

Rapport du jury de l'épreuve d'admissibilité de mécanique générale et des milieux déformables

1. Présentation du sujet

Le support retenu pour l'épreuve de Mécanique générale et Milieux déformables de la session 2011 est le système caténaire-pantographe qui assure l'alimentation électrique du TGV.

Cette épreuve a permis de tester, chez les candidats, connaissances et capacités requises des champs disciplinaires suivants :

- mécanique du solide et des systèmes de solides ;
- mécanique des milieux continus ;
- commande des systèmes ;
- énergétique et transferts de chaleur ;
- méthodes de résolution numérique (méthode des éléments finis).

Le sujet comporte 5 parties indépendantes organisées autour d'une analyse systémique du système. Chaque partie s'attache à tester les compétences des candidats pour prédire les performances liées à une ou plusieurs fonctions techniques, ou valider le dimensionnement d'un composant du système.

2. Analyse globale des résultats

L'épreuve de mécanique générale et de milieux déformables a conduit les candidats à :

- vérifier les performances du système caténaire-pantographe ;
- construire et valider des modélisations du comportement de la ligne caténaire et du pantographe en vue de prévoir les performances d'un pantographe évolué.

Concernant les transferts de chaleur, le jury note avec satisfaction qu'une majorité de candidats développe les compétences requises à ce niveau. Toutefois, l'expression de l'opérateur Laplacien en coordonnées cylindriques 1D pose toujours autant de problème. Enfin, bien qu'écrire un bilan d'énergie relève d'un savoir faire indispensable à ce niveau, le jury constate que, lors de cette session, trop peu de candidats y parviennent sans encombre.

Concernant la mécanique des milieux continus (propagation d'ondes dans des milieux curvilignes) le jury constate que 30% des candidats ont bien traité les questions concernées. En revanche, pour ce qui est des savoirs faire relatifs aux méthodes de résolution numérique (méthode des éléments finis), le jury déplore un succès moindre. Une minorité de candidats est à l'aise avec cette méthode de résolution pourtant très répandue dans le domaine de la mécanique.

Concernant la mécanique du solide, le jury regrette qu'une majorité des candidats ne maîtrise pas correctement le formalisme de Lagrange (avec ou sans multiplicateur) d'autant que la démarche d'obtention des équations était clairement proposée dans le sujet.

Le jury se félicite de la présence de très bonnes copies mais regrette leur trop faible quantité.

3. Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

Partie 1

L'objectif de cette partie était de valider le dimensionnement du fil de contact de la caténaire d'un point de vue thermique. Cette partie était sous-divisée en deux sous-parties.

La première sous-partie permettait de vérifier l'homogénéité de la température à l'intérieur du fil de contact. Pour ce faire, le candidat devait calculer la puissance électrique volumique générée dans le fil de contact puis écrire l'équation de conduction. En simplifiant cette équation au maximum (régime permanent, génération interne, 1D cylindrique), le candidat obtenait le profil de température dans le fil. Le calcul de la différence de température entre le centre et la périphérie du fil de contact permettait de conclure quant à l'échange par conduction au niveau du fil de contact.

Dans une seconde sous-partie, le candidat était amené à vérifier la température de la surface externe du fil de contact. Il était donc nécessaire que le candidat écrive un bilan thermique sur le fil de contact. Le candidat est guidé de bout en bout pour cette sous-partie : indication pour l'écriture du flux de rayonnement, écriture du flux de chaleur par convection puis détermination du bilan thermique sur le fil de contact pour calculer la température d'équilibre du fil de contact

Cette partie comportait 9 questions. Dans l'ensemble cette partie a été largement abordée par les candidats (seuls 14 candidats sur 118 ne l'ont pas traitée). Parmi les 104 candidats qui ont traités cette partie, 13 l'ont fait entièrement. La première sous-partie a été traitée très convenablement alors que la suivante, nécessitant plus de raisonnement, a été nettement moins abordée.

Partie 2

L'objectif de cette partie était de prédire l'évolution de la tension mécanique de la caténaire.

La principale limitation de la vitesse des TGV provient de la vitesse de propagation des ondes dans la caténaire : apparition du phénomène de mur du son lorsque le TGV s'approche de cette vitesse. Cette dernière est directement liée à la tension de la caténaire et dépend également de la fréquence à laquelle est excitée la caténaire.

L'objet de cette partie est, tout en guidant le candidat, de l'amener à comparer deux modélisations de la caténaire : un modèle de corde tendue et un modèle de poutre mince tendue. Il s'agit au final de proposer une démarche argumentée de choix de la tension appliquée et de valider le choix de la tension utilisée lors du dernier record de vitesse du TGV.

Cette partie fait appel à la capacité du candidat à faire un bilan d'actions mécaniques pour en déduire des équations d'équilibre puis de mouvement. Enfin il doit utiliser ces résultats pour proposer une démarche de choix de tension et vérifier la valeur de tension choisie pour le record. Beaucoup de candidats ont abordé cette partie dans laquelle la démarche est très cadrée. Cependant dans de nombreuses copies l'origine des équations écrites n'est pas précisée. Dans les questions relatives à l'équilibre dynamique des tronçons de corde ou de poutre une part importante des candidats ne précise ni s'il s'agit d'un équilibre en résultante ou en moment ni dans quelle direction sont projetées ces équations d'équilibre.

