

MPSI – Physique-Chimie – Devoir surveillé 2

Les pages de garde des sujets de concours contiennent la liste non-exhaustive de consignes suivante :

Le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction.
Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.
Utiliser uniquement un stylo noir ou bleu foncé non effaçable pour la rédaction de votre composition ; le rouge peut être utilisé, mais exclusivement pour les schémas et la mise en évidence des résultats.
Ne pas utiliser de correcteur.
Écrire le mot FIN à la fin de votre composition.

Les calculatrices sont **interdites**.

Tout résultat donné dans l'énoncé peut être admis et utilisé par la suite, même s'il n'a pas été démontré par le ou la candidat(e).

Les explications des phénomènes étudiés interviennent dans l'évaluation au même titre que les développements analytiques et les applications numériques.

Les résultats numériques exprimés sans unité ou avec une unité fautive ne sont pas comptabilisés.

Seront fortement sanctionnés :

- les oublis de marge ou de nom complet.
- le non respect de la consigne sur les stylos autorisés.
- toutes les informations dans la marge.
- les réponses qui ne respectent pas l'ordre des questions de l'énoncé.
- les résultats qui ne sont pas mis en valeur, ou commençant par un signe égal.
- les réponses non justifiées ou dont la justification est incorrecte ou partielle.
- les réponses qui contiennent des grandeurs qui n'ont pas été introduites par une phrase ou un schéma.
- les formules littérales qui ne respectent pas les grandeurs demandées, ou comportent une valeur de grandeur.
- les caractères non lisibles ou pouvant être confondus avec d'autres caractères.
- les valeurs dont l'application numérique n'a pas été rédigée, ou dont l'unité est incorrecte ou absente.
- les réponses écrites sur deux colonnes, ou dont l'aspect global n'est pas acceptable.

Un point sera retiré :

- par rature ou partie de copie barrée plus de trois fois.
- par réponse comportant une abréviation inusuelle ou du texte qui n'est pas rédigé sous forme de phrases.
- par utilisation d'un correcteur qui laisse dépasser des traits.
- si une formule est juste mais non simplifiée, et si elle ne respecte pas les notations de l'énoncé.
- si une valeur est correcte mais ne présente pas le bon nombre de chiffres significatifs.
- si un raisonnement menant à un résultat connu semble frauduleux.
- par question contenant un trait de plus de 2 cm tracé à main levée.
- par numéro de question dans la marge.
- pour l'oubli de la mention « FIN ».
- par duo de copies mal ou non numérotées.
- si vous continuez de rédiger après la fin de l'épreuve. Plusieurs points peuvent être retirés.
- si les copies ne sont pas dans l'ordre, et si la copie de garde ne traite pas du premier exercice.
- si les copies sont les unes dans les autres au lieu de toutes les unes après les autres dans la copie de garde.
- si la copie de garde ne comporte pas 4 lignes de cartouche (espace pour des commentaires du correcteur).

Exercice 1 : Étude d'un circuit RC

On étudie un circuit série constitué d'un générateur basses fréquences (GBF) de tension notée $e(t)$, d'une résistance $R = 1,0 \text{ k}\Omega$ et d'un condensateur idéal de capacité $C = 4,7 \cdot 10^2 \text{ nF}$. L'intensité i du circuit est définie de telle sorte que le GBF soit représenté en convention générateur. On soumet ce circuit à un échelon de tension de valeur $E = 3,0 \text{ V}$ à partir de l'instant initial $t_0 = 0$. Le condensateur est initialement déchargé.

