

Commentaires sur l'épreuve de mécanique des systèmes et des milieux déformables

1. PRÉSENTATION DE L'ÉPREUVE

Le sujet de mécanique des systèmes et des milieux déformable de la session 2006 porte sur l'apparition du phénomène de flottement gyroscopique sur les convertibles à cause à la géométrie particulière (masses et inerties importantes en bout d'aile) de ces aéronefs.

Les difficultés rencontrées lors du dimensionnement des éléments ajournent régulièrement la mise sur le marché des différents convertibles civils et militaires : le projet européen ERICA présenté dans ce sujet a été d'ailleurs dernièrement arrêté.

Les trois parties de l'épreuve proposée, correspondant à trois études distinctes et placées dans un ordre de progression logique de l'étude, sont indépendantes.

La première partie correspond à une étude de l'écoulement autour d'un profil d'aile permettant la mise en place d'un modèle de description des actions mécaniques globales de l'aile sur le rotor tripale : ce modèle est ensuite utilisé dans la dernière partie.

La suite du sujet s'intéresse plus particulièrement aux rigidités de flexion (avec une étude des modes de vibration) et de torsion de l'aile. Le modèle retenu est de type poutre de section assez proche observée sur l'aile.

La troisième partie s'intéresse enfin à l'analyse du phénomène de flottement gyroscopique en utilisant un modèle de type « système de solides indéformables » et en utilisant les modèles de description et les conclusions obtenues dans les deux premières parties.

La partie « Mécanique des fluides et énergétique » est placée au début du sujet mais de nombreux candidats n'ont qu'insuffisamment – voire pas du tout – abordé ce thème et sont passés directement aux parties suivantes.

Le sujet est relativement long, mais il a permis aux candidats de s'exprimer largement.

2. COMMENTAIRES GÉNÉRAUX

Si aucun candidat n'a abordé la totalité des parties, on note d'excellentes copies, tant dans la rigueur de la démarche que dans la mise en oeuvre des connaissances scientifiques. Les copies des candidats ayant eu à cœur de mener calculs et analyse avec rigueur ont été très appréciées.

A contrario, on note de nouveau un niveau surprenant sur certaines copies avec une rigueur déficiente, une analyse incomplète ou inexistante voire même des erreurs de base sur les principes les plus classiques de la mécanique.

La présentation des copies est globalement très bonne avec une réelle volonté de la grande majorité des candidats de mettre en évidence leurs résultats et leurs démarches, ce qui est cohérent pour un concours de recrutement de professeurs. Les quelques copies ayant une présentation indigne d'un futur professeur agrégé ont été pénalisées, ne serait-ce que parce que certains résultats étaient illisibles.

Il est, cette année de nouveau, étonnant de constater le manque de volonté d'un très grand nombre de candidats qui « baissent les bras » dès que la difficulté augmente. En arrêtant ainsi brutalement sa réflexion au milieu d'un calcul à cause d'une difficulté ponctuelle, qu'elle soit réelle (les calculs sont en effet parfois assez complexes) ou supposée (une hypothèse omise et la reprise des calculs semble insurmontable), le candidat donne de lui-même une impression négative. Le jury n'est alors pas enclin à noter de manière positive un candidat qui souhaite devenir professeur et abandonne aussi vite quand une difficulté se présente ... d'autant que le niveau calculatoire demandé cette année était très raisonnable.

Pour conclure, on peut dire que le niveau des candidats est globalement très satisfaisant avec cependant de très grandes disparités dans la rigueur de la démarche scientifique, élément pourtant fondamental de la mécanique. Les meilleures copies sont remarquables de clarté et de rigueur alors que les plus mauvaises sont indignes d'un candidat de niveau bac + 4.

3. ANALYSE DES DIFFÉRENTES PARTIES

Partie 1 : mécanique des fluides – énergétique

La partie 1 intitulée « mécanique des fluides » est divisée en trois sections indépendantes.

La première section concerne la mise en équations des fluides compressibles en écoulement non isotherme. Bien que très classique, cette section n'a été abordée que par 50 % des candidats et les résultats sont décevants. Ils sont principalement dus à une méconnaissance des opérateurs traditionnels en mécanique des fluides.

La seconde section concerne l'étude de l'écoulement dans la couche limite laminaire autour du profil de l'aile et l'analyse dimensionnelle d'une maquette. Cette section n'a été abordée que par 15 % des candidats. Parmi ceux-ci, peu de candidats ont su aborder convenablement l'analyse par similitude.

La dernière section concerne la détermination des efforts sur les hélices des pales, donnée utile pour la troisième partie. Cette section n'a été également abordée que par 15 % des candidats. Il convient de noter une erreur dans les intégrales fournies en annexe aux candidats : les correcteurs ont tenu compte de cette coquille dans leur barème.

Globalement, et conformément aux années précédentes, on peut dire que les résultats en mécanique des fluides sont insuffisants et ce, quelle que soit la place de la partie concernée dans le sujet. Cet état de fait ne poussera pas les auteurs de sujet à abandonner cette partie, extrêmement importante pour la validation des connaissances d'un futur agrégé de mécanique.

