

# ÉPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES A

Cellule robotisée d'emboilage et de transfert

Durée : 5 heures

## PRÉSENTATION DU SUJET

Le sujet se composait :

- d'une présentation du système étudié : 5 pages ;
- du travail demandé (parties A, B, C, D et E) : 14 pages + 11 pages d'annexes ;
- du cahier réponses à rendre, comprenant 44 questions : 28 pages.

Ce sujet porte sur la cellule robotisée d'emboilage et de transfert de la cave coopérative de Lugny située en Saône et Loire. Ce système, dont l'élément central est un robot articulé six axes, permet le conditionnement et le reconditionnement de bouteilles de crémant de Bourgogne. On s'intéressait aux aspects fonctionnels du système, à l'architecture mécanique du robot, ainsi qu'aux aspects commande, asservissement et conversion électromécanique. Le sujet était articulé autour de cinq parties : une partie liée à la découverte de la composition et du fonctionnement du système, et quatre parties liées à la vérification ou la validation d'exigences. Les parties étaient indépendantes et elles-mêmes constituées de nombreuses questions qui pouvaient être traitées séparément dans la plupart des cas :

- la Partie A abordait l'analyse du fonctionnement du système ;
- la Partie B s'intéressait à l'influence du comportement du socle du robot sur le suivi de trajectoire ;
- la Partie C permettait d'élaborer un modèle de comportement dynamique lors d'un suivi de trajectoire ;
- la Partie D permettait de choisir une correction adaptée pour la commande afin de suivre au mieux la trajectoire ;
- la Partie E permettait de valider des solutions de conversion électromécanique liées à la mise en place des rampes de ventouses .

## COMMENTAIRES GÉNÉRAUX

Les items abordés couvraient une grande partie du programme : analyse fonctionnelle, système à événements discrets, schéma pneumatique, résistance des matériaux, statique, cinématique, cinétique, dynamique, modélisation et amélioration des performances des systèmes asservis, conversion électromécanique, ... Le sujet était peut-être un peu long mais la diversité des items abordés a permis d'évaluer les candidats de manière globale.

Le fait que les parties soient indépendantes permettait aux candidats de poursuivre leur épreuve sans rester bloqués sur l'une d'entre elles. Comme les autres années, les candidats ont pu profiter de ces différents points d'entrées et ont balayé l'ensemble des parties.

Le sujet a été très peu traité dans sa globalité, mais toutes les parties ont été abordées dans les mêmes proportions. Notons que comme chaque année, quelques excellents candidats ont pu prouver leurs grandes qualités en traitant parfaitement la quasi-totalité du sujet.

Le meilleur candidat n'a pas traité les 4 dernières questions mais il a pu, avec quelques fautes, traiter toutes les autres. Mis à part la dernière question, pour toutes les autres, au moins 1% des candidats a répondu correctement. Toutes les questions étaient donc faisables.

Comme d'habitude, la seule recopie dans le cahier réponses des informations données dans la question ne permet évidemment pas de marquer des points. De même, une simple conclusion à une question de la forme OUI ou NON, sans justification ou explication de la démarche, n'est pas recevable. On trouve encore des copies dans lesquelles le candidat récite son cours sans chercher à résoudre la question. Rappelons que les compétences ne se sont pas de simples connaissances.

Des points supplémentaires ont été attribués aux candidats pour chaque partie correctement traitée.

## **COMMENTAIRES SUR CHAQUE PARTIE DE L'ÉPREUVE**

### **Partie A – Analyse du fonctionnement du système**

Cette première partie du sujet était l'occasion d'évaluer les candidats d'un point de vue comportement des systèmes à événements discrets, analyse fonctionnelle et schéma pneumatique.

**Q1-** Question difficile pour beaucoup. Un tiers des candidats n'a pas réussi ou abordé cette question, 15 % des élèves ont réussi complètement cette question.

