

**Composition de Physique A, Filière PC
(XE)**

Le sujet traitait de la télémétrie laser appliquée à la mesure précise de la distance séparant la Terre de la Lune.

Il se composait d'un texte de 3 pages, intitulé *La télémétrie laser-Lune*, extrait et adapté d'un article publié en 1992 dans la revue *Images de la Physique* et de trois figures dont deux montrant des données expérimentales. Les candidat(e)s devaient s'appuyer sur ces documents pour répondre à une série de 30 questions d'analyse et de compréhension. Ces questions étaient regroupées en six parties indépendantes. Les données numériques utiles pour traiter le problème dans sa globalité étaient fournies aux candidat(e)s en tout début d'énoncé.

La première partie (*Traversée de l'atmosphère*) consistait à estimer la distance Terre-Lune à partir du temps de vol de photons entre ces deux astres et à déterminer l'influence de l'atmosphère terrestre sur ce résultat. La seconde partie (*Trajet Terre-Lune*) visait à estimer la correction relativiste induite par la présence proche du Soleil sur le temps de vol. La troisième partie (*L'écho lumineux*) traitait de la mise en œuvre technique de la télémétrie laser : l'émission, la réflexion et la récupération de photons issus d'une impulsion laser. La quatrième partie (*Analyse de la figure 2*), s'attachait à comprendre et modéliser les données expérimentales issues de la figure 2 du texte, à savoir l'évolution des mesures de temps de vol au cours d'une nuit du fait de la rotation de la Terre sur elle-même. La cinquième partie (*Analyse de la figure 3*) s'intéressait, quant à elle, aux variations plus lentes des mesures de temps de vol, induites par la non circularité de l'orbite lunaire autour de la Terre. Enfin la sixième et dernière partie (*Tests de physique*) consistait à étudier l'influence de divers phénomènes physiques sur l'évolution séculaire de l'orbite de la Lune autour de la Terre.

Les six parties relativement indépendantes les unes des autres permettaient aux candidat(e)s de traiter le sujet dans son ensemble en abordant par exemple les diverses parties de l'énoncé séparément. En procédant ainsi, de nombreux candidat(e)s ont pu avancer assez loin dans la résolution du problème. Ce sujet permettait de tester les connaissances des candidats sur une grande partie du programme de physique des classes préparatoires. Il nécessitait une mise en pratique des notions acquises en première et deuxième années des classes préparatoires, balayant plusieurs chapitres : mécanique du point, optique géométrique et ondulatoire, et thermodynamique.

La répartition des notes est résumée dans le tableau suivant (pour les candidats français) :

$0 \leq N < 4$	107	8,64 %
$4 \leq N < 8$	506	40,87 %
$8 \leq N < 12$	445	35,95 %
$12 \leq N < 16$	155	12,52 %
$16 \leq N \leq 20$	25	2,02 %
Total	1238	100 %
Nombre de copies : 1238		
Note moyenne : 8,28		
Ecart-type : 3,37		

Remarques générales :

Rappelons comme chaque année quelques règles générales, qui pourtant bien qu'évidentes sont malheureusement faiblement respectées par de nombreux candidats :

- De nombreuses copies sont rédigées dans un français très approximatif et présentent de multiples erreurs grammaticales et orthographiques. Cela nuit malheureusement à la clarté et à la compréhension des explications données pour justifier un raisonnement ou un résultat.
- Il est toujours affligeant pour les correcteurs de constater que des expressions littérales sont dimensionnellement incorrectes. Nous encourageons donc les candidats à vérifier systématiquement l'homogénéité de leurs résultats.
- Un résultat numérique est en général considéré faux s'il est présenté sans unité. Les candidats doivent également veiller à ce que le nombre de décimales significatives données soit pertinent.
- Des résultats donnés sans aucune explication ne peuvent pas être considérés comme valides. Il est essentiel de justifier les hypothèses faites et d'invoquer les principes appliqués lors d'un raisonnement. Il convient également de penser à définir de manière très explicite les variables introduites pour mener à bien un calcul. Un dessin peut alors parfois se révéler bien utile.
- Il est dommage de constater que certain(e)s bon(ne)s candidat(e)s se pénalisent fortement en ne jugeant pas utile d'effectuer les applications numériques demandées.

