Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Général Maths + Physique, veuillez visiter :
bac-maths-physique.fr/annales-sujets-et-corriges

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL • CORRIGÉ DÉTAILLÉ

Physique-chimie

Session 2026 • Métropole • Secours

Code sujet **26-PYCJ2ME2** 3 heures 30

Proposition de corrigé pédagogique • FormaV

Se repérer dans le corrigé

Exercice 1 — La tomate, un fruit plein de ressources
20 réponses • sujet p. 2–7

Exercice 2 — L’astroscope
6 réponses • sujet p. 8–14

Exercice 3 — Surveillance de la fonte des glaces
15 réponses • sujet p. 10–15

Les numéros, parties et pages renvoient au sujet original. Chaque réponse rappelle la consigne, explique la démarche et donne le résultat.

Exercice 1

9 points

La tomate, un fruit plein de ressources

1. Extraction du lycopène de la tomate

Question Q1.

Sujet p. 2, 3

> Donner deux arguments en faveur de l'utilisation de l'acétate d'éthyle comme solvant d'extraction du lycopène de la tomate.

Un solvant d'extraction doit dissoudre le composé à extraire et permettre de séparer la phase qui le contient de la phase aqueuse. D'après le tableau, le lycopène est très soluble dans l'acétate d'éthyle, et l'acétate d'éthyle est faiblement miscible avec l'eau : une décantation permet donc de séparer les deux phases.

RÉPONSE À RETENIR

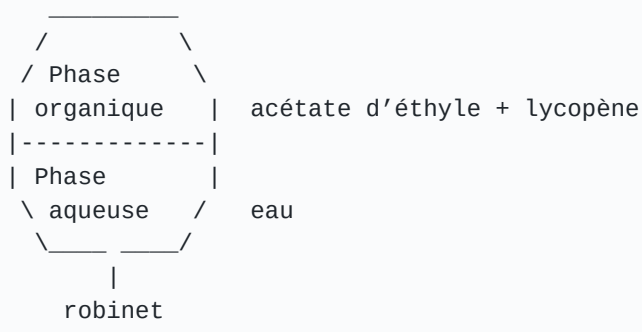
L'acétate d'éthyle dissout très bien le lycopène et est faiblement miscible avec l'eau, ce qui permet de récupérer une phase organique distincte.

Question Q2.

Sujet p. 2, 3

> Réaliser le schéma de l'ampoule à décanter après décantation et indiquer les positions relatives des phases organique et aqueuse, en précisant dans quelle phase se situe le lycopène.

L'eau et l'acétate d'éthyle forment deux phases. La densité de l'acétate d'éthyle vaut 0,90, inférieure à celle de l'eau (1,00) : la phase organique se place donc au-dessus de la phase aqueuse. Le lycopène, très soluble dans l'acétate d'éthyle et très peu soluble dans l'eau, se trouve dans la phase organique.



RÉPONSE À RETENIR

En haut : phase organique contenant l'acétate d'éthyle et le lycopène. En bas : phase aqueuse. La phase organique est supérieure car l'acétate d'éthyle est moins dense que l'eau.

Question Q3.

Sujet p. 2, 3

> Justifier la couleur jaune de la solution S_0.

Le spectre de S_0 présente une forte absorption dans le domaine bleu-violet, notamment autour de 430 nm. La couleur perçue correspond à la lumière transmise et est complémentaire de la couleur principalement absorbée. D'après le cercle chromatique fourni, la couleur complémentaire du bleu-violet est le jaune.

RÉPONSE À RETENIR

La solution S_0 paraît jaune parce qu'elle absorbe principalement dans le bleu-violet et transmet une lumière de couleur complémentaire jaune.

Question Q4.

Sujet p. 3

En utilisant la loi de Beer-Lambert, montrer que la concentration en lycopène dans la solution S_1 est proche de $C_1 = 0{,}95 \times 10^{-5}$ mol·L^{-1}. La solution de référence S_0 a pour concentration $C_0 = 1{,}8 \times 10^{-5}$ mol·L^{-1}.

À une longueur d'onde donnée, la loi de Beer-Lambert s'écrit $A = kC$ pour les solutions mesurées dans les mêmes conditions. Ainsi, $C_1/C_0 = A_1/A_0$. Au maximum d'absorption, on lit approximativement $A_0 = 1{,}15$ pour S_0 et $A_1 = 0{,}60$ pour S_1. On obtient :

$$C_1 = C_0 \frac{A_1}{A_0} = 1{,}8 \times 10^{-5} \times \frac{0{,}60}{1{,}15} \simeq 9{,}4 \times 10^{-6}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}.$$

La lecture des absorbances sur le graphique étant approximative, cette valeur est bien proche de la valeur demandée.

RÉPONSE À RETENIR

La concentration en lycopène dans S_1 est $C_1 \simeq 9{,}5 \times 10^{-6}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} = 0{,}95 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Question Q5.

Sujet p. 2, 3

En déduire la masse de lycopène extraite. Commenter, sachant que 100 g de tomate fraîche contiennent quelques milligrammes de lycopène.