**Q2-** 20% des candidats ont réussi pleinement cette question. 75% n'ont pas réussi ou abordé cette question.

**Q3-** 7% des candidats ont réussi pleinement cette question.

La lecture d'un diagramme d'états simple en vue de remplir un chronogramme n'est pas simple pour beaucoup de candidats, mais un certain nombre ont été capables de lire de manière rigoureuse un diagramme d'états plus complexe pour répondre aux questions 2 et 3.

**Q4-** La moitié des candidats a réussi cette question et un quart a obtenu la moitié des points.

Les candidats ont su identifier la nature des différents flux, ce qui est rassurant.

**Q5-** Un quart des candidats a réussi cette question et un autre quart a obtenu la moitié des points.

Pour beaucoup les fonctions génériques de la chaîne fonctionnelle sont inconnues ou se limitent aux fonctions transmettre et convertir.

**Q6-** Trop peu de candidats ont réussi pleinement cette question.

L'information liée à l'identification des distributeurs pneumatiques étaient peut-être difficile à trouver dans le sujet mais il semble que beaucoup de candidats n'ont pas compris ce que signifie x/y dans la désignation des distributeurs.

### **Partie B – Influence du comportement du socle sur le suivi de trajectoire**

Cette partie mobilisait des connaissances liées à la résistance des matériaux. Dans l'ensemble cette partie a été bien traitée mais 10% des candidats ne l'ont pas abordée.

**Q7-** Cette question a été bien traitée dans l'ensemble (60% de bonnes réponses) avec quelques erreurs de signe sur les composantes du torseur des efforts de cohésion.

**Q8-** Question bien traitée par une majorité des candidats. Quelques soucis par rapport aux valeurs numériques.

**Q9-** Question bien traitée par une majorité des candidats. Quelques soucis d'intégration pour obtenir l'équation de la déformée (mauvaise variable d'intégration, le moment fléchissant est abordé comme une constante).

**Q10-** Application numérique qui ne pouvait s'effectuer qu'avec la relation déterminée à la question précédente. Certains candidats oublient de conclure en justifiant (seulement  $v < v_{\max}$ ).

### **Partie C – Elaboration d'un modèle de comportement dynamique lors du suivi de trajectoire**

Cette partie mobilisait de connaissances liées à la statique, la cinématique, la cinétique, la dynamique et la modélisation du comportement d'un système asservi.

**Q11-** Question bien traitée dans l'ensemble mais beaucoup d'erreurs de projection et de trigonométrie.

- Q12-** Question bien traitée dans l'ensemble. Beaucoup de candidats écrivent l'équation vectorielle de fermeture géométrique. Parmi eux, certains font des erreurs de projection et d'autres ne savent pas exploiter les deux équations issues de la projection vectorielle pour obtenir les relations demandées.
- Q13-** Encore des problèmes de projection mais question pas mal traitée dans l'ensemble. Ce que ne laissait pas présager les corrections des années précédentes.
- Q14-** Même remarque (60% de bonnes réponses).
- Q15-** Pas trop de problème au niveau de la lecture graphique mais des soucis au niveau de l'interprétation pour conclure sur l'action frein ou moteur du motoréducteur.
- Q16-** Un tiers des candidats a réussi cette question. Pour le reste, mélange des produits et des moments, oubli du carré à la distance, oubli de la masse, ... Huygens a été souvent cité.
- Q17-** Environ 40% des candidats ont bien traité cette question et 7% ont trouvé une des expressions. Parfois certains résultats ne sont pas homogènes à une distance.
- Q18-** On peut regretter que 50% des candidats n'aient pas du tout su faire cette question de cinématique. 25% ont trouvé un des vecteurs vitesses, et 25% ont trouvé les deux. Certains vecteurs étaient parfois perpendiculaires au plan d'étude et d'autres égaux à des scalaires.
- Q19-** Question plutôt bien traitée par rapport à ce que pouvait laisser présager les corrections des années précédentes. Ceci étant, 40% des candidats est parti de la bonne relation et parmi eux un tiers est arrivé au bout. Certains ont fait comme si B était « fixe » et beaucoup ont pris la vitesse du point G4 au lieu du point B dans la relation du moment cinétique. Encore une fois, beaucoup se perdent dans les outils mathématiques (produit vectoriel, changement de base, projection, ...).
- Q20-** Question dépendante des questions précédentes. Très peu de candidats sont arrivés au bout mais question plutôt bien traitée par rapport à ce que pouvait laisser présager les corrections des années précédentes. Beaucoup de candidats ne mentionnent pas de base pour la dérivation vectorielle.
- Q21-** 60% des candidats ayant traité cette question ont oublié le moment de l'action de la pesanteur sur l'ensemble isolé.
- Q22-** 1/4 des candidats a réussi cette question. Beaucoup n'ont pas vu que le point A était « fixe » et s'embourbent dans des expressions mathématiques complexes.
- Q23-** Beaucoup répondent qu'il faut appliquer le TMD en projection sur  $y_0$ , mais ne précisent pas ce qu'il faut isoler et en quel point. Trop peu de candidats ont vu qu'il fallait isoler l'ensemble  $\{2 + 4\}$ .
- Q24-** Cette question ne présentait pas de difficultés majeures. Cependant beaucoup de candidats ne l'ont pas traitée en sautant la partie C. Un peu moins d'un tiers des candidats a réussi pleinement cette question.

