EPREUVE ECRITE DE PHYSIQUE I

par **Fabrice THALMANN, Maître de Conférences**
à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg

L'épreuve de Physique 1 abordait la mécanique des solides (centre de masse et moment d'inertie), les ondes électromagnétiques dans le vide et dans les milieux de constante diélectrique complexe (problème I), et la mécanique des fluides non visqueux puis visqueux (problème II).

Nous avions délibérément fait le choix cette année d'un énoncé concis. C'est donc avec satisfaction que nous avons constaté que la plupart des candidats avaient été en mesure d'aborder le sujet dans son intégralité, contrairement aux années précédentes. Cette épreuve a été considérée comme facile, tant par les correcteurs que par nombre de candidats eux-mêmes. Peu calculatoires, proches du cours avec de fréquentes applications numériques, les deux problèmes ont donné l'opportunité aux meilleurs des candidats de dérouler leur savoir-faire et d'obtenir un score plein.

La moyenne brute de l'épreuve s'est située aux alentours de 11/20, ce qui signifie néanmoins que seule une courte majorité de candidats a obtenu d'emblée la moyenne. La difficulté de l'épreuve, toute relative fût-elle, était donc à la mesure du candidat médian et futur ingénieur des Ecoles recrutant sur le concours.

Avant de détailler les observations des correcteurs pour chaque question, il convient de faire quelques remarques générales.

Les candidats se doivent d'achever leurs calculs, de simplifier autant que faire se peut les expressions littérales obtenues, de même que les unités dans lesquelles s'expriment les applications numériques, puis de souligner ou d'encadrer le résultat final. Lorsque l'on obtient (question II.3.1) une fraction 4/18 ou $4\pi/18\pi$... et que la simplification est évidente, on attend du candidat qu'il écrive 2/9. Un correcteur n'est pas tenu de simplifier lui-même l'expression résultant d'un calcul inachevé, ni de donner les points afférents : cela reviendrait à terminer le calcul à la place du candidat. Il en va de même des unités. Une combinaison d'unités du Système International, même correcte, ne saurait être vue comme exacte si sa simplification n'est pas immédiate, car c'est au candidat qu'il revient d'apporter la preuve que son unité est correcte.

Dans une proche mesure, les futurs candidats gagneront à rendre la copie la plus lisible possible, et à éviter toute ambiguïté dans leurs réponses. Il est préférable de traiter les questions d'un problème dans l'ordre, car la correction d'une copie ne doit pas se transformer en jeu de piste. De multiples allers-retours ne peuvent que donner une impression défavorable de désarroi de la part d'un candidat ayant perdu toute maîtrise de sa composition. Il faut relire sa copie, en veillant à ce que les expressions soient homogènes, les unités correctes et les ordres de grandeur des applications numériques sensés. Combien de points supplémentaires seraient gagnés, ne serait-ce qu'en vérifiant l'homogénéité des formules ! Les applications numériques donnant lieu à un nombre excessif de chiffres significatifs ont été sanctionnées.

Une grandeur peut être petite sans être pour autant négligeable (question I.3.2). Lorsqu'une grandeur est supposée petite devant une autre, cela suggère d'envisager certaines approximations dans les calculs, comme par exemple un développement limité. Il ne faut pas négliger brutalement cette quantité sans raison.

Enfin, les candidats veilleront à bien former les dérivées partielles ∂, qui ressemblent trop souvent à des deltas δ (partie II.1).

Dans les remarques qui suivent, les grandeurs vectorielles sont en caractère gras, le produit vectoriel de **a** et **b** est noté **a**x**b**.

PROBLEME I

I.1.1 Il s'est trouvé des candidats pour confondre les picomètres et les angströms (alors que la valeur du picomètre était donnée dans le préambule), donnant lieu à des valeurs cent fois trop faibles. Les sinus et cosinus ont parfois été confondus.

I.1.2 Cette question a mis en difficulté un bon quart des candidats, qui n'ont su pondérer correctement les positions des atomes avec les masses atomiques respectives (1/3,1/3,1/3 au lieu de la pondération correcte 1/18, 1/18, 16/18). Plus rarement, des centres de masse situés à l'extérieur de l'enveloppe convexe de la molécule ont été vus. Nous conseillons aux candidats de veiller à bien assimiler cette notion lors de leurs révisions du cours de mécanique.