Le volume de S_1 est $100\ \text{mL} = 0{,}100\ \text{L}$. La quantité de matière de lycopène contenue dans cette solution vaut :

$$n = C_1 V = 0{,}95 \times 10^{-5} \times 0{,}100 = 9{,}5 \times 10^{-7}\ \text{mol}.$$

Avec $M = 536\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, la masse extraite est :

$$m = nM = 9{,}5 \times 10^{-7} \times 536 = 5{,}09 \times 10^{-4}\ \text{g} = 0{,}509\ \text{mg}.$$

Cette masse provient de 25 g de tomate. Pour 100 g, cela correspond à environ $0{,}509 \times 4 = 2{,}0\ \text{mg}$, ce qui est cohérent avec l'indication « quelques milligrammes ».

RÉPONSE À RETENIR

La masse extraite est d'environ $0{,}51\ \text{mg}$ pour 25 g de tomate, soit environ $2{,}0\ \text{mg}$ pour 100 g. Cette valeur est cohérente avec l'indication du sujet.

2. Le lycopène, une espèce chimique pleine de ressources

Question Q6.

Sujet p. 3, 4

Nommer les familles chimiques associées aux groupes caractéristiques A et B entourés sur la figure 2.

Le groupe A est le motif caractéristique d'un ester, $\text{R}-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{R}'$. Le groupe B est le motif caractéristique d'un acide carboxylique, $\text{R}-\text{C}(=\text{O})-\text{OH}$.

RÉPONSE À RETENIR

A : famille des esters. B : famille des acides carboxyliques.

Question Q7.

Sujet p. 3, 4

Choisir la catégorie de réaction qui correspond à l'équation représentée en figure 2, parmi les catégories suivantes : substitution, élimination ou addition. Justifier.

Dans la figure 2, l'ester (1) réagit avec l'eau pour former l'acide carboxylique (2) et le méthanol (3). La partie $-\mathrm{OCH_3}$ de l'ester est remplacée par un groupe $-\mathrm{OH}$: dans la classification proposée, il s'agit d'une substitution, correspondant à l'hydrolyse de l'ester.

RÉPONSE À RETENIR

La réaction est une substitution (hydrolyse de l'ester).

Question Q8.

Sujet p. 2, 3, 4

Expliquer en quoi l'étude comparative des spectres IR du réactif (1) et du produit obtenu, isolé après purification et séchage, permettrait de vérifier que la synthèse a bien eu lieu.

La transformation convertit la fonction ester du réactif (1) en fonction acide carboxylique dans le produit (2). Une bande caractéristique de la liaison $\mathrm{O-H}$, forte et large, doit apparaître dans le spectre du produit, alors qu'elle n'est pas attendue pour l'ester de départ. La bande $\mathrm{C=O}$ est présente dans les deux espèces et ne permet donc pas, à elle seule, de distinguer la transformation. Le séchage du produit limite le risque d'attribuer à de l'eau résiduelle la bande $\mathrm{O-H}$.

RÉPONSE À RETENIR

La synthèse est vérifiée par l'apparition, dans le spectre du produit, de la bande $\mathrm{O-H}$ de l'acide carboxylique, absente du réactif ester. La bande $\mathrm{C=O}$ est attendue dans les deux spectres.

3. Modélisation des propriétés antioxydantes de la tomate

Question Q9.

Sujet p. 4

Écrire les deux demi-équations électroniques et les deux couples oxydant-réducteur mis en jeu dans la « réaction modèle » : 2 I^-(aq) + $S_2O_8^{2-}$(aq) → I_2(aq) + 2 SO_4^{2-}(aq).

L'iodure est oxydé en diiode en cédant des électrons ; le peroxodisulfate est réduit en ions sulfate en captant ces électrons. Les demi-équations électroniques sont :

- Oxydation : $2\,\mathrm{I^-_{(aq)}} \rightarrow \mathrm{I_{2(aq)}} + 2\,\mathrm{e^-}$.
- Réduction : $\mathrm{S_2O_8^{2-}{}_{(aq)}} + 2\,\mathrm{e^-} \rightarrow 2\,\mathrm{SO_4^{2-}{}_{(aq)}}$.

Les couples oxydant-réducteur sont $\mathrm{I_2/I^-}$ et $\mathrm{S_2O_8^{2-}/SO_4^{2-}}$.

RÉPONSE À RETENIR

Demi-équations : $2\,\mathrm{I^-} \rightarrow \mathrm{I_2} + 2\,\mathrm{e^-}$ et $\mathrm{S_2O_8^{2-}} + 2\,\mathrm{e^-} \rightarrow 2\,\mathrm{SO_4^{2-}}$. Couples : $\mathrm{I_2/I^-}$ et $\mathrm{S_2O_8^{2-}/SO_4^{2-}}$.

Question Q10.

Sujet p. 4

> Justifier alors que les ions peroxodisulfate jouent le même rôle que les radicaux libres lors de la transformation chimique.

Les ions peroxodisulfate captent des électrons : ils sont réduits et oxydent les ions iodure. Ils jouent donc le rôle d'oxydant. Les radicaux libres mentionnés dans le sujet sont également des oxydants puissants capables d'oxyder des molécules organiques. Les ions peroxodisulfate jouent ainsi, dans cette réaction modèle, le même rôle oxydant que les radicaux libres.

