EPREUVE ECRITE DE PHYSIQUE I
par Fabrice THALMANN, Maître de Conférences à l'Université Louis Pasteur, Strasbourg

Introduction

Le sujet comportait deux parties indépendantes, dans un rapport de 55 à 45%. La partie I : *Mesures de résistances*, abordait l'électrocinétique, l'électrostatique, un peu de mécanique et d'ondes. La partie II : *Production de froid*, abordait la thermodynamique, un peu de mécanique des fluides et de thermodynamique chimique. Une majorité des copies étaient agréables à lire, la minorité restante nécessitant un déchiffrage de la part du correcteur. Le niveau moyen des copies est un peu décevant.

Longueur et difficulté du sujet

Les sous-parties I.1, où l'on demandait des calculs d'incertitude, et I.2 (pont de Wheatstone et questions connexes) n'ont pas été bien traitées. La sous-partie I.3 (électrostatique dans les milieux conducteurs) a été bien traitée jusqu'à la question I.3.9, les questions I.3.10 à I.3.12 étant objectivement plus difficiles. I.4.1 a été bien traitée, mais pas I.4.2. La sous-partie I.5 à été abordée à l'exception de I.5.4, ignorée.

Les calculs d'incertitudes, bien que souvent requis dans les compte-rendus de TP, n'apparaissent pas explicitement dans le programme. De fait, le traitement de ces questions a été décevant, seule une minorité de candidats maîtrisant la notion de calcul d'incertitude, même dans un cas simple.

Il a échappé à la vigilance du donneur de sujet que le traitement du pont de Wheatstone, en particulier à l'aide de la représentation de Thévenin, n'était plus dans l'esprit du programme. La question I.2.1 n'avait donc pas sa place dans cet énoncé. Est-ce la raison pour laquelle le traitement de la partie I.2 dans son ensemble fut si décevant ? Vraisemblablement oui. Cela est d'autant plus regrettable que toutes les autres questions, de I.2.2 à I.2.6 étaient très abordables.

La partie I.3 a plutôt bien joué son rôle de sélection, la plupart des candidats qui remarquaient que le potentiel V était, par symétrie de révolution, fonction de r uniquement, ont généralement pu calculer la constante K de I.3.7. A ce sujet, la notation "$V(r, \theta)$" de la question I.3.4 avait simplement pour but de rappeler que V était une fonction de l'espace (et non pas une constante) et nullement à induire en erreur les candidats quant à une éventuelle dépendance du potentiel en θ.

La partie II a été abordée dans son intégralité. La présence de questions relevant, pour la section PC, du programme de chimie ne fait pas l'unanimité parmi les correcteurs, certains y étant favorables, d'autres estimant que ces questions n'aident pas à tester les connaissances de physique des candidats, et par conséquent sont déplacées. Ces questions n'ont pas été du tout préjudiciables aux candidats, car elles ont été souvent traitées. Elles ont parfois "sauvé" la copie de candidats qui étaient loin du compte sur la partie physique.

Sans étre démesuré, le sujet semble rétrospectivement trop long, les meilleures copies parvenant à traiter environ trois quarts des questions.

Consignes de correction

Des consignes générales ont été données, qui méritent de figurer ici, car elles ont toute raison d'être d'actualité l'année prochaine encore.

- Les applications numériques ne sont valides que si **l'unité physique** est correcte, et si le **nombre de chiffres significatifs** est correct, c'est à dire proportionné au nombre de chiffres significatifs des données numériques de l'énoncé. Des points ont été enlevés dans le cas contraire.

- On ne mélange pas les données littérales et les données numériques. Ainsi, nous avons sanctionné des expressions telles que $PV = 8,31nT$.

- La plus grande sévérité s'applique aux questions de cours considérées comme fondamentales. Par exemple, une faute sur l'une des quatre équations de Maxwell, ou une écriture incorrecte, entraîne un zéro pour les points correspondants du barème.

- Les points ne sont attribués que si la réponse correspond à la question posée. La réponse, au sein d'une question, à une autre question, même correcte ne donnera pas de points. Il importe aux candidats de bien identifier les questions posées, et les réponses appropriées.