#### **Partie D – Recherche d'une correction adaptée**

Cette partie portait sur l'amélioration des performances d'un système asservi.

- Q25-** 30% des candidats ont réussi cette question. Certains n'ont pas identifié le sommateur dans la boucle interne. Beaucoup se perdent en arithmétique.
- Q26-** Beaucoup parlent de pôles à partie réelle négative ou strictement négative mais ont oublié de discuter de la valeur de  $K_p$ . Certains parlent de précision et non de stabilité !
- Q27-** Seulement une petite moitié de candidats a réussi cette question qui présentait peu de difficultés.
- Q28-** Trop peu de candidats qui ont répondu à la question précédente, ont su répondre à cette question. Cette question étant guidée, elle ne présentait pas de réelle difficulté. La notion de compensation d'un pôle est-elle connue ?
- Q29-** Cette question qui ne présentait pas de réelles difficultés a été une des moins bien réussies ! Les candidats ont été perturbés par la boucle de vitesse et n'ont pas su ou pu appliquer les relations classiques de détermination de fonction de transfert à partir de la lecture d'un schéma bloc.
- Q30-** Question très bien traitée par 68% des candidats et qui n'était qu'une question de détermination de fonction de transfert à partir de la lecture d'un schéma bloc.

**Q31-** Sur la petite moitié de candidats qui ont répondu à la question, 60% ont trouvé la bonne valeur de  $K_p$  répondant à l'exigence de rapidité, mais beaucoup oublient de conclure sur les autres exigences.

### **Partie E – Etude de la mise en place des rampes de ventouses par le préhenseur**

**Q32-** Question bien traitée. Beaucoup de candidats exploitent l'aire sous la courbe.

**Q33-** Beaucoup oublient le rapport de réduction (parfois utilisé en rapport de multiplication), utilisent le diamètre plutôt que le rayon, et ne font pas la conversion des tr/min en rad/s.

**Q34-** Question traitée par 23% des candidats, qui semble avoir été mal perçue notamment au niveau du profil en triangle.

**Q35-** Question source de beaucoup d'erreurs : oubli du rapport de réduction, de son carré, utilisé parfois en rapport de multiplication ; oubli de diviser par deux le diamètre pour avoir le rayon ; oubli des masses, du nombre de bouteilles, du nombre de crémaillères ; non identification du  $J_{red}$  comme étant l'inertie du réducteur ramenée sur l'axe moteur ; ...

**Q36-** Beaucoup d'erreur de calcul. La conclusion est oubliée.

**Q37-** Trop peu de candidats ont traité correctement cette question (4%) qui fait appel à des principes physiques d'électricité. La réponse était tracée et certains candidats s'en sont servi sans donner la justification aux niveaux de l'état des diodes.

**Q38-** A partir de la courbe de tension redressée donnée dans le document réponse, des candidats ont pu donner une réponse correcte à la question. Les candidats qui ont essayé de retrouver le résultat par le calcul n'ont pas obtenu le bon résultat.

