

**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.