

# Physique 1

## Présentation du sujet

Cette épreuve est consacrée à l'étude théorique et expérimentale d'une lame mince d'eau savonneuse verticale et des écoulements gravitaires internes, pouvant servir à modéliser des écoulements à plus grande échelle, dans le domaine de la géophysique. La première partie, proche du cours et contenant bon nombre de questions expérimentales, est consacrée à l'étude de l'interféromètre de Michelson éclairé par une source étendue monochromatique en configuration lame d'air puis coin d'air. En effet, les interférences produites par une telle lame peuvent être étudiées par analogie avec celles produites par un interféromètre de Michelson en coin d'air d'angle non constant. L'écoulement, sous l'effet de la gravité, dans une telle lame pouvant être considéré bidimensionnel, la deuxième partie du sujet est consacrée à l'étude théorique en mécanique des fluides de ces écoulements 2D dans lesquels l'étirement de vortex est nul. La troisième partie étudie les écoulements redressés pouvant se produire dans une telle lame lorsqu'en un endroit de celle-ci un cylindre oscillant va provoquer, par viscosité, une diffusion de quantité de mouvement, étudiée de façon analogue à la diffusion d'un champ électrique dans l'approximation de l'effet de peau. Quant à la quatrième et dernière partie du sujet, il s'agit de l'étude d'une allée de Von Karman dans une lame de savon qui va permettre, par analogie, de déterminer la taille d'une île provoquant une allée tourbillonnaire de nuages.

Chacune des trois premières parties est progressive et contient de nombreuses questions ou applications directes de cours. La première partie permet également de mobiliser des connaissances et compétences acquises en travaux pratiques sur l'interféromètre de Michelson. La quatrième partie, plus originale, introduit de façon sommaire le nombre de Strouhal relativement important dans l'étude des allées de Von Karman. Le sujet contient quatre questions non guidées mais dont la difficulté n'est pas du tout insurmontable, loin de là.

Le sujet permet ainsi aux candidats de mobiliser leurs connaissances théoriques et expérimentales sur diverses parties du programme : optique, mécanique des fluides, électromagnétisme.

## Analyse globale des résultats

Le sujet, bien calibré en longueur, intéressant, progressif et sans trop de difficulté n'a pourtant pas été abordé en totalité par de nombreux candidats ; les résultats sont plutôt décevants.

Alors que 43 % des points du barème ont été attribués pour des questions de cours, rares sont les candidats qui les obtiennent.

Les questions non guidées ont été particulièrement ratées. Peu de point ont été glané grâce à elles alors que le barème envers elles était très généreux.

Les candidats armés d'une bonne connaissance du cours, d'un bon sens physique et d'une bonne maîtrise des techniques habituelles (manipulation des opérateurs mathématiques classiques au programme, résolution d'une équation différentielle complexe linéaire du second ordre à coefficients constants, calculs d'ordres de grandeur...) ont obtenu une bonne voire une excellente note. Il était inutile d'apporter des connaissances hors-programme pour réussir cette épreuve. Ainsi, vu la structure du sujet, un candidat, moyen ou faible, pouvait se relancer régulièrement et se remettre en confiance : c'est pourquoi il est conseillé à un candidat de parcourir le sujet en première lecture dans son intégralité !

## Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Il est très étonnant de constater que nombre de candidats ne répondent que partiellement aux questions, notamment lorsque celles-ci contiennent plusieurs sous-questions. Ils ne répondent qu'à l'une d'entre elles et passent à la suite.

Beaucoup de valeurs numériques sont données sans unité. À ce propos, « SI » n'est pas une unité du système international. Beaucoup de grandeurs sont qualifiées de « grandes », « très grandes », « négligeables »... sans préciser par rapport à quoi.

De trop nombreuses fois, des vecteurs ont été très maladroitement comparés entre eux !

Un nombre non négligeable de candidats répondent à des questions qui ne sont pas posées (calcul du rayon des anneaux d'égal inclinaison, démonstration de la formule de Fresnel, démonstration de la loi d'Ohm locale à partir du modèle de Drüde). C'est, hélas, très souvent une perte de temps.

Pour les questions peu guidées, il a été régulièrement constaté un enchaînement d'équations sans explication. Or, une démarche bien présentée, claire et concise est bien plus valorisée.

Les grands physiciens sont souvent convoqués de façon surprenante : on trouve souvent dans les copies des expressions du genre « d'après Malus », « par Maxwell »... Il aurait été préférable d'écrire « d'après le théorème de Malus », « d'après les équations de Maxwell »...