**Q39-** 1/3 des candidats a donné la bonne réponse à la question. Cependant, la moitié d'entre eux n'ont pas donné de justification valable.

**Q40-** Question simple mais placée en fin de sujet : 2% des candidats ont donné une bonne réponse.

**Q41-** 1/4 de candidats a donné la bonne relation.

**Q42-** Beaucoup des diagrammes de Fresnel présentés étaient mal orientés par rapport au repère. Souvent, un des vecteurs n'avait pas la bonne orientation vis-à-vis des autres vecteurs.

**Q43-** Quelques candidats ont su exploiter correctement la courbe après avoir calculer le bon couple de frottement.

**Q44-** 8 candidats ont correctement répondu à cette question et 1% des candidats a donné la bonne expression analytique de  $V_u$ . C'est la question la plus mal traitée.

## **CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS**

On conseille de nouveau aux candidats de prendre le temps de parcourir la totalité du sujet pour assimiler les problématiques proposées ainsi que les démarches de résolution associées (une durée indicative de 20 min est donnée dans l'introduction pour découvrir le sujet dans sa globalité). Cela permet d'une part de mieux gérer le temps imparti pour l'épreuve et de prendre du recul face à la problématique et d'autre part d'avoir un parcours de réponses aux questions plus harmonieux qu'un simple picorage des questions.

Ainsi, les correcteurs sont sensibles aux candidats qui traitent une partie dans sa continuité montrant alors des compétences manifestes plutôt que des connaissances parcellaires en traitant une question par-ci par-là.

En termes de rendu d'épreuve, le cahier réponses ne doit pas être utilisé comme un cahier de brouillon (la qualité de la rédaction n'entre pas explicitement dans la notation, mais elle est très appréciée des correcteurs et joue un rôle non négligeable dans l'évaluation), ni se limiter à un simple catalogue de réponses sans justifications. Les conclusions de certaines questions ne peuvent être valorisées que si le candidat précise le cheminement qui l'a amené à ces dernières.

# **ÉPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES B**

## **UNE ATTRACTION NOMMÉE AÉROBAR**

Durée : 6 heures

### **PRÉSENTATION DU SUJET**

Le sujet porte sur un bar aérien installé dans quelques parcs d'attraction. Les passagers sont installés dans une nacelle avec les pieds dans le vide. La nacelle monte à 35 mètres de hauteur, effectue une rotation de 360° puis redescend. Les passagers peuvent ainsi prendre un verre en admirant le paysage.

L'exigence de rentabilité de l'attraction, couplée à des problématiques liées à l'expérience des passagers, permet de définir une durée de cycle total et d'effectuer un choix de motorisation et de rapport de transmission. Par la suite, l'exigence de sécurité conduit à vérifier que le temps de réponse du système anti-chute est adapté à la dynamique de chute libre de la nacelle en cas de défaillance mécanique. Le dimensionnement du crochet et du système d'absorption, réalisé par des empilements de rondelles élastiques sont également étudiés. La dernière partie s'intéresse à l'entraînement en rotation par adhérence de la nacelle. L'objectif est d'effectuer le dimensionnement du ressort qui permet de maintenir l'adhérence entre la roue motrice et la nacelle fixe. Une fois les choix validés, la seconde partie de l'épreuve consiste à proposer une solution constructive pour l'entraînement en rotation de la nacelle.

Les poids relatifs des différentes parties du sujet sont :

- Notice justificative 51 %
- Dessin d'étude de construction mécanique 49 %

Thématiquement, sur la notice justificative, la répartition de la notation a été faite de la manière suivante :

- Étude de la cinématique et choix de moto-réducteur Q1 à Q7 9 %
- Étude du système anti-chute Q8 à Q26 27 %
- Étude de l'entraînement en rotation Q27 à Q35 15 %

### **COMMENTAIRE GÉNÉRAL DE 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 est conseillée en début d'épreuve afin de s'imprégner de ce dernier.

