

Physique-chimie 1

Présentation du sujet

Le sujet est constitué de deux parties indépendantes. La première, davantage orientée vers le programme de chimie de la filière, étudie succinctement la couche d'ozone et débouche sur un questionnement ouvert visant à déterminer l'altitude pour laquelle la concentration en ozone est maximale. La seconde, dont le contenu porte pour l'essentiel sur la propagation d'ondes ainsi que sur quelques éléments de mécanique des fluides, propose d'interpréter au moins partiellement, la formation de nuages prenant l'aspect de la houle et résultant d'une instabilité dite de Kelvin Helmholtz.

Le sujet est de longueur raisonnable et les sous parties de niveaux de difficulté variables, les questions se limitant à des restitutions directes de cours ou au contraire mobilisant des capacités d'analyse, de réflexion et de communication du candidat.

Analyse globale des résultats

Les candidats sont nombreux à avoir abordé l'ensemble des parties et sous-parties proposées, le plus souvent en respectant la progression suggérée par l'énoncé. Aussi, les questions non guidées, représentant plus de 20 % du barème et s'appuyant sur des documents de natures diverses (photographie, diagrammes, ...) n'ont pas toutes reçues la même attention de la part des étudiants. Le jury souligne l'effort des candidats ayant passé un temps de réflexion suffisant sur ces questions ; il a valorisé de façon significative toute proposition scientifiquement fondée dès lors que le candidat a su extraire les informations pertinentes, en donner une interprétation correcte et exposer sa démarche, même lorsque cette dernière n'a pas conduit à une conclusion parfaite ni complète. À l'inverse, le jury a regretté l'absence de clarté de l'exposé dans plusieurs copies et/ou le manque de rigueur dans l'enchaînement des étapes de la démarche de résolution des questions non guidées.

L'absence de maîtrise des définitions simples et des méthodes classiques (structure électronique, schéma de Lewis, cycle thermodynamique...) rencontrées dans la partie I traitant de chimie et totalisant près d'un tiers des points du barème, s'est avérée dommageable.

Au contraire, le jury a su apprécier les copies démontrant une parfaite assimilation des démonstrations classiques du programme et la compréhension des phénomènes physiques s'y rattachant.

Enfin, le jury est particulièrement sensible à l'expression, à la présentation de la copie, ainsi qu'à la lisibilité de l'écriture qui se dégrade parfois en cours d'épreuve obligeant le correcteur à des efforts de déchiffrement dispendieux ; certains masquent les défauts d'orthographe ou de grammaire par une écriture inintelligible, ce qui n'est évidemment pas une bonne stratégie. D'autres copies surprennent à l'inverse tant la calligraphie et la propreté sont parfaites ; rappelons toutefois que l'objectif premier est de traiter correctement le plus grand nombre de questions. Les candidats sont ainsi invités à remettre des copies à la fois convaincantes dans leur contenu et respectueuses du correcteur quant à la forme : des réponses lisibles non raturées, bien numérotées, rédigées de manière intelligible et sans fautes d'orthographe. Le jury a appliqué un malus dès lors que l'un ou l'autre de ces critères a fait défaut.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Le jury demande aux futurs candidats d'être bien attentifs à la formulation des questions comportant des sous-questions. Aussi élémentaires peuvent sembler les réponses attendues, il convient malgré tout de traiter l'ensemble pour acquérir l'ensemble des points alloués.

Les futurs candidats sont invités à structurer les réponses, plus particulièrement pour les démonstrations et questions non guidées ; citer les hypothèses « par bloc » en entête, sans les invoquer entre deux étapes du raisonnement, n'est pas valorisé. Au passage, il convient de répondre de façon la plus précise possible aux questions de restitution du cours pour ne pas risquer de laisser de côté des points facilement accessibles.

