

EPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES A

GEMINI : cellule hybride pour la fabrication de pièces XXL

Durée : 5 heures

PRÉSENTATION DU SUJET

Le sujet se composait :

- d'une présentation du système étudié : 5 pages ;
- du travail demandé (parties I à III : 17 pages) + 1 pages d'annexes ;
- du cahier réponses à rendre, comprenant 48 questions : 24 pages.

Il proposait d'analyser, de modéliser et de valider certaines solutions choisies pour la conception de GEMINI, une cellule hybride pour la fabrication de pièces XXL développée par la société française VLM robotics. On se concentrait en particulier sur le robot, qui avait pour particularité de mettre en mouvement de fortes charges avec une très grande précision. Les problématiques à prendre en compte dans le dimensionnement étaient donc originales, du fait des énormes actions mécaniques mises en jeu. On s'intéressait à l'architecture mécanique du système, ainsi qu'aux aspects commande et asservissement. Les différentes parties étaient indépendantes et elles-mêmes constituées de nombreuses questions qui pouvaient être traitées séparément :

- la Partie I (durée conseillée 1h45) abordait l'étude des actions mécaniques dans les axes et le dimensionnement des moteurs ;
- la Partie II (durée conseillée 45 min) s'intéressait au réducteur d'un des axes et aux déformations éventuelles de celui-ci, ainsi qu'à l'influence sur le positionnement du bras ;
- la Partie III (durée conseillée 2h15 min) se concentrait sur l'étude du contrôle du mouvement de lacet.

COMMENTAIRES GÉNÉRAUX

Le sujet sollicitait, à travers la construction d'un modèle de comportement puis l'élaboration d'une solution, un large éventail de connaissances relevant des programmes de première et de deuxième année de CPGE. Certaines questions plus ouvertes invitaient les candidats à mobiliser les compétences générales acquises en Sciences industrielles pour l'ingénieur. La structure en trois parties indépendantes offrait la possibilité de progresser sans rester bloqué sur une section particulière. Les candidats ont su tirer parti de ces points d'accès pour aborder l'ensemble du sujet, ne serait-ce que dans ses aspects les plus accessibles.

Il convient de rappeler que la simple recopie, dans le cahier de réponses, des informations fournies dans l'énoncé ne saurait donner lieu à une quelconque attribution de points. De même, une réponse se limitant à un « oui » ou un « non », sans justification ni explication de la démarche, ne peut être acceptée. Dans l'ensemble, les copies sont bien présentées. Quelques rares candidats, toutefois, utilisent le cahier de réponses comme un brouillon : certains rédigent au crayon de papier de manière presque illisible, d'autres se contentent de recopier mot pour mot l'énoncé de chaque question dans les espaces prévus.

Enfin, comme chaque année, il convient de saluer les excellents candidats qui ont su démontrer leurs remarquables aptitudes en traitant avec brio la quasi-totalité du sujet.

COMMENTAIRES SUR CHAQUE PARTIE DE L'ÉPREUVE

Partie I – Étude de la cinématique et des actions mécaniques dans le robot

Partie I.2 – Actions mécaniques à transmettre en statique

Cette première partie avait pour objectif de rentrer dans le sujet en calculant quelques ordres de grandeurs des actions mécaniques mises en jeu. Le calcul du couple à transmettre et de sa valeur maximale n'a pas posé de problème. En revanche, l'étude du frein a obtenu des résultats plus contrastés : certains candidats établissent de manière très efficace les différentes équations mises en jeu, d'autres espèrent réutiliser des formules toutes faites, sans les réadapter ne serait-ce qu'aux notations de l'énoncé. Cela peut aboutir à des ordres de grandeur des résultats complètement farfelus (plusieurs milliers de ressorts par exemple) qui ne semblent pas les questionner.