Des réponses commençant par l'expression « par définition » ont été souvent rencontrées alors que ce n'est pas réellement une définition qui est utilisée.

Malgré les rappels dans les rapports de jury précédents, de trop nombreuses copies sont mal présentées, mal rédigées, truffées de fautes d'orthographe ou de grammaire. Une tolérance naturelle s'établit envers les copies montrant quelques fautes par page, mais il est inacceptable de récupérer des copies comportant des fautes toutes les trois lignes ; ces dernières sont assez lourdement sanctionnées. Cette année, pour la première fois, un malus permettant une diminution maximale de 10 % de la note, a été instauré. Un ingénieur ou un bon scientifique doit être capable de communiquer de façon correcte à l'oral comme à l'écrit.

## I Interféromètre de Michelson et épaisseur d'une lame de savon

Cette partie a été très souvent traitée avec un manque important de rigueur. On rappelle que :

- des rayons lumineux sont orientés par une flèche ;
- il ne faut pas confondre  $F'$  et  $f'$  pour lentille mince ;
- le chemin optique se note avec des parenthèses et pas des crochets.

I.A –

**Q1.** Attention à bien définir les grandeurs symétriques introduites !

**Q2.** L'estimation de la différence de marche dans le cas d'une lame de verre/d'air à faces parallèle (ou on l'imagine, dans le cas des fentes d'Young) montre que les candidats agissent par mimétisme du cours, simplement en effectuant le calcul de la différence de marche, mais sans expliquer le cœur du raisonnement, consistant, d'après le principe du retour inverse de la lumière, à imaginer une source à l'infini générant une onde plane, dont les surfaces d'onde sont orthogonales aux rayons d'après le théorème de Malus.

**Q3 à Q6.** Ces questions ont été plutôt correctement traitées.

I.B –

**Q8.** Il fallait bien identifier le point où l'une des deux ondes réfléchies prenait un retard de phase supplémentaire de  $\pi$ .

**Q9.** Que de développements inutiles et chronophages pour cette question. Il suffisait juste de remarquer que l'interfrange sur la figure 6 n'était pas constante.

**Q10.** L'énoncé demandait explicitement de discuter de la validité d'une formule « en regard de la figure 6 » : il fallait donc s'appuyer sur la photo représentée en figure 6 pour répondre à cette question peu guidée. Il a été étonnant de constater que beaucoup de candidats se sont contentés de répondre par une analyse dimensionnelle ou par une étude d'un comportement limite sans rapport avec la photo.

**Q11.** Beaucoup de candidats ont confondu le modèle théorique avec le modèle semi-empirique et aboutissent évidemment à  $\beta = 0,5$ . Il est dommage que beaucoup d'entre eux n'arrivent pas à faire une comparaison modèle théorique et données expérimentales alors que la compétence de validation d'un modèle fait partie du travail de base d'un scientifique. C'est une jolie question (dans le sens articulation théorie-expérience), mais très peu réussie, le jury ne s'attendait pas à ce qu'une régression linéaire sur papier millimétré soit si discriminante en fin de seconde année.

## II - Caractéristiques des écoulements bi-dimensionnels

Cette petite partie a souvent permis de gagner des points mais...

**Q12.** Tous les candidats à ce concours auraient dû avoir les points à cette question !

**Q13.** Beaucoup de candidats omettent qu'il s'agit de forces *volumiques*.

**Q14.** Il fallait bien justifier toutes les étapes de la démonstration, notamment l'utilisation à deux reprises du caractère incompressible de l'écoulement. Trop de candidats invoquent le théorème de Schwarz pour intervertir l'opérateur rotationnel et l'opérateur  $(\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}})$ .

**Q15.** Le jury a été ravi de voir qu'une proportion non négligeable de candidat a pris l'initiative de poser un champ des vitesses 2D explicite dans le plan de la lame afin de montrer la nullité du terme d'étirement de vortex.

## III - Couche limite oscillante et écoulement redressé

III.A – Diffusion de la vorticité dans une couche limite oscillante au voisinage d'une plaque plane et infinie, analogie électromagnétique

**Q16.** Il est inadmissible qu'un candidat à ce concours ne connaisse pas les quatre équations de Maxwell, postulat fondamental de l' lectromagn tisme. Et attention à ne pas confondre la loi d'Ohm «  $U = RI$  » avec la loi d'Ohm locale dans un conducteur ohmique !

**Q17.** Beaucoup de candidats trouvent la bonne expression de  $k^2$  puis  $k$ , mais au signe près ou avec un signe non justifié.

