

Composition de Physique (X)

Filière MPI

Le sujet, intitulé *CO₂ et réchauffement climatique*, proposait d'étudier l'influence de la teneur en molécules de CO₂ présente dans l'atmosphère terrestre sur le réchauffement climatique en modélisant de manière simple les mécanismes physiques mis en jeu dans ce processus. Ce sujet permettait de tester les connaissances des candidat(e)s sur une partie importante du programme de physique des classes préparatoires aux écoles d'ingénieurs. Il nécessitait une mise en pratique des notions acquises en première et deuxième années des classes préparatoires et relatives à la mécanique du point (principe fondamental de la dynamique Newtonienne, approximation des oscillateurs harmoniques, énergie potentielle, **théorème** de l'énergie mécanique, recherche des positions d'équilibre, oscillations forcées à l'**électrostatique**, champ électrique créé par une distribution de charges, interaction d'un dipôle électrique avec un champ électromagnétique extérieur) et à la thermodynamique (loi des gaz parfaits, rayonnement thermique: formule de Stefan et rayonnement du corps noir: loi de Wien). Il se composait de trois parties distinctes de difficultés assez comparables et qui pouvaient être traitées indépendamment les unes des autres. L'énoncé de ces trois parties était précédé d'un texte introductif de quelques lignes, explicitant le contexte scientifique du sujet traité. Le sujet comportait un graphique, correspondant à la résolution numérique du modèle MODTRAN (<https://climatemodels.uchicago.edu/modtran/>) qu'il fallait analyser afin d'en extraire des données.

La première partie du problème, intitulée *Vibrations de la molécule de dioxyde de carbone* modélisait le comportement mécanique d'une molécule de CO₂ et étudiait ses différents modes de vibrations. La deuxième partie dont le titre était *Interaction avec une onde électromagnétique* se focalisait sur l'absorption du rayonnement électromagnétique d'abord par une molécule de CO₂ isolée puis par un ensemble de molécules subissant des collisions entre elles. Cette dernière étude reprenait les différentes étapes du raisonnement du célèbre physicien néerlandais *Hendrik Lorentz*, le premier ayant abordé ce sujet. La troisième et dernière partie visait à décrire l'effet de serre induit par la présence de molécules de CO₂ dans l'atmosphère terrestre. Cette partie comportait un graphique obtenu par la résolution numérique du modèle MODTRAN développé à l'université de Chicago États-Unis qu'il fallait **commenter** et dont il fallait extraire des données utiles.

Chaque partie du problème comportait des questions de cours ou d'application directe du cours ainsi que quelques questions nécessitant plus de réflexion. Quelques applications numériques et des estimations d'ordre de grandeur étaient demandées ainsi que l'analyse d'un graphique correspondant à des simulations numériques menées dans le cadre du modèle

MODTRAN. L'immense majorité des candidat(es) a pu aborder chacune des trois parties du problème. Quelques excellent(e)s candidat(e)s ont perdu beaucoup de points car il(elle)s n'ont pas abordé la partie III qui incluait plusieurs questions de cours. Nous encourageons vivement les candidat(e)s à prendre quelques minutes pour bien lire l'énoncé avant de débiter l'épreuve et s'imprégner du sujet. Cette lecture permet d'identifier les questions de cours et d'analyse de documents qui en général, ne présentent pas de difficultés majeures et permettent d'obtenir des points assez facilement. Ce temps de lecture permet également d'évacuer le stress inhérent aux premières minutes d'une épreuve de concours.

Pour les 246 candidat(e)s (toutes nationalités confondues) ayant passé l'épreuve la moyenne est de 8.73 avec un écart type de 4.01. Pour les candidat(e)s de nationalité étrangère, la moyenne est de 6.3 et l'écart type de 4.15. Les candidats français ont obtenu quant à eux une moyenne de 8.98 avec un écart type de 3.9. Le tableau ci-dessous résume la répartition des notes obtenues par les 246 candidat(e)s ayant passé l'épreuve :

| Tranche | Nombre de copies | pourcentage |
|---------------------|------------------|-------------|
| $0 \leq N < 4$ | 29 | 12.39 % |
| $4 \leq N < 8$ | 83 | 33.74 % |
| $8 \leq N < 12$ | 76 | 30.89 % |
| $12 \leq N < 16$ | 46 | 18.70 % |
| $16 \leq N \leq 20$ | 12 | 4.28 % |