Les calculatrices sont interdites. Certaines applications numériques demandaient une aptitude à effectuer des approximations pour pouvoir atteindre le résultat. Lors de l'évaluation des copies, une tolérance de quelques pourcents a été appliquée sur la précision des résultats numériques obtenus.

Le sujet ne posait pas de difficulté particulière de compréhension.

Toutes les questions posées sont au niveau des candidats (à chaque question, plusieurs candidats obtiennent le maximum des points, et, pour 83% des questions, au moins 7% des 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.

Une grande majorité des candidats a traité ou entamé chaque partie, avec une préférence pour les parties calculatoires (dynamique de la chute et résistance du crochet).

Les candidats ont fréquemment abandonné la notice justificative pour se consacrer au dessin : ils obtiennent en moyenne 51% de leurs points sur la notice et 49% sur le dessin d'étude de construction mécanique.

## **ANALYSE PAR PARTIE**

### **Remarques sur la partie notice justificative**

#### **Remarques générales :**

Les candidats ont su profiter des parties indépendantes et des questions indépendantes à l'intérieur de chaque partie. Certaines parties sont intégralement non traitées par certains candidats.

Le jury remarque que les candidats semblent plus familiers de ce format d'épreuve avec cahier réponse que les années précédentes. Néanmoins encore trop d'entre eux ont eu visiblement un raisonnement juste mais ne répondent pas précisément à la question posée (donnent l'expression littérale au lieu de l'application numérique, et inversement, n'expriment pas les résultats en fonction des quantités demandées ou n'effectuent pas leurs applications numériques dans l'unité demandée) ce qui les pénalise fortement.

#### **Étude de la cinématique et choix de moto-réducteur pour la montée/descente :**

Cette partie, portait sur l'analyse des profils de vitesse de montée et de descente de la nacelle compte tenu du temps de cycle complet (montée, rotation et descente de la nacelle). Les calculs des différents temps et vitesses ont été bien traités par les candidats, leur permettant d'obtenir le rapport de transmission nécessaire. Il s'agissait ensuite de déterminer la puissance nécessaire au niveau de chacun des 3 moteurs. Cette question a été correctement traitée par peu de candidats, soit parce qu'ils n'ont pas tenu compte des 3 moteurs, soit parce que les applications numériques étaient fausses. Enfin le choix du réducteur, qui dépendait directement des deux parties précédentes a été correctement traité par moins de 7% des candidats.

#### **Étude du système anti-chute :**

La première partie portait sur la cinématique de la chute libre de la nacelle et a été bien traitée par la majorité des candidats. Par la suite, il était demandé de déterminer le temps nécessaire pour que le crochet de sécurité vienne dans une encoche via l'utilisation du théorème de l'énergie cinétique. La démarche décomposée de façon détaillée dans les différentes questions a permis à un tiers des candidats de vérifier l'exigence de temps de réponse du système antichute. La seconde partie portait plus spécifiquement sur le dimensionnement du crochet du système antichute et des rondelles élastiques absorbant le choc. La plupart des candidats ont su démarrer les calculs du nombre de paquets de rondelles et du nombre de rondelles par paquets mais très peu sont arrivés au terme du choix. Le dimensionnement du crochet par une approche de type RDM, quant-à-lui, ne semble pas avoir posé de problèmes particuliers aux candidats.

#### **Étude de l'entraînement en rotation :**

La partie démarrait avec la vérification du fait que la roue d'entraînement roule bien sans glisser sur la partie nacelle fixe. L'effort de contact entre la roue et la nacelle fixe est réalisé par un ressort qui plaque la roue sur la nacelle fixe via un basculeur lié à la nacelle mobile. Il s'agissait dans un premier temps de vérifier que sous condition d'adhérence, la nacelle effectue bien un tour complet ; cette partie a été traitée par l'essentiel des candidats. Il fallait ensuite établir le lien entre l'effort tangentiel et l'effort développé par le ressort à la limite du glissement. L'effort tangentiel maximal nécessaire permettait ensuite de choisir le ressort et la précharge à installer pour éviter le glissement. Cette partie, plus

calculatoire, a pu néanmoins être traitée par près de 40% des candidats jusqu'à la question 30, du fait que beaucoup de résultats intermédiaires étaient fournis.