Le jury conseille également d'utiliser un vocabulaire précis ne laissant aucun doute sur la compréhension des phénomènes physiques ou l'interprétation des grandeurs manipulées, d'argumenter toute réponse, de nommer et/ou citer les lois utilisées en rappelant les conditions d'application, de contrôler les formules littérales par vérification de l'homogénéité, l'influence des paramètres et l'usage de notations correctes (vecteur ou scalaire, Δ ou δ ou d ou ∂ , ...), de prendre le temps d'effectuer les applications numériques de manière soignée en précisant l'unité s'il y a lieu, de commenter ces résultats numériques, de faire preuve d'honnêteté intellectuelle et de sens critique lorsqu'une valeur semble aberrante. En cas d'exploitation de documents (graphe, photographie, ...) il convient de conduire avec rigueur la détermination des valeurs attendues ou nécessaires en exposant précisément le raisonnement menant à l'extraction de ces données quantitatives.

Lors d'une démonstration ou l'exposé d'un raisonnement, toute nouvelle notation introduite par le candidat doit être clairement définie. Un schéma peut parfois s'avérer judicieux.

Enfin, les futurs candidats pourront porter leur attention sur quelques points spécifiques à ce sujet, exposés ci-après.

Q 1. La structure électronique est généralement bien écrite. Les électrons de cœur et de valence sont correctement dénombrés mais sont plus rarement identifiés de façon explicite.

Q 2. Les confusions entre période et famille sont fréquentes. Il n'est pas rare de lire dans les copies que l'oxygène appartient à la famille des halogènes.

Q 3. La définition d'un isotope est mal connue ou très approximative. On note souvent des réponses vagues semblant associer les propriétés chimiques au nombre égal de protons et d'électrons.

Q 4. Des confusions dans l'écriture des abondances en pourcentages ou fractions ramenées à une somme unitaire conduisent à des résultats numériques incorrects. Il n'est pas raisonnable de négliger l'abondance de l'isotope ^{17}O pour mener ce calcul ; le jury est attentif au respect d'un nombre de décimales en accord avec les données.

Q 5. Le jury pénalise un schéma de Lewis fourni sans aucune explication. Des confusions sur les notions de doublets électroniques liants et non liants sont relevées.

Q 6. Une lecture sans doute précipitée du préambule de la partie I.A.4) conduit de nombreux candidats à reprendre l'absence de charges formelles dans la molécule d'ozone cyclique comme argument suffisant, justifiant de son caractère apolaire ; il faut en outre examiner la polarité des liaisons, et donc mentionner la présence d'un unique élément. Une explication convaincante s'appuyant sur des arguments de symétrie est tout aussi recevable.

Q 7. Le candidat doit s'assurer du respect de la règle de l'octet et du nombre total d'électrons de valence sur l'édifice et ne pas omettre de faire apparaître les charges formelles.

Le plus souvent, la géométrie n'est pas justifiée. La méthode VSEPR est rarement exploitée.

Q 8. Cette question ne pose pas de difficulté particulière.

Q 9. Des erreurs de signe sont parfois relevées.

Q 10. La relation de Planck-Einstein est connue.

Q 11. Les relations liant fréquence et longueur d'onde sont connues. Les candidats peuvent néanmoins oublier de calculer l'énergie d'une unique liaison ; cette erreur conduit à un photon largement en dehors de l'UV et il est alors regrettable que les candidats, compte tenu du contexte de l'étude (la mention aux

UV étant d'ailleurs explicite dans le document A.2) ne la détectent pas. Certains ne relèvent pas même d'anomalie dans l'identification aux ondes radio ou au contraire aux rayons gamma.

Q 12. L'évolution de la dangerosité est bien comprise mais rarement justifiée.

« L'impact de l'atmosphère sur les rayonnements » est dans bon nombre de copies interprété comme « l'impact des rayonnements sur l'atmosphère ». La réponse est rarement mise en relation avec la longueur d'onde obtenue en **Q 11.** malgré l'indication explicite par l'énoncé.

Le rôle de filtre par l'atmosphère absorbant les rayonnements de longueurs d'onde inférieure à la longueur d'onde de coupure en limite des UVC, est rarement évoqué.

