

6. Rapport relatif à la composition de physique

❖ Généralités et commentaires portant sur l'ensemble du sujet

Cette épreuve avait pour sujet la thermodynamique à l'équilibre, des fondements à l'étude de plusieurs applications : mécanique des fluides, élasticité et propriétés magnétiques de certains milieux. Toutes les parties abordent les phénomènes étudiés aussi bien d'un point de vue macroscopique que microscopique.

En physique, la thermodynamique n'est assurément pas un domaine indépendant des autres. Elle traite des échanges d'énergie en prenant en compte l'énergie des degrés de liberté microscopiques. Relève donc de la thermodynamique toute étude physique qui prend en compte la température. Celle-ci en est pratiquement la signature.

Par ailleurs, le sujet comporte plusieurs questions de mécanique. Il s'agit d'une des parties les plus importantes de la physique. Elle est abordée très tôt par les élèves dans leur scolarité et elle est très présente par ses manifestations souvent spectaculaires dans la vie quotidienne. Pourtant, elle est mal maîtrisée par une grande proportion des candidats. De telles lacunes ne sont pas recevables de la part de futurs enseignants de sciences physiques. Nous invitons donc les futurs candidats à redoubler d'efforts dans ce domaine.

Plus généralement, le sujet proposé évalue les connaissances des candidats et non leur aptitude à mener des calculs souvent fastidieux.

Le jury est surpris de constater de fréquents recours à des formalismes lourds de physique statistique, d'autant plus que les candidats peinent ensuite à les simplifier pour obtenir la limite haute température, qui est le résultat demandé.

En réalité, la grande majorité des questions posées peut être traitée de façon concise. Mais cela nécessite une connaissance précise et rigoureuse des définitions, des principes ou théorèmes avec les hypothèses nécessaires. Les correcteurs rappellent également qu'un résultat affirmé sans preuve n'a aucune valeur, la physique ne se résumant pas à un formulaire. Par exemple, la relation de Mayer $C_p - C_v = R$ est souvent affirmée sans justification ; lorsqu'elle l'est, c'est souvent de manière peu rigoureuse, sans expliciter en quoi l'hypothèse du caractère parfait du gaz est nécessaire.

Un point positif est à signaler : de nombreux candidats traitent les évaluations numériques demandées et savent estimer des ordres de grandeur, littéraux comme numériques. Une telle attitude doit être maintenue : avec peu de technicité, il est alors possible d'aborder rapidement et simplement des applications de la physique et de tester tel ou tel modèle.

Le traitement théorique propre à la thermodynamique classique macroscopique est souvent incorrect. Des raisonnements faisant appel à la « chaleur » dans telles ou telles conditions sont encore courants. Une construction moderne s'appuyant sur les fonctions d'état et leurs différentielles est indispensable. Les coefficients calorimétriques et les capacités thermiques en particulier doivent être définis à partir de dérivées partielles de l'énergie interne ou de l'entropie, et non pas comme des chaleurs échangées. Ceci n'interdit nullement d'interpréter un phénomène ou le résultat d'un calcul à l'aide de raisonnements qualitatifs sur les énergies échangées, ce que les candidats savent souvent faire, ce qui montre qu'ils ont compris l'essentiel.

La mise en équation des principes et théorèmes nécessite l'utilisation d'un certain formalisme. D'une certaine façon, ce n'est pas le plus difficile et il y a une bonne part d'arbitraire dans le choix des notations. Mais le but poursuivi doit être de se faire bien comprendre par le lecteur.

Ce souci doit être présent à l'esprit du futur enseignant et l'utilisation d'un formalisme choisi avec soin est une aide à la compréhension.

En particulier, le symbole d est employé pour représenter la différentielle d'une fonction et Δ pour sa variation dans une transformation non élémentaire. L'utilisation de ces symboles pour le travail et l'énergie thermique échangée n'est pas acceptable et doit être considéré comme une erreur grave. Confondre un raisonnement intégral avec un raisonnement élémentaire ne l'est pas moins (en particulier pour traiter un comportement cyclique). Ce manque de soin dans le choix et l'utilisation du formalisme est constaté dans de trop nombreuses copies. Il traduit souvent une compréhension trop superficielle du sujet et un manque de rigueur.