Observations des correcteurs, question par question

Problème I

I.1.1 Orientation du circuit souvent incorrecte (intensité et différences de potentiel).

I.1.2 Peu de traitements corrects du calcul d'incertitude, ou encore une application aveugle de la formule de la dérivée logarithmique, alors que ce n'est pas approprié.

I.1.3 L'ohmètre n'est pas bien reconnu.

I.2.1 Question quasi-impossible à résoudre si l'on n'a pas été confronté au moins une fois à ce circuit. Moins de 10% de réponses justes.

I.2.2 Peu de résultats corrects. Notons qu'à l'équilibre, la réponse (égalité du produit en croix des résistances) peut être trouvée en raisonnant simplement sur les ponts diviseurs de tension ABC et ADC.

I.2.4 Question classique et fort mal traitée. De nombreuses confusions entre la **force** de Laplace, et le **moment de cette force** par rapport à l'axe de rotation du cadre. Oubli fréquent du nombre de spires.

Quelques rares candidats obtiennent le résultat correct en raisonnant sur le moment magnétique du circuit. La validité du résultat est ici accidentelle, car le champ magnétique n'est pas uniforme, mais radial. Bien qu'il soit possible de raisonner de la sorte, ce n'est pas une méthode à encourager dans le cas présent.

I.2.5 et I.2.6 Une minorité seulement de réponses correctes : l'absence de rétroaction sur la borne $-$ entraîne un fonctionnement en régime saturé. La masse ne constitue pas une rétroaction. La majorité des candidats ne reconnaît pas un comparateur.

I.3.1 Les unités de résistivité et de conductivité sont assez mal connues. La notation ρ est cause de confusion entre la densité de charges électriques et la résistivité du matériau. La loi d'Ohm locale est en revanche bien connue.

I.3.2 Une erreur fréquente consiste à écrire $\overrightarrow{\mathrm{rot}}\vec{E} = \vec{0}$ et non $-\partial\vec{B}/\partial t$, dans l'ARQS. Cela revient à négliger tout effet d'induction, et à ignorer la notion d'inductance dans un circuit. Autres causes d'erreur : des dérivées droites $\mathrm{d}/\mathrm{d}t$ au lieu de dérivées partielles, la suppression du terme $\mu_0\vec{j}$ au lieu de $\epsilon_0\mu_0\partial\vec{E}/\partial t$.

I.3.4 La clé de la résolution de la question est de remarquer la symétrie de révolution en θ et d'écrire $V(r)$. En gros, ceux qui ont écrit $V(r)$ ont réussi, les autres ont échoué.

I.3.6 Le flux est bien égal au produit du courant par une surface, mais la surface est parfois mal choisie, avec une confusion entre la surface horizontale du disque de rayon r (πr^2), et la surface latérale d'un cylindre de rayon r et d'épaisseur e ($2\pi re$). Cela montre que la notion de flux à travers une surface n'est souvent pas bien assimilée.

I.3.7 On lit fréquemment que (à proscrire absolument) :

$$\frac{1}{\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)} = \ln\left(\frac{r_i}{r_e}\right)$$

I.3.8 On voit souvent les candidats se lancer dans un développement asymptotique de V à grand r, qui n'était pas demandé. La limite s'obtient en remarquant que l'argument du logarithme tend vers 1. Comme à la question précédente, on assiste à de grosses fautes dans la manipulation des logarithmes.

I.3.9 Il n'y a pas si longtemps, cette question était au programme de première des Lycées. Les candidats ayant fait le développement "dipolaire" à la question précédente reconnaissent souvent des cercles passant par l'origine, dont l'équation polaire est $r = r_0/\cos(\theta)$. C'est en effet un cas particulier.

I.3.10 Le plan d'antisymétrie est bien reconnu.

I.3.11 et 1.3.12 n'ont quasiment pas été abordés.

I.4.1 Assez bien traité.

I.4.2 Des candidats ont deviné que $V_2 - V_3$ s'annule à la transition. Les autres aspects de la question n'ont pas été traités.

