

ÉPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES A

Grande salle Pierre Boulez de la Philharmonie de Paris

Durée : 5 heures

PRÉSENTATION DU SUJET

Le sujet se composait :

- d'une présentation du système étudié : 3 pages ;
- du travail demandé (parties I à IV : 22 pages) + 4 pages d'annexes ;
- du cahier réponses à rendre, comprenant 42 questions : 27 pages.

Le sujet portait sur les éléments modulables d'une salle de spectacle moderne, la Philharmonie de Paris, développés par l'entreprise française AMG-Féchoz. Les gradins de la salle sont escamotables et les éléments de la scène peuvent être surélevés pour passer d'une configuration à une autre. La mise en mouvement de ces différents éléments était étudiée dans ce sujet. Après une découverte du comportement séquentiel du système, l'objectif global était de dimensionner une motorisation et une commande adaptée au levage des différents composants modulables. Le sujet était composé de quatre parties différentes, indépendantes et elles-mêmes constituées de nombreuses questions qui pouvaient être traitées séparément :

- la Partie I abordait l'étude du parterre escamotable et la description temporelle d'un changement de configuration de salle ;
- la Partie II proposait une étude de la cinématique d'un module de la scène principale ;
- la Partie III se concentrait sur le dimensionnement d'un actionneur associé au levage de l'ascenseur d'orchestre ;
- La partie IV s'intéressait à la commande d'un couple de moteurs destinés à lever un élément de parterre.

COMMENTAIRES GÉNÉRAUX

Au cours de l'étude du mouvement et de la commande de différents éléments modulables de la salle de spectacle, le sujet proposait un ensemble de questions recouvrant une large part des connaissances du programme de première et de deuxième année de CPGE PTSI/PT. Si quelques questions faisaient simplement appel à la compréhension du système à partir des documents présents dans le sujet, la plupart permettaient aux candidats de mettre en œuvre les compétences générales développées en Sciences Industrielles pour l'Ingénieur.

Les quatre parties étaient indépendantes et elles-mêmes composées de sous-parties indépendantes. Les candidats ont pu profiter de ces différents points d'entrées pour balayer l'ensemble des parties, même si la dernière partie comprenant de nombreuses questions assez simples a été traitée moins en détails par nombre d'entre eux. On notera qu'aucune question n'a été systématiquement laissée de côté par les candidats, un petit nombre d'entre eux parvenant à traiter quasiment toute l'épreuve.

Rappelons, s'il est encore besoin, qu'il est très important de garder les expressions littérales jusqu'au moment de l'application numérique, qui doit ensuite être présentée et encadrée accompagnée de son

unité. Les questions portant parfois sur plusieurs points, il est également important que les candidats relisent la question avant de passer à la suivante afin de vérifier de l'avoir entièrement traitée. Par ailleurs, pour valider le cahier des charges, le jury attend que, pour chacun des critères concernés, la valeur obtenue par le système soit comparée à la valeur requise pour conclure.

Plus généralement, il est rappelé aux candidats que tous les résultats doivent être justifiés, sauf quand l'énoncé le permet explicitement. Quand une question demande de montrer un résultat donné, il est très mal vu par le jury d'aboutir à ce bon résultat après des calculs visiblement faux : l'honnêteté scientifique est attendue des candidats.

Enfin, l'écart type est du même ordre de grandeur que l'année précédente, l'épreuve est donc classante. Les résultats sont en adéquation avec les attentes du jury avec de très bonnes copies même si l'on en observe encore d'autres vraiment très médiocres.

COMMENTAIRES SUR CHAQUE PARTIE DE L'ÉPREUVE

Partie I – Étude du parterre escamotable

Cette première partie avait pour objectif d'étudier l'aspect séquentiel d'un changement de configuration du parterre. La succession d'étapes présentées dans un premier temps a été globalement bien comprise par les candidats qui ont généralement su calculer leurs durées avec succès. C'est moins le cas de la seconde solution présentée. Même quand l'aspect séquentiel était compris, de trop nombreux candidats n'ont pas su l'exprimer correctement à l'aide du langage Python, les erreurs d'utilisation de la commande `range()` sont légion.

Partie II – Modélisation d'un module du gradinage d'orchestre

Partie II.1 – Modélisation des liaisons

La deuxième partie avait pour objectif d'étudier des performances cinématiques d'un élément de scène modulable. Dans un premier temps, on proposait de modéliser quelques liaisons à partir de vues en plan, pour ensuite proposer le schéma cinématique d'une penture, d'abord en 3d puis le schéma minimal 2d. De nombreux candidats ont très bien réussi cette partie ; d'autres, qui n'ont souvent pas accordé l'importance nécessaire à la détermination des surfaces de contacts demandée initialement, ont eu du mal à capitaliser des points.