I.1.3 Pas de problème particulier lorsque la question précédente était juste.

I.1.4 Nous avons vu deux erreurs récurrentes : la confusion entre J_x et J_y d'une part (par exemple $J_x = \Sigma_i m_i x_i^2$), probablement en raison d'un calcul incorrect des distances aux axes x et y, et l'erreur Jz = 0 alors que pour un système de points matériels plan on a $J_z=J_x+J_y$.

I.1.5 L'expression de l'énergie cinétique est connue de la majorité des candidats, à l'exception de ceux qui oublient le facteur ½.

I.1.6 De nombreux candidats n'ont pas éliminé ω_x de la relation entre σ_x et E_c.

I.2.1 Les longueurs d'onde rapportées s'étalent entre 100 nm et 10^{32} m ... attention à ne pas écrire λ= cf.

I.2.2 De nombreux candidats partent de l'expression du résultat, pour montrer son homogénéité. Nous aurions préféré l'inverse.

I.2.3 L'expression du vecteur de Poynting dans le vide **E** x **B** / μ_0 et plutôt bien connue des candidats, de même que la valeur moyenne temporelle du $\cos^2$ (.), mais le calcul dans les circonstances précises de l'exercice donne lieu à des erreurs :

- amplitude du champ **B** incorrecte
- produit f λ (égal à c) non simplifié
- direction de propagation (égale à – $\mathbf{e_z}$) trouvée dans moins d'une copie sur deux
- égalité entre vecteur et scalaire

I.2.4 Plus que la valeur numérique, c'est de l'unité du champ électrique qu'il a été question. Au hit parade des réponses fausses, le joule (J), sans doute parce que la lettre E avait été utilisée pour désigner une énergie dans certaines questions précédentes. Suivent de près le volt (V) et des combinaisons compliquées d'unités SI. Rappelons qu'un champ électrique s'exprime le plus fréquemment en volt par mètre (V/m).

I.2.5 L'énergie potentielle d'interaction -**p**.**E** est mal connue ou en tout cas mal écrite.
A noter une imagination certaine : ½ p $\mathbf{E}^2$, **p**x**E**, etc...

I.3.1 La réponse attendue est que la propagation de l'onde s'accompagne d'un amortissement (ε") et que la température du milieu s'élève (conservation de l'énergie). Ces réponses ne sont que rarement données.

Nous notons de nombreuses confusions entre **onde évanescente** et **onde amortie**.
Lors d'une réflexion totale entre un milieu d'indice n et un milieu d'indice 1, l'onde

évanescente ne se propage pas dans la direction où l'amplitude de l'onde décroît, et le milieu d'indice 1 n'est pas en lui-même absorbant ! L'onde amortie se propage dans une certaine direction, et voit son amplitude décroître dans la même direction à cause de la partie imaginaire de la constante diélectrique.

La distinction entre milieu **absorbant** et milieu **dispersif** n'est pas claire.
De nombreux candidats reconnaissent un milieu dispersif, sans prêter attention à la présence d'une partie imaginaire de ε. On voit aussi des candidats négliger d'emblée ε'' pour conclure que le milieu n'est pas absorbant. Toutes ces erreurs auraient pu être évitées par une lecture attentive de l'énoncé.

I.3.2 De fréquentes erreurs de calcul, et en particulier dans le module du dénominateur : $(1+j\omega\tau)(1-j\omega\tau)$ n'est pas égal à $1-\omega\tau^2$. Le facteur 65 est souvent manquant dans l'expression de ε''.

I.3.3 Question à la portée d'une petite moitié des candidats environ. L'erreur la plus grossière consiste à maltraiter la racine d'un nombre complexe $\sqrt{(a+jb)} = \sqrt{a} + j\sqrt{b}$...

I.3.4 Peu de candidats ont mené le calcul à son terme.

PROBLEME II.

II.1.1 Il faut, dans une telle question de cours, donner la forme explicite de la dérivée particulaire (ou convective) et expliciter les forces volumiques de pression. Attention à bien former ses dérivées partielles ∂. Nous avons vu également de nombreuses erreurs sur le signe des forces volumiques de pesanteur.

