

SCIENCES INDUSTRIELLES I

(EMPILAGE ET BROSSAGE DE PLAQUES NEGATIVES DE BATTERIE)

Durée : 5 heures

PRESENTATION DU SUJET

Le sujet comportait trois parties :

- une présentation du sujet : 7 pages,
- le travail demandé (parties A, B et C) : 19 pages,
- un dossier comprenant les 2 documents réponses et les 6 annexes : 10 pages.

Il portait sur l'étude de l'évolution d'une machine d'empilage et de brossage de plaques négatives de batteries. L'étude comportait 3 parties indépendantes :

- La première partie A permet d'aborder le fonctionnement de la machine (étude du GRAFCET et chronogramme) puis de réaliser les calculs de prédétermination en termes de cadences et d'accélération minimales (cinématique).
- La deuxième partie B, beaucoup plus longue, consiste à modéliser puis analyser le comportement dynamique du chariot de transfert des plaques. Cette analyse remet en cause les choix de conception pour la chaîne de transformation de mouvement. Elle met en évidence les risques d'instabilité encourus par une motorisation unique alliée à une dissymétrie de la transmission de mouvement.
- La troisième partie C propose la mise en place puis l'étude de la commande en poussée de deux moteurs linéaires pilotant chacun un des chariots. Cette disposition permet, d'une part, de supprimer la dissymétrie constatée et d'autre part, de diminuer les inerties pour augmenter les capacités dynamiques.

COMMENTAIRE GENERAL DE L'EPREUVE

Nous avons pris le parti de réaliser un sujet où la partie « mécanique, modélisation » permettait de modéliser et d'analyser le processus en vue de sa « commande ». Cette démarche a pu perturber une partie des candidats, habitués à des sujets comportant des parties plus découpées selon les disciplines enseignées. Néanmoins, la diversité et l'ampleur du sujet, correspondant à une véritable problématique industrielle, permettaient à chaque candidat de trouver matière à s'exprimer.

ANALYSE PAR PARTIE

Partie A : CALCULS DE PREDETERMINATION

Cette partie a été abordée par tous les candidats (ou presque).

Sous-Partie A1

L'étude du GRAFCET de coordination des tâches permettait aux candidats de bien comprendre le fonctionnement de la machine d'empilage et de brossage. La réalisation du chronogramme (questions A1.1 et A1.2) avait pour but de faire le lien entre le fonctionnement de la machine et la nécessité de respecter la nouvelle cadence d'arrivée des plaques.

Beaucoup de candidats se sont contentés d'une analyse succincte ou incomplète (un seul cycle !). La clarté du tracé et la mise en évidence des informations et des durées critiques manquent trop souvent à l'appel. La confusion entre temps de cycle et durée entre deux arrivées de plaques est souvent constatée.

Il était impératif pour les candidats de lire complètement la partie A avant de répondre à ces premières questions. Il ne s'agissait pas d'une simple lecture d'un GRAFCET mais de préparer les données et la modélisation liées à la cadence d'arrivée des plaques. La connaissance et la compréhension de la problématique globale du sujet permettent alors mieux répondre aux questions.

Sous-Partie A2 : étude cinématique.

La cadence d'arrivée des plaques impose deux conditions distinctes sur le temps de déplacement du chariot :

- dès qu'une pile est constituée, celle-ci doit être enlevée de la zone avant que la prochaine plaque ne se dépose ; c'est l'objet de la question A2.1. Les hypothèses formulées permettaient de tracer les courbes de déplacement de la pile d'une part ($X_P(t)$), et de la prochaine plaque d'autre part ($X_Q(t)$). Les questions suivantes (b, c, d, e) étaient suffisamment détaillées et découpées (trop peut-être ?) pour conduire le candidat vers l'accélération minimale recherchée.

La plupart des mauvaises réponses est due à une lecture trop succincte des hypothèses formulées pour modéliser le problème. On retrouve alors des courbes de déplacement complètement farfelues.

Le découpage chronologique des questions a permis à certains candidats de trouver par intuition (déduction) l'inéquation (d) et les constantes c_1 et c_2 . Les correcteurs n'ont pas été dupes dans ce cas et moins de points ont été accordés à la réponse.

- le chariot de transfert doit effectuer un aller / retour avec une cadence minimale correspondant à celle de constitution des piles de plaques ; c'est l'objet de la question A2.2. Cette question pouvait être traitée indépendamment de la précédente, sauf pour la question c) qui nécessitait de comparer les deux accélérations trouvées. Cette comparaison permet de retenir une condition de fonctionnement pour l'accélération la plus grande, soit celle nécessaire pour effectuer l'aller / retour du chariot.

Les candidats ont nettement moins bien réussi cette question, soit parce qu'ils ont consacré moins de temps à celle-ci afin de passer à la partie B ; soit parce qu'elle était moins détaillée que la question précédente et demandait par conséquent des qualités d'analyse et de synthèse plus importantes (pour le temps imparti).

La partie A a été traitée par la majorité des candidats et la note moyenne obtenue est de 8,25 / 25 (EC=5,2) et contribue pour environ 50% de la moyenne globale.

Partie B : ETUDE DYNAMIQUE

Cette partie, beaucoup plus longue, a été abordée (pour la première partie) par beaucoup de candidats. Elle est indépendante de la première partie.

L'étude porte sur le dimensionnement puis le comportement dynamique du chariot de transfert des plaques. La chaîne fonctionnelle est composée d'un moteur tournant, d'un réducteur (train épi) et d'un double système de transformation de mouvement de type poulies - courroie crantée. Après une étude du processus considéré comme rigide (calcul des inerties ramenées au moteur, évaluation du couple nécessaire pour réaliser le cycle de fonctionnement ...), une raideur au niveau de l'arbre de synchronisation des deux chariots est prise en compte. L'étude de modélisation permet alors d'envisager le comportement dynamique de la chaîne fonctionnelle mécanique en vue de son asservissement.

