

## **2.2.F - PHYSIQUE II - Filière PSI**

### **I) REMARQUES GENERALES**

L'épreuve portait sur un problème de mécanique des fluides et plus particulièrement sur l'étude de la traînée associée à un ballon de football. L'objectif était de justifier les constatations expérimentales sur la traînée lors de la transition entre le régime laminaire et le régime turbulent. Le sujet comportait 5 parties dans lesquels le comportement des candidats a été globalement satisfaisant. Dans la majorité des cas, les candidats ont traités des questions dans toutes les parties. Il apparaît que l'épreuve était bien dimensionnée sur le plan de sa longueur pour un sujet de 4 heures.

La première partie portait sur des mesures effectuées lors de la chute dans l'air d'un ballon. Elle nécessitait peu de connaissances fondamentales mais du soin pour mener à bien les 40 applications numériques demandées ainsi que le tracé des graphiques.

La seconde partie mettait en place les grandeurs utiles à la description de l'écoulement d'un fluide incompressible au voisinage d'une surface. À l'exception de la connaissance de l'équation traduisant l'incompressibilité du fluide qui n'était pas fournie, les candidats trouvaient dans l'énoncé les lois utiles au développement théorique attendu.

La troisième partie abordait le modèle simplifié de Blasius de l'écoulement dans la couche limite. L'énoncé guidait de façon très précise les candidats pour établir l'équation simplifiée de Blasius.

Dans la quatrième partie, on établissait l'équation de Blasius généralisée toujours en étant très guidé par l'énoncé.

Enfin, la cinquième partie demandait de faire une analyse physique des résultats de mesures expérimentales du coefficient de traînée d'un ballon de football et d'une sphère lisse de même taille. C'était l'occasion pour les candidats de montrer leur connaissance de cours autour de la loi d'évolution du coefficient de traînée en fonction du nombre de Reynolds ainsi que de leur culture autour de la transition laminaire/turbulent.

### **II) REMARQUES PARTICULIERES**

#### **2.1. Nombre de Reynolds et coefficient de traînée**

La question 1 n'a pas été réussie par un nombre réduit de candidats inattentifs aux unités du système international. Il ne fallait pas oublier que la vitesse devait être convertie en mètres par seconde. Quelques (heureusement très rares) candidats ont été pénalisés car ils avaient donné le nombre de Reynolds avec 8 chiffres significatifs ! Toujours dans la question 1, il fallait dire que la force était proportionnelle au carré de la vitesse.

On relève aussi quelques erreurs à la question 3 par manque de rigueur dans l'algébrisation imposée par l'énoncé pour l'expression de la traînée.

La question 4 était relativement longue à traiter. Elle a été valorisée dans le barème pour récompenser les candidats qui avait à cœur d'effectuer le tracé des graphiques correctement. Dans la grande majorité des cas, les candidats ont utilisé avec profit les capacités de leurs calculatrices pour remplir efficacement le tableau demandé. Les échelles étant fournies dans le document-réponse, les tracés réalisés ont rassurés les candidats. C'est sans doute dans les commentaires des graphiques que le jury attendait un meilleur comportement que celui constaté. En particulier, dans la phase où la traînée croît avec le carré de la vitesse, il était attendu que le candidat note que ce comportement était conforme à la loi proposée à la question 1 plutôt que de contenter de dire que la traînée augmentait sans plus de précision.

#### **2.2 Ecoulement d'un fluide visqueux le long d'une paroi solide**

À la question 5, un certain nombre de candidats se perdent en conjecture plutôt que de répondre simplement que le modèle plan sera valable lorsque l'épaisseur de la couche limite sera petite devant le diamètre du ballon.

La question 7 a été relativement bien réussie mais certains candidats n'allant pas au bout de l'écriture de l'équation  $\frac{u}{x} + \frac{v}{\delta} \cong 0$ , en sont arrivés à conclure que c'était u qui était négligeable devant v plutôt que le contraire.

La question 8 a posé un certain nombre de difficultés aux candidats bien que le résultat soit donné. En effet, une minorité de candidats ne connaît pas correctement le laplacien en coordonnées cartésiennes, ceci est anormal. D'autres candidats, qui ne le connaissent pas (ou qui se sentent l'obligation de le redémontrer) passent par le calcul de  $\overrightarrow{rot}(\overrightarrow{rot})$  pour obtenir le laplacien. Peu aboutissent en faisant un calcul correct. Les candidats qui ont fait correctement la question 7, ont facilement réalisé l'approximation du laplacien. Par contre, il y a eu assez peu de réponses satisfaisantes pour le terme  $(\overrightarrow{v} \bullet \overrightarrow{grad}) \overrightarrow{v}$  qui est le moins bien maîtrisé des termes de l'analyse vectorielle. Compte tenu du fait que le résultat était donné par l'énoncé, le jury a exigé que le terme  $(\overrightarrow{v} \bullet \overrightarrow{grad}) \overrightarrow{v}$  soit bien expliqué par le candidat.