RÉPONSE À RETENIR

Les ions peroxodisulfate sont des oxydants, comme les radicaux libres évoqués : ils captent des électrons et provoquent l'oxydation d'une autre espèce.

Question Q11.

Sujet p. 5

> Définir le temps de demi-réaction noté $t_{1/2}$.

Le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ est la durée nécessaire pour que l'avancement de la réaction atteigne la moitié de sa valeur finale. Ici, la transformation étant totale et les ions peroxodisulfate étant consommés, cela correspond au temps au bout duquel leur concentration atteint la moitié de sa valeur initiale.

RÉPONSE À RETENIR

$t_{1/2}$ est le temps nécessaire pour que la concentration en ions peroxodisulfate atteigne la moitié de sa valeur initiale.

Question Q12.

Sujet p. 5

> Déterminer graphiquement la valeur du temps de demi-réaction $t_{1/2}$.

La concentration initiale lue sur la figure 3 vaut environ $2{,}8\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$. La moitié vaut donc environ $1{,}4\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$. L'abscisse du point de la courbe correspondant à cette concentration est voisine de 20 s.

RÉPONSE À RETENIR

Graphiquement, $t_{1/2} \simeq 20\ \text{s}$.

Question Q13.

Sujet p. 6

> Définir la vitesse volumique de disparition des ions peroxodisulfate.

La vitesse volumique de disparition est la quantité de matière d'espèce consommée par unité de volume et de temps. À volume constant, elle s'écrit, pour les ions peroxodisulfate :

$$v_{\text{disp}} = -\frac{\text{d}[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]}{\text{d}t}.$$

Le signe moins rend cette vitesse positive lorsque la concentration diminue. Son unité est $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

RÉPONSE À RETENIR

$v_{\text{disp}} = -\text{d}[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]/\text{d}t$ à volume constant, en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

Question Q14.

Sujet p. 5, 6

> Discuter la compatibilité des résultats présentés en figure 4 avec le modèle d'une réaction dont la cinétique est d'ordre 1.

Pour une cinétique d'ordre 1 par rapport aux ions peroxodisulfate, la loi de vitesse est $v = k[\mathrm{S_2O_8^{2-}}]$, où k est constant. Le graphique de la vitesse en fonction de la concentration doit donc être approximativement une droite passant par l'origine. La figure 4 montre une tendance proche de cette proportionnalité. Par exemple, pour une concentration voisine de $1{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$, la vitesse est d'environ $2{,}5 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}}$, soit un rapport $v/[\mathrm{S_2O_8^{2-}}]$ voisin de $2{,}5 \times 10^{-2}\ \mathrm{s^{-1}}$. Les points expérimentaux sont donc compatibles avec le modèle d'ordre 1, sans constituer une vérification exacte.

RÉPONSE À RETENIR

Les résultats sont compatibles avec une cinétique d'ordre 1 : la vitesse est approximativement proportionnelle à la concentration en ions peroxodisulfate, conformément à une droite passant près de l'origine.

Question Q15.

Sujet p. 6, 7

> Expliquer qualitativement la présence d'un palier au début des courbes associées aux expériences B, C et D.

Dans les solutions B, C et D, l'eau de tomate apporte du lycopène. Au début, celui-ci réagit avec une partie des ions peroxodisulfate, qui sont aussi le réactif nécessaire à la formation de diiode dans la réaction modèle. Leur consommation par le lycopène retarde donc l'augmentation de la concentration en diiode, ce qui explique le palier initial. Lorsque le volume d'eau de tomate augmente, la quantité de lycopène apportée augmente également et le palier est plus long.

RÉPONSE À RETENIR

Le palier initial correspond au retard de formation du diiode pendant que le lycopène consomme une partie des ions peroxodisulfate. Il est plus marqué quand le volume d'eau de tomate, et donc la quantité de lycopène apportée, augmente.

Question Q16.

Sujet p. 4, 6, 7

> Déterminer le réactif limitant de la « réaction modèle » dans l'étude menée avec la solution A.

Dans la solution A, la quantité initiale d'ions iodure est :

$$n(\mathrm{I^-}) = CV = 1{,}0 \times 5{,}0 \times 10^{-3} = 5{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}.$$

La quantité initiale d'ions peroxodisulfate vaut :

$$n(\mathrm{S_2O_8^{2-}}) = 0{,}017 \times 5{,}0 \times 10^{-3} = 8{,}5 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol}.$$

L'équation exige 2 moles d'ions iodure par mole de peroxodisulfate. Il faudrait donc $1{,}7 \times 10^{-4}\ \mathrm{mol}$ d'ions iodure pour consommer tout le peroxodisulfate, quantité bien inférieure aux $5{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$ disponibles. Les ions iodure sont en excès.

RÉPONSE À RETENIR

Le réactif limitant est l'ion peroxodisulfate $\mathrm{S_2O_8^{2-}}$; les ions iodure $\mathrm{I^-}$ sont en large excès.

Question Q17.

Sujet p. 4, 6, 7

> Retrouver, par le calcul, la valeur finale de la concentration en diiode de l'expérience avec la solution A.

