

1/ REMARQUES GÉNÉRALES

Le sujet était constitué d'un problème sur le thème unique du traitement de l'air dans l'habitat. Il comprenait trois parties indépendantes faisant appel à plusieurs thématiques de première et deuxième année. La première partie portait sur le fonctionnement d'une VMC double flux et abordait principalement la démonstration et la mise en œuvre du premier principe dit industriel pour un écoulement stationnaire. La seconde partie traitait de l'humidité de l'air dans l'habitat : on montrait comment la VMC permet d'assurer une humidité contrôlée avant d'étudier le principe d'un hygromètre capacitif faisant appel au programme d'électromagnétisme et d'électrocinétique en régime sinusoïdal. La dernière partie permettait de comprendre comment réduire l'impact sonore d'une VMC par l'installation de résonateurs de type Helmholtz sur les conduites : elle était essentiellement centrée sur la théorie linéaire des ondes acoustiques et de ses conséquences, avec une incursion dans le domaine des oscillateurs mécaniques.

Le nombre important de questions et de démonstrations de cours ou apparentées a permis à des candidats maîtrisant bien leur cours d'avoir une note très confortable en abordant dans l'ordre et quasiment dans l'intégralité les différentes parties. À l'opposé, les candidats avec des lacunes dans la plupart des thématiques abordées dans ce sujet ont été lourdement pénalisés.

Plusieurs points ont été soulevés par les correcteurs :

- Un nombre important de résultats était donné dans le sujet dans l'idée d'éviter aux candidats un éventuel blocage prématuré et de leur permettre donc de poursuivre. Évidemment, les points du barème pour ces questions portaient sur la rigueur du raisonnement conduisant au résultat et à la qualité des justifications. Malheureusement, beaucoup trop de candidats pour arriver coûte que coûte aux résultats multiplient les justifications ambiguës, les contradictions au sein même du raisonnement, les longues phrases alambiquées, les calculs approximatifs voire complètement faux...

- La rédaction est souvent insuffisante. Trop de raisonnements se limitent à un enchaînement de calculs, rarement expliqués et justifiés. C'est particulièrement le cas des questions portant sur les bilans de masse, d'énergie ou encore de matière (Q1, Q4, Q14, Q33). Associé à cela, il est rare d'avoir un schéma permettant d'illustrer le raisonnement (Q18, Q21).

- Les développements calculatoires restent une source de difficulté majeure : erreurs fréquentes de signe, développements limités non maîtrisés, expressions littérales non homogènes ou non simplifiées, égalités entre des grandeurs scalaires et vectorielles, confusions entre volume et surface ou entre énergie et puissance... Certains symboles mathématiques utilisés pour définir des grandeurs physiques ont un sens précis que certains candidats ne semblent pas connaître : on note par exemple δW et non dW un travail élémentaire (Q2) et on ne peut pas écrire que $dU = W + Q$ (Q3).

- Le degré d'initiative des candidats est souvent faible. Trop de candidats font le choix d'esquiver des questions ne relevant pas strictement d'une situation traitée en cours (Q13, Q35). Cela révèle une certaine tendance à réduire le programme de physique à un ensemble de recettes applicables dans un cadre prédéfini sans en percevoir la logique sous-jacente.

2/ REMARQUES SPÉCIFIQUES

Q1. Le système ouvert et le système fermé sont souvent confondus et les arguments pour la démonstration inversés : l'hypothèse d'un écoulement stationnaire implique que $m_S(t) = m_S(t + dt)$, alors que la conservation de la masse du système fermé implique que $m_{S^*}(t) = m_{S^*}(t + dt)$.

Q2. Question rarement traitée correctement. Les signes des travaux massiques en entrée et en sortie doivent être clairement justifiés.

Q3. La rigueur de la démonstration est essentielle. On attend ici un bilan d'énergie interne pour le système fermé entre les instants t et $t + dt$. L'énergie interne de ce système à chaque instant contient l'énergie interne du volume de contrôle, souvent oubliée.

