

ÉPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES B
ÉTUDE DU SYSTÈME D'ÉTALEMENT DE PÂTE SUR UNE MACHINE DE
STÉREOLITHOGRAPHIE POUR PIÈCES CÉRAMIQUES - Durée : 6 heures

PRÉSENTATION DU SUJET

Le sujet porte sur l'étude du système d'étalement de la pâte sur une machine de fabrication par stéréolithographie de pièces en céramique. Le racleur, dont le mouvement de translation permet l'étalement de la pâte, supporte le porte-lame et la lame dont la fonction est d'assurer l'obtention d'une fine couche de pâte (30 μm d'épaisseur) régulière sur toute la surface du plateau de fabrication. La précision obtenue sur ce point est une exigence forte que l'on retrouve dans plusieurs aspects de la conception et du dimensionnement des sous-parties du système. Les mouvements de levée-descente de la lame et du porte-lame sont pilotés par deux vérins pneumatiques tout-ou-rien double effet, la position de butée basse (position de raclage) étant positionnée précisément par deux vis de réglage micrométrique. Le mouvement de raclage est guidé en translation horizontale par rapport au plateau de fabrication par des rails de guidage linéaires supportant des patins à billes. La motorisation du racleur se compose d'un système de type vis à billes entraîné par un moteur électrique via une courroie synchrone.

Les poids relatifs des différentes parties du sujet sont :

II. Notice justificative	52%
III. Dessin d'étude de construction mécanique	48%

La répartition de la notation des différentes parties de la notice a été faite de la manière suivante :

- Dimensionnement des vérins pneumatiques de montée-descente (Q1 à Q5) : 8%
- Etude des déformations de la lame en phase de raclage (Q6 à Q15) : 14%
- Analyse de la solution de guidage linéaire (Q16 à Q20) : 6%
- Dimensionnement de la vis à billes (Q21 à Q28) : 11%
- Etude de la motorisation (Q29 à Q36) : 13%

Le dessin d'étude de construction mécanique, outil indispensable à maîtriser pour une bonne communication technique, proposait de concevoir :

- la fixation du moteur sur le support et la liaison complète entre la poulie dentée et l'arbre moteur (Q37 et Q38) ;
- le guidage en rotation de la vis à billes et la fixation de la poulie sur la vis (Q39 et Q40) ;
- l'implantation de l'écrou à billes sur le support (Q41).

COMMENTAIRE GÉNÉRAL DE L'ÉPREUVE

Le sujet est structurellement long et varié, 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 du sujet. Les candidats sont invités à consacrer à peu près le même temps à la notice justificative et au dessin de construction mécanique.

Les calculatrices sont interdites. Les valeurs numériques données dans le sujet avaient été choisies afin de simplifier grandement les applications numériques à effectuer. Certaines applications numériques restaient délicates et demandaient donc une aptitude à effectuer des approximations pour pouvoir obtenir le résultat. Lors de l'évaluation des copies, une tolérance a été appliquée sur la

précision des résultats numériques obtenus. Le jury note cependant que certains calculs simples, comme des changements d'unités sur des durées ou sur des vitesses de rotation, ont mis beaucoup de candidats en difficulté même lorsqu'ils étaient censés être abordables.

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 58% des questions, au moins 10% 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.

Les candidats ont fréquemment abandonné la notice justificative, notamment la dernière sous-partie, pour se consacrer au dessin : ils obtiennent en moyenne 47% de leurs points sur la notice et 53% sur le dessin d'étude de construction mécanique.

ANALYSE PAR PARTIE

Remarques sur la partie notice justificative

Remarques générales :

Les candidats semblent familiers avec le format de cahier réponse déjà utilisé les années précédentes.

Les candidats ont su profiter des sous-parties indépendantes et des questions indépendantes à l'intérieur de chaque partie. Toutes les sous-parties ont été abordées par plus de 97% des candidats, à l'exception de la dernière (90%) probablement par manque de temps. Parfois certains candidats ignorent entièrement plusieurs sous-parties de la notice.

La plupart des candidats semblent saisir l'enjeu des questions posées, mais néanmoins beaucoup de candidats ne répondent pas assez précisément à la question posée (ou bien ont mal lu la question posée) ce qui les pénalise fortement. Par exemple, ils donnent l'expression littérale au lieu de l'application numérique, ou inversement. Beaucoup de candidats n'expriment pas leurs applications numériques dans l'unité demandée. Parfois même l'unité ne correspond pas à une unité physique possible pour la grandeur demandée (à ce propos, une erreur présente dans le sujet sur l'une des unités demandées était susceptible d'induire les candidats en erreur ; l'ensemble des correcteurs a pris la décision de ne pas tenir compte des erreurs d'unité pour cette question).