La réaction est $2\,\mathrm{I^-} + \mathrm{S_2O_8^{2-}} \rightarrow \mathrm{I_2} + 2\,\mathrm{SO_4^{2-}}$. Le peroxodisulfate étant limitant, la quantité finale de diiode formée est égale à la quantité initiale de peroxodisulfate, soit $8{,}5 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol}$. Le volume total est $20 + 5 + 5 = 30\ \mathrm{mL} = 0{,}030\ \mathrm{L}$. Donc :

$$[\mathrm{I_2}]_{\text{final}} = \frac{8{,}5 \times 10^{-5}}{0{,}030} = 2{,}83 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}.$$

RÉPONSE À RETENIR

La concentration finale calculée est $[\mathrm{I_2}]_{\text{final}} \simeq 2{,}8 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$, en accord avec le palier de l'expérience A sur la figure 5.

Question Q18.

Sujet p. 6, 7

> Comparer graphiquement les concentrations finales de diiode obtenues pour les expériences B, C et D par rapport à celle obtenue dans l'expérience A. Commenter au regard de la quantité d'eau de tomate utilisée.

À la lecture des paliers de la figure 5, les concentrations finales sont approximativement : A, $2{,}8 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; B, $2{,}55 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; C, $2{,}25 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; D, $1{,}6 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$. Elles diminuent de B à D tandis que le volume d'eau de tomate augmente de 5,0 à 20,0 mL. Le lycopène de l'eau de tomate consomme une partie du peroxodisulfate : il en reste donc moins pour former du diiode.

RÉPONSE À RETENIR

Les concentrations finales sont inférieures à celle de A et diminuent quand le volume d'eau de tomate augmente : environ $2{,}55 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ pour B, $2{,}25 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ pour C et $1{,}6 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ pour D, contre $2{,}8 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ pour A. Cela traduit la consommation d'une partie de l'oxydant par le lycopène.

Question Q19.

Sujet p. 6, 7

> À partir du graphique, déterminer la quantité de matière d'ions peroxodisulfate ayant réagi avec le lycopène pour la solution D.

Pour la solution D, on lit sur la figure 5 une concentration finale en diiode d'environ $1{,}6 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$. Le volume total est $0{,}030\ \mathrm{L}$. D'après l'équation de la réaction modèle, une mole de peroxodisulfate consommée forme une mole de diiode. La quantité de peroxodisulfate ayant formé le diiode vaut donc :

$$n_{\text{vers } \mathrm{I_2}} = [\mathrm{I_2}]_{\text{final}} V = 1{,}6 \times 10^{-3} \times 0{,}030 = 4{,}8 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol}.$$

La quantité initiale de peroxodisulfate est $8{,}5 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol}$. Le reste a réagi avec le lycopène :

$$n_{\text{réagi avec le lycopène}} = 8{,}5 \times 10^{-5} - 4{,}8 \times 10^{-5} = 3{,}7 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol}.$$

Le résultat est approximatif, car la concentration finale est lue graphiquement.

RÉPONSE À RETENIR

Pour la solution D, environ $3{,}7 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol}$ d'ions peroxodisulfate ont réagi avec le lycopène.

Question Q20.

Sujet p. 6, 7

> Le lycopène est vendu sous forme de compléments alimentaires pour son pouvoir anti-oxydant. En analysant les résultats obtenus, justifier cet argument de vente.

Dans cette réaction modèle, les ions peroxodisulfate représentent des oxydants comparables, par leur rôle, aux radicaux libres. Quand la quantité d'eau de tomate augmente, la formation du diiode est davantage retardée et sa concentration finale diminue. Le lycopène consomme donc une partie de l'oxydant et limite la réaction d'oxydation modèle. Ces observations soutiennent l'argument d'un pouvoir antioxydant du lycopène. Elles proviennent toutefois d'un modèle de laboratoire et ne suffisent pas, à elles seules, à démontrer un effet médical chez l'être humain.

RÉPONSE À RETENIR

Les résultats soutiennent l'argument antioxydant : le lycopène réagit avec une partie de l'oxydant, ce qui retarde et réduit la formation de diiode dans la réaction modèle. Ils ne prouvent pas à eux seuls une efficacité thérapeutique chez l'être humain.

Exercice 2

5 points

L'astroscope

1. Étude de l'astroscope

Question Q1.

Sujet p. 8, 14

> Compléter le schéma de la figure A1 de l'annexe 1 à rendre avec la copie en identifiant l'objectif et l'oculaire de la lunette modélisée.

Dans une lunette astronomique, l'objectif est la lentille tournée vers l'astre ; l'oculaire est la lentille placée du côté de l'observateur. Sur la figure A1, la lentille fixée en haut du mât est donc l'objectif L_1, et la lentille placée près de l'œil est l'oculaire L_2.

RÉPONSE À RETENIR

Inscrire « objectif L_1 » dans la case supérieure et « oculaire L_2 » dans la case inférieure de la figure A1.

Question Q2.

Sujet p. 8, 14

> On considère dans un premier temps que la longueur du fil est égale à f_1'. Montrer que la hauteur minimale du mât nécessaire à la réalisation de l'astroscope est voisine de 25 m.