1. Quel est l'ordre de grandeur de la résistance de sortie du GBF ? Expliquer pourquoi celle-ci peut être négligée.
2. On rappelle que certaines grandeurs doivent obligatoirement être introduites à l'aide d'un schéma. Pour $t > t_0$, établir l'équation différentielle sous forme canonique vérifiée par la tension u_C aux bornes du condensateur, définie de telle sorte que le condensateur soit représenté en convention récepteur.
3. En déduire la constante de temps τ du circuit et vérifier l'homogénéité de sa formule.
4. Déterminer $u_C(t = 0^+)$.
5. Exprimer $u_C(t)$.
6. Représenter $u_C(t)$ ainsi que sa tangente à l'origine.
7. Évaluer un ordre de grandeur du régime transitoire Δt_{tr} .
8. Exprimer $i(t)$ en fonction de E, R et τ .
9. On rappelle qu'il est obligatoire d'indiquer à quoi correspondent les notations que vous introduisez. Établir la formule de bilan de puissance pour le circuit. Commenter.
10. Établir séparément les expressions des différents termes du bilan d'énergie pour le circuit entre l'instant initial et le régime permanent. Commenter.
11. À partir d'un instant $t_1 > t_0 + \Delta t_{tr}$, on impose un régime libre au circuit RC. Établir $u_C(t)$ pour $t > t_1$.
12. Exprimer la condition d'application de l'approximation des régimes quasi-stationnaires en fonction de la taille caractéristique $L = 1 \text{ m}$ du circuit et de la durée caractéristique τ du phénomène étudié. Celle-ci est-elle respectée ?

À partir de l'exercice suivant, les données sont fournies en fin d'exercices.

Exercice 2 : Structure d'entités chimiques

13. Quel est le nombre d'électrons de valence du bore ?
14. Quel est le nombre d'électrons de valence de la molécule du trifluorure de bore BF_3 ? Représenter son schéma de Lewis.
15. Quelle est la géométrie de cette molécule ? Expliquer la raison énergétique de cette géométrie.
16. Représenter les charges partielles présentes sur le trifluorure de bore.
17. Faire un schéma permettant la détermination du moment dipolaire du trifluorure de bore. Commenter.
18. Sans justification, représenter le schéma de Lewis du sulfure d'hydrogène SH_2 .
19. Quelle est la géométrie de cette molécule ?
20. Représenter les charges partielles présentes sur le sulfure d'hydrogène.
21. Faire un schéma permettant la détermination du moment dipolaire du sulfure d'hydrogène. Comment nomme-t-on ce dernier ? Commenter.
22. Le chrome Cr a un numéro atomique égal à 24. Donner sa configuration électronique.
23. Le molybdène Mo est en dessous du chrome dans le tableau périodique des éléments. Quel est son numéro atomique ?

Données pour l'exercice « Structure d'entités chimiques » :

On donne ci-après les trois premières lignes du tableau périodique.

H							He
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar

On donne les électronégativités suivantes : $\chi(H) = 2,2$; $\chi(S) = 2,6$.

Exercice 3 : Observation du Fort Boyard

Situé au large de la Charente-Maritime, le Fort Boyard est édifié sous l'impulsion de Napoléon afin de protéger la rade, l'embouchure de la Charente, le port et surtout le grand arsenal de Rochefort des assauts de la marine anglaise. Construit entre 1804 et 1857, il est transformé en prison quelques années à peine après son achèvement. Cet imposant vaisseau de pierre est dorénavant connu dans le monde entier grâce au jeu télévisé du même nom, tourné depuis 1990, dans lequel une équipe généralement constituée de six candidats réalise diverses épreuves physiques et intellectuelles afin de gagner un trésor en boyards. Ce sujet s'intéresse à certains aspects du jeu.



Figure 1 – Fort Boyard

Avant de se lancer à l'assaut du Fort, les candidats l'observent depuis l'Île d'Aix à l'aide de jumelles, sommairement modélisées par une paire de lunettes de Galilée. Chaque lunette comprend deux lentilles, l'une plan convexe, l'autre plan concave.

24. Rappeler les lois de Snell-Descartes relatives à la réfraction uniquement, au moyen d'un schéma faisant apparaître les grandeurs utiles.

25. La figure 2 représente les lentilles plan convexe et plan concave, taillées dans un verre d'indice optique $n > 1$ et plongées dans l'air d'indice optique $n_{air} = 1$. Recopier la figure et tracer qualitativement le suivi des rayons au travers du dioptré air/verre, puis du dioptré verre/air. Bien qu'aucun calcul ne soit attendu, détailler la démarche adoptée en utilisant la réponse à la **question précédente**.