### **2.3 Couche limite laminaire sans gradient de pression**

La question 9 n'a pas posé de difficulté, les erreurs relèvent de l'étourderie. De la même façon, les candidats ont très majoritairement déterminé les conditions aux limites.

Par contre, la question 11 a posé plus de difficultés, en particulier la dérivée  $\frac{\partial u}{\partial x}$  à cause du besoin de dériver la fonction  $\frac{1}{\sqrt{x}}$  ce qui relativement regrettable à ce niveau et aussi la dérivée  $\frac{\partial v}{\partial y}$  car il ne fallait pas oublier dans le calcul que les variables x et y étaient indépendantes et que par conséquent que  $\frac{\partial x}{\partial y} = 0$ .

Les candidats qui ont fait correctement la question 11 ont réussi la question 12 mais le jury a pénalisé les candidats qui lors de l'intégration ont passé sous silence la fonction de x qui doit apparaître et qui, de ce fait, n'ont pas utilisé de condition aux limites. Les candidats qui ont réussi la question 12 ont en général réussi la question 13.

La question 14 mettant en évidence l'unique dépendance de  $f$  en fonction de  $\theta$  n'a pas été bien réussie, ni d'ailleurs le commentaire sur le problème de l'invariance d'échelle à la question 15.

La question 16 n'a posé quasiment aucune difficulté aux candidats. Par contre à la question 17, si l'annulation des dérivées d'ordre 2 et d'ordre 3 en 0 a été assez correctement réussie, la relation entre a et b a posé, dans l'ensemble, beaucoup de problèmes. Il est difficile de comprendre la logique des candidats qui disent que la courbe est une droite et donc que les dérivées d'ordre 2 et 3 sont nulles et que pourtant la dérivée d'ordre 4 ne l'est pas !

### **2.4 Décollement de la couche limite laminaire**

Les arguments de symétrie et ceux liés à la nature équipotentielle de  $\psi = \alpha/2$  n'ont pas été utilisés avec profit à la question 18.

Les questions 19 et 20 ont été relativement bien réussies puisque tous les opérateurs étaient fournis avec les formes de solutions à tester. Les candidats qui ont eu des difficultés sont ceux qui n'ont pas utilisé correctement les conditions d'écoulement loin de la paroi.

Les questions 21 à 25 n'appellent pas de commentaires particuliers, les candidats les ayant traitées en moyenne de façon très convenable.

La question 26 a été comprise sur le fond avec le problème du décollement de la couche limite mais il a été assez rare de voir un candidat proposer un schéma correct des lignes du champ de vitesse avec le phénomène de recirculation.

## **2.5 La transition laminaire/turbulent et le nombre de Reynolds critique**

L'utilisation du graphique fourni a été plutôt satisfaisante à la question 27. Les candidats, comme à la question 4, soucieux de déterminer numériquement les grandeurs demandées ont été récompensés.

Par contre, à la question 28, l'interprétation des valeurs extrêmes du coefficient de traînée a été confuse. Il suffisait de voir que dans les deux cas, celui de ballon de football était supérieur à celui de la sphère lisse et que l'état de surface était l'explication.

Par contre, à la question 29, les arguments fournis autour de la transition laminaire/turbulent ont été les bons pour une majorité de candidats. À cette question comme à la question 30, l'exemple de la balle de golf a souvent été donné à juste titre. Quant à l'influence d'autres facteurs sur la trajectoire du ballon, le jury a été assez large dans ce qu'il acceptait mais le plus cité a été l'effet Magnus lié à la rotation du ballon sur lui-même.

## **III) CONCLUSION**

L'épreuve proposée a été relativement bien réussie par les candidats. Elle a permis de bien les classer même si elle n'a pas permis de mieux départager les excellents candidats. L'évaluation de l'ensemble des candidats a été faite en partie sur leur capacité à conduire les calculs. Le nombre de Reynolds fait partie des connaissances de base des candidats. D'où l'importance de la courbe donnant le coefficient de traînée en fonction de ce nombre. On notera que ceux qui ne se sont pas intéressés aux applications numériques ont été assez nettement pénalisés, car la longueur tout à fait raisonnable de l'épreuve permettait de prendre le temps de faire correctement les calculs numériques sans empêcher de traiter la totalité ou la quasi-totalité de l'épreuve.

Cette épreuve n'évaluant que la mécanique des fluides est l'occasion de rappeler aux candidats que, même si une majorité d'épreuves de concours aborde plusieurs thèmes, il est tout à fait possible de rencontrer une épreuve très ciblée comme celle-ci. Il est donc particulièrement important que le candidat ne néglige aucun des thèmes prévus au programme et admette qu'il est indispensable de connaître les expressions de l'analyse vectorielle en coordonnées cartésiennes.

C'est au prix d'un travail homogène sur l'ensemble du programme que l'on peut envisager de réussir le concours.