Le fil tendu a pour longueur la distance focale de l'objectif, soit $f_1' = 34\ \text{m}$, et fait un angle de $45°$ avec l'horizontale. Dans le modèle géométrique de la figure, la hauteur recherchée correspond à la composante verticale du fil :

$$h = f_1' \sin(45°).$$

Donc $h = 34 \times \sin(45°) = 34/\sqrt{2} \simeq 24,0\ \text{m}$. Cette hauteur est mesurée entre le niveau de la lentille tenue par l'observateur et le sommet du mât ; aucune hauteur de l'observateur au-dessus du sol n'est donnée pour ajouter une correction.

RÉPONSE À RETENIR

La hauteur minimale obtenue dans le modèle est $h \simeq 24\ \text{m}$, soit une valeur voisine de $25\ \text{m}$.

2. Mesure de l'angle sous lequel est vue Jupiter

Question Q3.

Sujet p. 8, 9, 14

> Placer, sur la figure A2 de l'annexe 1 à rendre avec la copie, le foyer objet de l'oculaire noté F_2 permettant de remplir la condition décrite par Jacques Cassini.

Pour que la lunette soit afocale, l'image intermédiaire donnée par l'objectif doit se trouver dans le plan focal objet de l'oculaire. Le foyer image F'_1 de l'objectif et le foyer objet F_2 de l'oculaire doivent donc être confondus. Sur la figure A2, F_2 se place au point F'_1, entre les deux lentilles, juste à gauche de L_2.

RÉPONSE À RETENIR

Placer F_2 au même point que F'_1 : $F_2 = F_1'$.

Question Q4.

Sujet p. 9, 14

> Tracer, sur la figure A2 de l'annexe 1 à rendre avec la copie, la marche de deux rayons issus d'un point B très éloigné et émergeant de la lunette vers un point B′, très éloigné. Faire apparaître l'image B_1 de B donnée par la lentille L_1.

Le point B étant très éloigné, les rayons qui en proviennent arrivent sur l'objectif L_1 parallèles entre eux et inclinés par rapport à l'axe optique. Tracer deux de ces rayons incidents parallèles : l'un peut passer par le centre optique O_1 et n'est alors pas dévié ; l'autre, parallèle au premier, est réfracté par L_1. Après L_1, ils convergent au point B_1, image réelle de B, dans le plan focal image de l'objectif. Comme B est au-dessus de l'axe, B_1 se trouve sous l'axe.

Le point B_1 étant dans le plan focal objet de L_2 (puisque $F_1' = F_2$), les rayons issus de B_1 ressortent parallèles après l'oculaire. Tracer ces deux rayons émergents parallèles : ils définissent la direction du point B′ très éloigné. Attention, le second rayon incident doit être parallèle au faisceau provenant de B, et non nécessairement parallèle à l'axe optique.

RÉPONSE À RETENIR

Sur la figure A2, faire converger deux rayons incidents parallèles en B_1, sous l'axe, au niveau du foyer commun $F_1' = F_2$, puis tracer après L_2 des rayons émergents parallèles entre eux.

Question Q5.

Sujet p. 8, 9

> Huygens mesure l'angle θ′ sous lequel Jupiter est vue à travers l'astroscope et obtient θ′ = 9,4 × 10⁻² rad. Le grossissement est défini par G = θ′/θ, où θ est l'angle sous lequel Jupiter est observée à l'œil nu depuis la Terre. Montrer que la relation entre le grossissement de l'astroscope et les distances focales f_1' et f_2' des deux lentilles de l'astroscope est $G = f_1'/f_2'$.

Notons A_1B_1 la taille de l'image intermédiaire réelle formée par l'objectif. Pour les petits angles, $\tan(\theta) \simeq \theta$ et $\tan(\theta') \simeq \theta'$. La géométrie de l'objectif donne, en valeurs absolues, $\theta \simeq A_1B_1/f_1'$. Pour l'oculaire, le même point image intermédiaire est situé dans son plan focal objet, d'où $\theta' \simeq A_1B_1/f_2'$. Ainsi :

$$G = \frac{\theta'}{\theta} \simeq \frac{A_1B_1/f_2'}{A_1B_1/f_1'} = \frac{f_1'}{f_2'}.$$

Le grossissement demandé est le rapport positif des valeurs des angles.

RÉPONSE À RETENIR

La relation cherchée est $G = \dfrac{f_1'}{f_2'}$.

Question Q6.

Sujet p. 8, 9

> On sait aujourd'hui que Jupiter est vue à l'œil nu depuis la Terre sous un angle de référence θref = 2,2 × 10⁻⁴ rad. On admet que u(G) = 40, que u(θ′) = 2 × 10⁻³ rad et que l'incertitude-type associée à la valeur mesurée par Huygens de l'angle θ est donnée par $u(\theta) = \theta \times \sqrt{[(u(\theta')/\theta')^2 + (u(G)/G)^2]}$. En utilisant la mesure θ′ = 9,4 × 10⁻² rad et le grossissement obtenu à partir des distances focales f_1' = 34 m et f_2' = 7,0 cm, préciser, en argumentant, si la valeur déterminée par Huygens est en accord avec θref.

On exprime les distances focales dans la même unité : $f_1' = 34\ \text{m}$ et $f_2' = 7,0\ \text{cm} = 0,070\ \text{m}$. Le grossissement vaut donc $G = 34/0,070 \simeq 4,86 \times 10^2$.