I.5.1 La résistance d'un conducteur cylindrique $R = \rho\ell/S$ donne lieu à des expressions incorrectes : $R = \rho S/\ell$, $R = \ell/(\rho S)$... Rappelons que la résistance augmente avec la longueur et diminue avec la section, ce qui permet de retrouver aisément l'expression correcte.

I.5.2 Cette question de mécanique élémentaire se résout en appliquant le théorème de la conservation de l'énergie mécanique. Peu de candidats savent appliquer correctement le théorème de l'énergie cinétique, ou la conservation de l'énergie mécanique, pour obtenir l'expression de v_f. Pratiquement personne ne trouve que la particule repart en arrière si son énergie est insuffisante. La mécanique du point pose décidément de gros problèmes aux candidats.

I.5.3 Cette question était un prétexte pour aborder un peu les ondes. Des points n'ont été donnés que si un raisonnement physique (continuité des composantes tangentielles de $\vec{B}$ et $\vec{E}$ à l'interface du diélectrique, par exemple) était clairement posé. Pour beaucoup de candidats, la distinction entre coefficient de réflexion en amplitude et en énergie n'est pas claire.

I.5.4 Question peu ou pas traitée.

Problème II

II.1.1 Question d'échauffement, traitée par la quasi-totalité des candidats (sauf quelques-uns quand même).

II.1.2 La capacité calorifique d'un gaz diatomique est connue d'une majorité de candidats. La mémorisation de C_v sous la forme $R/(\gamma - 1)$ est source de confusion pour certains, qui écrivent $R/(\gamma + 1)$ à la place. C'est la cause d'erreur la plus fréquente.

II.1.3 et II.1.4 Ces questions permettent de distinguer les candidats ayant bien compris la thermodynamique et les autres. Seule une minorité de candidats ont correctement traité les deux questions. Une moitié des candidats ont traité au moins l'une des questions. Les

confusions entre détente adiabatique réversible et irréversible sont nombreuses : fréquemment, le candidat utilise la Loi de Laplace $PV^\gamma = \text{Cste}$ en II.1.3 alors que ce n'est pas approprié, puis sèche sur II.1.4. Certains candidats ont même inversé les deux questions.

De façon plus préoccupante, on assiste à de nombreuses confusions entre kelvin et degré Celsius. Beaucoup de candidats ne prennent pas la peine de convertir en kelvin les températures pour l'application numérique, source de nombreuses erreurs.

II.2.1 On lit de temps en temps que $H = U - PV$. Cette question a donné lieu à l'erreur la plus déconcertante du problème : quand bien même ils disposent d'une expression juste de l'enthalpie, par exemple $H = \gamma RT/(\gamma - 1)$, et que celle-ci reste constante, une majorité de candidats concluent que la température diminue ! Attention au réflexe conditionné détente=refroidissement...

II.3.1 Le sens de a et b est relativement bien connu, même si les explications sont confuses. En revanche, seule une minorité de candidats pensent à substituer la valeur correcte de P dans l'expression $H = U + PV$, d'où assez peu de résultats corrects seulement.

II.3.2 Ces questions techniques sont assez bien traitées. Pour avoir la totalité des points, il fallait disposer de la bonne fonction $H(V, T)$ de la question précédente, ce qui était rare. Parfois, l'expression de H était correcte, mais non simplifiée, ce qui gênait le candidat pour la suite. Insistons sur la nécessité de simplifier les expressions lorsque c'est possible.

II.3.3 et II.3.4 Environ un quart des copies parvient à trouver la température d'inversion correcte.

II.4.1 Cette question qualitative n'a été bien traitée que par une moitié des candidats. Les erreurs les plus fréquentes sont : considérer la chaleur donnée à la source chaude Q_c comme grandeur utile, ne pas définir correctement le travail reçu W, des erreurs de signe sur les grandeurs échangées.

II.5.1 Si la poussée d'Archimède est souvent mentionnée, son expression dans le contexte présent n'est pas toujours correcte. En particulier, on voit parfois apparaître la masse volumique du butane au lieu de celle de l'air. On lit aussi que c'est la force de viscosité qui fait remonter les bulles.