Partie II.2 – Validation de la cinématique de la plateforme

L'objectif, ici, était d'étudier la cinématique des associations des différentes structures réalisant le guidage des gradins pour comprendre et justifier ces associations. Il s'agissait de réaliser des calculs de liaison équivalente, de fermetures, géométrique et cinématique, ainsi que d'analyser et expliquer des choix de solutions réelles. Cette partie, rarement traitée juste en totalité, est assez bien réussie globalement. Néanmoins, on peut regretter des manques d'aisance ou de rigueur dans le maniement de torseurs cinématiques, ainsi que dans l'écriture de fermetures, en particulier la fermeture cinématique demandée, tant dans son écriture formelle que dans son aboutissement lorsqu'il est demandé l'équation vectorielle de vitesse au point F.

Partie II.3 – Modélisation globale

Ensuite, une étude de la structure complète du gradinage était proposée sous la forme de l'analyse de son degré d'hyperstatisme. Cette partie a été beaucoup trop rarement traitée avec succès. Le jury déplore que bien trop peu d'analyses d'hyperstatisme aboutissent à un résultat juste, tant en modélisation 3d qu'en 2d.

Partie II.4 – Reprise des actions mécaniques

Enfin, une courte partie permettait de mettre en évidence l'intérêt de l'association des différentes structures dans la reprise des différentes actions mécaniques par l'ensemble du mécanisme de gradinage d'orchestre. Si le rotulage permis par le coussinet a été très largement identifié, le raisonnement permettant de montrer rigoureusement que la penture ne reprend aucun effort dans le plan d'étude, n'a été que bien trop rarement mené à terme avec succès, pénalisant la réussite dans la conclusion de reprise des actions mécaniques par chacune des structures. Ce raisonnement, pourtant extrêmement simple et guidé, était basé sur deux isollements de solides soumis à deux glisseurs, compétence fondamentale attendue de tous.

Partie III – Dimensionnement des actionneurs

Partie III.1 – Calcul des énergies cinétiques

Cette troisième partie proposait une approche basée sur la dynamique des solides pour déterminer les efforts à développer par les vérins. Une première question, portant sur la forme de la matrice d'inertie d'un caisson de penture, considérée très facile par le jury, ne l'a pas été. La compétence de base de justifier de la forme de la matrice d'inertie à partir des symétries du solide n'est maîtrisée que par un nombre trop limité de candidats. Il s'agissait ensuite d'exprimer les énergies cinétiques des différents éléments, en vue de l'application ultérieure du théorème de l'énergie cinétique. La démarche, découpée par questions et très guidée, a été globalement assez bien réussie, même si l'expression de torseurs cinétique a posé problèmes à un nombre non négligeable de candidats (en particulier pour le mouvement P2/0).

Partie III.2 – Calcul des puissances en jeu

Cette courte partie consistait en l'expression des puissances développées par certaines actions mécaniques. Le jury a été très déçu de constater que le calcul des puissances développées par l'action de la pesanteur appliquée sur chaque élément du système isolé ait été si peu réussi, en particulier lorsque l'obtention d'une puissance de pesanteur motrice dans un mouvement de levage semble ne pas poser de question au candidat...

Partie III.3 – Loi de mouvement

Une dernière partie permettait d'aboutir à la loi de mouvement dans un cas simplifié pour lequel les calculs étaient abordables sans nécessiter trop de temps. Quelques candidats, souvent ceux obtenant les meilleurs résultats au final, y arrivent avec justesse. Dans cette partie, le jury regrette le manque de rigueur trop fréquent pour aboutir, par une simple fermeture géométrique, aux lois géométriques demandées.

Partie IV – Structure et dimensionnement d'une motorisation double

Cette dernière partie avait pour objectif d'étudier la commande du système de motorisation de l'élévation d'un élément du parterre, réalisée à l'aide de deux moteurs. Cette partie était composée en majorité de questions particulièrement classiques d'automatique continue et menait à la vérification d'un ensemble de performances. Un certain nombre de questions de cette partie n'étaient pas indépendantes, mais aucune n'empêchait de traiter la quasi-totalité de la partie.

La détermination d'une fonction de transfert à partir d'un schéma-blocs simple est maîtrisée par la quasi-totalité des candidats. Le schéma-blocs plus complexe à deux moteurs a cependant posé plus de difficulté et moins d'un tiers d'entre eux a réussi l'identification demandée.

Les vérifications des différents critères du cahier des charges auraient dû être réussies par un plus grand nombre de candidats : la rapidité d'un système du premier ordre ou la lecture graphique de marges de stabilités sont des compétences fondamentales attendues de tous. Le jury a apprécié que les applications numériques demandées dans ce contexte aient globalement été menées de manière satisfaisante.

