

Physique-chimie 2

Présentation du sujet

Le sujet de physique-chimie 2 propose aux candidats de réfléchir au réalisme scientifique du film de Ridley Scott, *Seul sur Mars*, sorti en 2015. Le sujet, divisé en six parties de longueurs très différentes et indépendantes, aborde de nombreux domaines du programme de physique et de chimie de CPGE :

- mécanique du point (mouvement à force centrale newtonienne) et du solide (basculement d'un parallépipède) ; force de poussée sur un vaisseau éjectant des gaz ;
- mécanique des fluides (force de trainée, bilan de quantité de mouvement) ;
- thermodynamique (diagramme d'état de l'eau, pompe à chaleur) ;
- diffusion de particules ;
- formules de Lewis, analyse d'une structure cristalline ;
- constante thermodynamique d'équilibre d'une réaction de combustion, constante d'une réaction d'oxydoréduction, détermination d'une température de flamme ;
- cinétique de diffusion et cinétique michaelienne.

Les compétences évaluées dans ce sujet sont diverses, complètes et de difficultés différentes et graduées : questions proches du cours, raisonnements simples, raisonnements plus complexes, analyse de documents, questions ouvertes. La plupart des savoir-faire exigibles en filière PSI doivent être mis en œuvre : schématisation, algébrisation, modélisation, application numérique, validation, esprit critique, confrontation des résultats aux situations du film, etc.

Plus de 70 % des points du barème étaient affectés :

- à des questions de cours ou d'application directe du cours (troisième loi de Kepler, diagramme d'état de l'eau, efficacité d'une pompe à chaleur, orbite de transfert, formule de Lewis, réseau cubique à faces centrées, constante thermodynamique d'équilibre, relation entre la constante thermodynamique d'équilibre d'une réaction d'oxydo-réduction et les potentiels standard, température de flamme, nombres d'oxydation...) ;
- aux applications numériques, nombreuses dans ce sujet et qu'il ne fallait pas négliger ;
- aux raisonnements simples et commentaires simples (par exemple les questions **Q1** et **Q2**, questions d'analyse **Q4**, **Q7**, **Q8**, calcul de la masse volumique de l'atmosphère martienne, basculement du VAM, etc.).

Analyse globale des résultats

Toutes les parties du problème ont été abordées dans les meilleures copies même si le sujet était certainement un peu long pour être traité en intégralité. Certaines parties nécessitaient une durée d'appropriation indispensable à la mise en place du raisonnement. Le barème en a tenu compte afin de valoriser les candidats qui ont compris les objectifs de ces parties et qui ont passé le temps nécessaire à leur résolution.

La majorité des candidats rencontre des difficultés à récupérer les points associés aux questions simples. Les raisons principales sont les suivantes :

- rédaction confuse, incomplète voire inexistante ;
- cours de base non maîtrisé ou mal restitué ;
- absence de contrôle des résultats littéraux (homogénéité, pertinence des paramètres) et non-utilisation du sens critique (résultats numériques absurdes) ;

- confusion entre grandeurs scalaires et grandeurs vectorielles (rapports de vecteurs, signe de vecteur, égalités entre scalaire et vecteur) ;
- absence de schémas ce qui entrave le raisonnement.

Les nombreuses questions de cours ont été traitées de manière inégale. Seuls les candidats rédigeant de manière complète et précise obtiennent l'intégralité des points sur ces questions.

Les correcteurs valorisent les candidats qui rédigent de manière rigoureuse, concise et complète et qui maîtrisent les capacités exigibles du programme officiel. Les meilleurs candidats ne se sont pas démarqués par leur capacité à répondre à la grande majorité des questions mais plutôt à résoudre avec application celles qu'ils abordent. Répondre correctement aux questions 1 à 21, en argumentant, n'était pas insurmontable.

Commentaires sur les réponses apportées et conseils aux futurs candidats

Les applications numériques constituaient plus de 20 % du barème. Prendre le temps de les effectuer de manière soignée permet d'assurer une note correcte. Les candidats doivent réfléchir au nombre de chiffres significatifs et exercer leur sens critique pour déceler soit une erreur de frappe sur la calculatrice, soit une erreur dans l'expression littérale associée. Des résultats numériques absurdes n'ont soulevé aucune remarque : distance Soleil-Mars inférieure au millimètre, masse du Soleil (10^{-14} kg) inférieure à la masse d'une cellule, durée de voyage entre la Terre et Mars inférieure à la microseconde...

