

Épreuve de Modélisation - Rapport de jury

Présentation générale

L'épreuve de modélisation, d'une durée de 5 heures, a porté cette année sur l'étude d'un véhicule sous-marin autonome. Le sujet s'appuyait sur des connaissances et des compétences de disciplines complémentaires comme l'informatique, les mathématiques, les sciences de l'ingénieur et les sciences physiques. Cette association, constituant l'originalité et la caractéristique de l'épreuve de modélisation, permet aux candidats d'exprimer leur esprit de synthèse et la transversalité de leurs savoirs en vue de leur poursuite d'étude au sein de l'École Polytechnique ou des Écoles Normales Supérieures.

Le sujet comportait cinq parties indépendantes, couvrant des thématiques très variées et proposant la modélisation d'éléments clefs dans le contrôle de la position et de l'attitude du véhicule sous-marin.

La 1^{ère} partie consistait à présenter les enjeux liés aux drones sous-marins ainsi que les différents objectifs de l'étude proposée. La genèse des drones sous-marins est marquée par des applications militaires telles que le déminage. Il était demandé aux candidats de donner des exemples concrets pour une application civile du drone.

La 2^{ème} partie permettait la modélisation du comportement dynamique du drone. Dans un premier temps, le sujet abordait les notions de repère fixe et de repère local, permettant d'exprimer les variables d'état de position et d'attitude du drone ainsi que les variables de vitesses associées au repère local. Ensuite, une approche des caractéristiques inertielles était développée afin d'obtenir le système d'équations différentielles reliant les variables d'état de vitesse aux actions mécaniques extérieures aux drones.

La 3^{ème} partie abordait la modélisation des actions mécaniques extérieures s'exerçant sur le drone. La modélisation du milieu sous-marin étant complexe, une étude dans des conditions stables était proposée. Les phénomènes modélisés se superposaient et tout changement des conditions était considéré comme une perturbation. Les actions de l'eau sur le drone étaient alors séparées en trois contributions, une contribution hydrostatique ajoutée au poids du drone, une contribution inertielle et une contribution visqueuse. Puis, les actions mécaniques de la propulsion et des gouvernes étaient étudiées pour déterminer leur impact sur le comportement.

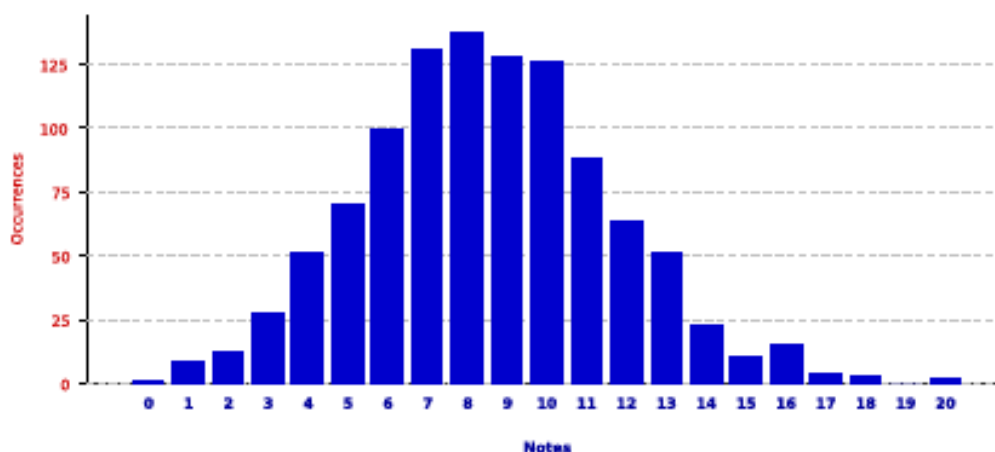
La 4^{ème} partie permettait d'identifier les coefficients hydrodynamiques du modèle d'actions mécaniques visqueuses étudiées dans la partie précédente. À partir des essais dans un bassin de carène, une démarche de traitement des données était présentée. Les fonctions programmées sous le langage Python permettaient de filtrer et d'identifier les coefficients hydrodynamiques minimisant les écarts entre les expériences et le modèle.

Dans la 5^{ème} partie, l'estimation de l'orientation, de la vitesse et de la position du véhicule était présentée. À partir des informations acquises par les différents capteurs du drone, il fallait estimer, en temps réel, les grandeurs liées à la position et l'attitude du drone. La notion d'observateur était également abordée.

Remarques statistiques

1294 candidats sont inscrits pour cette épreuve et 1049 candidats ont composé sur cette épreuve de modélisation. Dans l'ensemble, toutes les parties ont été abordées par les candidats. L'indépendance des différentes parties ainsi que les différentes thématiques proposées ont permis aux candidats de poursuivre l'épreuve sans être bloqués prématurément.

Les notes sont correctement réparties et montrent un minimum de 0,4/20 et un maximum de 20/20. La moyenne est de 09/20 pour un écart type de 3,1. La répartition des notes sur toute la plage de notation montre la capacité de cette épreuve à évaluer les candidats disposant des compétences recherchées par le concours.



Commentaires généraux

Les correcteurs restent sensibles à la qualité de la présentation et la clarté des explications. Cet aspect est pris en compte dans la note finale. Le jury constate une forte dégradation de la présentation cette année ; étonnamment, le jury relève des copies mal présentées dans lesquelles aucun résultat n'est mis en valeur, des réponses non argumentées et des fautes d'orthographe trop nombreuses. Le jury regrette également que quelques candidats s'évertuent à enchaîner les questions sans même les numéroter, à faire ressortir les points essentiels ou à rendre une copie avec des ratures à chaque page. Ces candidats ont été pénalisés.