Comme exprimé dans les remarques globales, le positionnement de cette partie en fin d'épreuve a desservi de nombreux candidats qui auraient probablement été capables de répondre à plus de questions d'automatique mais n'en n'ont pas eu le temps.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS

On conseille de nouveau aux candidats de prendre le temps de parcourir la totalité du sujet et des documents annexes (ainsi que le document réponse) pour assimiler les problématiques proposées ainsi que les démarches de résolution associées. Cette première lecture doit leur permettre d'identifier les thématiques de l'épreuve afin qu'ils ne négligent pas celles qu'ils maîtrisent, même si, comme l'automatique continue cette année, elle est abordée en fin de sujet.

Les questions suivent une démarche de résolution de la problématique posée et ne sont pas d'un niveau croissant de difficulté. De plus, comme la plupart des questions sont indépendantes, les candidats doivent essayer de reprendre le sujet au plus tôt après une question non traitée, sans laisser de côté tout le reste de la partie.

Il est conseillé de bien relire chaque question avant de passer à la suivante et vérifier que le résultat est valide, donc avec la bonne dimension pour son expression littérale et non aberrant pour sa valeur numérique. Il faut veiller à bien répondre à toute la question, de trop nombreux candidats n'ont donné qu'une réponse partielle à des questions demandant explicitement de calculer plusieurs expressions ou de valider plusieurs critères, se concentrant sur la réponse la plus technique et oubliant la partie la plus simple de la question.

ÉPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES B

Etude de pré-conception d'un épandeur agricole monocoque surbaissé

Durée : 6 heures

PRÉSENTATION DU SUJET

Le sujet porte sur un système agricole destiné à assurer l'épandage d'amendements solides et semi-solides sur champs dans le milieu agricole. Le système est constitué par un épandeur qui est mécaniquement tracté par un tracteur, ce dernier n'étant pas le sujet de l'étude. L'épandeur doit assurer plusieurs exigences dont certaines nécessitent la transmission de la puissance mécanique du tracteur vers des sous-systèmes de l'épandeur. Le contexte industriel et le fonctionnement global du système sont présentés en introduction du sujet.

L'épreuve est divisée en trois sous-parties dont chacune est consacrée à la validation d'une sous-exigence. La première partie portait sur l'optimisation du positionnement de l'essieu de l'épandeur vis-à-vis de plusieurs critères, en particulier de transmission des efforts, et se terminait par l'étude de la résistance du timon dans le cadre d'un modèle de théorie des poutres. La seconde partie était consacrée à la transmission de puissance vers le fond mouvant ayant pour fonction d'entraîner l'amendement tout en contrôlant le débit, avec pour objectif final le choix d'un réducteur et d'un moteur hydraulique. La troisième partie visait à valider les choix technologiques nécessaires aux rotors de distribution de l'épandeur, au travers de l'étude cinématique du mouvement de distribution, de l'architecture du boîtier d'entraînement et de son accouplement avec l'arbre de sortie, et de la conception du montage de roulement de l'arbre de sortie.

Remarque : pour la 2^e année, l'épreuve de Sciences Industrielles B est conçue sur un nouveau format. La partie conception graphique, qui représentait jusqu'en 2022 un peu moins de la moitié des points du barème, a disparu au profit d'une notice plus longue. Cette notice se concentre sur la modélisation pour la conception et l'innovation de systèmes mécaniques. Les compétences attendues s'appuient sur les connaissances en technologie de construction mécanique, ainsi que sur l'application de règles et de critères de conception, afin de guider le choix et le dimensionnement de solutions techniques. Un aspect important consiste en la comparaison de solutions sur des critères en lien avec un cahier des charges afin de réaliser une innovation incrémentale du système.

Les poids relatifs des différentes parties du sujet sont :

- Optimisation de la position de l'essieu, Q1 à Q13	23%
- Dimensionnement de la motorisation et de la chaîne de transmission de puissance du fond mouvant de l'épandeur, Q14 à Q38	39%
- Dimensionnement de la chaîne de transmission de puissance des rotors de distribution verticaux, Q39 à Q62	38%

COMMENTAIRE GÉNÉRAL SUR L'ÉPREUVE

Le sujet est structurellement long (18 pages), les candidats peuvent ainsi s'exprimer sur un large panel de leurs compétences et montrer leur capacité à aborder un problème dans sa globalité. Il est conseillé de parcourir l'ensemble du sujet et des documents ressources en début d'épreuve afin d'en comprendre la structure et de visualiser les informations fournies dans les documents. Les calculatrices étant interdites, certaines applications numériques demandent une aptitude à effectuer des approximations raisonnables pour pouvoir atteindre le résultat. Lors de l'évaluation des copies, une tolérance de quelques pourcents est appliquée sur la précision des résultats numériques obtenus.