Q4. Ici aussi, la rigueur de la démonstration est essentielle. On rencontre trop souvent des égalités entre une grandeur élémentaire et une grandeur finie. Le passage de l'énergie interne massique à l'enthalpie massique a été source de difficultés.

Q5. Question globalement bien traitée. Une résistance thermique ne s'exprime pas en Ω .

Q6. Question bien traitée. Il est toutefois préférable d'exprimer les grandeurs demandées dans les unités du Système International : c_p s'exprime en $J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$.

Q7. L'énoncé demandait explicitement de préciser le système d'étude, mais de nombreux candidats s'en sont dispensés, ce qui a rendu extrêmement confus la suite du raisonnement. De nombreuses erreurs de signes ont été constatées en raisonnant sur le système constitué de l'ensemble de l'échangeur. Ces erreurs révèlent des incompréhensions sur l'extensivité de l'enthalpie et sur le fait que le calcul de Δh s'effectue entre l'entrée et la sortie du système.

Q8. Question peu traitée. Certains candidats font intervenir à tort la résistance thermique définie dans la question Q5.

Q9. De nombreuses erreurs de signes liées manifestement à la difficulté de se représenter le système d'étude.

Q10. Question peu traitée dans la mesure où nombre de candidats a été bloqué aux questions précédentes.

Q11. Une question de cours très classique, mais pour autant tous les points n'ont pu être systématiquement attribués : inversion abscisse/ordonnée, diagramme donné en coordonnées de Clapeyron, courbe de l'équilibre liquide/vapeur quasi-verticale avec une pente négative mal représentée, identification des différentes phases fautive, point critique non connu...

Q12. Question globalement bien traitée, mais parfois entachée d'erreurs dans les applications numériques.

Q13. On rencontre trop souvent des réponses complètement aberrantes, par exemple la nécessité de plusieurs dizaines de m^3 d'eau à l'état liquide pour saturer en humidité l'air d'une cuisine ! Il est fondamental que les candidats aient un regard critique et sachent faire appel à leur bon sens.

Q14. Ce bilan de matière ne doit pas se résumer à l'écriture directe d'une égalité faisant intervenir les différentes grandeurs de l'énoncé et qui bien souvent est non homogène (oubli fréquent du volume dans le terme de variation). Un minimum de rédaction est attendu : la variation de la masse d'eau dans la pièce entre les instants t et $t + dt$ est égale à la somme de la masse échangée à travers la surface qui délimite le système et de la masse produite par les personnes et leurs activités.

Q15. De très nombreuses comparaisons entre le débit massique et le débit volumique. Les candidats qui ont compris la nécessité d'estimer la masse volumique de l'air pour passer d'un débit à l'autre sont bien trop rares, ce qui témoigne d'un manque d'initiative face à une question moins guidée.

Q16. Le régime n'étant pas stationnaire, il est indispensable d'évoquer la distribution des charges mais aussi des courants. Parler de l'invariance du champ ou d'un plan de symétrie du champ alors qu'on cherche justement à définir ce champ révèle une profonde incompréhension de la démarche (confusion

entre cause et conséquence). Lorsqu'un plan de symétrie de la distribution est identifié, il est nécessaire pour conclure de bien préciser que le champ appartient à ce plan.

Q17. Question bien menée, la manipulation des opérateurs divergence et rotationnel semble maîtrisée.

Q18. Question particulièrement mal traitée. L'énoncé faisait le choix de préciser que le champ est nul à l'extérieur afin de simplifier l'étude par rapport au classique calcul de cours utilisant le principe de superposition. Force est de constater que ceci a dérouté les candidats. La surface de Gauss est rarement bien choisie (des cercles ou des disques ont même été évoqués comme surface fermée !) ou bien positionnée (le flux sortant du champ à travers un cylindre perpendiculaire aux armatures et qui traverse les deux est nécessairement nul !). Un schéma explicatif est ici indispensable.

Q19. L'ARQS a été rarement reconnue.

Q20. Un manque d'honnêteté de la part de certains candidats : l'erreur fréquente de signe dans la question Q18 aurait dû conduire à une capacité négative sans aucun sens physique. Plutôt que de relever l'incohérence, ces candidats préfèrent faire disparaître ce signe au milieu du calcul.