Partie I.3 – Actions mécaniques à transmettre en dynamique

On s'intéressait maintenant aux effets dynamiques pour montrer que ceux-ci n'étaient pas négligeables du fait des inerties considérables mises en jeu. Les différents calculs d'inertie, de moments cinétiques et dynamiques et de couples n'ont pas semblé poser de difficultés aux candidats, ce qui a permis à la majorité d'entre eux de conclure quant à l'importance de prendre en compte les phénomènes dynamiques.

Partie I.4 — Détermination d'une des équations du mouvement

Dans cette troisième partie, on devait déterminer une équation du mouvement. Les questions étaient suffisamment détaillées pour qu'une bonne partie des candidats arrivent à leur fin. On peut cependant regretter que beaucoup de candidats ne s'adaptent pas aux notations de l'énoncé. Les questions suivantes portaient sur la résolution numérique de l'équation du mouvement en python. Bien que la méthode d'Euler soit rappelée et il qu'il ne s'agisse que de compléter quelques lignes de codes, beaucoup de candidats ont préféré sauter cette partie.

Partie II – Étude du système contrarotatif

Partie II.1 — Influence des défauts angulaires

Dans cette partie, on s'intéressait à la précision du positionnement du système dans une configuration où les calculs restaient simples. La valeur du défaut angulaire maximal admissible a été déterminée par une majorité de candidats, qui devaient ensuite étudier un réducteur pour voir si celui-ci permettait de vérifier le cahier des charges.

Partie II.2 — Schématisation du réducteur

Dans l'étude du réducteur, les candidats étaient volontairement laissés libres de choisir la méthode de calcul et un grand nombre d'entre eux a su calculer le rapport de réduction et donc le défaut angulaire maximal admissible. L'étude de la déformation de la denture d'un engrenage, modélisée comme une poutre, a semblé déstabiliser la majorité des candidats, qui ont essayé de ressortir des formules toutes faites pour une poutre en flexion, sans même essayer d'adapter les grandeurs au problème du sujet. Cette stratégie ne rapporte évidemment pas de points.

Partie III – Modélisation du comportement de la chaîne de transmission de puissance de l'outil du robot

III.2 – Étude du bloqueur

Cette partie proposait la détermination d'un modèle simplifié d'un bloqueur d'ordre 0. Cette partie fait référence aux parties du programme ajoutées lors de la dernière réforme, parties qui concernaient des notions de base sur les asservissements numériques.

Alors que d'une part ces notions sont récentes et d'autre part que les questions de cette partie sont plus théoriques qu'à l'habitude, les pourcentages de réussite des étudiants à ces questions est similaire au pourcentage de réussite de la question 42 qui elle, a contrario, est extrêmement classique. Le jury a apprécié les efforts que les étudiants ont su réaliser sur ces nouvelles notions du programme mais déplore les très nombreuses erreurs commises sur une question élémentaire.

Le jury déplore l'incapacité de la grande majorité des candidats à transcrire sur une échelle log une courbe donnée intégralement sur une échelle linéaire (Q29).

III.3 — Étude du codeur absolu

Cette partie proposait la détermination du nombre de pistes d'un codeur absolu en fonction de l'impact de l'erreur angulaire intrinsèque à un de ses secteurs sur l'erreur de position de l'extrémité de l'outil. Cette partie très simple a été bien réussie par une majorité des candidats.

III.4 — Étude du pré-actionneur

Cette partie proposait de déterminer l'architecture du hacheur du moteur à courant continu en fonction des modes de fonctionnement de l'outil précisés dans le sujet. Cette partie relativement simple et classique a été largement abordée et plutôt bien traitée par les candidats.