Sous-Partie B1 : processus rigide

L'objectif de cette partie est de déterminer les couples d'accélération nécessaires pour chaque phase de la loi de mouvement imposée au chariot de transfert. La question B1.1 conduit à la relation de l'inertie équivalente totale ramenée à l'arbre moteur, le processus étant considéré comme infiniment rigide.

Les réponses diverses et variées proposées par beaucoup de candidats ont désagréablement surpris les correcteurs. Les masses en mouvement sont trop souvent ignorées dans le bilan des inerties. Quand elles sont prises en compte, les candidats ne savent pas calculer l'inertie équivalente d'une masse au travers d'un système de transformation de mouvement. Le rapport de réduction est parfois totalement escamoté des calculs. Enfin, certains candidats partent dans des calculs compliqués et très longs (sans résultats significatifs au final), reflets d'exercices traités en cours ou TD avec plusieurs variables dans l'espace. Ils n'ont pas, dans ce cas, su appréhender l'aspect mono variable dans une seule direction considérée (avancement du chariot, rotation du moteur).

La question B1.2 a surtout pour but de rappeler qu'il y avait un système de transformation de mouvement et que, par conséquent, l'expression du couple moteur à partir de la loi de vitesse en translation du chariot et de l'inertie totale n'était pas directe.

De nouveau, une majorité de réponses laisse apparaître de graves lacunes (oublis plus sûrement) et/ou des calculs compliqués et sans aucun sens.

La question B1.3-a) permet au candidat de bien voir la différence de masses entre l'aller et le retour du chariot de transfert afin d'éviter une erreur de calcul du couple. Le calcul d'inertie de l'arbre de synchronisation est une pure question de cours, utile néanmoins pour le calcul du couple et pour avoir une idée de l'importance relative de celle-ci dans la chaîne de transformation de mouvement. La question B1.4 n'a pas posé de problèmes à ceux qui avait bien répondu précédemment. Certains candidats ont rempli partiellement le tableau (durée, accélération) sous forme numérique et le couple sous la forme littérale, faute de réussite aux deux questions précédentes.

Cette question n'a pas posé de problèmes pour la majorité de ceux qui ont traité ces questions. On retrouve malgré tout de nouveau des calculs longs, fastidieux et faux pour le simple calcul des masses.

Sous-Partie B2 : prise en compte du comportement dynamique

Le couple d'accélération transmis en sortie de réducteur est relativement important. La chaîne de transmission de mouvement ne peut plus être considérée comme infiniment rigide. Les hypothèses simplificatrices conduisent à un système à deux inerties et 1 ressort équivalents. Celui-ci est localisé au niveau de l'arbre de synchronisation, considéré comme la souplesse prépondérante. Cette partie pouvait être traitée indépendamment des autres.

La question B2.1 permet de déterminer les inerties équivalentes de part et d'autre du ressort ainsi que la raideur équivalente en torsion de l'arbre de synchronisation.

Nous retrouvons le même problème qu'à la question B1.1 avec notamment l'oubli des masses en translation ainsi que l'oubli du rapport de réduction pour déterminer l'inertie équivalente du moteur au niveau de l'arbre de synchronisation. Heureusement, un petit nombre de candidats a su sans problème établir les expressions attendues. Le calcul de la raideur en torsion laisse aussi apparaître un grand nombre de réponses farfelues et/ou des calculs long et fastidieux.

Les parties suivantes sont indépendantes des précédentes jusqu'à la question B2.5-e).

Les questions B2.2 et B2.3 permettent de modéliser la chaîne de transmission sous la forme d'un schéma-bloc fonctionnel puis de déterminer la fonction de transfert mécanique. Cette modélisation doit permettre d'étudier le comportement dynamique (outil graphique BODE) du processus mécanique en vue de sa commande. La mise en place du schéma-bloc est réalisée de façon progressive pour chaque élément accumulateur de la chaîne fonctionnelle.

Peu de candidats ont su exprimer correctement la fonction de transfert d'un simple élément inertiel en rotation avec du frottement visqueux au niveau de la liaison pivot. Il s'agissait pourtant d'appliquer tout simplement le principe fondamental de la mécanique à une inertie en rotation après avoir mis en évidence les couples qui s'y appliquaient. Certains candidats ont essayé de « bricoler » les équations pour retrouver les relations exprimées par le schéma-bloc fourni : les correcteurs n'ont bien sûr pas été dupes et aucun point n'a été accordé dans ce cas.

La plupart des candidats a « décroché » à partir de ces questions. Seuls quelques rares téméraires ont traité la décomposition de la fonction de transfert pour obtenir la partie « rigide » d'une part (question B2.4), et le mode oscillant du deuxième ordre d'autre part (question B2.5).

Les correcteurs ont quand même eu de très bonnes réponses (en quantité infinitésimale) montrant la compétence de ces candidats. Ceux-ci ont d'ailleurs souvent répondu correctement à toute la partie B.

La question B2.6 met en œuvre l'outil graphique du lieu de BODE pour établir le comportement dynamique de la chaîne de transmission retenue. L'objectif est de déterminer la bande passante du processus mécanique modélisé et de prévoir la stabilité de celui-ci lorsqu'une commande en boucle fermée sera appliquée. Cette analyse remet en cause les choix de conception pour la chaîne de transformation de mouvement. Elle met en évidence les risques d'instabilité encourus par une motorisation unique alliée à une dissymétrie de la transmission de mouvement.

Encore plus rares ont été les candidats qui ont abordé cette partie et très peu de réponses correctes sont aperçues. Certains candidats ont cru bon de faire un petit cours sur le lieu de BODE ou ont proposé une pseudo réponse sans avoir effectué l'analyse et le raisonnement apportés par les questions précédentes.

La partie B a été nettement moins traitée par les candidats alors qu'il s'agissait de la partie « modélisation mécanique ». La note moyenne obtenue est de 4,88 / 35 (EC=4,5) et contribue pour environ 25% de la moyenne globale.

