TSI

CONCOURS COMMUN INP
RAPPORT DE L'ÉPREUVE ÉCRITE
MODÉLISATION
Session 2026

1/ PRÉSENTATION DU SUJET

Stabilisation d'un robot serpentiforme

Le sujet portait sur la modélisation et la stabilisation d'un robot Natrix, dont la cinématique s'inspire de celle des serpents d'eau. Il était composé de trois parties indépendantes.

- La **première partie** proposait de modéliser la géométrie du robot et d'étudier le problème de stabilité du flotteur.
- La **seconde partie** abordait la modélisation géométrique des configurations du robot.
- Enfin, la **troisième partie** traitait la stabilisation du roulis.

Le sujet, volontairement assez long, offrait un riche panel de questions de difficultés variées permettant à chaque candidat de choisir celles qui lui convenaient. Ainsi, si les moins à l'aise se sont limités aux questions les plus accessibles, certains ont traité correctement l'intégralité ou presque des questions, ce qui a favorisé un bon étalement des notes.

En mathématiques, une grande partie du programme de TSI des deux années était couverte : séries de Fourier, matrices orthogonales, étude de fonctions, équations différentielles linéaires, trigonométrie, algèbre linéaire, réduction, etc., permettant ainsi à chaque candidat de s'exprimer.

Bien que parfois technique, le sujet était assez peu calculatoire, à condition de faire preuve d'efficacité. Il valorisait significativement les candidats ayant une bonne connaissance de leur cours. Cependant, il est rappelé qu'il est essentiel de commenter et d'argumenter les calculs (par exemple, en justifiant l'utilisation de la parité d'une fonction ou la forme d'une solution suggérée, etc.), surtout lorsque le résultat est donné. Il est surprenant de constater que certains parviennent au résultat attendu en partant d'une hypothèse erronée, ce qui ne trompe personne.

Un niveau de rédaction très insuffisant a été observé chez de nombreux candidats, en particulier sur les questions relevant du programme de Sciences Industrielles de l'Ingénieur. Il est souhaitable que chaque réponse soit correctement rédigée, c'est-à-dire de manière précise et rigoureuse, et non sous la forme d'une simple proposition de formule ou d'une suite d'égalités mathématiques. Les détails des raisonnements doivent être explicités pour permettre aux correcteurs de comprendre ce que le candidat fait ou tente de faire.
Par ailleurs, il est recommandé de toujours vérifier l'homogénéité et la cohérence des résultats avant de les encadrer, puis de poursuivre la composition.

Enfin, il est important de rappeler qu'aucune contradiction dans la réponse à une question ne peut être tolérée, même si le " bon " résultat est noté. De même, les locutions impératives du type « il y a forcément » ou « on voit bien que » n'ont pas leur place dans une composition scientifique. Il est donc vivement conseillé d'utiliser des arguments rationnels.

2/ REMARQUES GÉNÉRALES

Erreurs les plus fréquentes

Les correcteurs regrettent que la rédaction de nombreuses copies soit trop succincte, avec notamment peu ou pas de justifications. Ils déplorent également un nombre important de réponses qui semblent automatiques, sans apport scientifique ni démonstration rigoureuse.

Remarques sur le sujet, le texte et sa compréhension

Le sujet, très long (52 questions en 3 heures), a été globalement traité trop rapidement par les candidats de niveau moyen.
La compréhension des questions n'a manifestement pas posé de difficulté. Les correcteurs regrettent cependant que les questions un peu plus complexes ou exigeant davantage d'initiative sur les hypothèses aient été globalement peu abordées.

Problèmes ou difficultés rencontrés lors de la correction

Aucun problème particulier à signaler.

Bilan

Le niveau des compositions est très hétérogène, avec un nombre très important de copies de niveau ou de volume insuffisants. Cette session semble marquée par un recours systématique à des " formules ", des " recettes " de cours ou des automatismes mal restitués. Par ailleurs, un nombre important de candidats confondent des parties distinctes du cours (cinématique/dynamique/statique) et retiennent de manière erronée des résultats classiques.

3/ REMARQUES SPÉCIFIQUES

Partie I - Modélisation et stabilisation d'un flotteur

Q1. De nombreux candidats on fait appel à un théorème : une fonction continue et périodique sur $\mathbb{R}$ est bornée. Ceux et celles qui ont tenté de le démontrer l'ont généralement bien réussi et ont obtenu tous les points.