Remarques générales :

Comme chaque année, il semble important de rappeler quelques règles générales, qui bien qu'évidentes restent toujours méconnues de nombreux(ses) candidat(e)s:

- Rédiger de manière succincte les réponses aux questions.
- Soigner son expression écrite. Eviter les erreurs grammaticales et orthographiques qui nuisent véritablement à la lecture et à la compréhension des explications données pour justifier un raisonnement ou un résultat. De telles erreurs affectent nécessairement l'évaluation globale de la copie.
- Bien s'appliquer, ne pas négliger la forme et la tenue générale de sa copie et produire une écriture déchiffrable afin de faciliter le travail des correcteurs.
- Bien lire le texte d'énoncé de chaque question et notamment analyser la signification des verbes employés, afin de comprendre le niveau de la réponse attendue. Par exemple *Rappeler une expression* ne nécessite pas de la démontrer.
- Vérifier systématiquement l'homogénéité des résultats obtenus et le signe des expressions. Cette démarche permet souvent de s'affranchir d'erreurs stupides, comme par exemple des erreurs typographiques.

- Présenter un résultat numérique avec les unités physiques correctes et indiquer explicitement ces unités. Veiller à ce que le nombre de décimales significatives données soit en adéquation avec la précision des données numériques fournies par l'énoncé.
- Toujours justifier les hypothèses faites et invoquer les principes appliqués lors d'un raisonnement. Des résultats obtenus sans aucune justification ne sont pas considérés valides. Penser à définir de manière très explicite les variables introduites pour mener à bien un calcul.
- Ne pas négliger les applications numériques demandées car celles-ci constituent une part importante du nombre total de points attribués dans l'évaluation finale.
- Les questions demandées ne sont pas un commentaire de texte et les réponses ne doivent pas être une paraphrase de celui-ci. Pour chaque question, une réponse argumentée, s'appuyant sur un raisonnement physique rigoureux est attendue.

Commentaire détaillé de l'épreuve.

Partie I- Vibrations de la molécule de dioxyde de carbone

1 De nombreuses copies présentent des équations fausses du fait d'erreurs de signe sur l'orientation des différentes tensions mises en jeu dans le problème ou alors de la présence dans le système de termes faisant intervenir les longueurs à vide des différents ressorts. De telles erreurs auraient pu être facilement évitées en vérifiant tout simplement que $x_1 = x_2 = x_3 = 0$ devaient correspondre à la position d'équilibre du système et en vérifiant l'orientation des différentes tensions.

2 Peu de candidat(e)s ont compris le sens réel de la question et en répondant que le centre de masse des trois atomes devait avoir un mouvement rectiligne sans en préciser le caractère uniforme.

3 Question bien traitée.

4 Question discriminante car peu de candidat(e)s ont su résoudre le système d'équations différentielles couplées. En notation complexe, il convenait simplement d'annuler le déterminant du système constitué des deux équations algébriques linéaires dont la pulsation $\omega_a \neq 0$ devait être solution.

5 Question de cours. Beaucoup de mauvaises réponses de la forme $\omega = \frac{c}{\lambda}$ résultant d'une confusion entre pulsation et fréquence.

6 Seules quelques copies ont proposé de comparer les valeurs numériques des rapports $\frac{\omega_a}{\omega_s}$ et $\frac{n_a}{n_s}$.

7 Beaucoup de candidat(e)s comptent à tort deux fois l'énergie potentielle de chaque ressort

car il(elle)s considèrent que cette énergie fait intervenir deux atomes. Dans beaucoup de copies, l'énergie cinétique du système n'est pas prise en compte avec comme justification que le centre de masse est au repos dans le référentiel considéré. Ce raisonnement est bien sûr faux.

8 Question bien traitée. Cependant, peu de candidat(e)s ont pensé à justifier la modélisation de l'interaction entre deux atomes de la molécule par un potentiel harmonique.

9 Question discriminante dans la mesure où il fallait pour y répondre avoir établi correctement le système d'équations couplées et fournir un raisonnement similaire à celui de la question 4.