Partie C : ETUDE DE LA COMMANDE EN POUSSEE D'UN DES MOTEURS

Cette partie bien que très longue, n'a été traitée sérieusement que par un nombre de candidats restreint. Elle est indépendante des deux parties précédentes.

On commence par choisir les moteurs, en conservant la loi de vitesse en trapèze définie dans la partie B. Pour cette question, la démarche est très progressive : calcul des efforts correspondants aux différentes phases fonctionnelles, détermination de la force de poussée maximale et de la force moyenne développée sur un cycle.

Trop de candidat ne se sont pas aperçus que suivant la phase fonctionnelle, les moteurs étaient chargés ou non (quand ils ont compris qu'il y avait deux moteurs). D'autre part, la notion de « force équivalent thermique », bien qu'explicitée dans le document n'a que très rarement permis de choisir le bon moteur.

Dans la question sur l'identification du processus à piloter, nous avons cherché à faire le lien entre les équations temporelles et la représentation par schéma blocs en utilisant la transformée de Laplace. Le fil conducteur, était de montrer au candidat que les moteurs utilisés sont équivalents à des associations électromagnétiques et électromécaniques de deux machines à courant continu.

Cette question sans difficulté particulière, permettait de faire la liaison avec l'étude de la commande en poussée en justifiant les hypothèses. En conséquence, les candidats qui ont abordé cette question ont bien répondu dans la majorité des cas.

Pour l'étude de la commande en poussée, nous avons proposé de mettre au point un régulateur qui doit rendre la force de poussée quasiment insensible aux variations de vitesse intervenant pendant les phases de démarrage et de freinage ou encore liées aux variations de la charge mécanique. Pour cela, nous avons cherché à annuler l'erreur permanente sans avoir recours au correcteur PI classique.

Nous avons été très surpris de voir que peu de candidats font la différence entre asservissement et régulation. Les questions relatives aux calculs d'erreurs permanentes sont éludées, et rares sont ceux qui justifient les résultats trouvés.

La partie C a été nettement moins traitée par les candidats alors qu'il s'agissait de la partie « automatique ». La note moyenne obtenue est de 5,25 / 40 (EC=4) et contribue pour environ 25% de la moyenne globale.

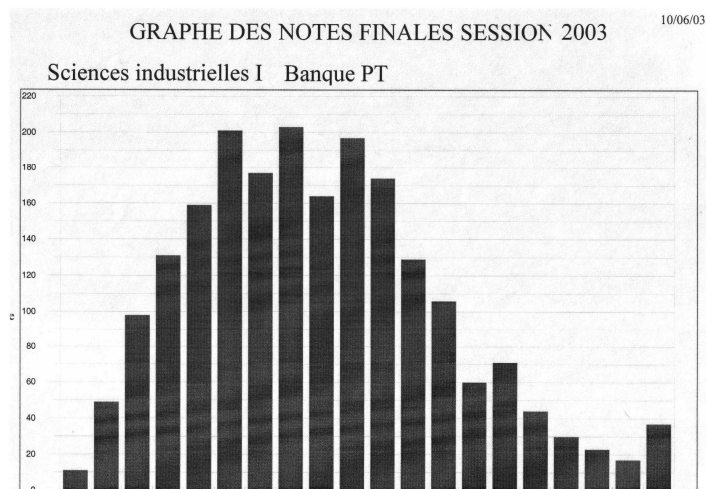
ANALYSE DES RESULTATS

Notes inférieures à 5/20 : 448 (soit 21,5 %)

Notes supérieures à 15/20 : 230 (soit 11 %)

Moyenne : 8,48/20

Ecart type : 4,11



Très peu de candidat ont été absents à l'épreuve malgré la date qui coïncidait avec une journée de grève nationale (14 absents pour 2095 inscrits).

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS

- Prendre le temps de lire la totalité du sujet « en diagonale » pour assimiler sa structure (domaines abordés, partie(s) qui vous semble(nt) accessible(s), partie(s) ou domaine(s) hors de vos compétences à priori, ...). Cette première lecture doit rester rapide, les détails seront éventuellement décodés lors du traitement des questions qui y font référence. Il est très important pendant cette phase, de détecter (voire surligner) les questions (ou parties) indépendantes.
- Il est important de traiter toutes les parties du sujet, quitte à ne pas répondre complètement à l'une des questions (ou partie). En effet, chaque partie est corrigée par un correcteur différent qui attribue un nombre de points prédéfini. Un candidat ayant abordé partiellement toutes les parties se verra attribuer une note globale supérieure à celle d'un candidat n'ayant traité complètement et correctement qu'une seule partie. La gestion du temps est donc importante.
- L'épreuve est toujours tirée d'un contexte industriel et elle est relative à des problèmes concrets. Il faut donc montrer votre capacité à aborder ces problèmes et à mettre en valeur vos connaissances pour les traiter, ce qui nécessite un recul important sur les problèmes industriels d'actualité.
- Le jury apprécie la capacité du candidat à formuler, voire à synthétiser clairement sa pensée par écrit (un bon schéma vaut mieux qu'un long discours !). Bien que la qualité de la rédaction n'entre pas explicitement dans la notation, elle est très appréciée des correcteurs et joue un rôle non négligeable dans l'évaluation.

SCIENCES INDUSTRIELLES II
(ETUDE D'UNE POMPE DE RELEVAGE SUBMERSIBLE)

Durée : 6 heures

PRESENTATION DU SUJET Le lecteur se reportera au sujet disponible sur le même site.

L'étude support de l'épreuve portait sur un groupe motopompe centrifuge à moteur électrique destiné à être immergé pour le relevage de l'eau claire ou chargée ayant envahi une cave, un sous-sol ou une cavité sur chantier : eau pluviale de ruissellement, eau d'infiltration ou eau de débordement fluvial, domestique ou industriel.