### **Remarques sur la partie « dessin d'étude de construction mécanique »**

#### **Remarques générales :**

Le dessin était constitué de trois zones, dans lesquelles devaient être représentées :

- L'encastrement via un manchon situé entre l'axe du réducteur (comportant rainure de clavette et taraudage en bout) et la jante de la roue (centrage, positionnement axial et maintien en position par boulons M14) ;
- Le guidage en rotation de l'ensemble basculeur (réducteur, moteur et roue motrice) par rapport à la plaque support par deux coussinets à collerette déjà choisis.
- Les assemblages mécano-soudés de l'ensemble basculeur et de l'axe de la liaison pivot solidaire du support.
- Le système de précharge élastique via un ressort pour le maintien du contact roue/nacelle fixe.

Les candidats semblent ne pas avoir eu de difficulté à appréhender l'environnement.

Les dessins sont globalement d'une qualité satisfaisante, laissant peu d'ambiguïté sur les solutions techniques proposées par les candidats.

#### **Zone 1 : liaison encastrement entre l'axe du réducteur et la jante**

Presque tous les candidats donnent des éléments de solution pour cet encastrement. Ils réalisent bien le montage entre l'arbre de sortie du réducteur et le manchon. Les formes du manchon sont compatibles avec une obtention par usinage, la rainure de clavette débouche. Les autres surfaces fonctionnelles sont bien un centrage long sur l'arbre et un appui axial unique. Enfin le maintien en position est réalisé par une vis M10. Entre le manchon et la jante, on retrouve un centrage court, un appui plan et un maintien en position par boulons M14 pour les deux tiers des candidats.

#### **Zones 1 & 2 : liaison pivot entre le basculeur et la plaque support et encastrement entre basculeur et réducteur**

Cette partie a été globalement beaucoup moins bien traitée que la précédente. Seules un peu plus de la moitié des solutions proposent une liaison pivot entre les ensembles demandés. Beaucoup de candidats relient directement le basculeur au support avec un arbre tournant dans le vide. Le montage des coussinets peut être assez étonnant. Par ailleurs les formes des carters sont incompatibles avec le procédé envisagé (plaques d'épaisseurs données assemblées par soudage) dans plus de deux tiers des cas. La fixation du réducteur au basculeur par appui plan, centrage court et fixation par boulons M10 a été bien réalisée par 40% des candidats.

#### **Zone 3 : système de précharge élastique**

Il s'agissait ici de dessiner dans la zone 3 le système de précharge par ressort. Le centrage du ressort a été assez peu représenté et encore moins le système de précontrainte. Par contre le système permettant de décoller la roue du fût via une tige filetée a été plutôt bien décrit pour près de la moitié des candidats.

### **CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS**

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

Regarder l'ensemble du sujet afin d'aller chercher les parties dans lesquelles ils se sentent le plus à l'aise.

Répondre précisément aux questions posées en différenciant bien expression littérale et application numérique. Exprimer les applications numériques dans l'unité requise, spécifier l'unité si celle-ci n'est pas imposée, et donner les expressions littérales en fonction des variables spécifiées dans la question.

Dans la partie « dessin d'étude de construction mécanique », privilégier les solutions qui soient les plus simples possibles. Penser à indiquer les jeux fonctionnels ainsi que les ajustements. Se poser systématiquement la question de la montabilité et de la faisabilité des solutions proposées.

Ne pas appliquer systématiquement des solutions types (par exemple lorsqu'un assemblage mécano-soudé est demandé, ne pas réaliser un assemblage avec des vis) mais prendre le temps d'analyser les spécificités du système étudié.

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, réalisation des liaisons élémentaires (encastrement, pivot, méthode pour la réalisation d'un montage de roulements) ...

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

Développer leur culture technologique afin de proposer des solutions réalistes, par exemple en multipliant les activités d'analyse sur des systèmes réels.

# 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.