Partie 3

L'objectif de cette partie est de prédire le comportement dynamique de la caténaire en vue de valider la fonction technique FT4 « Assurer le maintien du contact caténaire / pantographe ». Seul un modèle éléments finis est apte à prédire le comportement dynamique de l'ensemble caténaire (fil de contact + suspensions). L'étude des éléments de poutre tendue n'est pas « classique » mais le sujet est centré sur les méthodologies habituellement mises en œuvre lors des modélisations par éléments finis. Des aspects liés à l'amortissement ont également été abordés.

À la correction des copies il apparaît clairement qu'un nombre important de candidats n'est pas familier avec la méthode des éléments finis alors même qu'un nombre réduit la maîtrise bien. Une question maltraitée portait sur le travail développé par la pesanteur. Trop nombreux sont les candidats qui ne font apparaître ni une intégrale sur l'élément (chargement réparti) ni, ce qui est plus grave, un résultat homogène au produit d'un déplacement par un effort.

Toutes les questions de cette partie ont été abordées avec succès par certains candidats (excepté la question 21 relative à l'énergie de déformation). Certains candidats, bien que peu familiers avec les éléments finis, ont su tirer partie du sujet et ont traités correctement les questions 27 à 29 relatives à l'amortissement.

Partie 4

L'objectif de cette partie était de prédire le comportement dynamique du pantographe en vue de valider la fonction technique FT4 « Assurer le maintien du contact caténaire / pantographe ».

Les compétences nécessaires pour traiter cette étude relevaient de la mécanique des solides et du comportement élastique linéaire.

Dans un premier temps, les candidats sont amenés à rejeter une première modélisation rigide du grand cadre du pantographe par comparaison des résultats issus de cette modélisation avec les mesures expérimentales obtenues sur le système réel.

Dans un second temps, les candidats doivent valider une évolution de la modélisation du grand cadre pour laquelle on retient une élasticité du bras supérieur par comparaison des résultats issus de cette seconde modélisation avec les mesures expérimentales obtenues sur le système réel.

Enfin, les candidats sont amenés à valider une modélisation du pantographe complet par comparaison des résultats issus de cette dernière modélisation avec les mesures expérimentales obtenues sur le système réel.

Cette partie a été abordée par une majorité de candidats avec plus ou moins de succès. Ainsi, le formalisme de Lagrange nécessaire aux mises en équations demandées n'est traité que par 4 candidats sur 10. Le jury recommande donc aux futurs candidats de mieux maîtriser le formalisme lagrangien.

Partie 5

L'objectif de cette partie est de valider la fonction technique « Commander la montée et le maintien du pantographe ».

Dans cette partie, les candidats sont conduits à détailler le fonctionnement de la commande de montée et du maintien du pantographe en mode normal et en mode de secours. Cette étude a été conduite avec plus ou moins de succès par un candidat sur deux.

Conseils du jury

Le jury encourage les candidats à tirer partie au maximum du sujet en ne restant pas bloqués sur certaines questions. Cependant, le sujet est composé de parties présentant chacune un cheminement reproduisant les démarches rencontrées en sciences de l'ingénieur. Ainsi le jury apprécie les copies où les candidats tentent de traiter ces parties dans leur ensemble en gardant à l'esprit de revenir, en fin de partie, sur l'objectif initial proposé.

Pour ce qui est de la présentation des copies, il est souhaitable de bien indiquer le numéro des questions traitées, d'encadrer le résultat et d'indiquer, tout en étant concis, la démarche de résolution. Un minimum de soin est à apporter aux schémas produits. Plusieurs candidats ont reproduit des schémas du sujet ou recopié des parties de question. Cela est bien évidemment totalement inutile.

Pour ce qui est du fond, trop de réponses sont données sans vérification de l'homogénéité du résultat (entre les termes d'une même équation ou quant à un résultat dont la grandeur physique n'est pas celle espérée).

Le jury apprécie les candidats qui justifient ou même simplement expliquent les démarches adoptées pour résoudre les questions posées. Un rappel bref sur le domaine d'applicabilité des formules employées est également souhaitable. Enfin, le jury valorise également les candidats qui, lors des applications numériques, indiquent les unités choisies et restent critique vis-à-vis de leurs réponses.

L'épreuve de mécanique générale et des milieux déformables de l'Agrégation de Mécanique requiert un haut niveau de connaissances scientifiques et la maîtrise de compétences propres aux sciences de l'ingénieur et à ce titre une préparation spécifique est indispensable.

Dans ce but, le jury invite les futurs candidats qui souhaitent bénéficier d'une préparation efficace, à se rapprocher des formations mises en place par les différents centres de préparation (Universités, ENS, CNED). Enfin, les rapports de jury et les corrigés de cette session et des sessions antérieures doivent être mis à profit pour préparer au mieux l'épreuve de mécanique générale et des milieux déformables en particulier et, plus généralement, le concours exigeant de l'Agrégation de Mécanique.

4. Conclusions

Le sujet a été conçu pour permettre aux candidats d'exprimer au mieux leurs compétences. Les 49 questions du sujet ont toutes été abordées et seules 5 d'entre elles n'ont vu aucun candidat atteindre le maximum de points alloués.

5. Résultats

118 candidats, dont 7 candidats à l'agrégation marocaine, ont composé pour cette épreuve. La moyenne des notes obtenues est de 8,49 avec :

- 19,1 comme meilleure note ;
- 0 comme note la plus basse.