Les réponses illisibles (ratures, écriture très peu soignée) ne sont pas lues et le jury sanctionne également :

- les rédactions confuses et non respectueuses du lecteur. Les abréviations (ex : PFD, TMC, BAME...) doivent être bannies des copies. De plus, on ne débute pas une réponse par « Oui... », « Non... » ou « Car... » ;
- les candidats qui se contentent d'aligner des équations sans explication. Il est souhaitable que les candidats citent les lois ou les théorèmes qu'ils utilisent (loi de Fourier, loi de Fick, troisième loi de Kepler). « D'après la troisième loi de Kepler, le rapport a^3/T^2 est le même pour toutes les planètes du système solaire » est préférable à « On sait que $a^3/T^2 = \text{cte}$ » ou à « on a $a^3/T^2 = \text{cte}$ ».

Un raisonnement doit être compris du lecteur sans qu'il ait à deviner ou compléter des éléments manquants. Nous rappelons que :

- toute grandeur introduite non définie par l'énoncé doit l'être par le candidat. On ne peut définir l'efficacité d'une pompe à chaleur par $\eta = -Q_c/W$ puis poursuivre en écrivant $W + Q_c + Q_f = 0$ sans avoir défini au préalable ces grandeurs énergétiques (par un schéma représentatif de la machine thermique par exemple) ;
- les schémas sont indispensables à la résolution de nombreuses questions. Difficile de répondre à la question 1 sans représenter les orbites de la Terre et de Mars. Impossible de justifier correctement les conditions de basculement du VAM sans un schéma du cylindre (fait par l'énoncé) auquel on ajoute un repère et les actions extérieures.

I La planète Mars

Q1. Taux de réussite très faible (10 %) car deux tiers des candidats ne représentent pas les orbites de Mars et de la Terre.

II Tempête sur Mars

Q5. La masse volumique de l'atmosphère martienne a été globalement bien trouvée. Une comparaison entre deux grandeurs nécessite de quantifier leur rapport (ou leur écart relatif quand elles sont proches).

Q6. Le diagramme d'état de l'eau est connu et les significations des points triple et critique souvent bien assimilées.

Q7. L'eau est solide sur Mars et le jury attendait une justification (en plaçant simplement le point représentatif sur le diagramme d'état).

Q8. Seules les réponses argumentées ont été prises en compte.

Q10. Une détermination du coefficient de trainée par lecture de la figure 9 (avec un chiffre significatif, maximum deux) permet de calculer la force de trainée (avec au maximum deux chiffres significatifs). La détermination de l'ordre de grandeur de la vitesse d'un vent terrestre qui produirait une force de même valeur était plus compliquée. Les correcteurs ont attribué des points à tous les candidats qui ont noté que le coefficient de trainée était différent sur la Terre et qui en proposaient un autre raisonnable. Une vérification a posteriori était alors attendue et a été effectuée par quelques candidats.

Q11. Question très discriminante. L'intégralité des points a été donnée aux seuls candidats ayant effectué un schéma, exprimé les moments algébriques des forces par rapport à l'axe de rotation *orienté* et bien traduit la condition de basculement.

Les candidats, après deux années de CPGE, doivent faire la distinction entre un vecteur et un scalaire. Les relations suivantes n'ont aucun sens :

$$J \frac{d\omega}{dt} = \vec{M}_0(\vec{P}) + \vec{M}_0(\vec{F}_t) \quad \text{ou} \quad \vec{M}_0(\vec{P}) + \vec{M}_0(\vec{F}_f) > 0$$

III Dimensionnement des panneaux solaires

Q12. Nécessité de définir les grandeurs utilisées et de justifier les égalités ou inégalités qui les relient. Le système auquel les candidats appliquent les deux principes de la thermodynamique est rarement explicité. « On applique le premier principe au cycle » est incorrect. Enfin, la confusion entre U (énergie interne) et ΔU (sa variation) est sanctionnée.

Nombreuses applications numériques fausses — malgré une expression littérale correcte — dues à une mauvaise unité de température.

Q13. Les correcteurs attendaient l'expression de la puissance thermique traversant un cylindre de rayon r : $P = -2\pi r L \lambda \frac{dT}{dr}$, la justification que P est indépendante de r (régime stationnaire) et la définition de la résistance thermique. Tout résultat non argumenté est ignoré par le jury.

