

Physique-chimie 2

Présentation du sujet

Ce sujet concerne diverses installations aquatiques et périaquatiques. Une première partie s'attache à évaluer un procédé de récupération d'énergie thermique d'eaux usées, par l'entremise d'une pompe à chaleur et de modules échangeurs. Les candidats doivent alors mobiliser leurs connaissances de thermodynamique des machines thermiques (cycle du réfrigérant, bilans, coefficients de performance...) avec, pour objectif concret, un dimensionnement de l'installation. Une seconde partie propose d'évaluer les bénéfices de l'emploi de couvertures à lattes, déployées pendant les périodes de fermeture sur les bassins chauffés afin de minimiser les pertes par convection et évaporation. Cette fois, la démarche de résolution est à l'initiative du candidat.

La partie III consiste à étudier un dispositif d'électronique analogique à vocation thermostatique (régulation de l'air intérieur) et la partie IV propose une rapide analyse mécanique de la glissade d'un baigneur sur toboggan hélicoïdal.

Enfin une cinquième et dernière partie s'intéresse à un traitement antibactérien substitutif à l'adjonction usuelle d'hypochlorite : l'utilisation d'un électrolyseur et de cristaux de sel. Cette partie fait principalement appel aux connaissances fondamentales du cours de chimie sur les réactions d'oxydoréduction en solution aqueuse (diagrammes $E-pH$ et estimation de courant d'électrolyse).

Deux coquilles ont malheureusement échappé aux diverses relectures de ce texte. Dans la question Q15, il fallait lire $N_m = 35$ au lieu de $N_m = 45$. Dans le document 3 de la partie II, l'unité du coefficient conducto-convectif h a été tronquée, il fallait lire $h = 50 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ au lieu de $h = 50 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}$.

La première erreur conduisait à une valeur de L_0 non entière ce qui n'a gêné aucun candidat puisque L_0 n'était pas directement demandé. La seconde en a perturbé quelques-uns, en particulier pour la question Q20 qui demandait une relation entre h et résistance thermique (qui s'exprime en $\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$). Nous avons donc été bienveillants sur les copies s'inquiétant de cette incohérence.

Analyse globale des résultats

Le niveau moyen des copies s'est révélé plutôt faible pour un sujet fidèle aux connaissances exigées dans le programme officiel de ces classes.

La thermodynamique est très présente puisqu'elle pesait 50 % du barème (parties I et II). Elle est suivie de la chimie avec 27 % (partie V), de l'électronique analogique avec 16 % (partie III) et de la mécanique du point matériel avec 7 % (partie IV).

L'efficacité des candidats sur les différents domaines s'est répartie différemment : la partie V (chimie) arrive en tête devant la partie I (bilan thermo, cycle et coefficient de performance) puis l'électronique (partie III). Les parties IV (mécanique) et II (comprenant la question 21 à résolution ouverte sur les pertes thermiques comparées) sont les moins réussies. Ce sont aussi les moins traitées dans les copies : plus d'un tiers des candidats n'a même pas cherché à les aborder ! Autant la peur (peu rationnelle pourtant) du caractère chronophage de la question 21 non guidée était prévisible, autant le refus d'obstacle observé sur la partie du toboggan aquatique nous a surpris.

Insistons ici encore une fois sur les questions repérées dans les sujets comme étant ouvertes (et chronophages) comme la question 21 en rappelant :

- que les éléments de réponse sont « valorisés même s'ils n'ont pas abouti » ;
- que « le barème tient compte du temps nécessaire pour explorer les pistes et élaborer un raisonnement ».

S'il peut être pertinent de différer ce temps de réflexion et de résolution, c'est un bien mauvais calcul de l'ignorer simplement. Quelques informations judicieusement repérées dans les documents, quelques pistes de calcul des quantités de chaleur perdues et le candidat augmentait sa note finale en moyenne de 10 %.