Q2. Beaucoup de candidats ont oublié le coefficient a_0. Il est dommage de constater que de nombreuses réponses utilisaient des notations différentes de celles de l'énoncé.

Q3. Une question souvent réussie.

Q4. Une question bien réussie.

Q5. Une question de cours très mal réussie. Les hypothèses n'ont pas souvent été correctement données, et dans de nombreuses copies, la conclusion n'évoquait même pas une notion de limite.

Q6. Cette question a été peu traitée et souvent mal abordée, probablement en raison d'une mauvaise compréhension. Il était inutile de mentionner des algorithmes d'IA qui ne sauraient répondre au problème posé.

Q7. Globalement bien traitée, même si pour cette question :

- peu de copies mentionnaient le fait que les plans de symétrie sont orthogonaux, matériels et géométriques ;
- beaucoup de candidats ont inventé une symétrie de révolution qui n'existe pas ;
- les correcteurs ont observé de nombreuses confusions entre axe de symétrie et plan de symétrie ;
- certains candidats ont rappelé la définition d'une matrice diagonale (…) ;
- beaucoup d'arguments absurdes étaient basés sur la parité de la fonction R_e.

Q8. Pour cette question :

- peu de candidats ont justifié les hypothèses, effectué un bilan exhaustif des actions mécaniques ;
- le théorème utilisé n'est pas systématiquement cité et souvent aucune équation de moment n'a été donnée ;
- bien que le point G ait été ici imposé, toutes les équations de moment n'ont pas été écrites en ce point ;
- les correcteurs regrettent que beaucoup ne connaissent pas la formule de changement de point ;
- il a été relevé sur de nombreuses copies des confusions sur les notations avec des taux de rotation pour calculer le moment d'une action mécanique ;
- certains ont étudié la situation " stable ", qui ne présente pas de moment de basculement ;
- très peu de démonstrations correctes ont été proposées, et beaucoup d'explications qualitatives étaient insuffisantes, avec un manque d'analyse des résultats trouvés, même lorsqu'ils étaient justes.

Q9. Question facile, assez bien traitée. Les notions d'équilibres stable et instable semblent comprises par la plupart.

Q10. Pour cette question :

- comme pour la question **Q7**, beaucoup de candidats ont inventé une symétrie de révolution qui n'existe pas ;
- les correcteurs ont observé des confusions entre axes de symétrie, axe de symétrie de révolution et plans de symétrie ;
- un axe de symétrie est un axe principal d'inertie, c'est-à-dire qu'il diagonalise la matrice d'inertie, mais cela ne suffit pas, à lui seul, à justifier une matrice diagonale. Un axe de symétrie de révolution pour un solide signifie que sa géométrie ainsi que sa répartition de matière sont invariantes par n'importe quelle rotation d'un angle autour de cet axe. Ici, le flotteur possède bien un axe de symétrie, mais pas un axe de symétrie de révolution ;
- il était attendu de mentionner les deux plans de symétrie orthogonaux (géométrique et matériel) ;
- une erreur étonnamment fréquente : une matrice d'inertie est diagonale sur l'axe de rotation ?
- il est regrettable que les candidats justifient que la matrice est diagonale simplement parce qu'elle n'a des éléments que sur sa diagonale.

Q11. Question assez bien réussie. Il était attendu de mentionner une géométrie de révolution pour justifier l'égalité des deux produits d'inertie.

Q12. Question facile et bien traitée, toutefois :

- un nombre significatif et inquiétant de résultats faux, absurdes ou inhomogènes ;
- certains ont écrit le vecteur vitesse de rotation comme une somme de scalaires.

Q13. Pour cette question :

- les correcteurs déplorent que les candidats n'aient pas commencé par justifier les hypothèses avant de réaliser un bilan des actions mécaniques extérieures ;
- beaucoup ont oublié le couple moteur ou le torseur des actions mécaniques extérieures exercées par la liaison pivot ;
- un nombre significatif d'erreurs dans l'expression du changement de point d'un champ de moments nécessaire pour le calcul des moments en O ;
- pour un bon nombre, le principe fondamental de la dynamique se résume à une équation de résultante, qui ne servait à rien ici.

Q14. Très peu de candidats ont donné une définition formelle du couple de basculement, se contentant le plus souvent de reprendre la donnée du sujet (page 4). Par conséquent, beaucoup ont donné son opposé, ce qui n'est pas cohérent.

Q15. Question peu traitée et partiellement comprise. L'approximation des petits angles a été prise en compte, mais peu d'initiatives pour justifier que le centre de carène reste quasiment confondu à la droite verticale et donc que $b \ll c$ pour déterminer la linéarisée du couple de basculement.

