

# Épreuve Physique C (6h) - Session 2021

## Concours PC de l'ENS Paris

Jury : Michaël Berhanu, Jules Fillette, Benoît Semin.

### Descriptif du sujet :

Le sujet de cette session présente un modèle minimal du changement climatique, qui ne prend en compte que les phénomènes physiques principaux. Ces phénomènes, à savoir la convection humide et l'effet de serre dans l'atmosphère, sont discutés en détail dans les premières parties.

Le sujet proposait une progression dans la compréhension de la physique de l'atmosphère : il était conseillé dans l'introduction de traiter les questions dans l'ordre. Cependant, certaines parties étaient indépendantes des précédentes, ce qui était explicitement mentionné dans l'introduction. De plus, de nombreux résultats intermédiaires étaient donnés pour éviter tout blocage.

Le sujet comportait de nombreuses figures, documents et données. Il nécessitait d'en extraire les informations utiles pour répondre à certaines questions.

La partie 1 donnait des représentations de fonctions utiles pour les calculs numériques sans calculatrice (interdite) et des données numériques. L'identité thermodynamique et des lois du rayonnement thermique, qui sont souvent abordées en CPGE mais qui ne sont pas explicitement au programme, étaient également données.

La partie 2 traitait du calcul classique de la courbe de saturation de l'eau. Le but était de comprendre que la pression de vapeur saturante varie quasi-exponentiellement avec la température.

La partie 3 présentait de nombreux documents.

La partie 4 permettait de calculer et discuter les profils verticaux de température et de concentration de l'atmosphère dans des modèles de complexité croissante. La configuration explicitement au programme de l'atmosphère isotherme était suivie d'une étude de la configuration classique de l'atmosphère isentropique sèche, puis de l'étude plus originale de l'atmosphère isentropique saturée.

La partie 5 traitait d'abord de l'équilibre radiatif de l'atmosphère, en absence puis en présence de convection. Ensuite, à partir de la question Q61, le sujet discutait du changement climatique. L'aboutissement était la présentation du modèle de Manabe et Wetherald (1967). Il s'agit d'une des premières études à donner une estimation correcte et basée sur des fondations physiques solides de la valeur du réchauffement associé à une modification de la concentration en dioxyde de carbone dans l'atmosphère.

### Remarques générales :

359 copies ont été rendues, la moyenne est de 9,41 avec un écart-type de 3,56. La note la plus haute est 20, la plus basse vaut 3,4. La note relativement élevée des copies les plus faibles s'explique par une harmonisation avec l'épreuve de chimie B. Cette

harmonisation a eu pour but d'obtenir des moyennes et des écart-types similaires pour les 2 options, tout en maintenant une hiérarchie satisfaisante entre les bonnes copies.

Le jury a noté une baisse du niveau des copies faibles. Les perturbations liées au contexte sanitaire ont eu, par contre, peu de conséquences sur le niveau des bonnes copies. Il en a résulté une forte hétérogénéité dans le niveau des copies. L'épreuve a permis de classer de manière correcte les candidats, et en particulier les meilleures copies. La plupart des questions ont été abordées, malgré la longueur du sujet.

Nous énumérons ici des remarques générales sur l'épreuve et sa correction :

- De manière générale, une lecture attentive de la question et de l'énoncé en général, est indispensable pour répondre de manière satisfaisante. Des réponses fausses liées à une lecture superficielle s'observent dans de nombreuses copies.
- Le sujet contenait beaucoup de documents, et de nombreuses questions nécessitaient d'extraire des informations des documents. Cet exercice a posé problème à de nombreux candidats, qui n'ont pas su choisir le (ou les) document(s) pertinents. Au contraire, les copies où les références pertinentes ont été citées ont été valorisées.
- La lecture des courbes a aussi posé problème, alors qu'il s'agit d'une compétence cruciale pour appréhender une approche documentaire en physique. Lire une courbe signifie au minimum repérer quelles sont les quantités tracées en abscisses et en ordonnées et quelles sont les unités correspondantes, déterminer si les échelles sont linéaires ou logarithmiques et repérer les évolutions des grandeurs tracées.
- La réponse aux questions qualitatives doit être claire et précise. Il faut citer explicitement les arguments pertinents, en nommant les lois physiques utilisées, les phénomènes physiques en jeu, ...
- Les questions calculatoires difficiles ne sont pas les seules à être valorisées par le barème. Les questions qualitatives, les applications numériques et les tracés de courbes le sont aussi lorsqu'elles sont difficiles et traitées par peu de candidats.
- Une question est considérée comme fausse dès qu'une expression est inhomogène dans le résultat ou dans un calcul intermédiaire.
- Le sujet traitait de l'atmosphère terrestre, objet d'observations quotidiennes. Le fait d'obtenir un ordre de grandeur aberrant par un calcul, et de ne pas le commenter, a été sanctionné.
- L'introduction de l'énoncé demandait explicitement de justifier les réponses. Les réponses non justifiées aux questions simples ou dont le résultat est donné sont comptées comme fausses. De nombreux candidats continuent de ne pas justifier leur réponses, mais nous avons constaté une augmentation de la proportion de copies où les réponses sont justifiées.