Q14. Il faut justifier que la puissance thermique traversant les parois du module est identique à celle apportée par la pompe à chaleur.

Q15. Le jury attend une exploitation quantitative de la photo. Exprimer la surface des panneaux solaires en (Mark Watney)² est bien sûr judicieux et accepté si la comparaison avec la surface nécessaire est effectuée.

IV Sauvetage de Mark Watney par le vaisseau Hermès

Q16–Q20. Ces questions ne peuvent être traitées sans une représentation des orbites des deux planètes, des orbites de transfert et des positions de Mars et de la Terre aux instants clés. Les questions **Q18** et **Q19** étaient plus délicates mais ont été réussies par les candidats qui ont structuré leur raisonnement.

Q22 et **Q23.** Deux questions non guidées pour lesquelles le jury valorise toute piste pertinente, toute schématisation du problème et toute initiative argumentée. Cela ne signifie pas que toute réponse a été récompensée. La majorité des copies se contentent d'un « par un bilan de quantité de mouvement » sur

un système non défini, dont on ne sait s'il est ouvert ou fermé, parfois sans schéma ou avec un schéma non légendé.

Les candidats gagneraient à débiter par une analyse qualitative de la situation, par exemple en écrivant que les gaz doivent être éjectés vers l'avant du vaisseau pour freiner ce dernier. L'analyse des schémas des candidats montrent souvent le contraire.

L'absence de précision du référentiel d'étude a été source d'erreurs notamment en confondant la vitesse d'éjection des gaz par rapport au vaisseau et leur vitesse par rapport au référentiel planétocentrique.

Enfin, le jury attend un commentaire quantitatif final et non un laconique « ce volume est trop grand ». Calculer la longueur minimale du vaisseau pouvant accueillir « $25 \times 10^3 \text{ m}^3$ » est une manière de justifier le caractère irréalisable. On pouvait aussi proposer de stocker les gaz sous une pression plus importante pour réduire le volume de stockage. Tout commentaire pertinent et argumenté est valorisé.

V Fabrication d'eau sur Mars

Q27. La masse molaire atomique de l'iridium était absente des données. Les correcteurs ont attribué les points à ceux qui ont relié littéralement la masse volumique de l'iridium au paramètre de maille, à la population de la maille et à la masse molaire de l'iridium. Le jury attendait une justification de la relation entre le paramètre de maille et le rayon de l'atome ainsi qu'un dénombrement détaillé de la population.

Q29. Moins de 30 % de réussite pour les deux tiers des candidats qui ont abordé cette question de cours. L'échec vient souvent d'une mauvaise lecture de la question. Ceux qui concluent par « K° diminue » ou qui donnent l'évolution de la réaction lorsque la température augmente ne répondent pas à la question.

Q30. Faible taux de réussite également pour deux raisons principales : rédaction incomplète voire inexistant ou confusion entre la combustion de l'hydrogène et la réaction étudiée à la question précédente.

VI Peut-on cultiver des pommes de terre sur Mars ?

Q35. Il s'agissait de faire un bilan de quantité de matière entre deux instants infiniment proches. La plupart des réponses s'appuyaient sur la cinétique de production d'ordre 0 ce qui n'était pas l'objet de la question.

Q36. Une analyse qualitative simple permettait de trouver le signe demandé, en traitant un des deux cas particuliers : $[\text{H}_2\text{O}_2]_i > [\text{H}_2\text{O}_2]_e$ ou $[\text{H}_2\text{O}_2]_i < [\text{H}_2\text{O}_2]_e$ et non pas en affirmant, sans justification, que $[\text{H}_2\text{O}_2]_i$ diminue au cours du temps.

Conclusion

Ce sujet permet aux candidats de mettre en valeur leurs connaissances, leur sens critique, leurs savoir-faire. La communication fait aussi partie des qualités requises pour un futur scientifique. Chaque année, le jury rappelle l'importance de la qualité de rédaction, notamment pour les questions les plus classiques : définir les grandeurs utilisées, citer les lois, justifier le raisonnement, commenter les résultats.

Nous souhaitons que les candidats des prochaines sessions soignent ces questions et prennent conscience de la nécessité d'un travail approfondi, régulier et rigoureux durant les deux années de préparation.