Remarque spécifique :

Quelques candidat(e)s excellent(e)s ont remarqué, à juste titre, qu'une erreur d'unité s'était glissée dans la constante des gaz parfaits, fournie par l'énoncé.

Commentaires par question

1. Question facile. Quelques candidats peu attentifs n'ont cependant pas assimilé que la durée de vol correspondait au temps mis par les photons pour effectuer un aller-retour entre la Terre et la Lune et donc parcourir deux fois la distance Terre-Lune. L'application numérique pourtant très simple a donné lieu à des résultats parfois très approximatifs.

Partie I : Traversée de l'atmosphère

2. Question mal traitée dans l'ensemble. La plupart des candidat(e)s se basent sur le calcul du chemin optique à travers l'atmosphère et obtiennent un résultat de signe contraire et double en valeur absolue de celui attendu. De plus, de trop nombreux candidat(e)s se bornent à présenter leur résultat sans aucune phrase de justification ni d'explication.

3. La majorité des candidat(e)s ont répondu à cette question en supposant que l'atmosphère était isotherme tout en omettant d'ailleurs, pour la plupart, de le préciser explicitement. Une lecture attentive de l'énoncé leur aurait permis de se rendre compte qu'une telle hypothèse n'était pas nécessaire pour résoudre le problème.

4. Pour répondre à cette question, il fallait parvenir à établir les expressions littérales de H et δD à la question précédente. Lorsque cela a été le cas, les applications numériques pour ces deux quantités ont été en général bien effectuées.

5. Beaucoup de candidat(e)s ont mal lu l'énoncé et pris pour l'angle h , l'angle entre la trajectoire et la verticale et non pas l'angle entre la trajectoire et l'horizontale. Bien que la distance parcourue par les photons dans l'atmosphère soit dans la plupart des copies valable, peu de candidat(e)s parviennent cependant à établir l'expression modifiée correcte pour δD .

Partie II : Trajet Terre-Lune

6. De nombreux(ses) candidat(e)s ne connaissent encore pas la signification d'une variation relative. Peu de candidat(e)s sont parvenus à exprimer correctement le potentiel gravitationnel du Soleil et n'ont donc pu résoudre cette question.

7. La détermination de la vitesse de révolution de la Terre autour du Soleil à partir des données de l'énoncé a été bien traitée par la majorité des candidat(e)s. Quelques-uns ont néanmoins confondu vitesse de révolution et vitesse angulaire de révolution.

Partie III : L'écho lumineux

8. Question bien traitée dans l'ensemble, cependant de nombreux(ses) candidat(e)s ont effectué les calculs en prenant pour longueur d'onde $\lambda = 1.06 \mu m$ alors que l'énoncé indiquait pourtant explicitement qu'il fallait prendre le faisceau de lumière verte.

Pour une proportion faible mais néanmoins significative des copies, la condition de l'équilibre mécanique s'écrit de manière surprenante : $d\vec{F}/dz = 0$.

9. Question très mal abordée par l'immense majorité des candidat(e)s. Très peu ont compris qu'il convenait d'effectuer un calcul numérique pour estimer l'angle d'ouverture résultant de la diffraction du faisceau par la lentille de l'objectif du télescope afin de le comparer aux données de l'énoncé. Beaucoup se sont simplement contentés d'évoquer l'ouverture intrinsèque du faisceau du fait de son caractère gaussien ou l'influence de

l'atmosphère mentionnée à la question suivante.

10. Pour répondre à cette question, il fallait simplement faire le rapport entre la surface du réflecteur lunaire et celle éclairée sur la Lune par le faisceau laser. Cette question a été globalement bien traitée, cependant nous notons que :

- La définition de l'angle d'ouverture d'un faisceau reste méconnue de nombreux(se) candidat(e)s,
- Dans un nombre significatif de copies $\sin$ et $\tan$ sont confondus,
- Enfin, très peu pensent à justifier la validité de leur résultat par le fait que le faisceau est énergétiquement homogène.