Q 13. Pour des raisons évidentes, le candidat ne peut s'appuyer sur la relation issue du modèle de Chapman, liant l'intensité I à z apparaissant chronologiquement après cette question, pour répondre. Extraire les éléments utiles des documents et savoir les articuler dans une démarche claire n'est pas une tâche évidente pour beaucoup. L'allure générale de la courbe de k_1 en fonction de z est souvent satisfaisante mais le contexte de l'étude reste assez mal compris, en particulier l'existence d'un max de n_{O_3} ; le jury relève régulièrement des analyses mal argumentées et/ou des lois inventées.

Q 14. Souvent plus convaincante que la précédente, cette question fait appel à des capacités plus calculatoires. Mais il n'est pas rare que des candidats ayant mené proprement les calculs jusqu'à la détermination de z_{max} aboutissent finalement à une concentration en ozone à cette altitude parfois « délirante », de l'ordre de la mol/m³ et même bien au-delà. Le jury attend que l'aisance calculatoire soit accompagnée d'un regard critique sur les résultats obtenus.

Q 15. Il est important de reconnaître les verbes d'action dans la formulation d'une question : « établir » ne peut signifier ici projeter l'équation de la statique des fluides sans que ne soient précisés système, référentiel, bilan des forces, ... Cette remarque est l'occasion de rappeler aux candidats que les questions de cours appelant des démonstrations complètes et rigoureuses sont largement valorisées dans le barème.

Certains candidats oublient les forces sur la surface latérale qui, bien que de résultante nulle, ne peuvent être passées sous silence. Une analyse soignée des invariances du problème est bien sûr recevable.

Q 16. Cette question est bien menée en général. Dans de rares cas, la masse volumique considérée comme constante, conduit à une évolution linéaire de la pression $P(z)$ avec l'altitude. Il arrive aussi de lire une pression qui croît exponentiellement avec l'altitude.

Q 17. La notion d'écart relatif n'est pas maîtrisée pour bon nombre. Trop de candidats fournissent une « estimation » de la hauteur du nuage au mètre près et sans aucune autre explication que la mention « grâce à un produit en croix ». D'autre part, les candidats obtenant après calcul une variation relative à peine supérieure à 10 % concluent sur une approximation non valide sans aucune analyse critique de la méthode d'estimation graphique et de sa mise en œuvre.

Q 18. L'exploitation des documents n'est pas satisfaisante ; l'analyse supposée s'appuyer sur les transformations subies par la masse d'air, manque de profondeur dans bien des cas. Les candidats se livrent le plus souvent à une paraphrase sans valeur ajoutée et/ou une description du mouvement du nuage devant un relief montagneux, dont on se doute qu'il l'épousera (comme précisé dans le texte) lors de son mouvement. L'idée selon laquelle la température diminue lorsque l'altitude z augmente sans plus de précision prédomine malheureusement ; il n'est pas rare de lire que « l'air monte donc se refroidit » tandis que le transfert est quand-même qualifié d'adiabatique. Plusieurs candidats utilisent astucieusement l'émagramme afin de justifier les évolutions des variables d'état.

Q 19. Le temps d'appropriation du document est sans doute jugé conséquent par les candidats ; aussi, cette question est peu traitée. Les plus courageux, explicitant clairement leur démarche d'exploitation du diagramme, sont bien récompensés. En revanche, le jury ne valorise pas une valeur numérique fournie sans plus d'explication que « par lecture graphique... ».

Q 20. Les relations explicites entre les hypothèses stationnaire, incompressible et homogène et leurs conséquences sur D_m et D_v sont souvent abscondes ou absentes. Peu de candidats font la différence entre une masse volumique indépendante du temps en un point et spatialement uniforme dans l'écoulement, les notions en relation avec les descriptions lagrangiennes et eulériennes (sans avoir recours à la dérivée particulaire de la masse volumique, hors programme) ne semblent globalement pas assimilées. Dire que la masse volumique est une constante n'est à ce titre pas assez précis.