Dimensionnement des vérins pneumatiques (Q1 à Q5)

Cette partie portait sur l'analyse des vérins pneumatiques permettant le mouvement de levée-descente de l'ensemble {lame + porte-lame}. Les candidats ont eu des difficultés à calculer précisément la nouvelle masse de l'ensemble (seulement 7% de réussite). Les questions sur les justifications technologiques ont été plus correctement traitées. Malheureusement les applications littérales et numériques ont été mal menées par les candidats, parmi lesquels beaucoup ont oublié qu'il y avait 2 vérins à prendre en compte, ou ont oublié le coefficient de sécurité. Par conséquent le choix final des vérins n'a été réussi que par 15% des candidats. Des résultats d'application numérique aberrants ont trop souvent été proposés par les candidats : un futur élève ingénieur doit savoir qu'un vérin de 10 m

de diamètre n'est pas une réponse correcte au dimensionnement demandé et devrait dans ce cas annuler sa réponse.

Etude des déformations de la lame en phase de raclage (Q6 à Q15)

Cette partie proposait une étude des déformations de la lame liées aux efforts durant la phase de raclage. Le sujet posait des questions sur la justification du modèle RDM et, donnant la formule à utiliser pour calculer la flèche, questionnait les candidats sur l'influence des paramètres intervenant dans cette formule en vue d'atteindre le critère de précision de l'épaisseur de la couche de pâte. Les questions sur la modélisation (Q6 à Q10) n'ont été totalement réussies, en moyenne, que par 42% des candidats. C'est notamment le cas sur des questions de base concernant les sollicitations élémentaires (Q9). Les éléments du torseur de cohésion (non chiffrés) ont été donnés correctement dans 75% des réponses. Malheureusement les applications numériques de la formule donnée (Q11 à Q15) n'ont été réussies correctement que par 13% des candidats au plus, à l'exception d'une question qualitative de choix de matériau (45% de réponses convenables).

Analyse de la solution de guidage linéaire (Q16 à Q20)

Cette partie abordait le choix technologique de guidages linéaires en regard du critère sur la précision de l'épaisseur d'une couche de pâte. 66% des candidats ont su indiquer les solutions qui respectaient les critères indiqués (Q16 et Q17). Néanmoins les questions suivantes ont reçu moins de succès, moins d'un candidat réalisant correctement le schéma cinématique ou le calcul du degré d'hyperstatisme du système (Q18 à Q20).

Dimensionnement de la vis à billes (Q21 à Q28)

Après des calculs simples sur la vitesse et les temps caractéristiques de dépose et de retour (Q21 à Q23) réussies par plus de 70% des candidats, cette partie abordait le dimensionnement des guidages linéaires à partir d'un document constructeur. La lecture des documents constructeur a été comprise par la plupart des candidats ayant abordé ces questions ; cependant beaucoup ont oublié de tenir compte des coefficients de sécurité indiqués, ce qui a conduit seulement un candidat sur deux à trouver la bonne vitesse critique de la vis à billes (Q25), permettant à seulement un quart des candidats d'effectuer le bon dimensionnement à la charge statique. La méthodologie présentée pour le calcul à la charge dynamique était identique à celle connue des candidats pour le calcul de durée de vie des montages de roulement. Néanmoins, les questions Q27 et Q28 n'ont connu qu'une réussite très faible (10% en moyenne) en raison des applications numériques délicates qui étaient attendues. Notamment les conversions ont souvent été mal effectuées par les candidats.

Etude de la motorisation (Q29 à Q36)

Cette dernière partie de la notice proposait aux candidats le choix d'une motorisation basée sur les caractéristiques constructeurs nécessaires dans deux phases de fonctionnement (accélération et raclage). Les expressions littérales des questions Q29 et Q30 ont été assez correctement traitées (69% et 57% de réussite) mais les erreurs dans les applications numériques, éventuellement lors de conversions simples, ont lourdement dégradé la suite de cette sous-partie. Moins d'un candidat sur cinq a finalement obtenu le couple et la puissance nécessaires en phase d'accélération. Les questions Q34 à Q36 ont été également mal traitées (moins de 20% de réussite en moyenne), les erreurs concernant principalement la prise en compte des rendements et des coefficients de sécurité (l'ensemble des correcteurs a finalement accordé une indulgence sur ce point), mais aussi les relations cinématiques ou statiques dans la transformation du mouvement par le système vis-écrou.

Remarques sur la partie dessin d'étude de construction mécanique

Remarques générales :

Le dessin était constitué de cinq zones précisées dans l'énoncé, dans lesquelles devaient être représentées :

- la proposition de solution assurant la liaison complète démontable du moteur sur la plaque support ;
- la proposition de solution assurant la liaison complète démontable et réglable de la poulie de transmission sur l'arbre moteur ;
- la proposition de solution assurant le guidage en rotation de la vis à billes par des roulements à billes à contact obliques préchargés ;
- la proposition de solution assurant la liaison complète démontable de la poulie réceptrice sur la vis à billes ;
- la proposition de solution assurant la liaison complète démontable et réglable de l'écrou à billes sur la plaque support.

Les candidats ont repéré sans ambiguïté les différentes zones concernées et n'ont pas eu de difficulté à cerner l'environnement déjà représenté sur le calque. Les quatre premières solutions ont été proposées par plus de 95% des candidats, tandis que la dernière n'a été réalisée que par 66% des candidats, probablement par manque de temps.