Il est à noter que les valeurs numériques données aux candidats pour réaliser les applications numériques sont généralement choisies pour que les calculs se réalisent facilement.

Le sujet ne semble pas avoir posé de difficulté particulière de compréhension pour les candidats. Toutes les questions posées étaient au niveau des candidats ; à chaque question, plusieurs candidats obtiennent le maximum des points. Dans toutes les parties du sujet, des connaissances de base sont évaluées. Le jury a constaté que malheureusement, elles ne sont pas maîtrisées par bon nombre de candidats. Dans ce contexte, les candidats ont su profiter des parties, sous-parties et questions indépendantes à l'intérieur de chaque partie. Bien que plusieurs résultats intermédiaires soient fournis, certaines parties ou sous-parties sont restées intégralement non traitées par certains candidats, notamment la fin de la partie 2 ou de la partie 3.

Les candidats sont bien sûr familiers de ce format d'épreuve avec cahier réponse. Néanmoins, encore beaucoup de candidats ne répondent pas précisément à la question posée alors que le raisonnement semble juste. Ceci les pénalise fortement. Par exemple, certains candidats donnent une expression littérale au lieu de l'application numérique demandée, ou inversement ; d'autres n'expriment pas les résultats en fonction des quantités demandées ou n'effectuent pas leurs applications numériques dans l'unité demandée ; pour d'autres, lorsqu'une justification est demandée, quelques mots ou phrases vagues sont fournies au lieu d'expliquer précisément et scientifiquement les raisons justifiant le constat effectué.

Le jury constate également que trop souvent, lorsqu'une application numérique fournit un ordre de grandeur « loufoque » (soit par suite d'une erreur de calcul, soit par la conséquence d'une erreur d'unité), cela ne semble pas éveiller les soupçons du candidat, qui poursuit sans commenter, alors que cette erreur, facilement détectable, peut potentiellement avoir des conséquences sur les applications numériques ultérieures.

ANALYSE PAR PARTIE

- **Optimisation de la position de l'essieu, Q1 à Q13**

Cette première partie a été traitée correctement par environ la moitié des candidats.

La première sous-partie étudiait l'optimisation de la position de l'essieu de l'épandeur à la vue de plusieurs critères imposés par des exigences : interférence avec le tracteur, report de charge sur le tracteur, adhérence du tracteur... Au début de cette partie, beaucoup de candidats ont eu du mal à justifier précisément les dimensions ainsi que la position du centre de gravité du système. Le bilan des actions mécaniques et le calcul analytique des forces impliquées ont dans l'ensemble été correctement réussis, ainsi que la traduction graphique des différents critères calculés ou fournis. Cependant beaucoup de candidats ont rencontré des difficultés à dresser une synthèse claire pour effectuer le choix demandé.

La deuxième sous-partie était consacrée à l'étude de la résistance du timon sous les hypothèses classiques de la théorie des poutres. L'analyse simple du solide soumis à 3 forces a été insuffisante pour beaucoup de candidats, certains ayant mal appréhendé le système isolé, ou se trompant sur le sens, voire sur la direction des forces impliquées. Si les éléments du torseur de cohésion ont dans l'ensemble été correctement établis, le lien avec les sollicitations « poutre » (réussi par environ 60% des candidats) et le tracé des diagrammes des composantes du torseur de cohésion (réussi par seulement un quart des candidats) semblent avoir posé plus de difficulté aux candidats, tout comme le lien avec les contraintes mécaniques dans la poutre.

- **Dimensionnement de la motorisation et de la chaîne de transmission de puissance du fond mouvant de l'épandeur, Q14 à Q38**

Cette seconde partie n'a été traitée correctement en moyenne que par un tiers des candidats.

Dans la première sous-partie, les calculs du couple nécessaire sur les noix, basés sur un modèle de frottement de Coulomb, ont été correctement réussis. Cependant les relations cinématiques basées sur le débit de matière à distribuer et la transmission par chaîne ont posé des difficultés à deux tiers des candidats, dont certains n'ont pas su établir la relation entre la vitesse d'avance et la vitesse de rotation des noix, ou l'expression de la puissance fournie aux noix en fonction du couple et de la vitesse de rotation demandée en fin de la deuxième sous-partie.

Dans la troisième sous-partie, consacrée au calcul de la puissance hydraulique et de la cylindrée nécessaires en l'absence de réducteur, la réussite est tombée en dessous de 30%.

Sur ces deux sous-parties, en particulier, beaucoup de candidats ont éprouvé des difficultés dans les conversions d'unités, ainsi que dans la manipulation des rendements, qui sont parfois inversés, voire sommés entre eux.