III.5 — Modélisation de la chaîne de transmission de puissance

Cette partie proposait de déterminer un modèle de comportement simplifié de la chaîne de transmission de puissance de l'outil du robot à partir de l'analyse d'une courbe obtenue expérimentalement. Cette partie abordait également les problèmes de filtrage du bruit sur une courbe expérimentale en demandant aux candidats de déterminer les caractéristiques d'un filtre numérique d'ordre 2. Encore une fois, le jury trouve anormal que le pourcentage de réussite des questions concernant le filtre numérique (questions calculatoires) soit pratiquement le même que celui de la question 42 concernant l'identification des caractéristiques d'une fonction de transfert d'ordre 1 (question élémentaire qui devrait être maîtrisée par la majorité des candidats).

III.5 — Détermination des correcteurs

Cette partie a été assez peu abordée par les candidats, probablement par manque de temps. Pour le peu de candidats l'ayant abordée, les résultats sont très contrastés.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS

On conseille de nouveau aux candidats de prendre le temps de parcourir la totalité du sujet pour assimiler les

problématiques proposées ainsi que les démarches de résolution associées (une durée indicative de 30 min était donnée dans l'introduction pour découvrir le sujet dans sa globalité). Cela permet d'une part de mieux gérer le temps imparti pour l'épreuve et de prendre du recul face à la problématique et d'autre part d'avoir un parcours de réponses aux questions plus harmonieux qu'un simple picorage des questions. Des candidats développent parfois une longue démarche pour une question, avant de se rendre compte qu'ils sont en train de répondre aux questions qui suivent et de tenter une renumérotation du cahier avec force flèches et couleurs...

Les correcteurs sont sensibles aux candidats qui traitent une partie dans sa continuité, montrant alors des compétences manifestes, plutôt que des connaissances parcellaires en traitant une question par-ci par-là. En termes de rendu d'épreuve, le cahier réponses ne doit pas être utilisé comme un cahier de brouillon (la qualité de la rédaction n'entre pas explicitement dans la notation, mais elle est très appréciée des correcteurs et joue un rôle non négligeable dans l'évaluation), ni se limiter à un simple catalogue de réponses sans justifications. Les conclusions de certaines questions ne peuvent être valorisées que si le candidat précise le cheminement qui l'a amené à ces dernières.

ÉPREUVE ÉCRITE DE SCIENCES INDUSTRIELLES B
TABLE A ROULEAUX DE LIGNE DE LAMINAGE A CHAUD

Durée de l'épreuve : 6 heures.

PRÉSENTATION DU SUJET

Le sujet portait sur l'étude de modifications sur une ligne de laminage à chaud dans un contexte économique et de décarbonisation. Le sujet comportait quatre parties visant à dimensionner ou valider des solutions techniques en regard du cahier des charges fourni.

La première partie avait pour objectif de réduire la durée du déplacement des brames en comparant l'implantation existante des différents composants de la ligne avec une proposition de modification. Les différentes études menées permettaient de modéliser le contact entre un rouleau et une brame, de calculer l'accélération d'une brame, de tracer les graphes d'évolution du déplacement et de la vitesse d'une brame et d'estimer le gain de temps suite à la proposition de modification d'implantation.

La deuxième partie avait pour objectif d'étudier les nouveaux rouleaux creux d'entraînement des brames qui pourraient remplacer les rouleaux pleins actuels. Les différentes études menées permettaient de déterminer les actions mécaniques exercées par les roulements sur les rouleaux après des études statiques et dynamiques, d'identifier les sollicitations dans ces rouleaux, de calculer l'énergie nécessaire à la mise en mouvement d'une brame et d'estimer le gain dans le cas du remplacement des rouleaux pleins par des rouleaux creux.

La troisième partie avait pour objectif de choisir des composants de la chaîne cinématique et en particulier les roulements, le moteur, et l'accouplement élastique à partir d'éléments du cahier des charges.

La quatrième partie visait à dresser le bilan économique et écologique de l'étude et d'émettre des avis sur les résultats obtenus.