L'angle à l'œil nu déduit de la mesure de Huygens est $\theta = \theta' / G$, soit $\theta = (9,4 \times 10^{-2}) / (4,86 \times 10^{2}) \simeq 1,94 \times 10^{-4}\ \mathrm{rad}$.

Avec l'expression fournie :

$$u(\theta) = \theta \sqrt{\left(\frac{2 \times 10^{-3}}{9,4 \times 10^{-2}}\right)^2 + \left(\frac{40}{4,86 \times 10^{2}}\right)^2} \simeq 1,65 \times 10^{-5}\ \mathrm{rad}.$$

Le quotient de comparaison avec la référence vaut :

$$\frac{|\theta - \theta_{\mathrm{ref}}|}{u(\theta)} = \frac{|1,94 \times 10^{-4} - 2,2 \times 10^{-4}|}{1,65 \times 10^{-5}} \simeq 1,6.$$

Ce quotient est inférieur à 2 : l'écart entre la mesure et la valeur de référence est compatible avec l'incertitude-type indiquée.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> La valeur déterminée par Huygens est $\theta \simeq 1,94 \times 10^{-4}\ \mathrm{rad}$, avec $u(\theta) \simeq 1,65 \times 10^{-5}\ \mathrm{rad}$. Le quotient de comparaison vaut environ $1,6 < 2$: on peut estimer que la mesure est en accord avec $\theta_{\mathrm{ref}} = 2,2 \times 10^{-4}\ \mathrm{rad}$.

Exercice 3

6 points

Surveillance de la fonte des glaces

1. Un satellite autour de la Terre

Question Q1.

Sujet p. 10

> Représenter sur un schéma la Terre de centre T, le satellite S à un instant quelconque (considéré comme un point matériel), le repère de Frenet (S ; u⃗T, u⃗N) et le sens du mouvement.

Pour une trajectoire circulaire, le repère de Frenet au point S comporte le vecteur unitaire tangent $\vec{u}_T$, orienté dans le sens du mouvement, et le vecteur unitaire normal $\vec{u}_N$, dirigé vers le centre de la trajectoire. On représente donc la Terre de centre T, le satellite S sur l'orbite, $\vec{u}_T$ tangent à l'orbite et $\vec{u}_N$ dirigé de S vers T.

Satellite sur une orbite circulaire et repère de Frenet

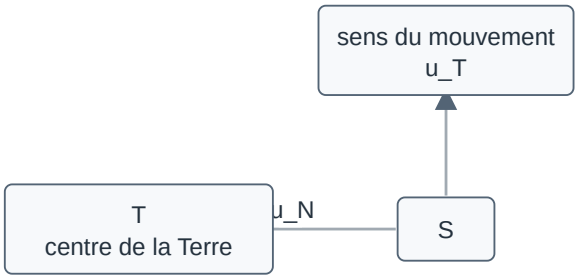


Schéma de principe : u_N est dirigé de S vers le centre T de la trajectoire et u_T est tangent à l'orbite.

RÉPONSE À RETENIR

Le schéma doit montrer $\vec{u}_T$ tangent à l'orbite dans le sens du mouvement et $\vec{u}_N$ dirigé vers T.

Question Q2.

Sujet p. 10

> Exprimer, dans le repère de Frenet, la force F⃗ exercée par la Terre de centre T sur le satellite S de masse m, en fonction notamment de l'altitude h du satellite, définie par h = dTS − RT, où dTS est la distance Terre-Satellite.

La force gravitationnelle exercée par la Terre sur le satellite est attractive : elle est dirigée de S vers T. Sa norme est donnée par la loi de gravitation universelle. Or la distance entre les centres de la Terre et du satellite vaut $d_{TS} = R_T + h$. Comme $\vec{u}_N$ est dirigé vers le centre de la trajectoire, la force s'écrit dans le sens de $\vec{u}_N$.

RÉPONSE À RETENIR

$\vec{F} = \dfrac{GM_T m}{(R_T + h)^2}\,\vec{u}_N$.

Question Q3.

Sujet p. 10

Représenter, sans souci d'échelle, le vecteur force $\vec{F}$ sur le schéma de la question Q1.

La force gravitationnelle est appliquée au satellite S et dirigée vers le centre T de la Terre. Sur le schéma de la question Q1, il faut donc tracer depuis S une flèche orientée vers T, dans la même direction que $\vec{u}_N$.

Direction de la force gravitationnelle



La force exercée par la Terre sur le satellite est centripète : elle pointe de S vers T.

RÉPONSE À RETENIR

$\vec{F}$ est dirigée de S vers T, selon $\vec{u}_N$.

Question Q4.

Sujet p. 10

Montrer que l'expression du vecteur accélération du satellite dans le référentiel géocentrique est a⃗ = G × MT/(RT + h)² × u⃗N.

Dans le référentiel géocentrique supposé galiléen, la deuxième loi de Newton donne $m\vec{a} = \vec{F}$. En utilisant l'expression de la force gravitationnelle obtenue à la question Q2 et en divisant par la masse m du satellite :

$\vec{a} = \dfrac{\vec{F}}{m} = \dfrac{GM_T}{(R_T + h)^2}\,\vec{u}_N$.