Dans les deux dernières sous-parties, réussies à environ 35%, beaucoup d'erreurs ont été commises dans les relations qui impliquaient les rapports de réduction et/ou les rendements énergétiques. Le jury a noté des confusions entre les deux types de notions et dans leurs manipulations, certains candidats effectuant la somme des rendements ou même des rapports de réduction et des rendements.

Le jury a également constaté une difficulté à restituer par un schéma cinématique adéquat (question 31) le fonctionnement du réducteur, certaines liaisons et engrenages étant mal modélisés, leurs axes ou direction non respectées, ou même absents du schéma.

- **Dimensionnement de la chaîne de transmission de puissance des rotors de distribution verticaux, Q39 à Q62**

Cette partie n'a recueilli que 25% de réussite en moyenne avec plusieurs questions restées non traitées, les candidats ayant généralement préféré traiter les autres parties.

Dans la première sous-partie, si les candidats ont globalement bien compris la modélisation proposée, ils ont eu plus de mal à calculer précisément et à tracer la vitesse dans le bon repère. Certains ont réussi à établir les équations de la trajectoire et à prendre du recul sur la faisabilité d'une résolution par une méthode analytique ou numérique. Cependant les choix de modélisation ont été plus difficiles à justifier (changement de phase au moment de la chute libre, position initiale utilisée, compréhension de l'exigence). Dans l'ensemble, le tracé d'une proposition d'architecture pour le boîtier (question 50) a posé beaucoup de difficultés aux candidats.

Dans la dernière sous-partie, le calcul de l'accouplement par clavette ou cannelure a été réussi par moins de 20% des candidats. Ici encore, le jury regrette des expressions analytiques dont les unités ne sont pas homogènes, ainsi que des applications numériques totalement « hors norme » sans commentaire éclairé.

Enfin, l'analyse de solution technologiques (montage de roulements, étanchéité) a souvent été incorrecte. Plusieurs résultats intermédiaires étaient fournis, ce qui a permis aux candidats de gagner quelques points sur la fin du sujet. Mais le jury a noté très peu de copies dans lesquelles cette dernière sous-partie était résolue avec une continuité satisfaisante.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS

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

Parcourir l'ensemble du sujet en début d'épreuve afin d'en comprendre l'organisation et la logique, mais aussi 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. Donner les expressions littérales en fonction des variables spécifiées dans la

question. Donner le résultat des applications numériques dans l'unité requise dans le sujet. Même lorsque le sujet impose l'unité, la spécifier systématiquement dans les cadres réponses.

Effectuer, autant que faire se peut, les applications numériques 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 ? L'unité du résultat fourni a-t-elle la bonne dimension ?

Connaître et maîtriser les connaissances de base : isolement d'un solide, bilan d'actions mécaniques, tenseur de cohésion, formules de résistance des matériaux, application du PFS, du PFD, du théorème de l'énergie cinétique... Connaître également les hypothèses en méthodologies nécessaires à leur bonne utilisation.

Maîtriser les outils de communication techniques (schéma cinématique et plan d'ensemble) ainsi que le vocabulaire élémentaire nécessaire de la conception mécanique (par exemple : vis, écrou, joint d'étanchéité, accouplement, arbre, taraudage, ...).

ÉPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES C

RETALT1 : projet européen de lanceur orbital réutilisable

Durée : 6 heures

PRÉSENTATION DU SUJET

Le sujet portait sur l'analyse d'un concept de fusée à étage principal réutilisable, développé par un consortium européen dans le cadre du projet RETALT. Ce sujet se décompose en quatre parties distinctes :

- **Partie I (15% de la note finale)** : analyse des principes fondamentaux d'un lancement spatial, incluant la vitesse requise, la masse de propergol nécessaire pour atteindre une orbite déterminée, ainsi que la justification de l'utilisation de lanceurs à plusieurs étages.
- **Partie II (15%)** : étude du mécanisme d'orientation des ailettes durant la phase de descente de l'étage principal, abordant des aspects tels que la stabilité de la fusée, les actionneurs, la cinématique/hyperstatisme, les efforts et sollicitations, ainsi qu'un schéma hydraulique.
- **Partie III (30%)** : industrialisation des composants du mécanisme d'orientation des ailettes, en particulier le sous-ensemble « moyeu central ». Cette partie comprend les spécifications géométriques et dimensionnelles, le choix du couple matériau/procédé, ainsi que les procédés d'usinage, de fonderie, et les traitements thermiques et/ou thermochimiques.
- **Partie IV (40%)** : conception de deux sous-systèmes, à savoir l'intégration d'un dispositif de déclenchement FRANGIBOLT et la conception d'un ensemble vérin électrique. Les éléments traités incluent l'accouplement à manchon intermédiaire, la liaison glissière, la liaison plan/plan avec éléments roulants, la liaison encastrement/MIP&MAP, la liaison pivot supportant de fortes charges radiales et axiales, et l'étanchéité.