La mise en situation industrielle était proposée au candidat au travers d'un cahier des charges fonctionnel simplifié comportant :

- la présentation du produit à étudier et de son marché prévisionnel ;
- l'énoncé fonctionnel du besoin à satisfaire ;
- l'analyse du procédé de relevage ;
- l'analyse fonctionnelle du besoin, limitée à la seule situation de vie du fonctionnement opérationnel, comportant le graphe des interacteurs, les énoncés fonctionnels et la caractérisation de ces fonctions, critères et niveaux.

Par ailleurs, l'ensemble mécanique objet de l'étude était défini dans un dossier technique contenant :

- les informations nécessaires relatives au principe de la pompe, dont la connaissance n'était évidemment pas attendue du candidat, et à la description de ses pièces principales, rouet et volute, dont divers clichés pris sur un matériel existant similaire étaient fournis et dont les formes principales étaient directement mises en place sur le calque n° 1 ;
- la définition de l'architecture générale du groupe motopompe à l'aide d'un schéma d'architecture, commenté et accompagné d'une nomenclature des pièces principales ;
- la définition du principe du mécanisme de commande de cette pompe à mise en marche et arrêts automatiques pilotés par les variations du niveau de l'eau à relever, sous la forme de plusieurs schémas cinématiques minimaux, perspectifs et projectifs, commentés, accompagnés d'une nomenclature et déclinés pour différentes configurations en fonctionnement ;
- l'énoncé des spécifications relatives aux principales liaisons intervenant tant dans l'architecture d'ensemble que plus spécifiquement dans le mécanisme de commande avec, pour chacune d'entre elles, sa modélisation, les fonctions techniques qu'elle devait assurer et d'éventuelles indications pour sa réalisation.

Enfin, une documentation relative à des composants nécessaires, coussinets lisses de guidage en rotation et dispositif d'étanchéité, était fournie sous forme d'extraits de catalogues offrant une certaine étendue de choix dimensionnel. Il est à noter qu'était également fournie une définition interne partielle du moteur électrique à utiliser, sous forme d'un document minimal à calquer par le candidat ; il avait été retenu de laisser au candidat une latitude maximale dans sa conception, ce que n'aurait pas permis une impression de ces éléments directement sur le calque n° 1.

De par la spécificité même de l'épreuve, le travail demandé correspondait aux deux types habituels d'activités :

- la rédaction d'une notice justificative sur trois feuilles doubles pré imprimées fournies, avec espace de réponse défini et limité pour chaque question et, pour certaines questions, des fonds de figures directement imprimés ;
- le tracé de deux dessins de sous-ensembles, sur deux calques pré-imprimés fournis, sur lesquels le candidat trouvait la définition de la mise en page des vues attendues, ainsi que la définition graphique de tout ou partie de pièces spécifiques ou de composants sur lesquels il n'avait pas à intervenir directement.

Les questions de la notice justificative couvraient un large champ du programme :

- en mécanique, dans ses parties statique des solides, dynamique en rotation uniforme et mécanique des structures – analyse des sollicitations et description des états contraints élémentaires ;
- en construction mécanique, dans ses parties relatives : à la compréhension du fonctionnement d'un agencement mécanique fourni sous forme de schémas, aux matériaux, aux guidages en rotation par roulements – tant du point de vue des dispositions constructives que de celui de la durée – et à la fonction étanchéité, aussi bien statique que dynamique – ce qui était logique dans le contexte de cette étude ;
- en fabrication mécanique, à travers l'obtention de la préforme d'une pièce, définie par son dessin de définition, par le procédé de moulage en moule non permanent à modèle permanent.

Les tracés attendus sur les calques étaient relatifs à la conception de pièces à formes simples à partir des schémas fournis ou par aménagement des formes prédéfinies, de liaisons complètes et de guidages en rotation par roulements ou par coussinets lisses, de dispositifs d'étanchéité statique et dynamique, tous points au programme.

Il convient encore de préciser que pour cette épreuve, toutes les calculatrices étaient interdites, quel qu'en soit le type, ainsi que les agendas électroniques et les téléphones portables.

COMMENTAIRE GENERAL DE L'ÉPREUVE

Le sujet de cette année était sans aucun doute le moins exigeant des trois dernières sessions en matière de connaissances et de complexité des concepts mis en oeuvre.

Les candidats ont des difficultés à conduire un raisonnement technologique :

- pour donner leur sens correct aux mots, leur attacher un concept ; ne pas confondre « objectifs », « principes de solutions » et « solutions », ou « cahier des charges » et « description d'une solution », ou encore « actions », « sollicitations » et « contraintes » ;
- ne pas confondre le réel et son modèle et raisonnent à contresens : « le roulement modélise une rotule » (phrase lue plusieurs centaines de fois) ;
- bien lire le texte : « la masse tournante globale est de 4 kg dont 3 kg pour le seul rotor » devient pour la majorité « la masse tournante totale est de 7 kg » ;

De manière plus détaillée :

En mécanique, la statique la plus élémentaire (**questions 1 et 2**) tient en échec 10 à 20% des candidats. Parmi les autres, les manques de rigueur sont très répandus dans la conduite de l'isolement d'un corps ou d'un système et dans l'expression d'un bilan d'actions. La **question 3**, qui n'appelait qu'un raisonnement qualitatif, a été mieux traitée.

Les réponses à la **question 4**, qui supposait la compréhension du fonctionnement du système et l'expression d'un raisonnement, sont restées insuffisantes. Sur l'ensemble des questions 3 et 4, les correcteurs ont relevé que plus de 20% des candidats ne parviennent pas à suivre le fil du raisonnement déroulé par l'enchaînement des questions, et que plus de 20% des candidats perdent toute capacité à tenir un raisonnement scientifique lorsque la question appelle une réponse rédactionnelle et non sous forme d'équations. Pour ce qui est de l'identification d'une analogie, 50 % des candidats ne s'y sont pas risqués, entre 35 et 40 % donnent des réponses loufoques (telles que « poussée d'Archimède », « marées », « chasse d'eau » ou « vases communicants »), et entre 10 et 15 % seulement parlent d'hystérésis ou évoquent une application directe de l'hystérésis.