RÉPONSE À RETENIR

$\vec{a} = G\dfrac{M_T}{(R_T + h)^2}\,\vec{u}_N$, comme demandé.

Question Q5.

Sujet p. 10

> En déduire l'expression de la valeur de la vitesse v du satellite. Justifier que cette vitesse est constante au cours du mouvement.

Pour un mouvement circulaire de rayon $r = R_T + h$, l'accélération normale a pour valeur $a_N = v^2/r$. D'après la question Q4, sa valeur est aussi GM_T/r^2. En égalant ces deux expressions et en isolant la vitesse :

$\frac{v^2}{r} = \frac{GM_T}{r^2}$, donc $v = \sqrt{\frac{GM_T}{R_T + h}}$.

La force gravitationnelle est toujours radiale et n'a aucune composante tangentielle. L'accélération tangentielle est donc nulle, ce qui implique que la valeur de la vitesse reste constante au cours du mouvement circulaire.

RÉPONSE À RETENIR

$v = \sqrt{\frac{GM_T}{R_T + h}}$. La valeur de la vitesse du satellite est constante sur cette orbite circulaire.

Question Q6.

Sujet p. 10

> Montrer que l'expression de la période de révolution T du satellite peut s'écrire T = 2π√[(RT + h)³/(G·MT)].

La période est la durée nécessaire pour parcourir une circonférence de rayon $r = R_T + h$ à la vitesse constante v, donc $T = 2\pi r/v$. En remplaçant v par l'expression trouvée à la question Q5 :

$$T = \frac{2\pi r}{\sqrt{GM_T/r}} = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM_T}}.$$

En posant $r = R_T + h$, on obtient l'expression demandée.

RÉPONSE À RETENIR

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{(R_T + h)^3}{GM_T}}.$$

Question Q7.

Sujet p. 10

> Calculer la période de révolution T du satellite.

On convertit les longueurs en unités SI : $R_T = 6371\ \text{km} = 6{,}371 \times 10^6\ \text{m}$ et $h = 490\ \text{km} = 4{,}90 \times 10^5\ \text{m}$. Le rayon orbital vaut donc $r = R_T + h = 6{,}861 \times 10^6\ \text{m}$. On applique la relation établie à la question Q6 :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{(6{,}861 \times 10^6)^3}{(6{,}674 \times 10^{-11})(5{,}972 \times 10^{24})}}.$$

Les unités des données étant celles du SI, le résultat est en secondes.

RÉPONSE À RETENIR

$T \approx 5{,}66 \times 10^3\ \text{s}$, soit environ $94{,}3\ \text{min}$ ou $1{,}57\ \text{h}$.

2. Détection d’un objet massif par un couple de satellites

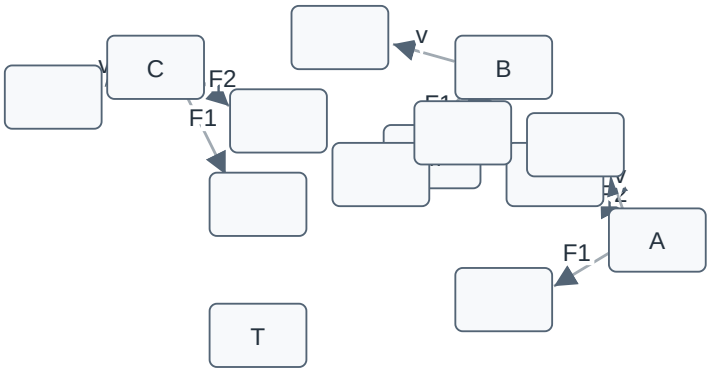
Question Q8.

Sujet p. 11, 15

> Pour chacune des positions A, B et C du satellite, représenter sans se soucier des échelles sur la figure de l’annexe 2 à rendre avec la copie : la force $\vec{F}_1$ qu’exerce la Terre T sur le satellite S ; la force $\vec{F}_2$ qu’exerce l’objet massif M sur le satellite S ; la vitesse $\vec{v}$ du satellite.

À chacune des positions, $\vec{F}_1$ est dirigée de S vers le centre T de la Terre et $\vec{F}_2$ de S vers l’objet M, car les deux forces sont gravitationnelles et donc attractives. La vitesse est tangente à l’orbite dans le sens indiqué par la figure : le satellite passe par A, puis B, puis C. Les directions ci-dessous sont schématiques et sans souci d’échelle.

Forces et vitesses aux positions A, B et C



Positions et directions schématiques : les forces pointent vers leur centre attracteur et les vitesses sont tangentes à l’orbite, dans le sens A → B → C.

RÉPONSE À RETENIR

En A, B et C, tracer $\vec{F}_1$ vers T, $\vec{F}_2$ vers M et $\vec{v}$ tangent à l’orbite dans le sens A → B → C.

Question Q9.

Sujet p. 11, 15

> Justifier que le travail de la force $\vec{F}_1$ est nul entre les points A et C.

La force $\vec{F}_1$ exercée par la Terre est centrale : à chaque point de l’orbite, elle est radiale, dirigée vers T. Le déplacement élémentaire sur une trajectoire circulaire est tangent à cette trajectoire et donc perpendiculaire à la force. Le travail élémentaire $\delta W = \vec{F}_1 \cdot d\vec{r}$ est nul tout au long de l’arc de A à C ; son intégrale est donc nulle.