Chaque partie pouvait être abordée indépendamment des autres, sous réserve d'une lecture attentive de l'énoncé. Une attention particulière a été portée à la formulation afin de limiter les questions à tiroirs. Toutefois, certaines questions sont restées dépendantes des réponses précédentes, mais le nombre de points attribués à ces questions est resté limité. Ces enchaînements dépendants ont permis d'évaluer le raisonnement global des candidat·e·s face à un sujet atypique.

COMMENTAIRES GÉNÉRAUX

Cette épreuve a pour objectif d'évaluer les compétences des candidat·e·s dans les domaines des sciences industrielles de l'ingénieur·e, en particulier celles liées à l'analyse d'un système industriel, à la conception d'un sous-système mécanique et à son industrialisation. Les compétences attendues incluent principalement l'analyse et la vérification des performances d'un système ou sous-système à partir de descriptions et de modélisations (telles que le dessin de définition, les modèles analytiques, et le schéma cinématique).

L'analyse a été structurée de manière progressive, débutant par les concepts fondamentaux et la mécanique simplifiée d'une mission de lanceur spatial. Elle se poursuit par une démonstration guidée de l'intérêt d'utiliser des fusées à plusieurs étages, pour aboutir à l'examen approfondi d'un sous-système clé de ces technologies : le mécanisme de déploiement des surfaces de contrôle (ailettes) durant la phase de descente. Les compétences attendues portaient sur le choix, la définition, et le dimensionnement de

solutions techniques intégrant les contraintes du cycle de vie, notamment celles relatives à l'industrialisation.

Le sujet abordait un système à la fois technologiquement et mécaniquement plus complexe que ceux des années précédentes. Les descriptions préliminaires, ainsi que les informations fournies dans les documents ressources, ont été soigneusement rédigées pour aider les candidat·e·s à comprendre les phénomènes et les détails technologiques nécessaires pour répondre à l'ensemble des questions. Comme toujours, il était impératif que les candidat·e·s lisent avec rigueur le sujet ainsi que les documents fournis.

La moyenne de l'épreuve est en baisse par rapport à l'année précédente. Cette diminution peut s'expliquer par le caractère plus atypique du sujet, qui exigeait des candidat·e·s une réflexion préalable afin de bien comprendre le système. Cet aspect se reflète dans les réponses aux questions relatives à la compréhension du système. En revanche, l'écart type est comparable à celui des années précédentes, ce qui a permis à l'épreuve de remplir son rôle en classant efficacement les candidat·e·s.

Il est essentiel de rappeler que, malgré le contexte de concours, la maîtrise des fondamentaux en sciences de l'ingénieur·e reste primordiale pour les candidat·e·s. Le jury a en effet constaté que beaucoup de candidat·e·s ne maîtrisaient pas le principe fondamental de la statique, ce qui est préoccupant.

COMMENTAIRES SUR CHAQUE PARTIE DE L'ÉPREUVE

Partie I : Étude d'exigences d'une mission de lancement orbital

Cette première partie avait pour but de justifier l'intérêt d'un lanceur à plusieurs étages, ainsi que de fournir certains éléments nécessaires (masses, vitesses, etc.) pour les études demandées par la suite. La mécanique générale, sous une forme adaptée (conservation de la quantité de mouvement, présentée en détail dans un document ressource), devait permettre aux candidat·e·s d'évaluer les vitesses d'une charge en orbite stable autour de la terre et l'énergie nécessaire à son placement en orbite et mener à conclure sur l'intérêt de fusées à plusieurs étages (économie de carburant, capacité d'emport augmentée).

Le jury a constaté que pour les démonstrations où l'on donne la solution finale de très nombreux candidat·e·s présentent des développements incorrects qui tentent visiblement de tromper la vigilance des correcteurs. Cela prend du temps pour les candidat·e·s et il est probable que bon nombre de ces tentatives se soient soldées par un « malus » en fin de notation (qualité de la copie).

De nombreuses réponses traduisent un manque de bon sens / logique des candidat·e·s. On peut aussi déplorer le fait que des valeurs complètement déraisonnables obtenues (masse, vitesses, énergies, forces, couples) ne provoquent aucun étonnement ou commentaire de la part de candidat·e·s.