Partie 2 : mécanique des solides déformables

Pour cette session, la partie « mécanique des solides déformables » se limitait à des points de théorie des poutres en statique et en dynamique sur une aile assimilée à une poutre de section peu traditionnelle mais plus en rapport avec une aile normale que la classique section carrée.

La moyenne assez élevée de cette partie (malgré quelques copies blanches ou presque) montre qu'une part significative des candidats maîtrise ces notions. Les correcteurs identifient un lot d'une quarantaine de très bonnes copies parmi lesquelles on trouvera certainement les lauréats du concours.

La section 2 a été la mieux traitée : la détermination de flèches, rotations, raideurs dans le cas d'une poutre droite est un problème classique sur lequel tous les candidats savent développer des éléments de réponse corrects. Cependant, la section 1 dans laquelle on faisait chiffrer les caractéristiques de la section droite est très décevante. Outre les candidats qui se contentent d'une expression littérale plus ou moins complète sans passer à l'application numérique, on peut observer une tendance à « laisser tomber » dès que les expressions deviennent un peu complexes.

Très peu de candidats mènent correctement le calcul des moments quadratiques. Sur cette section, les correcteurs sont assez surpris de voir près de 50 % des candidats calculer l'aire de la section de l'aile comme si elle était pleine alors que l'énoncé précise bien qu'il s'agit d'une enveloppe mince, ce type d'erreur montre que les candidats ne prennent pas le temps de lire chaque section dans sa globalité pour se faire une idée de la démarche que la progression des questions leur propose de suivre.

La section 3 compare la modélisation de l'aile par « solides rigides » issue des considérations de la section 2 avec la solution de la poutre continue. On distingue deux types de copies, celles qui font simplement l'impasse sur cette partie du cours de Mécanique ou celles qui sont très bonnes et pour lesquelles les candidats obtiennent quasiment la totalité des points.

C'est la section 4 qui est la plus décevante. La torsion des poutres non circulaires semble être totalement méconnue de plus de 80%. Sur les 20% qui abordent cette partie, la plupart se limite aux premières questions (rappel de cours classique, justification des équations à résoudre : $\Delta\phi + 2 = 0$ et $\phi = \text{constante}$ sur le bord). Ensuite le taux de bonnes réponses chute encore énormément et seul un candidat est arrivé à déterminer la raideur en torsion du profil proposé.

Notons aussi qu'à ce niveau beaucoup de candidats ignorent que le coefficient μ des lois de Lamé est identique au module de Coulomb G qui apparaît en cisaillement ou en torsion.

Partie 3 : mécanique des systèmes de solides indéformables

Cette partie se proposait d'étudier, par un modèle de systèmes de solides indéformables, les conditions de génération du phénomène de flottement gyroscopique dont une présentation était fournie au début du sujet. La méthode d'analyse correspond aux études menées par les chercheurs sur ce phénomène.

Les notes, pour les candidats ayant abordé rigoureusement cette partie, sont fort correctes et montrent une bonne maîtrise, tant au niveau du calcul qu'à celui de la méthode, sur les concepts de cette matière.

Les premières questions, très guidées, permettaient au candidat d'obtenir une expression de l'énergie cinétique galiléenne de l'ensemble étudié d'une manière efficace.

Cette partie a globalement été bien traitée par de nombreux candidats. Cependant, deux points sont à souligner car ce n'est pas sur ceux-ci que les auteurs s'attendaient à des difficultés :

- la méconnaissance de presque un quart des candidats des conditions de symétrie matérielle entraînant une simplification de la forme de la matrice d'inertie (et en particulier le fait qu'il était inutile de faire le changement de base de b_{51} à b_4 grâce à la forme particulière de la matrice)
- la méconnaissance de la très grande majorité des candidats (plus de 80 % !) de la formule de changement de la base d'écriture d'une matrice

Les candidats ayant suivi les questions avec méthode et connaissant la formule de changement de base (soit environ 10 % des candidats) sont tous arrivés à une expression correcte.

Les questions suivantes permettaient d'aboutir à l'écriture générale des équations de Lagrange : cette partie a été menée de manière rigoureusement et complète par les candidats qui l'ont abordée, soit près que 50 %, ce qui a été favorablement noté par les correcteurs.

Les dernières questions proposaient une simplification du problème par l'utilisation du modèle de REED et la linéarisation des équations : cette partie a été correctement abordée, même si aucun candidat n'a pu proposer de méthode de résolution de la dernière question – posée de manière très générale –, et correspondant aux conditions de génération du phénomène de flottement gyroscopique.

