8 & Q9 : Les formules pour le calcul de l'allongement en traction ont été correctement utilisées dans l'ensemble. Il est regrettable que la linéarité du comportement ait été oubliée ce qui aurait pu éviter certaines erreurs et permis de gagner un peu de temps.

Q10 : Beaucoup ont vu une erreur de position due à l'allongement, très peu ont insisté sur le fait que le problème vient surtout de la variation de la charge et donc de l'allongement

Q11 : De tout.

Partie III : Modélisation et validation de la fonction « étaler le lit de poudre »

Il s'agissait dans cette partie d'analyser les spécifications fonctionnelles requises sur le rouleau pour assurer une mise en couche de bonne qualité et d'étudier ensuite son industrialisation ainsi que le contrôle de spécifications. Cette partie bien moins calculatoire est classique pour l'épreuve SIC qui doit traiter des relations produit-matériaux-procédés. Elle portait donc des concepts de base du concours (cotation GPS, résistance des matériaux, tables de Ashby, gamme de fabrication, métrologie) et se terminait par un avant-projet de définition de la liaison pivot du rouleau avec le chariot et la transmission du mouvement de rotation.

Q1 : la cotation GPS et les spécifications géométriques sont maîtrisées par plus d'un candidat sur deux, ce qui n'est pas le cas de la notion de référence commune. La plupart des candidats n'ont pas été capables de définir une droite idéale s'appuyant simultanément sur les éléments de références A et B.

Q2 et Q3 : Si le calcul des actions mécaniques au niveau des supports de la poutre n'a pas posé de problème majeur, l'établissement de l'expression du torseur de cohésion est problématique pour près de la moitié des candidats. La majorité d'entre eux essaie à bon escient d'exploiter un schéma pour appuyer leur réponse, mais celui-ci est souvent de piètre qualité graphique et incomplet. On retrouve également souvent des erreurs d'homogénéité dans les résultats causées principalement par la présence d'une charge répartie dans le sujet.

Q4, Q5 et Q6 : Comme évoqué dans les remarques générales, les erreurs dans les conditions aux limites au niveau des appuis (tangente horizontale) ont été nombreuses et ont donc menés à des résultats erronés, pour l'expression de la déformée comme pour celle de la flèche et enfin du diamètre du rouleau. Le jury précise que pour cette dernière question, les candidats ayant mené les calculs jusqu'à l'expression du diamètre et une application numérique ont été récompensés pourvu que le résultat fût homogène et l'ordre de grandeur correct ou commenté.

Q7 et Q8 : Il s'agissait ici de retrouver l'expression de l'indice de performance qui permettait de minimiser la masse du rouleau tout en garantissant une déformation donnée. L'expression était donnée ce qui évitait une question à tiroir et permettait de faire le choix d'une famille de matériaux dans le diagramme. De nombreux candidats n'ont pas dû utiliser le bon indice de performance et ont proposé la famille des alliages techniques avant même d'inclure la contrainte de fabrication alors que les familles les plus performantes étaient les céramiques techniques, les composites et les bois parallèles aux fibres.

Q9 et Q10 : Après avoir rappelé le principe de la trempe superficielle, pour lequel certains n'hésitent pas à remonter aux pratiques du moyen âge pour illustrer leur propos, il s'agissait de justifier l'ordonnement de la gamme de fabrication du rouleau en intégrant le traitement thermique. Cette question a été relativement bien traitée par l'ensemble des candidats, ce qui est assez remarquable par rapport aux éditions précédentes, même si certains placent avec certitude le traitement thermique à la fin de la gamme.