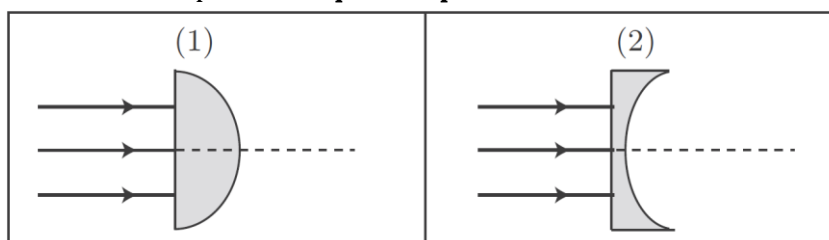


Figure 2 – Lentilles plan convexe (1) et plan concave (2)

26. En déduire la nature, convergente ou divergente, de chaque lentille.

Dans la suite, les lentilles sont supposées minces et utilisées dans les conditions de Gauss. Chaque lunette de Galilée est composée d'une lentille (L_1) de distance focale $f'_1 > 0$ constituant l'objectif de la lunette, et d'une lentille (L_2) de distance focale $f'_2 < 0$, telle que $|f'_2| < f'_1$, constituant l'oculaire (voir figure 3). On note respectivement O_1 , F_1 et F'_1 le centre optique, le foyer principal objet et le foyer principal image de l'objectif. De

même, on note respectivement O_2 , F_2 et F'_2 le centre optique, le foyer principal objet et le foyer principal image de l'oculaire.

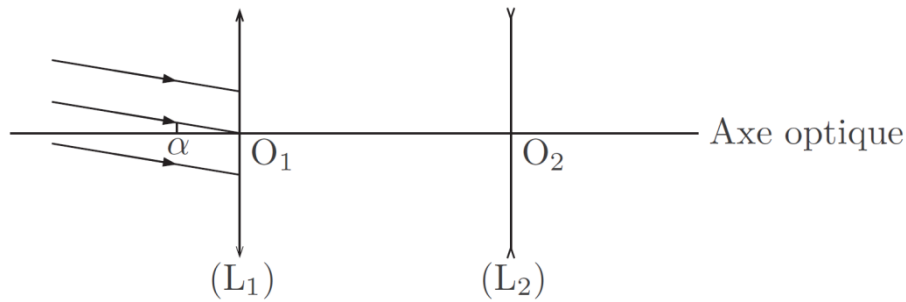


Figure 3 – Schéma optique de la lunette de Galilée

La lunette est réglée de façon à donner une image à l'infini d'un objet à l'infini, ce qui permet à l'observateur d'éviter toute fatigue. Dans ces conditions, la lunette est dite afocale.

27. Préciser et justifier la position relative des foyers des lentilles. En déduire l'encombrement $\ell = O_1O_2$ en fonction de f'_1 et de $|f'_2|$. [Attention, une erreur classique est d'oublier qu'une lentille divergente n'a pas les mêmes caractéristiques qu'une lentille convergente.]

28. Recopier le schéma de la figure 3 et poursuivre le tracé des rayons incidents parallèles faisant un angle α avec l'axe optique et émergeant sous un angle α' avec l'axe optique.

29. L'image du Fort à travers les jumelles apparaît-elle droite ou renversée par rapport au Fort observé à l'œil nu? Justifier.

30. En se plaçant dans les conditions de Gauss, les angles α et α' sont petits ; déterminer l'expression du grossissement de la lunette $G = \alpha'/\alpha$ en fonction de f'_1 et de $|f'_2|$.

31. Compte tenu des valeurs de grossissement et d'encombrement précisées en fin de partie, calculer la valeur des distances focales f'_1 et f'_2 .

On observe le Fort, de hauteur h , depuis l'Île d'Aix située à une distance d .