4. BILAN GLOBAL

Les résultats par partie sont les suivants :

Partie 1 : 5,4, à cause de très nombreuses copies blanches

Partie 2 : 10,1 avec de très bonnes copies

Partie 3 : 8,8, à cause de nombreuses copies blanches

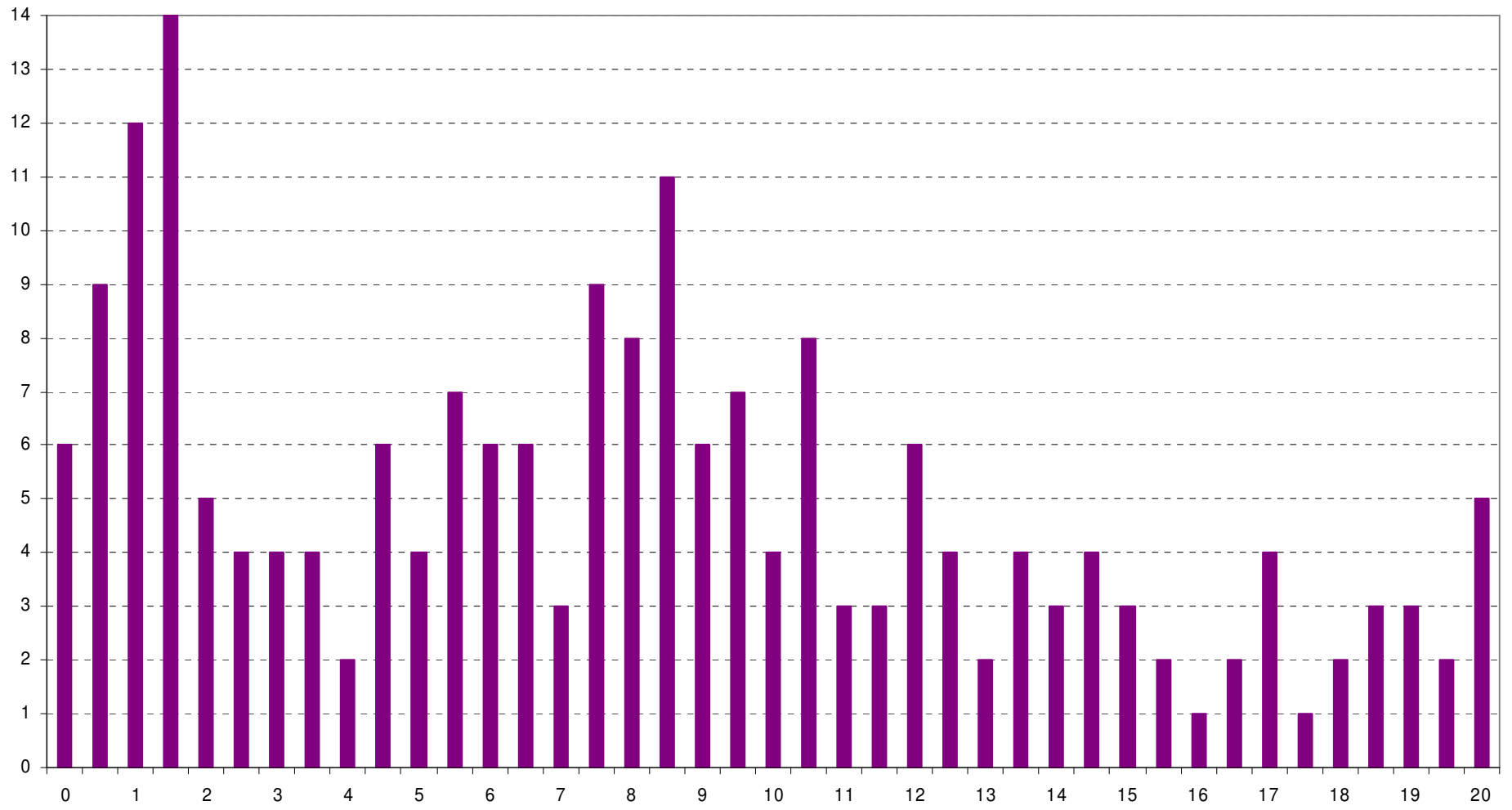
Bilan de l'épreuve (sur 20) Moyenne : 8,1

Écart type : 5,6

La moyenne de cette épreuve a été significativement supérieure à celle des sessions précédentes malgré la grande longueur des trois parties et du sujet en général. L'histogramme des notes ci-après montre qu'une bonne proportion des candidats obtient de très bons résultats.

301 candidats ont composé pour cette épreuve. Les notes s'étalent de 0 à 20. 65 copies ont une note supérieure ou égale à 10, attestant ainsi qu'une quantité significative de bons candidats mérite d'obtenir un succès à ce concours, notamment les 23 candidats qui ont une note supérieure à 16.

Par contre, 46 candidats ont obtenu une note inférieure ou égale à 2 sur 20 : parmi ceux-ci, on note une vingtaine de copies presque blanches, mais aussi une dizaine de copies très insuffisantes malgré un grand nombre de points abordés, ce qui correspond à des candidats non suffisamment préparés à cette épreuve, difficile et sélective.



Moyenne : 8,1

Écart type : 5,6