Q 21. Cette question est généralement bien traitée.

Q 22. La loi de Newton est connue mais parfois mal contextualisée ce qui peut conduire à une erreur de direction et/ou sens. Le jury relève fréquemment une confusion entre force élémentaire de cisaillement et contrainte de cisaillement (grandeur surfacique associée).

Q 23. Les notations utilisées pour les vitesses et dimensions caractéristiques introduites à l'initiative du candidat doivent impérativement être définies ; le jury n'a pas à deviner ce que représentent D ou V ou encore U dans la relation attendue comme définition du nombre de Reynolds. On note quelques confusions entre viscosité cinématique et dynamique et des oublis de conversion de la vitesse dans l'unité adéquate. Bien qu'en écoulement atmosphérique, certains s'étonnent d'obtenir une valeur numérique de l'ordre de 10^9 .

La deuxième partie de la question visant à valider le profil uniforme de vitesses est rarement réussie : eu égard à la réponse lue dans la majorité des copies, il semblerait que les candidats associent une valeur élevée du nombre de Reynolds à un écoulement dominé... par la viscosité. Le sens physique donné au nombre de Reynolds et plus précisément le lien entre l'analyse en termes de rapport des temps caractéristiques et la dominance de l'écoulement par l'un ou l'autre des effets de l'inertie ou de la viscosité n'est pas correctement assimilé. Une nouvelle fois, le jury précise que « uniforme » et « constant » ne renvoient pas à une même situation physique... Tout cela révèle sans doute une assimilation uniquement « calculatoire » de la mécanique des fluides, sans approfondissement du sens phénoménologique.

Q 24. Sous les hypothèses citées par l'énoncé, les candidats écrivent la relation de Bernoulli sur une ligne de courant. Certains comprennent que l'énoncé propose de raisonner sur un tube de courant en écoulement et fournissent l'expression entre deux sections. Les deux approches sont acceptées.

Q 25. La question constitue une démonstration de cours ; le jury attend une réponse des plus soignées. Or, une rédaction précise et concise ne s'improvise pas, un travail en amont des candidats est par conséquent indispensable. Le système fermé sur lequel le TEC ou le TEM est parfois mal défini, et rarement en accord avec les notations (Σ et Σ^*) du texte. Les hypothèses de stationnarité, d'incompressibilité et d'homogénéité (même si ce terme n'est pas explicitement attendu) sont très mal exploitées. L'utilisation du caractère unidimensionnel est quant à lui quasi-totalement absent. Le travail des forces de pression est écrit sans être démontré proprement. D'autre part, malgré une consigne claire, certains candidats appliquent directement le premier principe « industriel » ou réalisent un bilan enthalpique. Les réponses lues à cette question valorisée dans le barème sont globalement insatisfaisantes.

Q 26. Cette question est globalement bien traitée.

Q 27. Un soin particulier était attendu sur l'allure linéaire du profil dans la zone de mélange, siège des effets visqueux. Le repérage spatial et l'identification des différentes zones se doivent d'être explicites. L'usage d'une règle est requis.

Q 28. Les réponses sont le plus souvent non argumentées. Alors qu'ils disposent d'outils d'analyse des écoulements avec les opérateurs divergence et gradient, les étudiants se livrent le plus souvent à des spéculations, d'ailleurs parfois fausses, plutôt qu'effectuer une vérification par un calcul simple.

Q 29. Le tracé des lignes de courant autour de l'interface déformée est assez souvent présente. La situation pouvait rappeler la façon dont un profil d'aile modifie l'écoulement autour de lui à haut Re en dehors de la couche limite. L'argumentation doit cependant être clairement explicitée et en particulier, la variation

de vitesse en lien avec la variation de section offerte à l'écoulement, reliée à la conservation du débit volumique.