Q11 à Q15 : Les questions de métrologie étant absentes du sujet depuis de nombreuses années, il nous a paru raisonnable d'accompagner le candidat étape par étape dans le traitement du nuage de points par la méthode des moindres carrés. La question **Q11** a montré que la grande majorité des candidats n'a pas su exploiter la nature même du torseur des petits déplacements et notamment la formule de changement de point (théorème de Varignon) habituellement utilisée en statique et en cinématique. Pour la question **Q12**, l'expression de l'écart optimisé qui s'appuyait sur la différence entre l'écart

initial et le produit scalaire entre le déplacement au point considéré et le vecteur normal n'a été que trop rarement déterminée. Ensuite, les candidats ont pu poursuivre aux questions **Q13** et **Q14** en résolvant le système linéaire donné dans le sujet. Enfin à la question **Q15**, rares sont ceux qui ont su exprimer le lien entre l'amplitude des écarts optimisés et la tolérance de circularité, et ensuite conclure sur la conformité de la pièce, tant les réponses sur les écarts optimisés traités en **Q12** étaient fausses. En conclusion, cette partie a été traitée par moins de la moitié des candidats et seule une poignée l'a conduite correctement à son terme. Une évaluation plus fréquente des compétences en métrologie sera dorénavant effectuée.

Q16 : il s'agissait ici de proposer une solution technique au moyen d'un dessin à main levée pour effectuer le réglage de la tension de la courroie de transmission visible dans les documents ressources. La solution des trous oblongs, la plus simple et celle mise en œuvre dans le système réel a été proposée par de nombreux candidats. D'autres solutions plus compliquées avec des systèmes à ressort et des galets tendeurs (pourtant non présent sur le document ressource) ont également été proposées, mais n'ont pas permis d'obtenir la totalité des points de la question. Dans tous les cas, le jury regrette le manque de soin apporté à cet exercice pour la qualité graphique.

Q17 : Le sujet se terminait par la conception de la liaison pivot entre le rouleau de lissage et le chariot ainsi que la transmission de puissance par l'intermédiaire d'une courroie crantée. Plus d'un candidat sur deux aborde correctement cette partie graphique et certaines propositions sont quasiment parfaites. Parmi les erreurs les plus fréquentes, le manque d'épaulement pour arrêter axialement les poulies sur les arbres, l'absence d'arrêts axiaux sur les roulements pour assurer une liaison rotule, et plus globalement les problèmes de « montabilité » des roulements.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS (et à leurs formateurs)

Il est encore une fois conseillé aux futurs candidats de faire une première lecture rapide du sujet pour prendre connaissance du problème dans sa globalité. Il pourra alors, dans la mesure où beaucoup de parties sont indépendantes, débiter par les parties qui lui semblent les plus évidentes et avoir en mémoire les documents ressources qui lui sont proposés.

Au-delà des résultats quantitatifs justes ou faux, et bien que certaines questions soient classiques pour l'épreuve SIC, le raisonnement est pris en considération. La qualité des réponses est fortement prise en compte (détails parcimonieux). Il est fortement conseillé aux candidats de justifier brièvement, mais systématiquement les démarches et les solutions proposées. Cette qualité demande une compréhension générale du sujet d'étude traité, rédigé en suivant une logique et une cohérence, et non plus uniquement des réponses locales à chacune des questions indépendamment des autres.

Nous reconnaissons que certaines réponses quantitatives dépendaient en partie des réponses aux questions précédentes, mais la correction tient toutefois compte des éléments de raisonnement donnés. Encore une fois, si le système d'étude est compris, les réponses en seront d'autant plus logiques et justifiées correctement.

Les écritures soignées, l'utilisation de couleurs en particulier pour mettre en valeur les schémas et faire ressortir les résultats, sont très appréciées. A contrario, les explications confuses, contradictoires ainsi que l'excès de fautes d'orthographe et de grammaire sont pénalisés.

Les questions originales de l'épreuve SIC (comparé à SIA et SIB) s'appuient sur une relation produit-matériaux-procédés forte. Elles ne peuvent plus se baser uniquement sur des questions « de culture générale » sans modèle ni calcul. Cette relation doit être maîtrisée en classes préparatoires PT.