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 2022 • Amérique du Nord • Jour 2

Code sujet **22-PYCJ2AN1** 3 heures 30

Proposition de corrigé pédagogique • FormaV

Se repérer dans le corrigé

Exercice 1 — La vitamine C sans sucre
19 réponses • sujet p. 2–19

Exercice A — La pente d’eau de Montech
8 réponses • sujet p. 8–19

Exercice B — Un radar de contrôle de vitesses
6 réponses • sujet p. 12–15

Exercice C — Capteurs solaires passifs, le mur Trombe-Michel
8 réponses • sujet p. 16–18

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

Exercice 1

10 points

La vitamine C sans sucre

A. La molécule d'aspartame et un précurseur de sa synthèse, l'acide aspartique

Question A.1.

Sujet p. 2, 19

> Dans le tableau en annexe à rendre avec la copie (page 19/19), trois groupes caractéristiques présents dans l'aspartame sont entourés. Nommer la famille fonctionnelle correspondant à chaque groupe caractéristique.

On associe chaque groupe entouré dans l'annexe à sa famille fonctionnelle :

1. Le groupe carboxyle **–COOH** correspond à un acide carboxylique.
2. Le groupe **–NH_2** correspond à une amine primaire.
3. Le groupe **–COO–**, lié ici à un groupe méthyle, correspond à un ester.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> **1 :** acide carboxylique ; **2 :** amine primaire ; **3 :** ester.

Question A.2.

Sujet p. 3

> Représenter la formule semi-développée de l'acide aspartique, dont la formule topologique est donnée.

La formule topologique montre deux groupes carboxyle et un groupe amine porté par le carbone central. En explicitant les atomes de carbone et les hydrogènes, on obtient une chaîne de trois carbones :

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> **Formule semi-développée :** HOOC–CH_2–$CH(NH_2)$–COOH.

Question A.3.

Sujet p. 2, 3, 4

> À l'aide de la table des nombres d'onde de vibrations de valence, identifier le spectre de l'aspartame. Justifier le choix.

On recherche les absorptions caractéristiques des fonctions présentes. L'aspartame possède notamment une fonction ester, une fonction amide et une fonction acide carboxylique. Le spectre 1 présente des absorptions compatibles avec les vibrations C=O d'un ester (vers 1700–1740 cm^{-1}) et d'une amide (vers 1650–1700 cm^{-1}), ainsi que des absorptions attribuables aux liaisons N–H. Le spectre 2 est compatible avec l'acide aspartique, qui ne comporte ni ester ni amide. Ces indices permettent d'identifier le spectre de l'aspartame.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le spectre de l'aspartame est le **spectre 1** : ses bandes sont compatibles avec les fonctions ester et amide de l'aspartame.

B. Une étape de la synthèse de l'aspartame

Question B.1.

Sujet p. 4, 5

> Déterminer le volume de réactif (B) liquide à prélever dans le protocole 1.

Dans le protocole 1, la quantité de matière de B est $n_B = 9{,}63 \times 10^{-3}$ mol. Sa masse vaut :

$m_B = n_B M(B) = (9{,}63 \times 10^{-3}\ \text{mol})(108\ \text{g·mol}^{-1}) = 1{,}040$ g.

Avec $\rho_B = 1{,}04\ \text{g·mL}^{-1}$, le volume à prélever est :

$V_B = m_B/\rho_B = 1{,}040\ \text{g}/(1{,}04\ \text{g·mL}^{-1}) = 1{,}00$ mL.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Il faut prélever **1,00 mL** de réactif B.

Question B.2.

Sujet p. 4, 5

> Déterminer la valeur du rendement η_1 de la synthèse avec le protocole 1.

L'équation de réaction donne une proportion stœchiométrique 1:1 entre A, B et C. Pour le protocole 1 :

$n_A = 3{,}00\ \text{g}/(267\ \text{g·mol}^{-1}) = 1{,}12 \times 10^{-2}$ mol, tandis que $n_B = 9{,}63 \times 10^{-3}$ mol. Le réactif B est donc limitant. La quantité maximale de C est $n_{C,max} = 9{,}63 \times 10^{-3}$ mol, soit une masse théorique :

$m_{C,max} = n_{C,max} M(C) = (9{,}63 \times 10^{-3})(447)\ \text{g} = 4{,}30$ g.

Le rendement est le rapport de la masse obtenue à la masse théorique :

$\eta_1 = (4{,}12\ \text{g}/4{,}30\ \text{g}) \times 100 = 95{,}8$ %.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le rendement du protocole 1 est $\boldsymbol{\eta_1 \approx 96\ \%}$.

Question B.3.