Dans la **question 5-a**, L'évaluation correcte de la poussée d'Archimède n'a été fournie que par moins d'un quart des candidats.

Dans la **question 5-b**, à près de 50 % les candidats additionnent les intensités d'efforts de sens opposés s'exerçant sur le flotteur : poussée d'Archimède et poids.

Pour la **question 6**, la connaissance des contraintes associées aux sollicitations est souvent vague.

En construction mécanique, la question sur d'identification d'un matériau dont la désignation normalisée était fournie (**question 7**) a révélé des lacunes, même si une petite évolution favorable a pu être décelée.

A la **question 8**, 98% des candidats ont appliqué le « principe fondamental de la statique » à un solide en mouvement que le sujet annonçait comme étant doté d'un balourd.

Toujours pour la question 8, l'axe du rotor de pompe guidé par deux roulements était vertical. Pour plus de la moitié des candidats, le schéma mécanique correspondant a été tracé avec un axe horizontal mais, pour leur très grande majorité d'entre eux, la pesanteur est restée verticale.

La **question 9** : moins de 5% des candidats connaissent et appliquent correctement la règle d'affectation des tolérances des portées d'un roulement, résultat en nette diminution par rapport à la session 2002.

Les schémas tracés en réponse à la **question 10** ont été très rarement corrects. Malgré leur nombre, les immobilisations proposées n'assurent pas toujours l'immobilisation axiale de l'arbre.

A la **question 11**, rares sont ceux qui parlent des fonctions des bagues.

Questions 12 et 13 : Confusion entre étanchéité statique et dynamique.

En fabrication, il a été enregistré une nette diminution du nombre de copies vierges.

La justification du choix du procédé de moulage (**question 14**) a été la question la mieux traitée.

A la **question 15**, quelques de candidats ont réussi à proposer une nuance d'alliage léger d'aluminium moulable, mais quelques dizaines seulement en ont fourni une désignation normalisée symbolique correcte.

Point 2- Forme du couvercle (2).

Les critères de notation étaient le calage angulaire pour permettre la coïncidence des orifices et le passage de l'eau.

Point 3- Forme du flasque (7).

Les critères de notation étaient le passage de l'eau et une forme correcte.

Point 4- Forme du corps (9).

Les critères de notation étaient la sortie de l'eau et une forme correcte.

Point 5- Forme du flasque (8).

Les critères de notation étaient une forme correcte avec les centrages adaptés.

Point 6- Liaisons.

Les critères de notation étaient les différents centrages mais nous avons veillé à ce qu'ils ne soient pas en surabondance.

Point 7- Liaison pivot du rotor du moteur.

Les critères de notation étaient un montage correct des roulements avec un nombre d'arrêts permettant le maintien axial du roulement ; une certaine tolérance a été admise pour des montages du type « en opposition » même si cela ne répondait pas aux consignes du sujet. La facilité du montage, avec les bagues extérieures serrées, a été appréciée.

Point 8- Etanchéité au niveau de l'arbre du moteur.

Les critères de notation étaient la bonne mise en place du système imposé en annexe.

Point 9- Liaison encastrement rouet – arbre moteur.

Les critères de notation étaient l'arrêt en rotation et en translation sur une forme de révolution.

Point 10- Forme du levier (28).

Les critères de notation étaient une forme de tige simple et la liaison de la tige et du moyeu.

Point 11- Liaison pivot du levier (28).

Les critères de notation étaient une liaison pivot avec ses arrêts axiaux.

Point 12- Came (26).

Les critères de notation étaient

- réalisation du pivot : une liaison pivot avec ses arrêts axiaux ;
- butées came/levier : la mise en place des butées entre le levier et la came ;
- butées fixes : la mise en place des butées fixes du levier et de la came.

Point 13- Forme du carter (10).

Les critères de notation étaient une forme correcte du carter sur les deux calques.

Point 14- Liaison du corps du contacteur sur le carter.

Les critères de notation étaient une liaison respectant les formes données pour le contacteur, sans le traverser par des perçages, en utilisant le filetage défini sur le calque pré imprimé.

Point 15- Conditions fonctionnelles.

Les critères de notation étaient les ajustements du montage de roulement sur le calque 1 et l'ensemble des conditions fonctionnelles utiles sur les deux calques.

Les résultats sont convenables pour **les points 1 à 5**, mais moins bons pour **les points 6 à 9**, et pour **les points 10 à 15**.

Les constatations ci-dessus résultent probablement de la mauvaise gestion du temps des candidats, du sentiment qu'il suffit de reproduire des solutions déjà vues sans réfléchir et du manque de raisonnement devant un mécanisme nouveau.

Attention à la qualité de vos calques.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS

Les conseils qui suivent n'ont rien de très original et ne doivent guère différer de ce que les enseignants des classes préparatoires (et des classes antérieures très probablement) ont dû vous dire et répéter tout au long des années.

Si les consignes les interdisent, ne laisser aucun appareil électronique (calculatrice, agenda ou autre) sur votre table : ce serait automatiquement interprété comme une tentative de fraude, avec les conséquences légales correspondantes.

Lire attentivement (et relire si nécessaire) le sujet, les consignes de travail, les questions, dont il convient de bien peser le sens des mots.

Repérer et mémoriser ou mettre en relief (par exemple par surlignage) les données identifiées comme utiles par rapport aux questions posées.

Répondre à la question posée et non à une autre ou à une interprétation personnelle incertaine. Evitez de plaquer sans réfléchir une solution d'un autre problème étudié en cours d'année : elle sera très probablement inadaptée et évidemment jugée nulle.

De manière plus générale, si vous ne savez pas répondre à la question posée, ne répondez pas à côté en imaginant que le jury appréciera vos autres connaissances éventuelles.

Analyser et comprendre la logique de l'enchaînement des questions, à moins que le sujet n'annonce clairement une indépendance des questions.