Partie II : Étude de la descente à contrôle aérodynamique et du mécanisme d'orientation des ailettes

La deuxième partie du sujet concernait l'étude de la phase de retour de la fusée dans l'atmosphère, avec un accent mis sur les aspects cinématiques et statiques. Certaines questions visaient simplement la compréhension du système (enchaînement des phases et position des ailettes) tandis que d'autres demandaient aux candidat·e·s de proposer des démarches et produire des résultats de calcul de statique (efforts à l'équilibre) et de cinématique (degrés d'hyperstatisme). Une seule question visait la technologie d'actionnement employé (vérin hydraulique), demandant des définitions et précisions concernant les composants d'un schéma hydraulique proposé sur cahier réponse (pompe, accumulateur, impact du fonctionnement dans le vide, etc.).

Une question visant des aspects de statique (angles des ailettes assurant l'équilibre de la fusée lors de la descente), qui n'impliquait pas de calculs, mais simplement un raisonnement sur la résultante et le moment induit par chaque configuration extrême, s'est soldé par un résultat décevant par rapport à ce qu'on pouvait attendre.

Concernant les autres questions de statique, il a été constaté que beaucoup de candidat·e·s ne savent pas faire un bilan correct d'actions mécaniques, oubliant souvent des efforts clairement présentés et identifiés dans les descriptions et sur les schémas fournis. Pour l'étude qui portait sur l'équilibre de la fusée sous l'effet des angles d'inclinaison des quatre ailettes, le nombre d'ailettes a été très souvent oublié dans les développements proposés.

De nombreux schémas cinématiques proposés par les candidat·e·s étaient complètement décorrélés du mouvement souhaité. Cela dénote une approche purement calculatoire, sans réelle compréhension de la fonction que le système doit assurer.

Les questions concernant les actionneurs ont montré que les éléments de technologie moins courants et moins souvent interrogés dans le passé (les circuits hydrauliques) sont relativement peu maîtrisés. Pour la dernière question de cette partie, il était demandé un effort de raisonnement qui devait compléter des compétences minimales en hydraulique afin de proposer une solution qui rendait un schéma fourni compatible avec l'application (fusée). Il s'agit de la réponse avec la moyenne la plus faible de cette partie.

Partie III : Industrialisation de composants du mécanisme d'orientation des ailettes

Cette partie concerne l'industrialisation d'un ensemble de pièces appelé « moyeu central », avec une étude plus poussée concernant la pièce « arbre de transmission de l'axe 2 ». Les premières questions portaient sur les matériaux et les procédés d'obtention de bruts, en insistant sur les procédés de fonderie pour un des composants, appelée « pièce de liaison ». Les questions suivantes ont traité de la fabrication par tournage de l'« arbre de transmission de l'axe 2 », en se focalisant sur la relation entre les paramètres du processus de tournage et le respect d'une exigence de rugosité. Des questions classiques demandaient ensuite d'explicitier certaines spécifications géométriques à l'aide de fiches fournies, en faisant le lien avec les fonctions à assurer.

La moyenne de cette partie est la plus faible des quatre parties de l'épreuve.

Si la qualité des croquis demandés pour illustrer le procédé de fonderie reste similaire aux années précédentes (encore assez faible), le fait de demander des précisions concernant ce procédé (habillage de la pièce, disposition optimale dans le moule, éléments constitutifs de la grappe etc.) a clairement baissé la moyenne à cette question. On peut aussi déplorer le fait que trop de candidat·e·s n'ont pas pris le temps de lire attentivement le sujet et se sont trompé·e·s de pièce à analyser.

La question portant sur les défauts typiques des pièces obtenues par moulage en sable montre que si les noms de ces défauts sont parfois bien listés, leur définition et les phénomènes physiques qui conduisent à leur formation sont très peu connus. Il en est de même (voire pire) pour les règles et moyens à employer pour éviter ces défauts.

La question portant sur des outillages spécifiques de tournage (lunette, tourelle à postes rotatifs) a été la moins bien notée de cette partie.

Les procédés de traitement thermique semblent être mieux maîtrisés. En revanche, peu de candidats proposent et décrivent un procédé de finition adapté à l'obtention d'une rugosité $Ra = 1.6$, autre que le tournage. De plus, il semble que l'unité de mesure normalisée pour les inscriptions de rugosité ne soit pas connue par tous les candidat·e·s.

Très peu de candidats (2,2%) ont pu établir l'expression mathématique de Ra en fonction des paramètres clairement présentés dans le schéma fourni ; il s'agissait pourtant d'une question de mathématique (géométrie) assez simple.