Sujet p. 4, 5

> Expliquer pourquoi la valeur du rendement du protocole 1 est supérieure à celle du protocole 2. Proposer un autre protocole pour améliorer ce rendement.

Dans les protocoles 1 et 2, la quantité de B est la même, mais la quantité de A est supérieure dans le protocole 1. En effet, $n_{A,1} = 3{,}00/267 = 1{,}12 \times 10^{-2}$ mol, alors que $n_{A,2} = 2{,}57/267 = 9{,}63 \times 10^{-3}$ mol, pratiquement la quantité stœchiométrique de B. Le protocole 1 emploie donc A en excès ; cet excès favorise la formation de C et explique le rendement plus élevé. Pour tenter d'améliorer encore le rendement, on peut augmenter l'excès de A, en gardant les autres conditions identiques.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le rendement supérieur du protocole 1 s'explique par l'emploi de A en excès. Un protocole utilisant un excès plus important de A pourrait encore favoriser la formation de C.

Question B.4.

Sujet p. 4, 5

> En exploitant les informations du tableau précédent, identifier le rôle joué par le palladium sur carbone. Justifier.

Les protocoles 2 et 3 conduisent à la même masse de C (3,44 g) et au même rendement (80 %). Toutefois, le protocole 2, réalisé en présence de palladium sur carbone, dure 1 h, contre 2 h pour le protocole 3 sans palladium. À rendement observé identique, la réaction est donc plus rapide en présence de palladium.

RÉPONSE À RETENIR

Le palladium sur carbone joue le rôle de **catalyseur** : il accélère la réaction sans modifier le rendement final observé dans cette comparaison.

C. L'acide ascorbique

Question C.1.

Sujet p. 5

> Choisir, parmi les trois propositions suivantes, la valeur de la concentration c en quantité de matière apportée d'acide ascorbique, en justifiant la réponse : a. $1{,}4 \times 10^{-5}$ mol·L^{-1} ; b. $1{,}4 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1} ; c. 2,5 mol·L^{-1}.

La quantité d'acide ascorbique dissoute est :

$n = m/M = 0{,}50 \text{ g}/(176 \text{ g·mol}^{-1}) = 2{,}84 \times 10^{-3}$ mol.

Le volume de solution vaut 200,0 mL = 0,2000 L. La concentration apportée est donc :

$c = n/V = (2{,}84 \times 10^{-3} \text{ mol})/(0{,}2000 \text{ L}) = 1{,}42 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1}.

RÉPONSE À RETENIR

La bonne proposition est **b. $c = 1{,}4 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1}**.

Question C.2.

Sujet p. 5

> Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation prenant place entre l'acide ascorbique et l'eau.

L'acide ascorbique cède un proton à l'eau. En notant $C_6H_8O_6$ l'acide et $C_6H_7O_6^-$ sa base conjuguée, l'équation équilibrée est :

RÉPONSE À RETENIR

$C_6H_8O_6(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons C_6H_7O_6^-(aq) + H_3O^+(aq)$.

Question C.3.

Sujet p. 5, 6

> La valeur du pH à l'équilibre de la solution obtenue est 2,9. Montrer qu'à l'équilibre, la constante d'acidité K_a peut s'écrire $K_a = [H_3O^+]_{eq}^2 / ((c - [H_3O^+]_{eq}) \times c^\circ)$, avec $c^\circ = 1$ mol·L^{-1} la concentration standard et c la concentration en quantité de matière apportée d'acide ascorbique.

Notons $HA = C_6H_8O_6$ et $A^- = C_6H_7O_6^-$. La réaction est $HA + H_2O \rightleftharpoons A^- + H_3O^+$. En négligeant l'autoprotolyse de l'eau, la stœchiométrie donne $[A^-]_{éq} = [H_3O^+]_{éq}$. La conservation de la matière donne $[HA]_{éq} = c - [H_3O^+]_{éq}$.

Par définition, $K_A = ([A^-]_{éq}/c°)([H_3O^+]_{éq}/c°)/([HA]_{éq}/c°)$. En substituant les concentrations à l'équilibre, il vient :

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $K_A = [H_3O^+]_{éq}^2/((c - [H_3O^+]_{éq})c°)$, ce qui est bien l'expression demandée.

Question C.4.

Sujet p. 6

> Déterminer la valeur de la constante d'acidité K_a puis le pK_a du couple acide ascorbique/ion ascorbate.

À partir du pH, $[H_3O^+]_{éq} = 10^{-2,9} = 1,26 \times 10^{-3}$ mol·L^{-1}. On utilise $c = 1,42 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1} et $c° = 1$ mol·L^{-1} dans l'expression établie à la question précédente :

$K_A = (1,26 \times 10^{-3})^2/((1,42 \times 10^{-2} - 1,26 \times 10^{-3}) \times 1) \approx 1,2 \times 10^{-4}$.