II.1.2 De fréquentes erreurs de signe pour P_h alors que l'axe (Oz) est nommément dirigé suivant la verticale ascendante.

II.2.1 Nous attendions la condition mathématique div(**v**)=0, mais des candidats ont aussi donné une condition physique, à savoir que l'écoulement d'un fluide compressible doit rester subsonique, ce qui a été aussi accepté.

II.2.2 Nous attendions le résultat de cours **rot**(**grad** Φ) = **0**. Les calculs explicites à l'aide du formulaire joint n'ont été validés que pour la forme la plus générale de $\Phi(r,\theta,\phi)$.

II.2.3 Curieusement, cette question a posé plus de difficultés que la suivante ! Peu de candidats savent que **grad** (z) = $\mathbf{e_z}$.
Le mot **uniforme**, qui était attendu, a été rarement vu. Nous invitons les futurs candidats à méditer sur la distinction entre **constant** et **uniforme**.

II.2.4, II.2.5 et II.2.6 Calculs généralement corrects.

II.2.7 Question sans problème particulier.

II.2.8 Question facile, mais souvent gâchée par des erreurs de signe portant sur les fonctions trigonométriques.

II.2.9 Les lignes de champ sont **les grandes absentes** de ce problème. Le lien entre le tableau de la question précédente et le schéma demandé n'est pas fait. Faut-il conclure que les candidats ne se représentent pas bien les écoulements qu'ils manipulent avec des équations ? Que ce soit en mécanique des fluides ou en électromagnétisme, nous encourageons donc les candidats à se représenter mentalement ou à l'aide d'un schéma, l'allure des écoulements ou des lignes de champ étudiés.
II.2.10 La plupart des candidats reconnaissent le théorème de Bernoulli pour un écoulement

stationnaire, irrotationnel, incompressible et non visqueux. Beaucoup moins nombreux sont ceux qui trouvent la bonne valeur de la constante C. Nous avons également vu des erreurs de signe dans l'expression de Bernoulli comme $P/\rho - v^2/2$. Attention enfin à l'orthographe de Bernoulli.

II.2.11 Question bien traitée par ceux ayant répondu à la question précédente.

II.3.1 Cet exercice ultra classique a donné lieu à une correction exigeante. Ainsi, la formulation de la question suggérait qu'il fallait tenir compte de la poussée d'Archimède. Or, en sa présence, l'expression $u_\infty = g\,\tau$ (τ temps de relaxation apparaissant dans l'exponentielle) n'est pas correcte, ce qui a échappé à nombre de candidats. A noter aussi l'erreur fréquente consistant à confondre la masse de la particule et la masse volumique (oubli du volume de la bille qui donne lieu à des expressions non homogènes).

II.3.2 Applications numériques faciles, mais néanmoins sélectives.

II.3.3 On ne peut se contenter d'une définition générique du nombre de Reynolds. Il est indispensable de préciser la forme du nombre de Reynolds dans le cas étudié, c'est-à-dire de préciser ce que valent la longueur caractéristique (diamètre ou rayon de la bille), la vitesse (u), la viscosité et la masse volumique du fluide. De même, on veillera à ne pas confondre viscosité cinématique et viscosité dynamique.

La valeur critique pour l'écoulement autour d'une sphère est de l'ordre de $R_c=1$, à ne pas confondre avec celle d'un écoulement turbulent de Poiseuille dans un cylindre creux, de l'ordre de quelques centaines. Le critère demandé était donc $Re < 1$ et non pas $Re \ll 1$.

II.4.1 Tableau presque toujours juste.

II.4.2 Le schéma est assez rarement correct. Nous retrouvons ici la difficulté déjà mentionnée consistant à passer d'une expression analytique des coordonnées des vecteurs à une représentation graphique correcte.

II.4.3 Cette question, la plus originale du problème, a montré que de nombreux candidats ont une intuition satisfaisante du phénomène, même si le calcul complet est peu fréquent. Le point clé du raisonnement réside dans l'étape de projection, par laquelle on passe du repère de coordonnées sphérique (r,θ,ϕ) au repère cartésien dans lequel s'exprime la vitesse $\mathbf{u} = u\,\mathbf{e_z}$. La suite du raisonnement prolonge la question II.3.1.