Concernant le décodage de spécifications géométriques, nous avons modifié la disposition des cases de la grille GPS de manière à pouvoir la logger sur une page A4 portrait ; de cette manière le document scanné est plus facile à lire. Aucune difficulté liée à ce changement n'a été décelée, car la structure classique du

document était facile à repérer. Les résultats pour le décodage des spécifications géométrique sont dans la moyenne des dernières années. Encore trop de candidat·e·s ne semblent pas avoir assimiler les notions de RS, ET et ZT et les critères d'association. On peut également regretter qu'un nombre important de candidat·e·s ne connaissent ou ne savent pas interpréter le modificateur CZ.

Partie IV : Conception

Cette partie portait sur l'étude de deux sous-systèmes du mécanisme de déploiement des ailettes. Le premier sous-système visait à séparer partiellement les ailettes de la structure du lanceur afin de transformer une liaison complète en une liaison pivot, permettant ainsi leur déploiement. En complément du schéma technique, le dimensionnement d'un élément spécifique (un goujon) était également requis. Il était en outre demandé de positionner ce système sur la fusée. Le second sous-système étudié avait pour objectif de garantir le déploiement des ailettes par l'intermédiaire d'un vérin électrique, ce dernier étant au cœur du schéma principal. Ce dessin devait aboutir à la conception du vérin électrique, en intégrant notamment la contrainte de reprise des efforts axiaux via une liaison plane à éléments roulants. Chacune des fonctions élémentaires et des contraintes associées en termes de procédé était précisée.

Le premier dessin n'a été traité que par environ deux tiers des candidat·e·s. D'après les réponses fournies, il apparaît que nombre d'entre eux·elles n'ont pas compris le fonctionnement du mécanisme Frangibolt, malgré la mise à disposition d'un document ressource spécifiquement rédigé à cet effet. Indépendamment de cela, le jury constate que très peu de candidat·e·s savent ce que représente les termes goujon ou lardon, ou du moins savent les représenter correctement. Le jury observe également que lorsque le système est atypique ou nouveau, les candidat·e·s semblent se décourager. Ce constat s'applique également au second dessin.

Le sujet précisait clairement les sous-systèmes à dessiner dans ce second dessin en explicitant les fonctions à assurer. Contrairement à l'année précédente, la difficulté résidait principalement dans le fait que certaines de ces fonctions étaient souvent localisées dans une même zone du dessin, par exemple les fonctions associées au manchon. Le jury a noté une réelle difficulté chez les candidat·e·s concernant la liaison plane par éléments roulants. Le nombre de dessins utilisant des butées à billes ou à rouleaux était très faible, et même lorsque des roulements à contact oblique étaient utilisés, les efforts transmis au manchon étaient rarement correctement repris.

Les questions intermédiaires de cette partie ont également révélé que, dans de nombreuses copies, les paliers lisses étaient en aluminium, ce qui n'est pas un matériau courant pour cette fonction. Il a également été remarqué que bon nombre de propositions comportaient des formes difficilement réalisables (voire impossible à réaliser), ou ne respectaient pas les règles essentielles de tracé pour pièces usinées.

Enfin, le jury déplore le manque de lisibilité de certains dessins, malgré la très bonne qualité de numérisation des copies. Cela provient de l'utilisation de crayons inadaptés et/ou de tracé peu appuyés.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDAT·E·S

Les conseils donnés ci-après sont similaires à ceux des années précédentes. Il est important de veiller à ce que les réponses soient rédigées avec soin, concises, tout en apportant les justifications nécessaires. Il est encore une fois conseillé aux futurs candidat·e·s de ne pas commencer la rédaction de réponses qu'ils pensent connaître sans faire une première lecture rapide du sujet, afin de prendre connaissance des problématiques dans leur globalité et comprendre la structure du sujet. Beaucoup d'éléments de compréhension, voire de réponses, sont donnés dans les documents ressources fournis. Le barème est proportionnel au temps pour traiter chacune des parties, et il est fourni à titre indicatif sur la première page du sujet.

Au-delà des démarches, formules et résultats numériques proposés, qu'ils soient corrects ou non, le raisonnement et le bon sens technique sont encore et toujours utiles. Ils permettent d'obtenir un nombre de points non négligeable. En particulier, la qualité des réponses est fortement prise en compte (détails parcimonieux). Il est fortement conseillé aux candidat·e·s de souligner les réponses (formules ou calculs) ou les parties importantes des raisonnements.

Les ordres de grandeur de longueur, de masse, de force ou de puissance sont à connaître pour éviter des résultats aberrants. Les écritures soignées, l'utilisation de couleurs en particulier pour mettre en valeur les schémas et faire ressortir les résultats, sont très appréciées. A contrario, les explications confuses, contradictoires, les raisonnements fallacieux ainsi que les fautes d'orthographe et de grammaire sont pénalisés.

Enfin, le jury souhaite rappeler que les dessins doivent être réalisés avec des crayons qui créent des tracés fermes et suffisamment épais.