Les poids relatifs des différentes parties du sujet sont :

- Réduction de la durée du déplacement des brames Q1 à Q24	36%
- Etude des nouveaux rouleaux Q25 à Q40	37%
- Choix de composants Q41 à Q46	18%
- Bilan de l'étude Q47 à Q50	9%

COMMENTAIRE GÉNÉRAL SUR L'ÉPREUVE

Le sujet est structurellement long, les candidats peuvent ainsi s'exprimer sur l'ensemble de leurs compétences et montrer leur capacité à aborder un problème dans sa globalité. Une lecture complète du sujet est conseillée en début d'épreuve afin de s'imprégner de ce dernier.

Les calculatrices sont interdites. Les données sont des approximations des valeurs réelles qui rendent les applications numériques simples. Lors de l'évaluation des copies, sur certaines questions, une tolérance de quelques pourcents est appliquée sur la précision des résultats numériques obtenus.

Le sujet ne pose pas de difficulté particulière de compréhension et toutes les questions posées sont 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. Bon nombre de candidats ne les maîtrisent pas.

Les candidats ont su profiter des parties indépendantes et des questions indépendantes à l'intérieur de chaque partie. Certaines parties ou sous parties sont intégralement non traitées par certains candidats, notamment la fin de la partie 3 et la partie 4.

Le jury remarque que les candidats semblent familiers de ce format d'épreuve avec cahier réponse et cases restreintes pour écrire sa réponse. Pour chaque partie et sous partie indépendante, la démarche de résolution est très détaillée et permet de guider le candidat vers la conclusion de la sous-partie avec une difficulté progressive. Le détail des calculs et des applications numériques n'est pas demandé, de même que la plupart des justifications car la lisibilité et la clarté de la plupart des réponses avec de grands espaces d'expression n'est pas à la hauteur des attentes des correcteurs. Ainsi chaque candidat peut résoudre chaque question au brouillon et s'appliquer à donner lisiblement uniquement la réponse dans le cadre prévu à cet effet. Néanmoins, certains candidats ne respectent pas les consignes données et détaillent leurs calculs sur le document réponse au détriment de la lisibilité qui est un critère évalué. De même, certains candidats ne respectent pas les notations imposées dans le sujet, ce qui les pénalise.

ANALYSE PAR PARTIE

Réduction de la durée du déplacement des brames :

Cette partie est plutôt bien traitée et les candidats y obtiennent en moyenne plus de la moitié des points du barème. Elle se décompose en 4 sous-parties faisant appel à des savoir et des savoir-faire concernant la statique, la cinématique du point, la dynamique, le modèle de frottement de Coulomb.

Le début de la première sous-partie concernant la statique est plutôt bien traitée. Les trois quarts des candidats ont le maximum des points aux deux premières questions. Seulement la moitié cite le théorème des actions réciproques/mutuelles à la question 3 alors que 40% identifient maladroitement le principe fondamental de la dynamique. Les candidats ont des difficultés à modéliser et résoudre un problème simple de statique, seuls 10% trouvent l'expression juste à la question 5.

La deuxième sous-partie fait appel au modèle de Coulomb pour le frottement et 24% des candidats ne donnent pas la bonne relation liant le coefficient et l'angle de frottement (Q8). 55% des candidats arrivent à exprimer justement l'accélération maximale admissible de la brame (Q12) mais 10 % d'entre eux n'en déduisent pas qu'elle est indépendante de la masse de la brame (Q13).

La troisième sous-partie concerne la cinématique du point et seuls 57% des candidats savent énoncer clairement les équations du mouvement (Q14). 52% des candidats arrivent à interpréter les courbes du déplacement et de la vitesse de la brame (Q17). 20% des candidats arrivent à tracer la totalité de l'évolution du déplacement et de la vitesse de la nouvelle brame (Q23) mais 44% n'y arrivent pas du tout.

La quatrième sous-partie ne faisait réaliser qu'une soustraction entre deux valeurs données dans l'énoncé. 52% des candidats ont trouvé la bonne réponse.

