

Concours PSI X-Inter ENS 2022

—

Rapport de l'épreuve écrite de Sciences Industrielles pour l'Ingénieur (SII)

Présentation du sujet

Le sujet proposé portait sur un gyrostabilisateur de bateau de l'entreprise Seakeeper. Cette entreprise propose une large gamme de produits pouvant stabiliser des bateaux de petite taille jusqu'à des navires de plusieurs dizaines de mètres. La connaissance du principe gyroscopique n'était pas nécessaire pour aborder le sujet.

Le sujet d'une durée de 5h permettait d'évaluer la maîtrise des connaissances et des compétences d'une très grande partie du programme de Sciences Industrielles de la filière PSI, à l'exception du domaine séquentiel pour lequel le support, cette année, était peu pertinent. Le sujet comportait cinq grandes parties. Comme souvent ces parties étaient indépendantes, avec des questions pouvant aussi être indépendantes à l'intérieur de chaque partie. Il était cependant conseillé de traiter les parties et les questions dans l'ordre pour bénéficier du contexte et champ culturel technologique introduit progressivement.

Une partie introductive permettait au candidat de se familiariser avec le contexte du sujet, en s'appropriant trois moyens de stabiliser un bateau et en faisant un comparatif entre ces trois moyens dont les principes physiques décrits dans le sujet sont très différents.

La première partie proposait d'étudier la mise en place du système stabilisateur sur le bateau. La fixation sur le bateau est un point important puisque la liaison est très fortement sollicitée. Les différents modèles proposés étaient hyperstatiques (voire très fortement hyperstatiques) et la procédure de montage décrite dans le sujet montrait comment le constructeur a tenu compte de cette problématique. Cette partie était très classique.

La deuxième partie du sujet s'intéressait au volant d'inertie qui constitue la pièce « centrale » du système. Trois études étaient menées : la détermination de l'inertie du volant, la motorisation de la rotation du volant, et l'asservissement en rotation de cette vitesse de rotation. Énergétiquement, le volant de près d'une tonne possède une énergie cinétique dont le sujet permettait d'appréhender l'importance en la comparant à l'énergie stockée dans des batteries. Sans surprise, l'asservissement de la vitesse de rotation de ce volant était relativement simple une fois le régime établi, puisque l'inertie confère à la vitesse de rotation une stabilité remarquable. C'est évidemment une difficulté abordée par le sujet lors du lancement en rotation du volant. Les problématiques d'asservissement abordées ici étaient très classiques pour des étudiants de PSI : simplifications par le pôle dominant, écarts statiques, tracés de diagramme de Bode, et étude d'un correcteur à avance de phase.

La troisième partie donnait matière à évaluer les pertes énergétiques dues à la technologie de guidage en rotation du volant d'inertie. Les pertes dans les roulements à billes étaient les premières étudiées dans cette partie. Elles sont essentiellement dues au phénomène de résistance au roulement, et permettaient au candidat de se mettre en valeur sur une étude statique lors de l'évaluation des

actions mécaniques dans les roulements à billes puis en évaluant le couple et la puissance résistante globale sur l'arbre moteur. La deuxième source de pertes évaluée était celle de la résistance à l'air d'une bille. Le modèle donné permettait d'identifier que ces pertes sont globalement faibles par rapport aux autres. Enfin en évaluant les pertes dues au cisaillement de l'air entre le volant et la chambre de protection, les candidats comprenaient l'intérêt du constructeur de réaliser le « vide » d'air dans cette chambre de protection malgré les contraintes et les difficultés technologiques rencontrées. Cette partie comportait de nombreuses questions indépendantes mais relativement discriminantes.

La quatrième partie permettait d'aborder la maîtrise de l'angle de précession de la chambre du volant d'inertie. En faisant appel à une étude statique, une étude hydraulique en circuit fermé et une étude énergétique, cette partie commençait en évaluant les performances du frein hydraulique du gyrostabilisateur. La seconde moitié de cette partie s'intéressait à la maîtrise de l'angle de précession pour l'adapter aux conditions de mer. L'objectif est de laisser la chambre suffisamment libre de ses mouvements pour qu'elle contribue à la stabilisation du bateau tout en essayant de garder le volant d'inertie autour d'une position moyenne verticale et en limitant l'amplitude maximale de ses mouvements pour ne pas dépasser des butées physiques. Les contraintes de régulation et le nombre de paramètres à gérer sont très importants ce qui nécessite de faire de nombreux compromis. Cette partie nécessitait une très bonne maîtrise de l'asservissement puisqu'elle abordait entre autres les limites du champ d'application des systèmes linéaires continus et invariants.