Ne rédiger la réponse à une question que quand la pensée est suffisamment claire, la réponse mûrie, construite et cohérente. Le jury cherche à vérifier votre aptitude au raisonnement scientifique et technique.

S'il vous est demandé de commenter une solution proposée, il vous faut dire ce que vous pensez de la valeur de cette solution par rapport à un ou des critères qu'il vous appartient de poser clairement.

S'il vous est demandé de justifier la mise en place d'une solution, d'une disposition technique, il vous faut argumenter sur son existence, son placement, toujours en vous référant à des critères que vous énoncerez au préalable.

Si c'est la nature de la solution qu'il est demandé de justifier, il vous faudra argumenter, toujours en référence à des critères à définir, sur le choix proposé comparativement à d'autres principes de solutions ou solutions qui auraient pu assurer le même service.

Dans ces trois cas, c'est une discussion qui est attendue par le jury, avec production de jugements, d'arguments étayés, se référant à des critères d'appréciation.

Ecrire lisiblement, en évitant les ratures.

En cas d'utilisation (fortement déconseillée) d'effaceurs ou de correcteurs liquides, ne pas oublier d'écrire le texte définitif sur l'emplacement libéré.

Relisez la question et votre réponse pour vérifier sa complétude, sa clarté, sa cohérence, sa syntaxe et son orthographe. Ne jamais perdre de vue qu'une réponse griffonnée, difficile à lire, rédigée en un français approximatif et dysorthographié, sera fortement dévaluée, quelle qu'en soit la valeur sur le fond. Le métier de l'ingénieur est pour une part non négligeable un métier de communication et il est attendu que vous fassiez la preuve, lors du concours, d'aptitudes dans ce domaine.

Vérifier l'homogénéité des formules utilisées, des expressions établies ; les expressions non homogènes attestent crûment d'un manque de rigueur scientifique très défavorablement jugé.

Soignez la qualité graphique (clarté, lisibilité, fidélité au réel) des schémas et des croquis demandés. Quand un espace vous est alloué, utilisez-le complètement au lieu de tasser quelques timides graffitis dans un coin.

L'effort assidu de leur mise en œuvre tout au long de l'année permet d'acquérir des automatismes libérateurs grâce auxquels, le jour de l'épreuve, l'effort peut être concentré sur le fond.

La technologie n'est pas affaire de mémoire, mais de réflexion, de compréhension, de logique, rien qui vous soit inaccessible.

Un dernier conseil suggéré par l'Analyse des résultats des pages précédentes : **compte tenu des forts coefficients des épreuves écrites et orales, travailler intelligemment les Sciences industrielles est un excellent moyen de faire la différence et d'intégrer une grande école. Pensez-y !**

SCIENCES INDUSTRIELLES III

(VOLETS DE PROTECTION THERMIQUE D'UNE SONDE SPATIALE D'OBSERVATION DE PLANÈTES DU SYSTÈME SOLAIRE)

Durée : 6 heures

PRESENTATION DU SUJET

Les auteurs du sujet remercient la Société AER de leur avoir proposé un sujet réel, donné toutes les informations scientifiques et techniques nécessaires et d'avoir accepté jusque la remise en forme de certains documents techniques. A travers ses activités spatiales, cette Société a du développer une maîtrise des matériaux, des procédés d'obtention des formes et de la sûreté de conception. Elle donne une image actuelle de la technologie, avec ses composantes scientifiques, créatrices et matérielles.

Une sonde spatiale d'observation a pour fonction d'amener des instruments de mesure au voisinage de la planète cible, de récolter des informations et enfin de les transmettre aux centres scientifiques terrestres. Aucune de ces fonctions n'est réalisable sans composants optoélectroniques dont le fonctionnement n'est cependant assuré que dans une plage réduite de température. Il faut donc veiller à ce que, à tous les stades de vol de la sonde, la température de la structure sur laquelle ils sont fixés et à travers laquelle se propage la chaleur, par conduction, reste dans une fourchette acceptable. Dans le cas d'une sonde d'observation d'une planète du système solaire, avec une fenêtre d'observation, la température de la structure dépend de l'énergie qu'elle reçoit du soleil ou qu'elle dissipe vers le fond cosmique, suivant l'orientation de la fenêtre.

Le sujet s'appuie en particulier sur l'étude de la commande de "Volets de protection thermique d'une sonde spatiale d'observation de planètes du système solaire".

Ces volets ont pour caractéristiques principales d'avoir trois positions (ouverte, fermée froide et fermée chaude) d'être articulés à la structure par un mécanisme n'exigeant qu'une faible amplitude de commande et enfin d'être commandés par un moteur composé d'un actionneur à dilatation thermique et d'un amplificateur mécanique.

Le sujet a été construit en deux parties. Le poids de chacune des sous-parties, en pourcentage de la note théorique totale figure entre parenthèse.

PARTIE I : Etude d'architecture de l'articulation et de la commande des volets

I.1 : Solution avec volets en liaison pivot et commande électrique (6%). Elle comporte :

- une question de culture générale, une recherche de solution sous forme de schéma cinématique, une analyse sous forme de grafcet.

‘ Solution avec volets à articulations multiples et commande thermomécanique (30%) Elle comporte :

- une étude graphique géométrique, cinématique, statique de l'articulation entre volet et structure
- un pré-dimensionnement de l'actionneur thermomécanique
- une étude de l'allure de la came de commande du volet
- une étude des contraintes dans le ressort de rappel

Partie II

Conception de l'actionneur thermomécanique et de l'amplificateur mécanique.