Etude des nouveaux rouleaux :

Cette partie est moins bien traitée que la première et les candidats y obtiennent en moyenne un peu moins de la moitié des points du barème. Elle se décompose en 3 sous-parties faisant appel à des savoir et des savoir-faire concernant la statique, la dynamique, la résistance des matériaux, l'énergie cinétique.

La première sous-partie est également plutôt bien traitée par les candidats et il s'agissait de donner une relation permettant de déterminer le poids d'un cylindre plein. Malheureusement, 30% des candidats répondent faux ou ne répondent pas à cette question (Q25). La représentation graphique des forces et des moments sur les trois vues pose des difficultés à de très nombreux candidats.

La deuxième sous-partie concernant la résistance des matériaux était certes un peu longue, mais plus de 75% des candidats ont réussi à en tirer des points.

La troisième sous-partie est plutôt bien traitée au regard de sa position dans l'épreuve. 42% des candidats répondent juste à la question Q36 et 66% à la question Q39.

Choix de composants :

Cette partie est beaucoup moins traitée que les deux premières. 20% des candidats n'y récoltent aucun point.

Pour le choix des roulements, seuls 20% des candidats produisent des résultats acceptables dans l'expression de leur durée de vie (Q42).

Pour le choix du moteur, seuls 15% des candidats arrivent à calculer le couple maximum nécessaire (Q43).

Pour le choix de l'accouplement, 25% des candidats identifient clairement les types de défauts d'alignement, mais 37% des candidats inversent radial et axial.

Bilan de l'étude :

Cette dernière partie a quand même été abordée par de très nombreux candidats. Seuls 16% d'entre eux n'y obtiennent pas de points. Elle ne présentait pas de réelles difficultés scientifiques ou technologiques. Elle demandait des raisonnements simples et de bon sens ainsi que des applications numériques faciles. 25% des candidats obtiennent les points de la question Q48 et 30% des candidats obtiennent des points à la question Q49, avant dernière question du sujet.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDATS

Les copies sont scannées pour être corrigées alors écrire lisiblement, assez gros et avec une encre pas trop claire. Marquer suffisamment les tracés au crayon.

Lire l'ensemble du sujet en début d'épreuve afin d'aller chercher les parties dans lesquelles ils se sentent le plus à l'aise. Dans toutes les parties, des questions indépendantes peuvent être traitées.

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

Connaître et maîtriser les connaissances de base : torseur de cohésion, formules de résistance des matériaux, application du PFS, du PFD, du théorème de l'énergie cinétique...

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

ÉPREUVE ÉCRITE DE SCIENCES INDUSTRIELLES C
HYDROGÉNÉRATEUR RACING ALU
Durée de l'épreuve : 6 heures.

PRÉSENTATION DU SUJET

Le sujet proposait d'étudier l'hydrogénérateur **Racing Aluminium** de la société française **Watt & Sea**, conçu pour recharger les batteries des voiliers de course au large et d'optimiser l'autonomie énergétique.

- **Partie I (15% de la note finale)** : étude des sources d'énergie à bord et de vérification des performances de l'hydrogénérateur, étude de la chaîne de conversion et du lien entre les solutions techniques adoptées et les performances attendues en termes de traînée et de puissance disponible ;
- **Partie II (20% de la note finale)** : validation du dimensionnement de l'hydrogénérateur et plus particulièrement le système de modification de l'angle de calage des pales, ainsi que la liaison encastrement par emmanchement conique entre l'arbre d'hélice et le moyeu porte pales ;
- **Partie III (30% de la note finale)** : industrialisation de pièces du système en justifiant le besoin fonctionnel d'une spécification. Cette partie comprend les spécifications géométriques et dimensionnelles, le choix du couple matériau/procédé, ainsi que les procédés d'usinage, de fonderie et une gamme de métrologie ;
- **Partie IV (35% de la note finale)** : conception de la liaison pivot de l'arbre d'hélice, la transformation de mouvement pour le calage des pales ainsi que la liaison pivot du mâtèreau pour retirer l'hydrogénérateur de l'eau (concevoir une pièce en optimisant le triptyque produit-procédés-matériaux, concevoir et dimensionner une liaison mécanique).

