

Physique 2

Présentation du sujet

Le sujet est consacré à l'étude de la couche limite qui intervient lorsqu'on étudie les écoulements laminaires, à nombres de Reynolds néanmoins importants, autour d'une plaque plane.

La première partie permet de rappeler les notions de base sur la viscosité. La seconde aboutit à un critère de pertinence pour l'utilisation du modèle de couche limite. La troisième étudie le cas d'un écoulement de Poiseuille plan. Les parties IV à VII concernent le champ des vitesses dans la couche limite. La partie VIII permet d'établir la force de frottement subie par la plaque. Dans la dernière partie, une approche en termes de bilans dynamiques confirme les résultats précédents.

Analyse globale des résultats

Les parties I et II ont été abordées et correctement traitées par la quasi totalité des candidats mais les interprétations physiques proposées sont rarement pertinentes.

Les calculs concernant l'étude de l'écoulement de Poiseuille plan sont majoritairement corrects mais il manque très souvent quelques justifications rigoureuses de certains points.

Dans les parties IV à VII, on constate qu'environ un tiers des candidats est incapable d'explicitier l'opérateur $\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}}$ appliqué à \vec{v} . Pour les deux tiers restants, les calculs sont en général faits mais l'ensemble manque encore une fois de rigueur.

Les deux dernières parties n'ont été traitées correctement que par les meilleurs candidats.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux candidats

Partie I : Préliminaire

I.A

Incapacité pour beaucoup de candidats à distinguer proprement la diffusion de la convection : perception correcte mais formulation très souvent confuse. Pour certains candidats un transfert diffusif est associé à l'absence de transport de matière (sans préciser macroscopique) alors que c'est faux à l'échelle microscopique.

Confusion entre force de viscosité (force surfacique) et résultante des forces de viscosité sur une particule de fluide (équivalent volumique).

I.B

La justification du signe moins (principe des actions réciproques) pour une démonstration complète est très souvent absente.

Beaucoup de calculs sont menés sans rapport avec l'écoulement étudié (unidirectionnel) : tentative inutile du traitement d'un écoulement quelconque.

I.C

Confusions pour des candidats entre force de pression (surfactive) et résultante sur une particule de fluide (équivalent volumique).

Maîtrise *très insuffisante* des opérateurs vectoriels, en particulier pour $\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}}$.

I.D

Pour certains, tout échange d'énergie est nécessairement irréversible ! D'autres pensent que la présence d'un signe moins dans l'équation de diffusion explique l'irréversibilité.

Confusions entre la description physique d'un phénomène irréversible et sa conséquence sur le modèle mathématique associé.

Incapacité à s'adapter à la situation étudiée, les candidats préfèrent parler de diffusion thermique ou de particules plutôt que de quantité de mouvement.

Phénomène réversible : l'équation de d'Alembert est citée mais elle est parfois fautive (signe ou homogénéité).

Partie II : Ordre de grandeur de l'épaisseur d'une couche limite

Beaucoup de candidats ont eu du mal à comprendre la notion de couche limite. La pertinence du modèle de la couche limite est trop souvent associée à « une couche limite très épaisse ».

Partie III : Cas d'un écoulement de Poiseuille plan**III.A**

$\frac{\partial p}{\partial x} = K(\text{constante})$: question très souvent mal traitée. Erreur très fréquente : la dérivée partielle par rapport à une variable ne dépend que de cette variable.

Les conditions aux limites ne sont pratiquement jamais justifiées (fluide visqueux ou newtonien). Il est évident que des réponses comme « on sait que $v_x(\pm d/2) = 0$ » ou « on a $v_x(\pm d/2) = 0$ » sont insuffisantes.

Expressions de la vitesse et du débit : attention aux erreurs de signes (qui de plus se corrigent parfois toutes seules pour obtenir le résultat souhaité).

Comparaison électrique/fluide : des affirmations souvent fausses : « on ne peut pas associer des résistances hydrauliques en série ou en parallèle », « Débit volumique non conservé » alors que l'écoulement est incompressible...

Partie IV : Équation du mouvement dans la couche limite**IV.B**

Toujours des problèmes avec l'opérateur $\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}}$ appliqué à \vec{v} .

IV.C

Problème avec les signes sur les ordres de grandeur.

Pour certains candidats $\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} \approx \frac{v_x^2}{x_0^2}$.

Erreur assez fréquente : lorsqu'on multiplie deux termes adimensionnés, l'un très grand et l'autre très petit devant 1, certains candidats en concluent que le produit de ces termes est nécessairement de l'ordre de 1.

IV.D

Des affirmations ou des justifications souvent incomplètes ou fausses pour p indépendant de x en dehors de la couche limite.

Partie V : Autosimilarité des profils de vitesse dans la couche limite

Incompréhension très fréquente du principe d'adimensionnement (suppression des unités des équations) par l'utilisation de variables sans dimension.

Partie VI : Équation de Blasius pour un écoulement uniforme le long d'une plaque plane

VI.C

La condition aux limites n'est, encore une fois, pratiquement jamais justifiée.

Partie VII : Résolution approchée de l'équation de Blasius

Question préliminaire

Très rarement traitée correctement. Attention aux réflexes malheureux : θ n'est pas obligatoirement un angle.

VII.A

La condition aux limites encore non justifiée.

Partie VIII : Force de frottement subie par la plaque plane dans l'écoulement uniforme

VIII.A

Assez bien traitée pour ceux qui abordent cette question mais aussi des erreurs du type « vecteur = scalaire » !

VIII.B

Oubli très fréquent d'un facteur 2 dû aux deux faces de la plaque.

Partie IX : Approche de la force de trainée par des bilans dynamiques

Questions suivantes peu abordées sauf dans d'excellentes copies.

Conclusions

Parmi les conseils que l'on peut donner aux futurs candidats, reprenons les suggestions de l'an dernier, qui restent d'actualité :

- avant de répondre à une question, la lire attentivement ; beaucoup de candidats perdent du temps avec des développements hors sujet ;
- mais il faut tout de même rédiger de façon précise et rigoureuse (il est par exemple indispensable de donner la loi physique mise en œuvre) ;
- soumettre le résultat final à un contrôle d'homogénéité dimensionnelle ;
- s'assurer d'une gestion rigoureuse des expressions vectorielles : une réponse du type « vecteur = scalaire » ne peut être considérée comme correcte.

Et enfin, un conseil plus général : le programme des classes préparatoires est volumineux, le jury en est conscient. Mais comment un candidat peut-il envisager sereinement les concours si, par exemple, il ne connaît pas l'expression de $\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}}$ appliqué à \vec{v} ? Quelles sont ses chances de réussite s'il tombe sur une épreuve de mécanique des fluides ?