II.1 Etude de la cotation fonctionnelle de SE1 (23%)

II.2 Réalisation du carter de l'actionneur (12%)

II.3 Étude constructive de l'amplificateur (sous-ensemble SE2) (30%)

COMMENTAIRE GENERAL DE L'ÉPREUVE

L'épreuve cherche à détecter l'aptitude du candidat à :

- utiliser sa culture scientifique pour replacer un problème technique dans un contexte général
- utiliser les outils de la mécanique (cinématique, statique, dynamique, résistance des matériaux) pour prévoir le comportement d'une solution technique
- utiliser les langages graphiques classiques pour imaginer des mécanismes (schémas cinématiques), analyser une commande séquentielle (grafcet), interpréter ou imposer des tolérances géométriques des pièces (cotation fonctionnelle), prévoir les modes d'obtention des formes géométriques des pièces en fonction de machines imposées (phases d'usinage) et enfin pour imaginer des formes géométriques de pièces assujetties à des contraintes fonctionnelles d'assemblage et de fabrication (étude constructive).

ANALYSE PAR PARTIE

Question I-1-a : Elle teste la culture scientifique du candidat et sa réflexion pour découvrir les mécanismes de transfert de chaleur dans l'espace essentiellement le rayonnement et la conduction. On remarque assez peu de réponses complètes.

Question I-1-b : Elle teste l'imagination du candidat et son aptitude à représenter un schéma cinématique. On constate que près de la moitié des solutions n'autorisent pas le mouvement demandé.

Question I-1-c : Simpliste, cette question n'est pourtant pas toujours comprise et donne parfois des réponses étonnantes.

Question I-1-d : Elle demande la construction d'un grafctet. Pour la majorité cet outil est opérationnel. Pour les autres l'outil est mal connu ou l'analyse incohérente.

Question I-2 : Elle demande une réflexion que peu de candidats ont menée sur la robustesse et la fiabilité d'un système faisant appel à moins de phénomènes physiques qu'un autre.

Question I-2 1-a : Elle demande de démontrer la propriété géométrique de figures simples afin de déterminer les positions extrêmes du volet. D'assez nombreux candidats ont mené une analyse géométrique correcte. C'est heureux, mais il reste encore de grands progrès à réaliser en géométrie.

Question I-2-1-b : Elle demande la détermination graphique d'une amplitude de commande des volets. En général bien traitée.

Question I-2-1-c : La vitesse d'un point du mécanisme étant imposée, elle demande de caractériser le champ des vitesses des points d'un solide. Peu de bonnes réponses sont données. L'équiprojectivité n'est pas toujours maîtrisée. De nombreuses erreurs ou confusions dans la localisation du centre instantané de rotation.

Question I-2-1-d : Une composante de résultante étant donnée dans une section droite d'une tige, elle demande de déterminer les actions mécaniques entre les autres solides de la liaison. Beaucoup de candidats ont voulu croire que la résultante complète était donnée, et se sont très vite enfermés dans des incohérences.

Question I-2-2-a : Les coefficients de dilatation étant donnés, elle demandait le calcul des variations de volume du réservoir, celui de l'huile et enfin le déplacement du piston pour une variation de température de un degré. De très nombreux candidats ont calculé la variation de volume de l'huile à l'aide de son coefficient de dilatation volumique. Très peu ont calculé la variation de volume du réservoir à l'aide de son coefficient de dilatation linéique. Cette question révèle parfois de graves méconnaissances dans l'utilisation d'un coefficient de dilatation voire dans la relation entre degrés Celsius et kelvin.

Question I-2 2-b : Elle demande l'explication fonctionnelle d'une forme géométrique. En général cette question a obtenu de nombreuses réponses correctes.

Question I-2 2-c : La forme géométrique du soufflet étant donnée, elle demande le calcul d'une section équivalente. Demandant un peu de finesse pour sa compréhension et un peu de technicité pour sa résolution, cette question n'a été traitée que par quelques candidats.

Question I-2-3 : Tous les paramètres étant donnés, cette question demande de donner l'allure de la came. En général elle reçoit des réponses correctes.

Question I-2-4-a : Elle demande le rôle du ressort de rappel. Peu de réponses précisent que la pression de l'huile produit le mouvement en s'opposant aux frottements lors d'une augmentation de température. Mais qu'en cas de refroidissement c'est le ressort qui produit le mouvement en s'opposant aux frottements car l'huile ne peut subir une pression négative sans changer de phase.

Question I-2-4-b : Elle demande le calcul de la force maximale subie par le ressort. Pour diverses raisons, soit de compréhension des éléments donnés, soit de mauvaise gestion des unités, seuls quelques candidats ont traité complètement cette question.

Question I-2-4-c : Elle demande la détermination du torseur des actions intérieures dans le ressort, de montrer qu'il subit principalement de la torsion et de calculer la contrainte de torsion. Très peu de candidats ont traité cette question.

Question II-1-a : Elle demande de choisir une tolérance dimensionnelle et d'en donner la signification. Étonnamment quelques candidats ne connaissent pas encore la définition d'une telle tolérance.

Question II-1-b : Une fonction technique de non collision étant donnée, elle demande de repérer et traduire les tolérances géométriques qui assurent cette fonction. D'assez bonnes réponses sont parfois données.

Question II-1-c : Inversement, deux tolérances géométriques étant données, elle demande de les traduire et d'énoncer les fonctions techniques qu'elles assurent. En général, pas de réponses sur les fonctions techniques.

Question II-1-d : Elle demande de représenter un calibre fonctionnel correspondant à une tolérance donnée. Quelques réponses seulement.

Question II-1-e : Une condition technique étant donnée, elle demande de faire un schéma sur lequel figure une tolérance de défaut de forme quelconque. Pas de réponse complète.

Question II-2-1 : L'usinage sur une machine outil à commande numérique, 3 axes, à axe vertical d'une surface de référence étant imposé, elle demande de préciser toutes les autres surfaces usinables, les outils utilisables, l'isostatisme de la mise en position de la pièce. Quelques bonnes réponses seulement.

Question II-2-2 : L'usinage sur une machine outil à commande numérique, 3 axes, à axe vertical, puis sur une MOCN, 3 axes à axe horizontal étant imposé, elle demande d'indiquer sur un schéma les surfaces usinées, de préciser l'isostatisme et le bridage et de préciser le sens d'accessibilité des outils.