32. Sous quel angle le Fort est-il observé à l'œil nu? Sous quel angle est-il observé à travers les jumelles? Vérifier la validité des conditions de Gauss. [On donne $\arctan(\theta) = \theta$ pour $|\theta| \ll \frac{\pi}{2}$.]

Données pour l'exercice « Observation du Fort Boyard » :

Hauteur du Fort Boyard : $h = 20$ m

Distance Île d'Aix-Fort Boyard : $d = 3,0$ km

Caractéristiques de la lunette de Galilée :

- grossissement : $G = 20$

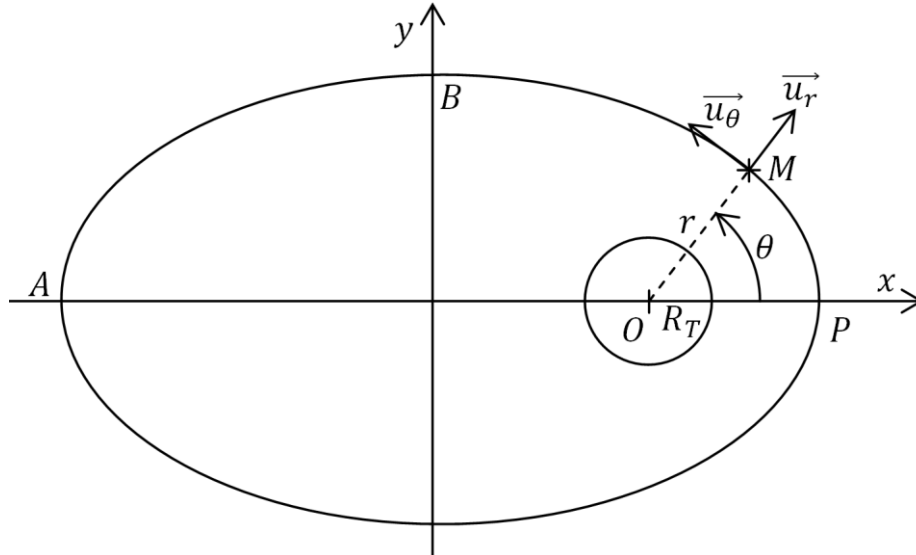
- encombrement : $\ell = 25$ cm

Exercice 4 : Étude d'une trajectoire elliptique

Un satellite modélisé par un point M gravite autour de la Terre sur une orbite elliptique dont l'équation de la trajectoire en coordonnées polaires d'origine O (où O est le centre de la Terre) est :

$$r(\theta) = \frac{\alpha R_T}{2 + \cos(\theta)}$$

Avec α une constante positive et R_T le rayon terrestre. Les points A et P se trouvent sur l'axe (Ox) défini sur le schéma ci-après, dont on précise qu'il ne respecte pas les proportions. Dans le schéma, M tourne dans le sens trigonométrique.



33. Pour quelles valeurs de θ la distance entre le centre de la Terre et le satellite est-elle minimale ? Maximale ? Exprimer en fonction de α et de R_T les valeurs minimale et maximale de r , r_{min} et r_{max} .

34. Calculer r_A et r_P , les valeurs de r lorsque M est en A et P .

35. On note $\vec{a}$ le vecteur accélération de M . Montrer que : $\vec{a} \cdot \vec{u}_\theta = \frac{1}{r} \frac{d}{dt} \left(r^2 \frac{d\theta}{dt} \right)$.

36. En sachant que $\vec{a}$ n'a de composante que selon $\vec{u}_r$, montrer que $r^2 \dot{\theta}$ est une constante, que l'on notera C .

37. Dédurre l'expression de la vitesse du satellite dans la base polaire en fonction de r , $\dot{r}$ et C et des vecteurs unitaires.

38. A l'aide de la question précédente, montrer que le vecteur vitesse dans la base polaire peut s'écrire :

$$\vec{v} = \frac{C \sin(\theta)}{\alpha R_T} \vec{u}_r + \frac{C(2 + \cos(\theta))}{\alpha R_T} \vec{u}_\theta$$

39. Préciser les expressions de ce vecteur pour les points A et P dans la base $\vec{u}_x$ et $\vec{u}_y$. Quelle formule relie $\vec{v}(A)$ et $\vec{v}(P)$?