Enfin, beaucoup de candidats n'imaginent sans doute pas qu'ils paient un lourd tribut par l'indigence de leurs réponses ; il faut répondre complètement et précisément ! Lorsque le sujet demande d'identifier et de justifier la nature de transformations thermodynamiques, un adjectif ne suffit pas ! Lorsque il demande de déterminer l'expression d'un débit massique, une analyse dimensionnelle ne suffit pas ! Pour ne pas perdre de points, les réponses doivent être consolidées par une rédaction réellement démonstrative, nécessaire et suffisante.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

I Utiliser une source d'énergie gratuite

Q1.–Q3. De nombreux candidats retrouvent la formule de l'efficacité théorique pour une pompe à chaleur ditherme réversible. Toutefois, une proportion inquiétante utilise les températures en °C dans l'application numérique ! Se sont-ils, dans ce cas, posé la question des conséquences d'une température de 0 °C dans l'inégalité de Clausius qu'ils ont évoquée quelques lignes auparavant ?

Q4. Cette question (qui correspond à une démonstration exigible du programme officiel) a dévoilé un apprentissage du cours très approximatif pour la majorité des candidats. L'énoncé en rappelle pourtant les étapes clés. Le tracé même des frontières des systèmes ouvert ou fermé à des instants successifs t et $t + dt$ trahit souvent une incompréhension de base de la démonstration (ex : une section d'entrée associée à l'instant t et une section de sortie à l'instant $t + dt$). Les grandeurs massiques ne sont pas définies correctement si la masse infinitésimale de fluide ayant traversé le système ouvert en régime permanent n'est pas clairement identifiée. Ce n'est pas en divisant une grandeur par une « masse non identifiée » que l'on définit une grandeur massique ! Enfin, le travail indiqué (ou utile) (ou « des parties mobiles ») est rarement défini par distinction des travaux d'admission et de refoulement.

En conséquence, il serait bienvenu que les étudiants travaillent la maîtrise et la rigueur de ces démonstrations fondatrices du cours, car leur méconnaissance entraîne la perte d'un nombre significatif de points.

Q5. On demandait d'*identifier et justifier la nature* des transformations. Beaucoup de points ont été abandonnés sur cette question également : en répondant par exemple « transformation isenthalpique » sans préciser qu'il s'agit d'une détente de liquide en mélange liquide-vapeur qui s'avère isenthalpique puisque la transformation est adiabatique et qu'il n'y a pas de travail reçu de parties mobile, conformément au bilan enthalpique démontré précédemment.

Q8. (et **Q14.**) Une expression de débit massique ne peut être « déterminée » par analyse dimensionnelle seule.

Q11. Une majorité de copies a cherché à obtenir l'équation de diffusion unidimensionnelle en utilisant la loi de Fourier dans cet écoulement fluide et en ignorant totalement l'échange de chaleur prépondérant avec le circuit contigu d'eaux usées ! La lecture de l'évolution exponentielle proposée dans la question suivante devait pourtant alerter le candidat sur l'incohérence imminente.

Q13. Triste et inquiétant florilège sur la signification physique de l_c . Même la dimension de longueur (évidente avec **Q12.**) a été ignorée par certains (« chaleur latente », « temps de réponse »...) tandis que nombre de candidats peinaient à interpréter sa signification (« régime permanent », « température valant 95 % de la température finale à $3l_c$ »...).

II Éviter les pertes

Q19. et **Q20.** Déterminer une résistance thermique consiste à démontrer une expression analytique demandée à partir de la définition de celle-ci et de lois physiques (comme Fourier ici). Donner l'expression finale rapportait 1/6 des points de **Q19.**

Q21. Cette question représentait 10 % du barème total ! Donc, il faut oublier le caractère chronophage et tenter une résolution même partielle.

III Réguler la température

Q22. La grande majorité des candidats a su exploiter le diviseur de tension, mais une bonne proportion d'entre eux ne justifie pas que R_0 et $R(T)$ sont en série dans le modèle de l'ALI idéal.

Q23. La calculette est bien disponible lors de ces épreuves pour effectuer par exemple une régression linéaire et en extraire un coefficient de corrélation. Trop d'étudiants partent sur des tracés approximatifs et perdent un temps précieux dans des calculs de pente et ordonnée à l'origine à partir de couples de points pris d'ailleurs au hasard dans la liste de valeurs proposées.

Q24.–Q27. Le fonctionnement en saturation a été justifié, mais le fait que v_s ne puisse prendre que les valeurs $\pm V_{\text{sat}}$ n'a pas toujours été exploité correctement puisque l'on trouve des segments affines dans les tracés de bon nombre de copies. L'appellation « comparateur à hystérésis » est rarement connue.