Q 30. Nombreux candidats utilisent la relation de Bernoulli entre deux points situés de part et d'autre de l'interface au lieu de raisonner sur deux lignes de courant de part et d'autre de cette même interface et possédant les mêmes caractéristiques à l'infini. L'influence du gradient de pression accentuant la déformation initiale de l'interface peut se déduire d'une analyse du contexte ; il est surprenant de constater que certains candidats concluent dans cette section (C) à une réduction de l'instabilité alors que ces mêmes candidats concluent finalement, dans la section suivante (D), à une augmentation de l'instabilité avec le taux de cisaillement ...

Q 31. Le jury valorise toute réponse pertinente et en lien avec le contexte d'étude.

Q 32. Cette question est globalement bien traitée.

Q 33. Dans la plupart des copies, l'expression générale de la solution est correcte. Dans de rares cas heureusement, les candidats mentionnent des solutions oscillantes ou font apparaître des arguments non homogènes dans le terme en exponentielle. L'exploitation des conditions pour z infini a , par contre, posé problème pour un grand nombre, dans le demi-espace $z < 0$.

Q 34. Plusieurs méthodes de résolution sont envisageables ; certains candidats font preuve d'efficacité calculatoire sur cette question, par exemple en séparant parties réelle et imaginaire, et gagnent ainsi un temps précieux. Cependant, le résultat attendu étant fourni, le jury très capable de repérer les démarches « malhonnêtes », est particulièrement vigilant et attend ainsi le plus grand soin dans l'exposé des étapes de calculs menés.

Q 35. Les candidats donnent en général correctement ω en fonction de k pour chacune des deux branches.

Q 36. Il est demandé une démonstration de la relation fournie, liant vitesse de phase et nombre d'onde. Les candidats s'intéressant à une manipulation du terme de phase et proposant ainsi une justification précise sont bien récompensés.

Q 37. Les réponses convaincantes à ces trois questions de cours sont rares.

Q 38. Certains candidats omettent d'extraire la partie réelle dans leur réponse. Une analyse dimensionnelle rapide du terme de phase peut permettre aux candidats de repérer efficacement des erreurs relatives aux calculs qui précèdent ou d'inattention au cours de l'identification.

Q 39. Cette question est en général bien menée lorsqu'elle est traitée. Le développement de l'instabilité, initié dans la partie (C), est correctement relié à la divergence en exponentielle du temps ; le temps caractéristique de cette divergence est rarement relevé (pourtant utile aux questions **Q 41.** et **Q 42.**), mais le lien avec le taux de cisaillement ne pose pas de problème.

Q 40. Là encore, cette question est en général correcte lorsqu'elle est traitée en dehors de toute « chasse aux points d'urgence ».

Q 41. L'allure du tracé à x et t fixés est assez souvent correcte mais le positionnement et l'interprétation de δ régulièrement imprécis. L'analyse de l'évolution avec le temps est en général incomplète : très peu de candidats font allusion à des pseudo-oscillations et/ou précisent le temps caractéristiques de l'amplification de l'amplitude au cours du temps.

Q 42. L'allure est très souvent sommaire et peu soignée. Le repérage graphique de k (ou λ), point de départ de la question suivante, est quasi-absent, de même que la précision du temps caractéristique de l'amplification au cours du temps, là encore.

Q 43. La question est très peu abordée. Une tolérance assez large sur les valeurs numériques (longueur d'onde ou extension spatiale verticale de la perturbation) extraites de la photographie est accordée. Aussi,

toutes les démarches pertinentes relevées et conduisant à un ordre de grandeur numérique satisfaisant pour le temps caractéristique du développement de l'instabilité sont bien récompensées.

Conclusion

Le jury félicite cette année encore les candidats ayant remis des copies tout à fait remarquables, attestant des efforts engagés durant ces deux années de classes préparatoires, malgré un contexte sanitaire difficile. Il espère que ces quelques éléments de rapport aideront les futurs candidats à se préparer efficacement aux épreuves écrites des prochaines sessions et les encourageront, en particulier, à soigner les démonstrations de cours valorisées par les barèmes.