COMMENTAIRES GÉNÉRAUX

Cette épreuve a pour objectif d'évaluer les compétences des candidat·e·s en sciences industrielles de l'ingénieur·e, en particulier l'analyse d'un système industriel, la conception d'un sous-système mécanique et son industrialisation. Elle porte principalement sur l'étude et la vérification des performances d'un système ou d'un sous-système à partir de représentations et de modélisations (dessins de définition, modèles analytiques, schémas cinématiques).

Les énoncés et ressources fournis étaient rédigés de manière à garantir, sous réserve d'une lecture attentive, une bonne compréhension du système étudié.

Le sujet portait sur un système plus simple que ceux des années précédentes du point de vue mécanique et technologique. Cependant, les questions et les solutions attendues demandaient aux candidat·e·s de proposer des approches moins classiques et moins directement connues.

La moyenne de l'épreuve se situe entre celles des deux sessions précédentes. L'écart-type, comparable à celui observé en 2023 et 2024, a permis à l'épreuve de remplir son rôle en classant efficacement les candidat·e·s.

COMMENTAIRES PAR PARTIE

Partie I : Énergie à bord et performances de l'hydrogénérateur

Cette première partie avait pour objectif de mettre en évidence l'intérêt d'un hydrogénérateur en complément des sources plus classiques (diesel et photovoltaïque) pour assurer l'autonomie électrique lors d'une course au large. Elle abordait notamment la question de la production d'énergie

et des masses embarquées au départ. Comme dans le sujet de la session 2023, il était demandé de dimensionner une batterie en fonction d'une autonomie visée, sur la base d'une consommation journalière moyenne — une problématique récurrente dans la conception de systèmes autonomes.

En confrontant l'analyse théorique de la puissance théoriquement récupérable par l'hélice à des données expérimentales, les candidat-e-s devaient formuler des hypothèses expliquant l'écart entre modèle et réalité, et justifier ainsi l'intérêt d'un système de calage variable des pales de l'hydrogénérateur dans un contexte de compétition à la voile.

Bien que cette partie ait été globalement la mieux traitée, plusieurs points restent à améliorer. Il convient d'abord de conserver un regard critique sur les résultats numériques et, en particulier, sur les ordres de grandeur obtenus (par exemple : une batterie constituée de plusieurs milliers de cellules, une masse de diesel embarquée en millions de tonnes, ou encore un temps de charge supérieur à la durée de la course). La remise en question d'un résultat manifestement aberrant est valorisée dans le cadre du concours, même si le temps manque parfois pour reprendre le calcul.

De plus, lorsqu'une équation fournie doit être démontrée, il est inutile de vouloir à tout prix l'obtenir en remettant parfois en cause les lois fondamentales de la physique. Si l'équation est mise à disposition pour la suite du sujet, il vaut mieux renoncer à une démonstration incertaine plutôt que de tenter de contourner la vigilance des correcteurs : ces tentatives, rarement convaincantes, nuisent à la qualité globale de la copie et entraînent une sanction (malus).

Partie II : Validation du dimensionnement de l'hydrogénérateur

Cette partie, qui pouvait sembler relativement simple pour la majorité des questions, est paradoxalement celle qui a été le moins bien réussie. Elle portait, d'une part, sur le dimensionnement du vérin simple effet de calage des pales, via la détermination du ressort de rappel assurant le maintien en production en cas de panne du système hydraulique de commande. D'autre part, il s'agissait de vérifier le dimensionnement de la liaison par emmanchement conique entre l'hélice et l'arbre de la génératrice.