Q28. Aucun candidat n'a réalisé que l'on souhaitait un fonctionnement avec les mêmes composants, quelle que soit la température de consigne T_c et qu'à cet effet, $v_1(T)$ ne pouvait qu'être affine. Au lieu de quoi, nous avons eu droit à pléthore de justifications délirantes. Quand on n'a pas d'idée, il vaut mieux passer à la suite.

Q29.–Q32. Très peu traitées. Même chez ceux qui ont correctement déterminé les cycles d'hystérésis.

IV Des toboggans sous contrôle

Q33. Le coefficient α n'est pas un angle plan et l'absence d'unité (ici $\text{m}\cdot\text{rad}^{-1}$ ou $\text{m}\cdot\text{tr}^{-1}$) associée au calcul numérique de ce coefficient nous a conduit à refuser les points : pas d'unité = pas de points à l'application numérique.

Q34. et **Q35.** Si l'absence de frottements a conduit un certain nombre de candidats à l'expression et la valeur de la vitesse d'expulsion en sortie de toboggan par un théorème énergétique, la résolution par insertion de la proportionnalité $z = \alpha\theta$ dans l'expression cylindrique de la vitesse s'est avérée insurmontable. Nous avons été surpris par l'échec quasi général sur cette question de cinématique qui nécessitait des compétences de calcul mathématique (séparation de variables pour intégration par exemple). Quelques très rares candidats ont su exploiter avec pertinence le principe fondamental

de la dynamique en « déroulant » le toboggan pour l'assimiler à une situation de glissade sur pente régulière.

Profitons également de cette question pour détruire le mythe (fréquemment rencontré dans les copies) affirmant que $v = d/t$ soit la définition de la vitesse à l'instant t .

V Une eau traitée par électrolyse

Q36. Problèmes de définition du paramètre de maille cubique.

Q37. Valeurs aberrantes très fréquentes pour la masse volumique. Il faut travailler les ordres de grandeur !

Q38. Positions confirmées par les nombres d'oxydation relatifs et l'acidité relative, mais il serait bienvenu d'expliquer le passage au diagramme $E - pH$ par le fait que le domaine de prédominance de l'espèce plus oxydante se situe dans la région des plus forts potentiels d'équilibre E de la solution et que le domaine de prédominance de la base d'un couple acide-base se situe dans une région de plus fort pH que celle de son acide conjugué. Et non : un acide n'a pas de « pH faible », car un acide n'a pas de pH . Une solution à l'équilibre a un pH associé. De la même façon, un oxydant ou un réducteur n'a pas de potentiel E .

Q39.–Q46. Nombreuses erreurs dans les équilibrages d'équations ou demi-équations. Une vérification graphique ne consiste pas à écrire : « oui c'est bien ce que l'on observe sur le graphique » !

Les équations frontière des couples redox de l'eau ont assez rarement été justifiées par la convention de tracé à pression partielle du gaz (O_2 ou H_2) égale à la pression standard de 1 bar.

Q47.–Q52. Malgré l'identification (dans l'énoncé) des gaz produits par l'électrolyseur, bien peu d'étudiants ont su associer les demi-réactions respectives à l'anode et la cathode. Leur définition est-elle connue ?

La médiamutation est l'antonyme de la dismutation.

Le calcul de i (et donc de P) a été rarement abordé et encore plus rarement correct.

Conclusion

Nous invitons donc les candidats des prochaines sessions à suivre les conseils suivants.

- Travailler la précision et la rigueur des démonstrations fondamentales exigibles au programme officiel de la classe (définir clairement les systèmes, leur frontière, les grandeurs échangées avec les différents interacteurs...).
- Connaître les définitions de base (ici : anode, cathode, $pK_a \neq K_a$, coefficient de performance, résistance thermique, comparateur à hystérésis inverseur...).
- Apprendre un certain nombre d'ordres de grandeur pour s'autocorriger lors de l'épreuve (ici : coefficient de performance d'une pompe à chaleur, masse volumique de cristaux...).
- Ne pas hésiter à consacrer un bon moment d'analyse et de réflexion en vue d'une tentative de résolution de question non guidée.

Nous sommes convaincus que ces commentaires (détaillés et spécifiques à l'épreuve, mais souvent généralisables) de rapport d'épreuve avantageront ceux qui feront cet effort de lecture attentive.