Les justifications n'ont pas besoin d'être longues, et peuvent souvent se ramener à quelques mots pour citer une loi physique ou le document utilisé. D'ailleurs, répondre trop longuement à une question en mettant toutes les informations que le candidat connaît de manière non-pertinente est contre productif en raison de la perte de temps occasionnée.

Pour les questions dont le résultat est une équation, écrire les calculs intermédiaires est souvent indispensable pour justifier ce résultat.

### Remarques sur les questions du sujet :

- Q1 Comme indiqué dans la partie 1.3 de l'énoncé, l'identité thermodynamique s'applique à un système monophasique. Nous avons vu de nombreuses copies où cette identité était utilisée pour un système diphasique, ce qui a été sanctionné.
- Q6 Il fallait repérer l'échelle logarithmique pour l'axe des ordonnées. La courbe est presque une droite dans cette figure, ce qui correspond à une variation quasiment exponentielle de la pression de vapeur saturante en fonction de la température. Le fait que la pression de vapeur saturante varie très fortement avec la température était utile pour la suite, notamment pour les questions Q13 et Q29.
- Q7 Un ordre de grandeur de la hauteur à considérer (dizaine à quelques dizaines de kilomètres) et une référence à un document étaient attendus.
- Q11 Il est pertinent de comparer le calcul pour  $N_2$  de la question Q9 aux valeurs pour l'atmosphère standard parce que  $N_2$  est le composant majoritaire de l'atmosphère. Cette justification était attendue.
- Q12 Il fallait repérer et utiliser le fait que la figure 6 donne une concentration relative en dioxyde de carbone, comme indiqué dans la légende. La majorité des candidats a discuté uniquement la variation de la concentration absolue en dioxyde de carbone.
- Q14 L'énoncé comportait une erreur, la question portait sur la masse molaire et pas sur la masse volumique. Une large majorité de candidats a détecté cette erreur, qui n'avait aucune conséquence sur la suite du sujet.
- Q19 Le lien entre poussée d'Archimède et résultante des forces de pression n'est pas clair pour une majorité de candidats.
- Q29 Il fallait comprendre que  $q_s$ , proportionnelle à la pression de vapeur saturante, augmente exponentiellement avec la température  $T$  (voir question Q6), et que  $q_s/T^2$  augmente donc lorsque  $T \rightarrow +\infty$ .
- Q35 Il fallait veiller à ce que les signes des expressions soient corrects.
- Q40 Il fallait comprendre que  $D_L$  correspond au rayonnement infrarouge, quasiment absent du spectre solaire.
- Q42 Il fallait utiliser le fait que l'eau est le principal gaz à effet de serre, et la variation de sa masse volumique avec la hauteur.
- Q44 Aucun candidat n'a répondu de manière correcte à cette question. Il s'agissait de discuter le bilan radiatif global de l'atmosphère terrestre, qui est crucial pour comprendre le climat terrestre.

La réponse attendue était la suivante :

$$U_{Lt} = \frac{F}{4}(1 - \alpha) = 240 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

où le facteur 4 vient du rapport de la surface de la terre à la surface du disque de même rayon. Une justification attendue était la mention de l'hypothèse d'équilibre

radiatif local, qui implique l'équilibre radiatif global : l'énergie reçue du soleil est totalement réémise (à une autre longueur d'onde).

Dans les copies, le facteur 4 manque toujours, le facteur  $(1 - \alpha)$  est très rarement trouvé, et l'équilibre radiatif n'a pas été discuté.

Les réponses aux questions suivantes, si elles ne comportaient pas de nouvelle erreur, ont été acceptées même si la réponse à la question Q44 était fausse.

Q47 Cette question, consistant en un tracé de courbe, était sélective et a été valorisée lorsqu'elle était bien faite. Il fallait tracer une courbe avec la bonne allure, mettre des axes avec des unités correctes, et mettre des valeurs caractéristiques sur ces axes.

Q61 Beaucoup de candidats ont compris, à raison, que cette question portait sur le temps d'ajustement donné dans le tableau 3.

Q62 Dans le cadre du modèle utilisé pour cette question, il fallait mentionner que l'augmentation de la concentration en  $\text{CO}_2$  fait augmenter  $\tau_0$ .

Le tracé des profils de température a été sélectif.

Q63 Aucune réponse complète n'a été apportée à cette question. Il fallait repérer que le principal gaz à effet de serre dépend de la longueur d'onde. Les valeurs quantitatives de  $\tau_\lambda$  nécessitaient de connaître la masse intégrée sur la hauteur de l'atmosphère pour l'eau et le  $\text{CO}_2$ .

Q72 Cette question n'a pas été traitée.