11. La plupart des candidat(e)s ayant répondu correctement à cette question se sont contentés d'un raisonnement à deux dimensions en se limitant uniquement aux trajets lumineux passant par deux des miroirs du dispositif. Quelques-uns ont répondu plus élégamment à cette question et de manière plus générale en utilisant l'optique matricielle et la réflexion d'un faisceau sur une surface plane.

12. Question peu traitée. Beaucoup de copies ayant abordé la question confondent phase et chemin optique.

13. Question ne présentant pas de difficulté majeure. Très peu pensent cependant à justifier le fait que $\sin \alpha' \simeq \alpha'$. Dans un nombre important de copies, nous pensons que les candidat(e)s n'ont probablement pas lu l'énoncé de la question jusqu'à la fin puisqu'ils(elles) répondent que l'angle α' est identique à l'angle d'ouverture du faisceau incident.

14. Question nécessitant le même raisonnement que celui de la question **10**. Les mêmes remarques s'appliquent donc.

15. Bien que cette question soit simple, l'application numérique correspondante est cependant souvent fautive car l'obtention d'un bon résultat nécessite des réponses numériques exactes aux questions **10** et **14**.

16. Mêmes remarques que pour la question précédente. Peu de candidats pensent à justifier l'écart entre la valeur obtenue et celle du texte par des phénomènes de diffusion et d'absorption lors de la traversée atmosphériques et/ou par le caractère non parfait des miroirs du réflecteur et du détecteur utilisé. Les réponses fantaisistes du type *absorption de l'énergie des photons par effet Joule* ou *absorption de la lumière par des débris de satellites* discréditent ceux qui les formulent.

17. Question bien traitée.

Partie IV : Analyse de la figure 2

18. Cette question a effrayé de nombreux(se) candidat(e)s car elle nécessite une connaissance des différentes phases lunaires. Un grand nombre de copies se contentent de donner

une réponse purement hasardeuse sans aucune justification physique. Bien évidemment dans ce cas là, la réponse est toujours considérée comme fausse. Beaucoup de candidat(e)s ont répondu qu'il s'agissait à tort de la pleine Lune car la courbe représentée dans la figure 2 présente un minimum résultant du fait que la Lune soit diamétralement opposée au Soleil dans cette configuration (nos commentaires des réponses à la question **22** permettent de comprendre leur raisonnement erroné). Une lecture attentive du texte leur aurait pourtant permis de comprendre que cela ne pouvait être le cas. A contrario, d'autres candidats plus attentifs, bien que ne sachant répondre correctement à cette question, ont eu la présence d'esprit de signifier que la réponse ne pouvait pas être la pleine Lune du fait, comme indiqué dans le texte, de l'absence de mesure possibles lorsque le réflecteur est noyé dans la lumière du Soleil. Nous avons tenu à récompenser une réponse partielle de ce type.

19. *Cause principale de la variation de durée aller-retour δt représentée sur la figure 2 :* Pour répondre correctement à cette question, il convenait d'estimer les ordres de grandeurs des variations provenant respectivement de la rotation de la Terre sur elle-même, de la Lune sur elle-même, de la traversée de l'atmosphère et des effets gravitationnels invoqués dans la partie II du sujet et de les comparer à la variation mesurée dans la figure 2. Très rares sont les candidat(e)s qui ont procédé ainsi. Dans l'immense majorité des copies, la réponse est donnée sans aucune justification. De manière surprenante, la réponse avancée par la majorité des candidat(e)s est la traversée de l'atmosphère alors qu'un simple calcul d'ordre de grandeur aurait suffi à éliminer cette réponse.

À quel instant la Lune est-elle au plus haut dans le ciel : Cette question a été très bien abordée par l'immense majorité des candidat(e)s. Cependant quelque-uns n'ont pas compris que l'expression *au plus haut dans le ciel* dans l'énoncé signifiait *au zénith* et non pas *le plus loin*.