Les dessins produits sont dans l'ensemble d'une qualité satisfaisante, permettant une évaluation sans ambiguïté des solutions techniques proposées par les candidats.

Le jury a constaté que certains candidats fournissent des solutions techniques qui assurent la fonction principale demandée, mais ne respectent pas les consignes indiquées ; et il suppose que ces candidats cherchent à reproduire une solution étudiée pendant la formation sans l'adapter aux contraintes demandées par le présent sujet. Par exemple certaines solutions assurant une liaison complète par adhérence lorsqu'il est demandé une liaison par obstacle, ou un montage de roulements à billes à contact radial lorsqu'il est demandé un montage à contact oblique précontraint.

Liaison complète démontable du moteur sur la plaque support et liaison complète démontable et réglable de la poulie de transmission sur l'arbre moteur

La liaison du moteur sur la plaque support a été correctement réalisée par près de 60% des candidats, les autres n'effectuant pas correctement la mise en position sur le support. La fixation de la poulie sur l'arbre moteur a été moins bien réussie (moins de 25% de réponses totalement correctes). Les candidats ont régulièrement négligé de prévoir une possibilité de réglage ou laisser un double réglage (entre l'arbre moteur et la pièce intermédiaire puis entre cette dernière et la poulie) et certains n'ont pas utilisé de pièce intermédiaire comme cela était demandé.

Guidage en rotation de la vis à billes par des roulements à billes à contact obliques préchargés et liaison complète démontable de la poulie réceptrice sur la vis à billes

Environ 70% des candidats ont su produire un montage en « O » utilisant deux roulements à billes à contact obliques pour le guidage « avant », mais les arrêts axiaux et le réglage de la précharge ne sont permis que dans 30% des solutions proposées. Le guidage « arrière », par un roulement à contact radial, n'est correctement implanté que dans 30% des cas, la plupart des candidats bloquant trop d'arrêts axiaux pour l'ensemble de la solution. Enfin des aspects importants comme l'étanchéité des montages de roulements, la montabilité du système dans le carter, ou la forme usinée des parties recevant les roulements et autres pièces de maintien, sont régulièrement mal prises en compte par les candidats.

La fixation de la poulie réceptrice sur la vis a été correctement réussie par un candidat sur deux, certaines solutions oubliant de proposer une mise en position, une transmission par obstacle, ou n'étant pas démontable, ou encore interférant avec le carter fixe.

La proposition de solution assurant la liaison complète démontable et réglable de l'écrou à billes sur la plaque support

Cette partie a été correctement traitée par moins d'un candidat sur cinq l'ayant abordée. La plupart des solutions proposées ont montré une mauvaise compréhension de la forme des pièces dans l'espace par les candidats, notamment par des incohérences dans la correspondance entre les deux vues concernées par cette partie. Beaucoup de candidats ont aussi négligé la possibilité d'un réglage du positionnement de l'écrou permettant son alignement avec la vis à billes ou proposé un réglage dans la direction de l'axe de la vis à bille n'étant pas utile au fonctionnement correct du mécanisme, ce qui était pourtant une exigence essentielle pour la réalisation de cette solution.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS

Regarder l'ensemble du sujet afin d'aller chercher les parties dans lesquelles ils se sentent le plus à l'aise. Lire attentivement les questions et y répondre précisément en différenciant bien expression littérale et application numérique lorsque cela est spécifié. Exprimer les applications numériques dans l'unité requise, spécifier l'unité si cette dernière n'est pas imposée, et exprimer les expressions littérales en fonction des variables spécifiées dans la question ou à défaut dans le sujet. Vérifier l'homogénéité des expressions littérales et des unités lors des applications numériques.

Connaître et maîtriser les connaissances de base de mécanique : torseur de cohésion, formules de résistance de matériaux, application du PFS, du PFD, du théorème de l'énergie cinétique, calcul du degré d'hyperstatisme, réalisation des liaisons élémentaires (encastrement, pivot, méthode pour la réalisation d'un montage de roulements)...

En dépit de l'interdiction des calculatrices, effectuer les applications numériques (souvent simples) et prendre du recul sur les résultats numériques obtenus en se posant la question élémentaire : l'ordre de grandeur du résultat est-il cohérent vis-à-vis du produit étudié ?

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

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. Vérifier (au moins a posteriori) que la solution proposée est « montable », et que les pièces supposées en mouvement relatif n'ont pas d'interférences entre elles, et ne sont pas solidarisées, par des vis en particulier.

Ne pas appliquer systématiquement des solutions types mais bien prendre en compte les consignes données dans l'énoncé : par exemple lorsqu'une transmission de puissance est demandé par obstacle, ne pas proposer une solution par adhérence. Trop de candidats restituent sans réfléchir des solutions valables pour d'autres conceptions (issue d'autres sujets de concours par exemple), mais qui ne respectent pas les exigences de l'énoncé proposé.