Le calcul de la course du vérin a constitué une difficulté majeure : seuls 25 % des candidat-e-s ont totalement réussi cette question, tandis que plus de 70 % ne l'ont pas traitée ou s'y sont trompés, principalement en raison d'erreurs de trigonométrie. En revanche, le calcul de l'effort maximal exercé par le vérin a été correctement mené dans la majorité des copies.

Par ailleurs, plus de la moitié des candidat-e-s n'ont pas su justifier le choix d'un vérin simple effet ; seule une infime minorité (moins de 2%) a su le faire et proposer un pré-actionneur associé. L'immense majorité ignorait ce qu'est un pré-actionneur, et certaines copies ont même présenté des réponses étonnamment inventives.

Pour guider la modélisation, le sujet imposait de représenter graphiquement les actions mécaniques exercées sur la pale, afin d'appliquer ensuite un PFS et déterminer l'effort produit par le ressort de rappel. Or, seuls 12 % des candidat-e-s ont fourni un bilan des actions correct, et 7 % une résolution juste. Beaucoup ont omis les actions mécaniques dans la liaison pivot, ou se sont contentés d'écrire le théorème de la résultante statique, solution possible uniquement en cas d'oubli des actions dans le pivot. Malgré la valeur fournie de l'effort exercé par le piston sur la pale, seuls 7 % ont calculé l'effort correspondant du ressort, et plus de la moitié n'ont pas pris en compte la présence des trois pales de l'hélice.

Le calcul de l'emmanchement conique a été correctement traité dans moins de 1 % des cas, et globalement mal ou pas du tout dans 85 % des copies. De plus, près des trois quarts (73 %) des candidat·e·s n'ont pas identifié la traction comme sollicitation principale de l'assemblage vissé. Moins de 2 % ont répondu correctement à l'ensemble de la question.

En conclusion, cette partie ne comportait aucune difficulté théorique particulière et mobilisait des notions fondamentales de mécanique qui devraient être maîtrisées. La principale difficulté résidait dans la capacité à établir un modèle pertinent associé au système réel. Trop peu de candidat·e·s ont pris le temps de réaliser des schémas pour poser clairement les problèmes. Une analyse systématique des surfaces fonctionnelles aurait sans doute permis une meilleure réussite dans cette partie de l'épreuve.

Partie III : Industrialisation de pièces de l'hydrogénérateur

Cette partie débutait par des questions relatives aux procédés « non usuels » (pliage, extrusion), destinées à évaluer les connaissances générales des candidat·e·s en dehors de la fonderie et de l'usinage. Le constat est sans appel : elles se révèlent très faibles. Sans exiger une expertise approfondie sur l'ensemble des procédés, il paraît néanmoins essentiel de maîtriser un minimum de connaissances sur ceux qui représentent un volume important de produits industriellement, comme le pliage et l'extrusion dans cette session. Suivaient ensuite des questions plus classiques sur la fonderie et l'usinage. Hormis la question de cours sur la fonderie au sable, l'ensemble a été globalement mal traité. À titre d'exemple, la géométrie des deux demi-moules, abordée par 90 % des candidat·e·s, n'a été parfaitement réussie que dans 4 % des cas et n'a donné aucun point dans 47 % des copies. Des résultats similaires ont été observés pour la question sur les défauts de fonderie, rédigée volontairement sous forme de tableau avec zones d'intérêt afin d'éviter des réponses mécaniques de type liste sans lien avec la pièce étudiée.

L'épreuve se poursuivait avec une analyse des spécifications géométriques. Le défaut de forme n'est bien maîtrisé que par une minorité (8 % de réponses correctes contre 53 % fausses ou non traitées). Les deux autres spécifications ont été mieux abordées. Toutefois, il n'est pas rare de constater des réponses issues directement du cours, sans réelle adaptation au contexte de la pièce étudiée (par exemple, traiter une localisation sur un groupe de perçages ou un défaut de planéité appliqué à un cône). L'analyse des exigences fonctionnelles associées aux spécifications, ainsi que le choix du système de référence, n'a été que très peu traitée, avec des taux de réussite très faibles (respectivement 7,5 % et 4,5 %).