**Q18.** L'onde électromagnétique dans le métal a été souvent qualifiée, à tort, d'onde évanescente.

**Q19.** La confusion entre « puissance dissipée par effet Joule » et « puissance rayonnée » a été trop fréquente !

**Q20.** Trop de candidats n'ont pas su calculer ce qui était demandé et ont abouti à un résultat scalaire, la réponse attendue étant simplement  $(\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}})\vec{v} = v(z, t) \frac{\partial v(z, t)}{\partial x} \vec{e}_x = \vec{0}$ .

**Q21.** Bien que l'énoncé demande « En déduire que la pression est constante », une majorité de candidats débutent leur démonstration par « Puisque la pression est constante, alors  $\frac{dP}{dz} = 0$  » !

**Q22.** La solution générale d'une équation différentielle du second ordre doit faire apparaître deux constantes d'intégration !

### III.B – Cas d'un cylindre oscillant à basse fréquence

**Q29.** Une confusion entre ordre de grandeur et analyse dimensionnelle a été souvent notée.

**Q30.** L'estimation, nécessaire, du diamètre du cylindre  $d$  a été souvent fantaisiste.

**Q31.** Cette question a été bien traitée.

**Q33.** Énormément de candidats se sont trompés d'échelle spatiale ici et ont ainsi confondu  $a$  et  $d$ . Peu ont abouti à

$$\text{ODG} \left( \frac{\|\rho \frac{\partial \vec{v}}{\partial t}\|}{\|\eta \Delta \vec{v}\|} \right) = \frac{\rho \omega d^2}{\eta}.$$

**Q35 à Q37.** Ces calculs d'ordre de grandeurs ont posé beaucoup de problèmes.

**Q38.** Très peu de candidat ont compris ce qu'était un écoulement redressé.

### IV - Étude d'une allée de Von Karman dans une lame de savon

**Q39.** Cette question a été en général bien traitée quand elle a été abordée.

**Q41.** Plusieurs candidats ayant abordé cette question supposent une valeur de la taille de l'île (donnée sans justification ou correspondant à celle mesurée sur la photo) pour calculer  $Re$  et se servent ensuite de cette valeur de  $Re$  pour recalculer cette taille...

## Conclusion

Bien que ce rapport mentionne principalement les écueils à éviter, le jury souhaite souligner combien il a été satisfait devant certaines copies, excellentes aussi bien sur le fond que sur la forme. Que tous leurs auteurs soient remerciés pour avoir donné le meilleur d'eux-mêmes durant cette épreuve et pour lui avoir fait lire de très belles compositions. Nul doute qu'ils sauront relever les défis technologiques du XXI<sup>e</sup> siècle après leurs études au sein des grandes écoles et qu'ils auront à cœur de transmettre le fruit de leurs travaux.

Pour tous les candidats, nous nous permettons quelques conseils.

- Un sujet tel que celui-ci illustre l'importance fondamentale de l'apprentissage du cours et de la maîtrise de certaines notions vues en travaux pratiques : beaucoup de points peuvent être obtenus facilement en citant ou en appliquant simplement le cours et en expliquant ce qui a été fait en travaux pratiques.
- Bien parcourir l'intégralité du sujet lors d'une première lecture rapide : cela permet de s'imprégner du sujet et de repérer les questions faciles, à la portée de beaucoup de candidats. Ensuite il faut toujours s'assurer de bien avoir compris un énoncé quitte à le relire plusieurs fois, cela pour éviter une résolution chronophage et inutile.
- Comme déjà dit dans des précédents rapports, les résolutions de problème doivent être abordées avec plus de méthode. Une simple application de la méthode « scientifique » permet de récupérer des points facilement car les barèmes sont larges sur ce type de questions et évalués par compétences et, surtout, d'aider à formaliser le problème et donc à trouver la bonne réponse.
- Commenter et critiquer de façon pertinente un résultat ou une démarche, même si ce n'est pas explicitement demandé par l'énoncé, est valorisé : cela peut-être une analyse dimensionnelle d'un résultat littéral simple, calculer un ordre de grandeur d'un paramètre physique, ou vérifier sa valeur numérique

si elle est fournie dans l'énoncé, expliciter une hypothèse non fournie par l'énoncé mais nécessaire pour aboutir au résultat demandé...

- Souvent un schéma simple, clair, éventuellement avec des couleurs sera plus apprécié qu'une demi-page d'explications...

En espérant que ces quelques conseils seront utiles aux futurs candidats.