

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.