Q16. Si beaucoup de candidats mentionnent un couple résistant, très peu en donnent une origine probable (vagues, vent, frottements secs, etc.), quelques propositions ont été absurdes.

Q17. Question majoritairement ratée :

- les correcteurs ont observé un nombre important de confusions entre fonction de transfert en boucle ouverte et en boucle fermée ;
- beaucoup de candidats ne connaissent pas la définition de la boucle ouverte (de l'écart au retour au même comparateur) ;
- la formule de Black n'a été que moyennement bien appliquée et un trop grand nombre d'erreurs de calculs (étourderies ou manque d'entraînement) est à déplorer ;
- certains candidats ont même fait apparaître des signaux (les entrées) dans l'expression de la fonction de transfert ;
- la notion de classe est apparue confuse pour beaucoup (confusion ordre et classe), et les fonctions de transfert des correcteurs proposées par les candidats étaient rarement en accord ;
- un trop grand nombre de conclusions fausses a été relevé entre la classe de la fonction de transfert en boucle ouverte, le signal d'entrée et l'erreur statique.

Partie II - Modélisation géométrique

Q18. Il fallait faire attention à l'axe de la rotation pour obtenir la bonne matrice.

Q19. Une question bien réussie dans l'ensemble.

Q20. La matrice de la rotation n'a pas toujours été trouvée.

Q21. Si la rotation a été identifiée, son axe a été souvent omis. De nombreux candidats ont parlé de position de la tête à la place de la translation attendue. Une position n'est pas un déplacement.

Q22. Une question souvent traitée et souvent réussie. Lorsque les candidats ont utilisé la famille des vecteurs colonnes de la matrice, le caractère normé des vecteurs a régulièrement été oublié.

Q23. Une question plutôt réussie.

Q24. Une question bien traitée par les candidats qui l'ont abordé.

Q25. La formule sur la trace pour trouver le cosinus est bien connue. Une méthode pour trouver le signe du sinus a été retrouvée dans un nombre raisonnable de copies. Il est cependant dommage de voir des candidats ne pas prendre en compte l'orientation de l'axe fixée par le sujet.

Q26. Une question peu abordée avec succès.

Q27. Cette question cherchait à évaluer la rédaction des candidats : il s'agissait de savoir prendre correctement les objets avec lesquels travailler. Puis, il fallait utiliser la stabilité du groupe spécial orthogonal pour obtenir la totalité des points.

Q28. Une question souvent abordée, mais avec une confusion entre la matrice R et le déterminant de R.

Q29. Très peu de candidats ont suivi la recommandation du sujet en cherchant la matrice inverse sous la forme particulière donnée par l'énoncé. Une question très peu réussie.

Q30. De nombreuses erreurs sur l'étude de fonction d'un polynôme de degré 3.

Q31. Il est dommage de voir des candidats faire l'impasse sur les questions graphiques alors qu'ils avaient donné un tableau de variations. Peu de candidats ont le réflexe de tracer les tangentes aux points particuliers du tableau de variations.

Q32. Une question peu traitée avec succès.

Q33. Cette question a été très mal comprise, alors qu'il suffisait de répliquer l'amplitude des mouvements sur les 5 segments et de prévoir l'évolution de la géométrie du robot.

Partie III - Stabilisation du roulis

Q34. Question assez bien réussie :

- les erreurs commises proviennent d'une non-maîtrise des outils mathématiques (dérivation d'une somme/produit, fonction composée) ou d'une méconnaissance des définitions rigoureuses d'une vitesse et de l'accélération d'un point ;
- les correcteurs regrettent que certains candidats aient jugé nécessaire de projeter systématiquement tous les vecteurs dans la base B_0 pour procéder aux dérivations successives, ce qui a engendré des écritures inutilement longues ;
- un bon nombre de candidats n'est pas parvenu au bon résultat, avec notamment une quantité importante de résultats inhomogènes ;
- les correcteurs déplorent également les expressions inhomogènes, comme des égalités entre des vecteurs et des scalaires, ou des confusions entre produits scalaires et produits vectoriels.

Q35. La notion de travail élémentaire est manifestement confuse ou méconnue de la plupart des candidats. Elle a été souvent confondue avec le travail total au cours du mouvement. La définition d'une force conservative n'est, dans l'ensemble, pas bien maîtrisée et le caractère conservatif est donc très rarement correctement justifié.