Le pK_A vaut $-\log(K_A) \approx 3,9$.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> **$K_A \approx 1,2 \times 10^{-4}$** et **$pK_A \approx 3,9$**.

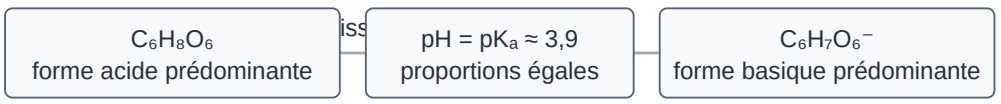
Question C.5.

Sujet p. 6

> Représenter le diagramme de prédominance du couple acide ascorbique/ion ascorbate et en déduire la forme majoritaire de ce couple dans l'estomac, où le pH vaut environ 2.

La frontière de prédominance d'un couple acide/base se situe à $pH = pK_A$. Pour pH inférieur à pK_A, la forme acide prédomine ; pour pH supérieur à pK_A, la forme basique prédomine. Ici, $pK_A \approx 3,9$. Dans l'estomac, le pH vaut environ 2, donc il est inférieur à pK_A.

Diagramme de prédominance du couple acide ascorbique / ion ascorbate



La forme acide prédomine à gauche de $pH = pK_a$; la forme basique prédomine à droite.

RÉPONSE À RETENIR

Dans l'estomac, la forme majoritaire est l'acide ascorbique $C_6H_8O_6$.

Question C.6.

Sujet p. 6

Écrire l'équation de la réaction support du titrage.

La base HO^- capte le proton de l'acide ascorbique. La réaction support du titrage, de proportions stœchiométriques 1:1, est l'équation ionique nette :

RÉPONSE À RETENIR

$C_6H_8O_6(aq) + HO^-(aq) \rightarrow C_6H_7O_6^-(aq) + H_2O(l)$.

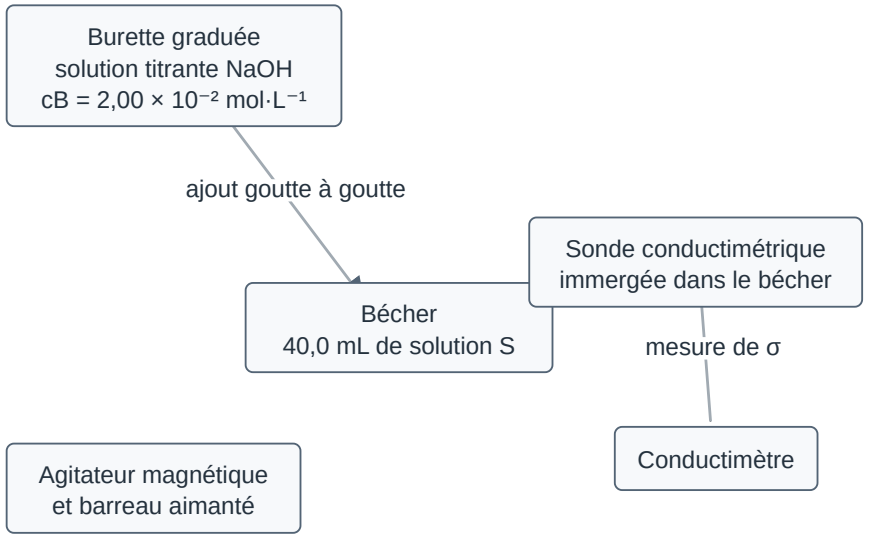
Question C.7.

Sujet p. 6

Réaliser un schéma légendé du dispositif expérimental du titrage.

La burette graduée contient la solution titrante d'hydroxyde de sodium de concentration $c_B = 2{,}00 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1}. Elle délivre le titrant dans un bécher contenant le prélèvement de 40,0 mL de solution S. Le bécher est agité et une sonde conductimétrique immergée dans la solution est reliée au conductimètre.

Dispositif de titrage conductimétrique



La solution est maintenue agitée pendant l'ajout du titrant.

RÉPONSE À RETENIR

Le montage comprend une burette de NaOH au-dessus d'un bécher contenant la solution à titrer, une agitation et une sonde conductimétrique reliée à un conductimètre.

Question C.8.

Sujet p. 7

> Interpréter qualitativement l'évolution de la pente de la courbe de titrage représentant la conductivité σ du milieu réactionnel en fonction du volume d'hydroxyde de sodium V_B versé.