Certes le résultat final est important mais la démarche pour y parvenir l'est tout autant. Il faut en particulier bien insister sur les théorèmes utilisés, les hypothèses émises et les bilans effectués. Le jury a observé que les erreurs d'homogénéité, d'unités, d'ordres de grandeur, ... sont persistantes et restent bien trop présentes.

Commentaires détaillés des questions

1^{ère} Partie

Cette question est réussie dans l'ensemble. Quelques candidats proposent des solutions non réalistes pour des drones sous-marins comme le transport de marchandises.

2^{ème} Partie

Les premières questions permettaient de déterminer les matrices de passage pour passer de la base fixe à la base mobile ainsi que les équations reliant les paramètres d'état de position avec les paramètres de vitesses. Au niveau des matrices des passages, le jury relève des erreurs sur le sens de la rotation et donc un écart entre la matrice de passage et sa transposée. Les candidats ont été perturbés par la notation sous forme de vecteur d'état et ont eu des difficultés à établir, pour un modèle cinématiquement plan, le système d'équations différentielles reliant la position à la vitesse.

La question numéro 6 a été bien traitée mais il existe toujours des difficultés dans le calcul numérique et des arrondis grossiers (il faut garder au moins 2 chiffres significatifs, 121 ne peut être pris égal à 100). Le jury a été surpris que des candidats confondent toujours le périmètre du cercle avec la surface du disque mais aussi que la poussée d'Archimède et la pression de l'eau sur le drone soient considérées comme des phénomènes différents. L'équilibre du drone a été bien traité avec des efforts pour réaliser des schémas clairs qui ont été appréciés. Cependant, beaucoup de candidats ont oublié de traiter la stabilité des positions d'équilibre trouvées. Le sujet ne donnait pas d'information sur la répartition des masses du drone et beaucoup de candidats ont considéré que le drone avait une masse volumique homogène, ce qui n'est pas possible. Il est important de pouvoir justifier toutes les hypothèses que l'on formule. Les questions portant sur le calcul de dynamique ont été traitées correctement avec quelques erreurs classiques comme l'oubli de la masse pour le calcul du moment dynamique ou des erreurs de signes qui ont été sanctionnées. Par contre, les candidats ont toujours une difficulté à écrire le système sous forme matricielle avec les vecteurs d'état.

3^{ème} partie

Dans cette partie, les candidats devaient justifier des hypothèses associées à différentes équations ou représentations, reconnaître les différents phénomènes des actions mécaniques de l'eau sur le drone. Le jury constate des difficultés d'analyse et de synthèse des modèles proposés. Par exemple, si dans un premier temps les différentes actions de l'eau sont identifiées, elles sont omises dans les hypothèses à formuler pour l'intégration locale de la quantité de mouvement. Si les différents modèles locaux des effets visqueux sont connus et cités, peu de candidats ont abordé le modèle proposé par une approche globale et expérimentale pour déterminer le comportement. Les candidats n'ont pas majoritairement traité les actions mécaniques exercées au niveau des commandes. Parmi ces candidats, peu ont remarqué que l'effet de portance des gouvernes permettait de lutter contre le couple exercé par l'hélice. Une mauvaise compréhension des questions a conduit parfois à des développements très longs et donc très coûteux pour trouver une solution non demandée. Une analyse globale et une simple preuve d'existence était plus rapide et suffisante.

4^{ème} partie

La 4^{ème} partie concernait l'exploitation de données de mesure sous un environnement python. Dans l'ensemble, cette partie a été souvent abordée et mieux réussie que les années précédentes. La diversité des algorithmes proposés montre une plus grande aisance de l'ensemble des candidats dans la programmation sous Python. Le jury est satisfait de cette tendance. De rares candidats n'ont pas su donner l'équation différentielle d'ordre 1 ou se sont trompés sur la lecture du signal apparent. La programmation de la fonction « filtre1 » est réussie dans l'ensemble, les erreurs proviennent d'une mauvaise initialisation ou d'un décalage d'indice. Les autres erreurs rencontrées sont surtout dues à une mauvaise compréhension des types des arguments d'entrée. La fonction « poids » n'a souvent pas été abordée et la manipulation des indices fut très délicate pour les candidats.

5^{ème} partie

Cette partie concernait la notion d'observateur liée à l'acquisition des informations. Le jury a noté une certaine précipitation et une recherche de points dans la dernière heure. Dans cette partie, cette stratégie a desservi les candidats ; leurs réponses étaient souvent bâclées. Les candidats ayant traité quelques questions avec une rédaction claire et précise ont mieux réussi que les candidats répondant mal à toutes les questions.

Le jury note également que les candidats ont des difficultés à synthétiser leurs connaissances. Par exemple, « le champ magnétique terrestre est faible » n'est pas une justification suffisante, il faut préciser dans ce cas sa faiblesse par rapport au champ magnétique de l'électronique embarquée. Les candidats ont également perdu du temps à re démontrer la stabilité des équations différentielles d'ordre 2, il suffisait de regarder juste les signes des coefficients. Les questions concernant la lecture ou l'écriture des schémas blocs ont été réussies par les candidats.

Conclusion

Le sujet et le thème retenu ont permis de sélectionner les candidats sur une problématique de type industriel faisant appel à des connaissances larges dans diverses disciplines. Ces compétences seront importantes pour les candidats dans leur formation d'ingénieur, d'enseignant ou de chercheur dans les Écoles Normales Supérieures et à l'École Polytechnique. Cette épreuve permet de classer pertinemment les candidats et d'évaluer des compétences transverses.

Le jury recommande aux futurs candidats de bien lire les remarques des rapports, chaque année, afin d'aborder dans les meilleures conditions les prochaines épreuves.