❖ Commentaires spécifiques à certaines questions

I – Agitation thermique des gaz

- 2) Le point fixe de l'eau en question est le point triple à 273,16 K.
- 3) v^* a la dimension d'une vitesse et non d'une vitesse au carré.
- 4) Le mouvement brownien est souvent confondu avec l'agitation thermique.
- 8) Les électrons sont des fermions et se comportent comme tels. Cela semble peu connu.

II – Énergie interne et capacités thermiques

- 2) 3) 4) La relation $Q = C \Delta T$ est présente dans de trop nombreuses copies sans qu'aucune hypothèse ne soit précisée !
- 3) Le thermostat, système ayant des propriétés bien particulières, est souvent confondu avec l'appareil de régulation de température.
- 5) La confusion est souvent faite entre sommation sur l'ensemble des états et sommation sur les énergies.
- 6) L'indépendance des particules, hypothèse nécessaire pour appliquer la statistique de Boltzmann à chacune d'elle (factorisation de la fonction de partition) n'est que très rarement mentionnée.
- 13) La question est très mal traitée, même pour les seules contributions de translation et de rotation.
- 14) Le développement de Taylor de l'énergie potentielle autour de l'équilibre stable est trop rarement correctement écrit.
- 15) Trop peu de candidats pensent à la masse réduite

III – Les principes de la thermodynamique

- 2) L'énoncé du premier principe doit prendre en compte une énergie mécanique macroscopique et non seulement une énergie interne.

- 3) 4) L'énoncé du premier principe ne prend en compte que le travail des forces extérieures, alors que celui de l'énergie cinétique prend en compte également le travail des forces intérieures.
- 6) Les énoncés fondamentaux sont mal connus. Les bilans énergétiques sur ce système élémentaire sont donc rarement faits correctement. Ce système est un exemple où $Q_{12} \neq Q_{21}$.
- 9) L'expression $S(T, V)$ doit être homogène !
- 11) L'équiprobabilité des micro-états nécessite d'avoir affaire à un système isolé.
- 12) L'interprétation statistique du second principe se résume trop souvent à un accroissement du désordre, notion floue. A l'équilibre thermodynamique, le système se trouve dans l'état macroscopique le plus probable, celui correspondant au plus grand nombre de micro-états.
- 13) Il manque souvent une hypothèse : détente adiabatique ou dans le vide. Et la constance de la température doit être justifiée dans le cas du gaz parfait.

IV – Identité thermodynamique et détermination des fonctions d'état

- 2) 3) L'écriture des différentielles de U et S pose de gros problèmes aux candidats et il en est de même du signe du travail élémentaire. En conséquence, les relations de Clapeyron sont rarement démontrées.
- 18) Les hypothèses permettant l'utilisation de la formule de Stirling se réduisent souvent à $N \gg 1 \dots$

V – Les moteurs thermiques

- 2) Il y a trop de mauvaises réponses à cette question. Beaucoup de candidats se contentent de raisonner sur PdV ou TdS sans s'intéresser au cycle.
- 3) La confusion entre travail et puissance est courante.

VI – Bilan énergétique sur un système ouvert

Les quatre premières questions mettent en évidence des lacunes concernant le traitement d'un système ouvert et l'absence de connaissances solides en mécanique des fluides.

VII – Obtention de basses températures par liquéfaction d'un gaz

- 5) Une grandeur extensive est proportionnelle au nombre n de particules, tous les autres paramètres étant intensifs. Il ne suffit pas que la grandeur dépende de n . La notion d'extensivité est donc à revoir.
- 7) La détente de Joule-Thomson est peu et mal connue, quand elle l'est. Le traitement des systèmes ouverts n'étant pas maîtrisé, les bonnes réponses à cette question sont très peu nombreuses.

VIII – Thermodynamique des milieux magnétiques

- 6) 7) et 8) De nombreux candidats connaissent ce modèle, mais peu le traitent sans erreur. L'expression de l'énergie d'un dipôle dans un champ est souvent fautive, ainsi que les signes intervenant dans les facteurs de Boltzmann.
- 12) L'expression de H est très rarement correcte. Il s'agit pourtant d'un calcul élémentaire de magnétostatique.