Q21. Question traitée de façon efficace lorsque la formule du diviseur de tension est connue.

Q22. De nombreuses erreurs dans le calcul de l'impédance équivalente de l'association parallèle. Vérifier l'homogénéité du résultat permet souvent de déceler ces erreurs. L'identification des parties réelles et des parties imaginaires lorsque deux complexes sont égaux a posé des difficultés.

Q23. On ne peut donner une réponse justifiée sans avoir trouvé l'expression de la capacité dans la question Q22.

Q24. Question de cours peu réussie : les termes d'ordre 1 doivent être comparés à une référence. En particulier, le cadre de l'approximation acoustique impose que $v \ll c$.

Q25. et **Q26.** Si l'équation d'Euler est connue, elle est trop souvent mal écrite : oubli des flèches pour les grandeurs vectorielles, oubli des parenthèses pour l'opérateur $(\vec{v} \cdot \overline{\text{grad}})$. Lorsque les résultats sont donnés, on ne doit pas se contenter d'écrire qu'on se limite aux termes d'ordre 1 ou simplement qu'on linéarise : tous les termes d'ordre 2 doivent être clairement identifiés.

Q27. Question bien traitée.

Q28. La différentiation logarithmique est en général bien maîtrisée.

Q29. Question bien traitée, soit par dérivation/intégration explicite de la première équation de couplage, soit en passant par sa représentation complexe.

Q30. Il faut bien préciser que les deux termes sont des énergies volumiques.

Q31. L'obtention des unités dans le Système International de I ne suffit pas à conclure que cette grandeur est homogène à une puissance surfacique : il faut de même exprimer une puissance surfacique dans les unités du Système International pour comparer. Il est aussi efficace de voir que le produit d'une force par une vitesse est homogène à une puissance.

Q32. L'énoncé est souvent mal lu si bien que le facteur 4 est oublié.

Q33. Beaucoup de candidats se sont limités à la résolution de l'équation différentielle alors que le bilan d'énergie ne posait pas de difficultés.

Q34. Question bien traitée.

Q35. Question très souvent évitée. Les rares candidats à y avoir réfléchi se sont souvent limités à des calculs de surface et volume.

Q36. L'expression de la résultante des forces pressantes est souvent correcte, mais la linéarisation de la loi de Laplace a été rarement bien menée.

Q37. Question bien traitée.

Q38. Un nombre non négligeable de candidats sait estimer le facteur de qualité par le nombre d'oscillations visibles. Les phénomènes dissipatifs ne sont pas toujours évoqués.

Q39. D'étonnantes erreurs pour la mesure de la période à partir du graphe. L'allongement de la couche d'air pour expliquer l'écart entre l'expérience et le modèle a été rarement compris.

Q40. Question peu abordée.

Q41. Question bien traitée : les candidats pensent souvent au signe moins pour l'onde réfléchi.

Q42. L'équation déduite de la conservation du débit volumique n'a quasiment jamais été trouvée sans erreurs.

Q43. Question peu traitée, et quand elle l'est, il n'est pas rare de voir des modules avec un signe négatif.

Q44. La plupart des candidats se sont fait piéger en voyant un filtre passe-bande : s'agissant d'une perte de transmission en ordonnée, le filtre est un coupe-bande.

3/ CONCLUSION

Le sujet a permis de répondre à l'objectif de sélection en balayant de nombreux thèmes du programme et en alternant des questions de cours, des questions techniques, des questions d'appropriation d'une situation nouvelle, des questions d'interprétation physique... Une parfaite connaissance du cours et des méthodes associées est un impératif. Il faut toutefois éviter l'écueil de l'apprentissage par cœur, parfois mal assimilé, empêchant une mobilisation efficace des connaissances dans un contexte légèrement différent de celui où il a été rencontré. Enfin, les questions pour lesquelles le résultat est donné impliquent de présenter des raisonnements rigoureux et des explications physiques claires et concises.