Partie II- Interaction avec une onde électromagnétique

Approximation dipolaire

10 Question relativement bien traitée par ceux et celles l'ayant abordée.

11 La gamme de longueur d'onde du spectre électromagnétique visible est bien connue de l'immense majorité des candidat(s). Celle du spectre infrarouge l'est en revanche beaucoup moins. De manière très surprenante, pour de nombreux/ses candidat(e)s la dimension d'une molécule de CO_2 est de l'ordre du micromètre !

12 Beaucoup de candidat(e)s répondent que le moment dipolaire électrique de la molécule de CO_2 est constant sans justifier que sa valeur est nulle.

13 Question de cours, mal traitée dans une majorité de copies.

Oscillations forcées et absorption du rayonnement

14 Question bien traitée. Les deux sources principales d'erreurs ont été une erreur de signe sur l'expression finale de la puissance et l'omission de la charge q dans l'expression de la force électrique.

15 Question simple. Cependant, la réponse de nombreuses copies à cette question présente un signe erroné pour α .

16 Question bien traitée. Malheureusement, beaucoup de candidat(e)s donnent un résultat final dont l'expression est non homogène du fait de l'omission de la masse ou de la charge.

17 Question ne présentant aucune difficultés si l'on avait répondu correctement aux questions 14 et 16.

18 Beaucoup de réponses approximatives et peu claires.

19 Question peu abordée. Beaucoup de candidat(e)s répondent que la valeur de α doit être faible sans préciser par rapport à quelle autre grandeur physique du problème cette comparaison doit se faire. (Pour rappel, α est une grandeur physique ayant des unités).

Effet des collisions entre molécules

20 Question facile à laquelle l'immense majorité des candidat(e)s a su répondre correctement.

21 Question bien traitée par ceux/celles l'ayant abordée.

22 Au vu de la forme exponentielle de $P(\theta)$ donnée par l'énoncé, l'immense majorité des candidat(e)s, ayant abordé cette question a compris que $P(\theta)$ devait être la solution de l'équation différentielle du premier ordre : $\frac{dP}{d\theta} + \frac{P}{\tau} = 0$. Malheureusement, dans beaucoup de copies, le raisonnement permettant d'établir cette équation est très approximatif et peu clair. De manière surprenante, un nombre relativement faible de copies a compris que le préfacteur $\frac{1}{\tau}$ de l'exponentielle résultait d'une condition de normalisation sur $P(\theta)$. Dans la plupart des copies, la valeur de ce préfacteur est justifiée à tort par la condition $P(0) = \frac{1}{\tau}$.

23 Question sans difficulté réelle.

24 Pour répondre correctement à cette question il fallait avoir bien traité les questions 14, 20 et 23. Les mauvaises réponses à cette question sont dues essentiellement à la propagation d'erreurs faites aux questions préalables ou à des erreurs d'étourderie. La plupart de ces erreurs auraient pu être évitées en vérifiant l'homogénéité du résultat final.

25 Peu de réponses à cette question.

26 Un nombre très faible de copies ont abordé cette question.

27 Question ne présentant pas de difficultés majeures mais nécessitant une réponse correcte à la question précédente.

28 Très peu de bonnes réponses.

Partie III-Effet de serre

28 Très peu de réponses satisfaisantes.

29 Question bien traitée. Quelques candidat(e)s sont parvenus à **déterminer** l'expression du coefficient β grâce à une analyse dimensionnelle.

30 Cette application numérique a été à tort négligée par certain(e)s candidat(e)s qui avaient pourtant établi l'expression correcte du coefficient β .

31 La loi de Stefan est bien connue de l'immense majorité des candidat(e)s, malheureusement un grand nombre de copies ont omis de prendre en compte le terme $(1 - \alpha)$ dans la puissance rayonnée par la Terre. Une lecture attentive de l'énoncé aurait permis d'éviter cette erreur.

32 Question bien traitée.

33 Question ne présentant pas de difficultés à la condition d'avoir bien répondu à la question précédente.

34 Question de cours (Loi de Stefan).

35 Question de cours (Loi de Wien).

36 Question d'analyse de document totalement indépendante des autres questions.

37 Question peu traitée.