20. Question extrêmement mal comprise. Les candidat(e)s ont pensé qu'il s'agissait de montrer qu'un polynôme de degré 2 permettait de décrire empiriquement les données représentées et qu'il convenait dans cette question de déterminer la valeur des coefficients associés. Pour répondre à cette question difficile, il fallait avoir compris, au préalable, que les variations reportées à la figure 2 résultaient essentiellement de la rotation de la Terre sur elle-même. Un nombre infime d'excellentes copies a amorcé l'esquisse d'un raisonnement correct.

21. Question non traitée.

Partie V : Analyse de la figure 3

22. Bien qu'il s'agisse d'une question de cours, un nombre significatif de candidats sont convaincus que la trajectoire elliptique de la Lune autour de la Terre est un effet perturbatif dû à la présence du Soleil. Pour cette raison, ils pensent à tort que la distance Terre-Lune est minimale lors de la pleine Lune, moment où la Lune est diamétralement opposée au Soleil. Ce raisonnement erroné les conduit à donner une mauvaise réponse à la question **18**.

23. Question ne présentant pas de difficulté majeure et à laquelle l'immense majorité des candidat(e)s a su répondre correctement. Pour un nombre significatif de copies, les variations de la distance Terre-Lune de la Figure 3 sont directement liées au cycle lunaire et non au caractère elliptique de l'orbite lunaire.

24. *Période de révolution, T , de la la Lune autour de la Terre* : Peu de candidat(e)s ont pensé à déterminer T en prenant, non pas l'écart entre deux minima consécutifs, mais entre un minimum (jour 15) et un maximum (jour 56) afin d'améliorer la précision du résultat.

Demi-grand axe : Un nombre important de candidat(e)s considèrent, à tort, que la Terre se situe au centre de l'ellipse. Ils assimilent le demi grand axe a , à l'apogée de l'ellipse et obtiennent donc un résultat faux. Une proportion importante des candidat(e)s qui utilisent à juste titre la formule $a = \frac{r_{\min} + r_{\max}}{2}$ (où $r_{\min}$ et $r_{\max}$ sont la distance Terre-Lune la plus faible et la distance Terre-Lune la plus grande) obtient une valeur numérique deux fois plus grande que celle attendue car ils oublient que la durée de vol des photons correspond à un aller-retour Terre-Lune. Les quelques candidats qui utilisent la troisième loi de Kepler pour parvenir au résultat final aboutissent à des applications numériques majoritairement erronées.

Excentricité : Très peu de candidat(e)s ont répondu correctement.

25. Peu de réponses correctes alors qu'une lecture attentive du texte permettait de répondre à cette question très aisément. Notons beaucoup de réponses fantaisistes comme par exemple *pas de mesures possibles à cause du mauvais temps, des vacances scolaires pendant cette période*, ou encore *une éclipse de Lune*.

Partie VI : Tests de Physique

26. La réponse attendue et sa justification physique, *conservation du moment cinétique car la force d'attraction Terre-Lune reste centrale lorsque G varie*, n'a été fournie que dans un nombre restreint de copies. Un grand nombre de réponses erronées est observé parmi lesquelles : *conservation de l'énergie mécanique, du moment d'inertie de la Lune, de sa masse où de sa vitesse angulaire de rotation*.

27. Les candidat(e)s ont bien répondu à cette question mais peu cependant pensent à utiliser la dérivée logarithmique pour mener à bien l'application numérique demandée.

28. Question bien traitée de manière générale lorsqu'elle est abordée. Les calculs numériques ne sont cependant pas conduits jusqu'au bout.

29. Question peu abordée. Très souvent, seuls les moments d'inertie de la Terre et de la Lune sont comparés. Les candidat(e)s omettent de tenir compte de la contribution aux moments cinétiques des vitesses de rotation des deux astres sur eux-mêmes.

30. Seules quelques excellentes copies ont abordé cette question.