II.5.2 Les points du nombre de Reynolds n'ont été donnés que si l'expression était adaptée au contexte de la question : longueur caractéristique de l'ordre du rayon de la bulle, vitesse de l'ordre de la vitesse de la bulle, masse volumique de l'eau, *etc.*

II.5.3 Débit assez bien traité (la question ne précisait pas si le débit souhaité était volumique ou massique). Une erreur fréquente a consisté à calculer le débit des bulles (nombre de bulles par seconde), ce que l'on ne pouvait faire, faute de données suffisantes.

II.5.4 Les réponses sont majoritairement correctes : non miscibilité de l'eau et du butane, nature chimique différente des molécules. On lit cependant assez fréquement que le mélange est idéal car les composants sont non miscibles. Distraction ?

II.5.5 et II.5.6 Questions proches du cours, assez bien traitées.

II.5.7 D'assez nombreuses réponses correctes à cette question qualitative.

Florilège des erreurs que les correcteurs ne souhaitent plus revoir
(entre parenthèses, la partie ou la question correspondante).

- Des confusions entre densité de charge électrique ρ et résistivité ρ (I.3.1).
- Des équations de Maxwell fausses (I.3.2).
- Des notations incorrectes pour les opérateurs différentiels (I.3.2). Exemple : $\mathrm{d}/\mathrm{d}t$ au lieu de $\partial/\partial t$.

- Des horreurs avec les logarithmes (partie I.3) :

$$\frac{1}{\ln r} = \ln \frac{1}{r}$$

$$\lim_{e \to 0} \ln(r/e) = \ln r$$

etc.

- Le théorème de l'énergie mécanique massacré (I.5.2). Rappelons que l'énergie cinétique d'une masse ponctuelle est $\frac{1}{2}mv^2$.
- $H = \frac{7}{2}RT$, H est conservé, donc T diminue (II.2.1)...
- Enthalpie $H = U - PV$ (II.2.1).
- Jusqu'à nouvel ordre, la force de viscosité ne fait pas remonter les bulles, mais s'oppose à leur déplacement (II.5.1).

Conseils aux futurs candidats

Les candidats sont encouragés à faire des efforts dans la présentation des résultats, en adoptant une rédaction concise, et en soulignant ou encadrant le résultat le plus significatif de leur calcul. Ils doivent s'assurer de bien répondre à la question posée, et bien identifier sur la copie un éventuel retour en arrière dans l'énoncé. Les candidats doivent relire attentivement leur copie.

Les candidats doivent vérifier que leurs applications numériques sont munies d'une unité (si possible correcte), et d'un nombre de chiffres significatifs adéquat (il ne peut pas être supérieur au nombre de chiffres significatifs des données de l'énoncé). Pour se familiariser avec la notion de chiffre significatif, nous encourageons les candidats à s'intéresser à la notion de calcul d'incertitude, en lien par exemple, avec les compte-rendus de TP. Les candidats éviteront d'exprimer leurs résultats sous forme semi-numérique, c'est à dire en mélangeant des données numériques et des données littérales. Lorsque le résultat trouvé à une question est réutilisé dans une question suivante, cela vaut la peine de simplifier l'expression le plus possible (développer, réduire, factoriser...).

Lorsqu'un résultat de cours est demandé, le candidat doit préciser le cas échéant les conditions de validité de ce résultat, et dans le cas d'une formule, préciser la signification des termes et le lien avec la question traitée. Par exemple, il faut faire le lien entre la formule du nombre de Reynolds et les grandeurs physiques du problème posé. Autre exemple, la loi de Laplace $PV^\gamma = \text{Cste}$ pour une détente adiabatique s'applique si le gaz est parfait, et si la détente est réversible.

Les candidats sont avisés de ne pas s'épuiser sur une question difficile, et de ne pas sauter une partie d'un problème sans s'assurer auparavant qu'il n'y a pas de questions abordables dans cette partie. Pour cela, une lecture préalable de l'intégralité de l'énoncé est conseillée, avant de commencer sa composition.