Q36. Il s'agissait ici de donner une démarche permettant de déterminer la tension du fil, et il était bien précisé qu'aucune mise en œuvre n'était demandée. Les correcteurs regrettent que tous les candidats n'aient pas su répondre rapidement et précisément à ce type de question en précisant :

- le solide ou le système isolé ;
- le principe (statique ou dynamique) et l'équation utilisée (incluant la projection).

Q37. Question correctement traitée, mais souvent sans justification ni étape intermédiaire de calcul. Les correcteurs regrettent que certains candidats aient oublié de donner les expressions de ω et de Γ.

Q38. Plusieurs candidats ont donné directement la solution générale de l'équation différentielle sans justification, sans se rendre compte que la formule appliquée ne s'appliquait pas ici : il n'y a pas de solution constante à cette équation différentielle. Si la solution générale de l'équation homogène était souvent trouvée, peu de candidats sont parvenus à déterminer une solution particulière.

Q39. Une question peu abordée et très peu réussie.

Q40. Question non comprise par l'ensemble des candidats. De fait, elle a été très peu traitée et quasiment systématiquement de façon incorrecte. Il s'agissait simplement de préciser que l'amplitude du mouvement du régime forcé dépend de la pulsation Ω, et qu'il résonne si $\omega = \Omega$.

Q41. Peu de réussites. Beaucoup de candidats se sont contentés de recopier l'énoncé. Il s'agissait de faire un développement limité du cosinus en un autre point que 0.

Q42. Une question peu réussie.

Q43. Ceux qui ont abordé cette question ont reconnu les formules trigonométriques à utiliser et l'ont réussie.

Q44. Le début de la rédaction pour démontrer la liberté d'une famille est connu. Peu de candidats sont allés au bout de cette question.

Q45. Cette question a été peu abordée. Peu de candidats ont pensé à utiliser la liberté établie à la question précédente.

Q46. Les quelques réponses proposées n'ont pas abouti.

Q47. De nombreuses erreurs dans le calcul du polynôme caractéristique. Peu de candidats ont remarqué qu'une discussion était attendue dans cette étude.

Q48. Certains candidats ont proposé une réponse satisfaisante.

Q49. Une question rarement abordée et rarement réussie.

Q50. Quelques propositions intéressantes.

Q51. Une question ouverte non abordée.

Q52. Question de synthèse très peu et mal traitée, alors qu'il suffisait d'identifier une bande d'instabilité.

4/ CONCLUSION

L'épreuve de modélisation est probablement l'une des épreuves les plus proches du travail réel de l'ingénieur. Les correcteurs ont conscience de sa difficulté, d'une part parce qu'elle se situe à la confluence de trois disciplines (mathématiques, physique et sciences de l'ingénieur) qu'il est nécessaire de mobiliser simultanément, et d'autre part, en raison des incessants allers-retours qu'elle impose entre la réalité du système physique étudié et l'abstraction des calculs.

Les correcteurs ne s'attendaient pas à ce que tous les candidats abordent les questions les plus difficiles. Ils s'étonnent cependant que de nombreuses questions faciles, comme celles portant sur l'étude d'une fonction ou la citation de théorème du programme, posent autant de difficultés. Ils n'attendaient pas de virtuosité de la part des candidats mais déjà une résolution honnête et rigoureuse des questions simples (Q2, Q4, Q5, Q22, Q23, Q24, Q30, etc.).
Ils encouragent donc les futurs candidats à concentrer en priorité leurs efforts sur la maîtrise des savoirs et savoir-faire fondamentaux, et particulièrement des principaux outils du cours, dont les énoncés et les hypothèses doivent être mieux connus. Il en va de même pour le vocabulaire, qui est à la base de toute communication. C'est à partir de ce socle que les candidats pourront ensuite construire un savoir plus sophistiqué, leur permettant de traiter des problématiques plus complexes.

Le soin apporté aux copies est très inégal. Les correcteurs déplorent qu'un nombre important de candidats proposent une rédaction trop succincte, de type télégraphique ou QCM, sans aucune justification ni de mention des hypothèses. L'impression qui en ressort est que, pour un nombre non négligeable de candidats, les réponses sont données un peu au hasard, en suivant des " recettes "

ou en mélangeant les outils mathématiques (produit vectoriel/produit scalaire, déterminant, dérivation, vecteurs absents, etc.).
Nous espérons que ce compte-rendu sera utile aux futurs candidats ainsi qu'à leurs professeurs.