40. Donner les expressions de $\vec{u}_r$ et $\vec{u}_\theta$ dans la base $(\vec{u}_x, \vec{u}_y)$. En déduire l'expression de la vitesse du point M dans la base $(\vec{u}_x, \vec{u}_y)$ en fonction de α , R_T , θ et C .

41. Sachant qu'au point B le vecteur vitesse est colinéaire à $\vec{u}_x$, déterminer un angle θ lorsque M est en B .

42. Montrer alors que $r_B = \frac{r_A + r_P}{2}$.

Données pour l'exercice « Étude d'une trajectoire elliptique » :

$$R_T = 6,4 \cdot 10^3 \text{ km}$$

$$\alpha = 3,8$$

$$M_T = 6,0 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

$$\mathcal{G} = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ kg}^{-1} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$$

FIN

Consignes pour les autocorrections

L'autocorrection est notée sur 5 points (généralement 2 points sur 20).

0/20 si vous n'avez pas rangé l'intégralité de vos affaires dans votre sac pour l'autocorrection.

Les ratures avec les stylos de correction sont sanctionnées ; si vous devez barrer, faites-le proprement.

À chaque réponse fausse, trouvez et annotez succinctement la ou les erreurs dans les raisonnements ou calculs. Il n'est pas demandé que vous recopiez la correction.

À chaque réponse incomplète, trouvez et annotez succinctement le ou les oublis : oublis de justification, de rédaction, de simplification.

Des annotations classiques que vous pouvez utiliser sont : « calcul », « signe », « dérivée fausse », « oubli », « schéma », « valeur obtenue impossible », « expression incohérente », « vecteur ».

Indiquez les absences d'une marge ou du cartouche, et les oublis de mention du nom, prénom, exercice, numéro de question.

Entourez les ratures (barrer proprement n'est pas une rature), les utilisations du ruban correcteur qui laissent dépasser des traits, les utilisations de liquide de correction, les oublis de grandeur à gauche du signe égal en fin de calcul ou en début de page.

Barrez les écritures dans la marge. Quand il y a du texte sur deux colonnes, barrez la colonne de droite.

Vous pouvez utiliser les abréviations suivantes dans la marge :

Croix X en face d'une erreur ; il est cependant préférable de l'entourer si elle est petite.

Double barre verticale || à gauche d'une réponse qui n'a pas été mise en valeur.

« aérer » pour des réponses trop resserrées, notamment lorsqu'il y a trop d'éléments sur une seule ligne.

« car ? » ou « et ? » lorsqu'il manque un élément de justification ou de réponse.

« é », abréviation de énoncé, pour une réponse qui ne correspond pas à la question posée.

« th ? », abréviation de théorème, lorsqu'il manque le nom de la loi, du théorème ou du principe utilisé.

« syst ? » ou « réf ? » lorsque le système ou le référentiel n'a pas été défini.

« ph » pour du texte qui n'est pas rédigé sous forme de phrases.

Vous pouvez utiliser les abréviations suivantes dans vos réponses :

Pour une notation différente de l'énoncé, entourez et notez « é ».

Pour une notation qui n'a pas été introduite par un schéma ou une phrase, entourer et notez « ? ». Faites de même lorsqu'une notation non présente dans l'énoncé est utilisée dans une réponse encadrée sans que son expression en fonction des données de l'énoncé n'ait été mise en valeur.

« = ? » après un calcul non terminé, par exemple lorsque l'expression n'est pas simplifiée.

« règle » pour un trait de plus d'un centimètre fait à main levée (barres de racines carrées tolérées).

« redac » pour l'utilisation d'une abréviation non donnée dans l'énoncé et non usuelle, ou pour un raisonnement mal rédigé.

« h » pour une formule non homogène.

« cs » si le nombre de chiffres significatifs est incorrect.

S'il vous reste du temps, lisez la correction des questions non traitées.