Enfin la cinquième partie s'intéressait à l'effet gyroscopique proprement dit. Les premières questions abordaient la démarche et les hypothèses avant d'entrer dans la partie de mise en œuvre des calculs qui nécessitait une très bonne capacité calculatoire pour obtenir des résultats cohérents. Cette partie, tant au niveau de la démarche qu'au niveau des calculs, demandait une grande maîtrise du domaine de la mécanique.

Une conclusion permettait enfin au candidat d'identifier les points clefs du sujet pour proposer une adaptation du système de gyrostabilisation pour un bateau plus petit. Cette partie nécessitait d'avoir abordé l'ensemble du sujet et d'être capable de jauger l'influence relative de tous les paramètres pour identifier les phénomènes prépondérants et proposer une démarche cohérente d'adaptation.

Le sujet comportait des questions élémentaires, c'est-à-dire de bon sens ou ne faisant intervenir qu'un élément à la fois, et d'autres questions plus intégrantes, c'est-à-dire nécessitant la maîtrise d'une démarche rigoureuse, de plusieurs notions, ou de plusieurs paramètres contradictoires. Le niveau de ce concours nécessite une maîtrise en sciences industrielles permettant certes d'aborder des questions élémentaires avec efficacité mais aussi une maîtrise plus globale qui permet d'intégrer les notions de produit dans son ensemble. Les questions intégrantes, souvent discriminantes, permettent d'apprécier les qualités des meilleurs candidats.

Analyse des prestations & recommandations du jury

La moyenne de l'épreuve est de 9,59/20, avec un écart-type de 3,48. Les candidats

qui obtiennent de bons résultats à cette épreuve développent leurs compétences sur tous les domaines du programme de Sciences Industrielles. A contrario, le jury observe malheureusement que certains candidats ne sont capables de traiter que certains points particuliers du programme.

Le jury formule les remarques et conseils suivants :

- Un nombre non négligeable, supérieur aux années précédentes, de copies peu soignées et difficilement lisibles a été observé. Ces copies, dans lesquelles l'information est difficilement trouvable, ne permettent pas de valoriser le contenu et la qualité des candidats ; elles mènent donc à une perte dommageable de points. Aussi, la qualité des schémas (utiles pour répondre à plusieurs questions) a été globalement faible.
- Une démarche posée proprement mène généralement à un résultat juste, c'est donc une approche à privilégier. Souvent, un manque de rigueur scientifique est observé dans la construction des réponses. Les théorèmes/principes sont alors mal énoncés ou incomplets, avec une réponse donnée de façon textuelle sans aucune justification scientifique. Aussi, quand les théorèmes sont connus, ils sont très rarement utilisés correctement sur des applications concrètes. Enfin, négliger la rigueur au profit de la rapidité, en apportant des réponses sans justification à toutes les questions du sujet, n'est évidemment pas une bonne stratégie.
- Le jury a noté avec étonnement de grosses lacunes, pour une grande partie des candidats, sur des notions de base du programme : analyse de liaison équivalente, bilan d'énergie, isolement d'un ensemble de solides et bilan d'efforts, inertie d'un solide, analyse d'hyperstatisme, etc. Ces lacunes ont fortement pénalisé les candidats dans leurs analyses et leurs raisonnements. Elles montrent que certains fondamentaux ne sont pas acquis par une grande majorité des candidats, et qu'il faut donc accentuer les apprentissages sur ceux-ci et ne pas s'éparpiller.
- Des résultats intermédiaires sont donnés pour aider les candidats dans le traitement du sujet, et non pas pour essayer de récupérer des points par des démarches sans raisonnement scientifique cohérent voire malhonnêtes visant à retrouver ces résultats à tout prix. Les candidats qui se sont prêtés à ce genre de démarche, loin de ce qu'on peut attendre d'un futur ingénieur ou chercheur, ont été sanctionnés.
- Les applications numériques restent très souvent erronées (sans remise en cause du mauvais ordre de grandeur, non-homogènes en terme d'unités, voire sans unité). Le jury invite les futurs candidats à porter plus d'attention sur ces applications numériques car elles représentent souvent le point final d'une étude de validation de performance, permettant de conclure, et sont donc largement valorisées dans la notation. Un effort de contextualisation, pour apprécier un ordre de grandeur cohérent (pour les puissances, les degrés d'hyperstatisme, les efforts et vitesses mis en jeu...), serait un vrai bénéfice pour la formation des candidats et la perspicacité de leur raisonnement.