RÉPONSE À RETENIR

$W_{A\to C}(\vec{F}_1) = 0.$

Question Q10.

Sujet p. 11, 15

> Justifier que le travail de la force $\vec{F}_2$ est positif entre les points A et B, puis négatif entre les points B et C.

Entre A et B, le satellite se rapproche de M. La force attractive $\vec{F}_2$ a donc une composante dans le sens du déplacement : son travail est positif. Entre B et C, le satellite s'éloigne de M ; la composante de $\vec{F}_2$ s'oppose alors au déplacement, donc son travail est négatif.

RÉPONSE À RETENIR

$W_{A\to B}(\vec{F}_2) > 0$ et $W_{B\to C}(\vec{F}_2) < 0$.

Question Q11.

Sujet p. 11, 15

> En déduire que la valeur de la vitesse du satellite augmente jusqu'au point B et diminue ensuite.

Le théorème de l'énergie cinétique indique que la variation de l'énergie cinétique est égale au travail de la résultante des forces. Le travail de la force terrestre est nul sur l'arc considéré (Q9). Le signe de la variation d'énergie cinétique est donc celui du travail de $\vec{F}_2$: positif de A à B, puis négatif de B à C. Comme $E_c = \frac{1}{2}mv^2$, une augmentation de l'énergie cinétique signifie une augmentation de la valeur de la vitesse, et inversement.

RÉPONSE À RETENIR

La valeur de la vitesse augmente de A jusqu'à B, puis diminue de B à C.

Question Q12.

Sujet p. 11

> Les satellites jumeaux de la mission GRACE mesurent leur distance relative en s'envoyant une onde électromagnétique de longueur d'onde de l'ordre de 10^{-2} m. Déterminer à quel domaine appartient l'onde utilisée par les satellites de GRACE.

Dans le vide, la fréquence et la longueur d'onde d'une onde électromagnétique sont liées par $\nu = c/\lambda$. Pour $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \mathrm{m\,s^{-1}}$ et une longueur d'onde de l'ordre de $10^{-2}\ \mathrm{m}$:

$$\nu \approx \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{10^{-2}} = 3{,}00 \times 10^{10}\ \mathrm{Hz}.$$

Cette fréquence est comprise entre 3×10^{9} et $3 \times 10^{11}\ \mathrm{Hz}$, limites du domaine des micro-ondes indiquées dans le sujet.

RÉPONSE À RETENIR

L'onde utilisée appartient au domaine des micro-ondes.

Question Q13.

Sujet p. 12, 13

> Choisir, en justifiant, parmi les propositions (1), (2) et (3), celle qui décrit de façon correcte l'évolution des vitesses des satellites et de leur distance relative dans cette modélisation.

Le satellite de tête passe près de l'objet massif avant le satellite suiveur. Sa vitesse augmente à l'approche de l'objet puis diminue après le passage ; le satellite suiveur subit la même variation avec un retard. Pendant que le premier accélère avant le second, l'écart entre eux augmente. Lorsque le suiveur accélère à son tour, cet écart diminue. La figure qui montre des variations successives des vitesses et une distance qui augmente puis revient vers sa valeur initiale est la proposition (2).

RÉPONSE À RETENIR

La proposition correcte est la proposition (2).

Question Q14.

Sujet p. 13

> Préciser, en justifiant, si cette méthode de mesure nécessite que les deux satellites aient la même masse.

Dans le champ gravitationnel créé par l'objet de masse M, la force exercée sur un satellite de masse m, à la distance r, a pour norme $F = GMm/r^2$. D'après la deuxième loi de Newton, l'accélération correspondante vaut $a = F/m = GM/r^2$: la masse du satellite se simplifie. Dans un même champ gravitationnel, la variation du mouvement ne dépend donc pas de la masse du satellite. Les deux satellites n'ont pas besoin d'avoir la même masse pour que leur distance relative permette de détecter la perturbation.

RÉPONSE À RETENIR

La méthode ne nécessite pas que les deux satellites aient la même masse.

Question Q15.

Sujet p. 13

> Indiquer l'effet de la fonte progressive des glaces sur la masse de l'Antarctique. En déduire comment varie, sur plusieurs années, la distance maximale séparant les deux satellites lors de leurs passages au-dessus de ce continent.

La fonte progressive des glaces continentales correspond à une perte de matière : la masse de l'Antarctique diminue. Dans le modèle de l'exercice, l'attraction gravitationnelle exercée par la masse du continent sur les satellites devient alors plus faible. Les variations de vitesse des satellites lors du passage au-dessus du continent sont donc moins importantes ; l'écart maximal créé entre eux diminue au fil des années.

RÉPONSE À RETENIR

La masse de l'Antarctique diminue avec la fonte des glaces et, dans cette modélisation, la distance maximale séparant les deux satellites lors de leurs passages au-dessus du continent diminue également sur plusieurs années.

Sujet : https://www.sujetdebac.fr/annales-pdf/2026/spe-physique-chimie-2026-metropole-secours2-sujet-officiel.pdf
© FormaV EI • Proposition de correction, distincte d'un corrigé officiel.

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.