Concernant les deux questions précédentes, beaucoup de candidats n'ont pas utilisé les silhouettes du Document VII qui sont à glisser sous les Documents transparents V et VI et permettent un fort gain de temps de dessin.

Beaucoup de candidats n'ont pas accordé une attention suffisante à la lecture des divers documents et ont souvent présenté leur méthode d'usinage personnelle du carter, sans tenir compte d'ailleurs des tolérances géométriques imposées.

Question II-3 : L'étude constructive de l'amplificateur demande une réponse graphique sur un calque pré-imprimé. Les problèmes essentiels sont liés à la petite taille de l'amplificateur, à la nécessité de guidages polyimides, au montage des arbres dans un bâti aux dimensions extérieures imposées.

Environ un tiers des candidats n'a pas traité cette étude constructive.

Quelques dessins se rapprochent de la solution industrielle caractérisée par des pignons arbrés dont la longueur de l'arbre est, pour en assurer le montage, légèrement inférieure à la largeur de l'espace intérieur du carter. Après sa mise en position chaque arbre reçoit ses deux paliers en polyimide, montés à force dans le carter. L'arbre intermédiaire, plus court, est lui aussi glissé à l'intérieur du carter. L'une de ses extrémités est mise en place dans son palier fixé dans le carter, son autre extrémité reçoit enfin son palier en polyimide, monté à force dans le carter.

On retrouve dans de nombreux dessins l'utilisation habituelle de la clavette, du circlips et de l'écrou SKF, voire même du roulement à billes. Quant au montage, il est généralement assuré par des chapeaux métalliques, au risque de dépasser l'espace alloué à l'amplificateur.

Plus précisément :

- la représentation de la position des différents pignons est souvent correcte
- la forme et le guidage des arbres sont souvent définis correctement
- le guidage de la crémaillère de sortie a très peu été défini correctement
- la forme du carter a été peu représentée
- la forme des goujons spéciaux d'assemblage n'a que très rarement été dessinée selon une logique fonctionnelle.

ANALYSE DES RESULTATS

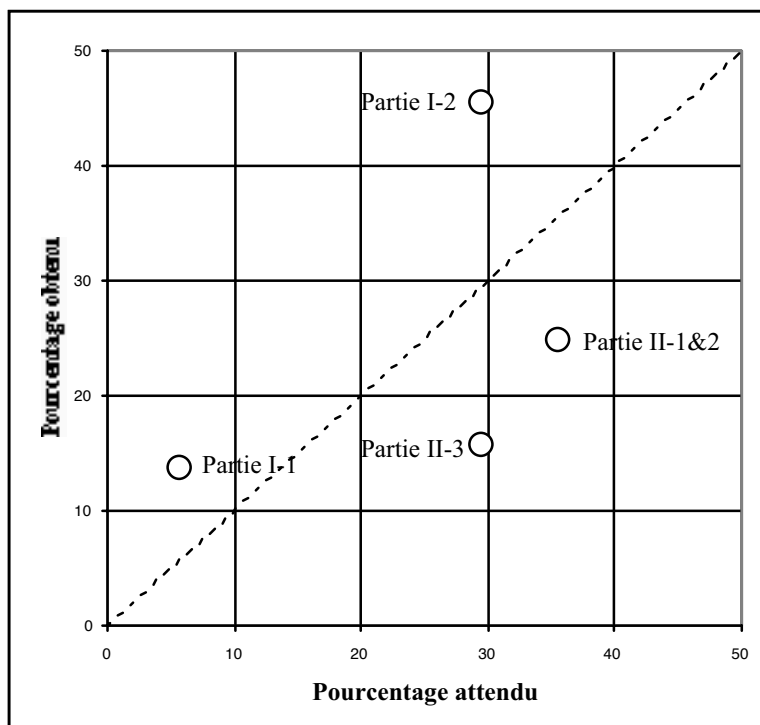
Le sujet a été décomposé en quatre parties :

Partie I-1 : contient les questions I-1-a à I-1-d (grafcet)

Partie I-2 : contient les questions I-2 à I-2-4-c (mécanique)

Partie II-1&2 : contient les questions II-1-a à II-2-2 (cotation fonctionnelle et fabrication)

Partie II-3 est l'étude constructive de l'amplificateur.



Le graphe ci-contre représente chacune de ces parties par un cercle. Son abscisse est le pourcentage des points que devait rapporter cette partie. Son ordonnée est le pourcentage des points qu'elle a effectivement rapporté, en moyenne, dans la note réelle.

Traitées par le plus grand nombre de candidats, les Parties I-1 et I-2 fournissent plus de points que prévu.

A contrario, moins souvent ou moins bien traitée, la Partie II a rapporté moins de points à la note réelle.

Poids réel des quatre parties en fonction de leur poids théorique (en %)

Quelques très rares candidats se sont fourvoyés dans cette épreuve sans une culture technique suffisante pour comprendre le sujet. A l'opposé, plusieurs dizaines d'autres ont réalisé une étude remarquable d'excellente qualité.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS

Le sujet de Sciences industrielles III a la particularité de devoir proposer "une étude inédite d'un objet industriel récent". Il exige un esprit large et polyvalent, mais aussi rapide et efficace compte tenu de la courte durée de l'épreuve.

Il devait être abordé avec un esprit ouvert, capable à la fois d'utiliser des lois de la physique, d'envisager des considérations pratiques de réalisation sur machine outil, prévoir des comportements à l'aide des outils de calcul classiques (cinématique, statique, RDM) et de proposer la conception d'objets utilisant parfois des matériaux et des moyens d'obtention ou de guidages ou encore de liaison très actuels.

Au vu du graphe précédent, le meilleur moyen, pour le candidat, d'améliorer son résultat est de s'entraîner à aborder les questions de cotation, de fabrication et de conception, tout en continuant à s'entraîner à l'utilisation efficace de l'outil performant de la mécanique classique, dont la Résistance des Matériaux fait, évidemment, partie.