Enfin, la dernière partie portait sur l'industrialisation des moyeux porte pales, en abordant à la fois les problématiques d'usinage et le contrôle métrologique des spécifications. Les résultats mettent en évidence des compétences très limitées dans ces domaines, qui devraient manifestement être davantage intégrés à la formation des candidat·e·s. Les questions relatives à l'usinage (cinématique minimale, mise en position, critique d'une gamme de fabrication) et à la métrologie, pourtant évaluées à hauteur de 15 % de la note finale, figurent parmi les moins traitées : selon les questions, entre 25 % et 65 % des candidat·e·s ont choisi de ne pas y répondre, et moins de 10 % des réponses fournies se sont révélées satisfaisantes.

Partie IV : Conception du système de calage des pales

Deux systèmes indépendants étaient à concevoir.

Le premier portait sur la conception d'un pivot par interposition de bagues de frottement. Il était relativement simple de proposer un pivot fonctionnel et montable, ce que seule environ un tiers des

solutions proposées a réussi. En revanche, la prise en compte des contraintes imposées a été moins bien réalisée, 60 % des conceptions n'ayant pas obtenu les points associés. À noter, et contrairement aux sessions précédentes, que 10 % des candidat·e·s ont rendu une copie blanche sur cette partie.

Le second système, plus complet, demandait la conception d'un montage de roulement capable d'encaisser les efforts axiaux tout en assurant l'étanchéité statique et dynamique de la zone, ainsi que la définition partielle du vérin étudié dans la partie II. Quand une solution a été produite, il n'était pas rare d'avoir un montage de roulement en porte-à-faux (les deux roulements à gauche de la génératrice). Bien que non satisfaisant, les points associés au choix des éléments roulants et aux arrêts axiaux étaient accordés. L'étanchéité a été globalement bien traitée. La partie ressort de rappel, mise en place de la butée et maintien de l'ogive est réussie dans nombre de copies. La définition de la forme et l'étanchéité du piston l'a été beaucoup moins.

Globalement, il est souhaitable que les conceptions soient réalisées avec des traits appuyés pour faciliter la correction. De nombreuses copies ont été difficile à corriger.

CONSEILS AUX FUTURS CANDIDAT·E·S

Les recommandations qui suivent reprennent celles formulées lors des sessions précédentes. Le jury constate encore trop souvent un manque de soin dans la rédaction, l'organisation et la justification des réponses. Il est donc vivement conseillé aux candidat·e·s de commencer par une lecture rapide du sujet afin d'en saisir la logique d'ensemble et la structure, plutôt que de répondre directement aux questions supposées connues. Les documents ressources contiennent de nombreux éléments utiles à la compréhension et parfois même des éléments de réponse. Comme les différentes parties sont indépendantes, elles peuvent être traitées dans l'ordre jugé le plus pertinent, à condition d'avoir en tête cette vision globale. Le barème, indiqué sur la première page, est calibré en fonction du temps nécessaire à chaque partie.

Au-delà de la justesse des calculs ou des résultats numériques, le raisonnement, le bon sens technique et la qualité des explications sont des critères déterminants dans l'évaluation. Les réponses doivent être claires, cohérentes et systématiquement justifiées, même brièvement. Il est fortement conseillé de mettre en évidence les résultats (formules, calculs, conclusions) afin de faciliter la lecture. La maîtrise des ordres de grandeur (longueur, masse, force, puissance) est indispensable pour éviter des résultats incohérents.

Enfin, une présentation soignée est attendue : écritures lisibles, usage pertinent des couleurs pour mettre en valeur schémas et résultats. À l'inverse, les fautes répétées, les raisonnements confus ou contradictoires, ainsi que les tracés imprécis ou réalisés sans fermeté sont sanctionnés.