Avant l'équivalence, les ions HO^- ajoutés sont consommés par la réaction. Des ions Na^+ et ascorbate apparaissent en solution ; la conductivité augmente donc progressivement. Après l'équivalence, les ions HO^- ajoutés ne sont plus consommés et s'accumulent. Leur conductivité ionique molaire est élevée, ce qui rend l'augmentation de conductivité plus rapide : la pente devient plus forte. Le changement de pente indique l'équivalence.

RÉPONSE À RETENIR

La pente est plus faible avant l'équivalence et plus forte après l'équivalence, car les ions HO^-, très conducteurs, restent alors en excès dans la solution.

Question C.9.

Sujet p. 6, 7

> Déterminer la concentration en quantité de matière d'acide ascorbique de la solution titrée.

La rupture de pente de la courbe permet d'estimer le volume équivalent à $V_{B,éq} \approx 9{,}0\ mL = 9{,}0 \times 10^{-3}\ L$. À l'équivalence, la réaction étant de proportion 1:1, la quantité d'acide dans le prélèvement est :

$n_A = c_B V_{B,éq} = (2{,}00 \times 10^{-2}\ mol{\cdot}L^{-1})(9{,}0 \times 10^{-3}\ L) = 1{,}80 \times 10^{-4}\ mol$.

Le volume titré est $V = 40{,}0\ mL = 0{,}0400\ L$. Ainsi, $c_A = n_A/V = (1{,}80 \times 10^{-4}\ mol)/(0{,}0400\ L) = 4{,}50 \times 10^{-3}\ mol{\cdot}L^{-1}$.

RÉPONSE À RETENIR

La concentration d'acide ascorbique dans la solution titrée est $\mathbf{c_A \approx 4{,}5 \times 10^{-3}\ mol{\cdot}L^{-1}}$.

Question C.10.

Sujet p. 6, 7

> En déduire la valeur de la masse m d'acide ascorbique contenue dans un comprimé.

Le prélèvement provient de la solution préparée avec le comprimé entier. Pour le volume total $V_0 = 250{,}0\ mL = 0{,}2500\ L$, la quantité d'acide ascorbique est :

$n_0 = c_A V_0 = (4{,}50 \times 10^{-3}\ mol{\cdot}L^{-1})(0{,}2500\ L) = 1{,}125 \times 10^{-3}\ mol$.

La masse correspondante est $m = n_0 M = (1{,}125 \times 10^{-3}\ mol)(176\ g{\cdot}mol^{-1}) = 0{,}198\ g$.

RÉPONSE À RETENIR

La masse mesurée d'acide ascorbique dans le comprimé est $\mathbf{m \approx 0{,}198\ g}$.

Question C.11.

Sujet p. 7

> L’incertitude-type associée à cette mesure est estimée à u(m) = 0,01 g. Écrire la masse trouvée à la question précédente avec un nombre adapté de chiffres significatifs.

L’incertitude-type est u(m) = 0,01 g, soit au centième de gramme. La masse doit être arrondie au même rang décimal que cette incertitude : 0,198 g s’arrondit à 0,20 g.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> **m = 0,20 g**, avec une incertitude-type de 0,01 g.

Question C.12.

Sujet p. 6, 7

> Comparer la valeur mesurée à la valeur de référence en calculant le rapport $|m - m_{ref}|/u(m)$, et commenter.

La valeur de référence pour la masse d’acide ascorbique est $m_{réf}$ = 200,00 mg = 0,20000 g. Pour éviter qu’un arrondi prématuré ne transforme l’écart en zéro, on utilise la valeur calculée à la question C.10, m ≈ 0,198 g :

$|m - m_{réf}|/u(m) = |0,198 - 0,20000|/0,01 = 0,2$.

Le rapport est très inférieur à 2 : l’écart mesuré est compatible avec l’incertitude annoncée.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $|m - m_{réf}|/u(m) \approx$ **0,2**. La mesure est compatible avec la valeur de référence de 0,200 g.

Exercice A

5 points

La pente d'eau de Montech

A. Étude cinématique du mouvement du système {bateau + eau + masque}

Question A.1.

Sujet p. 8, 9

> Donner la relation entre le vecteur accélération $\vec{a}(t)$ et le vecteur vitesse $\vec{v}(t)$, puis en déduire, en justifiant la réponse, celle entre les normes a(t) et v(t).

Par définition, l'accélération est la dérivée temporelle du vecteur vitesse : $\vec{a}(t) = \dfrac{d\vec{v}(t)}{dt}$. Le mouvement est rectiligne selon l'axe Ox, donc $\vec{v}(t) = v_x(t)\vec{i}$ et $\vec{a}(t) = \dfrac{dv_x(t)}{dt}\vec{i}$. Par conséquent, pour la vitesse scalaire positive $v(t) = v_x(t)$, la norme de l'accélération vérifie $a(t) = \left|\dfrac{dv(t)}{dt}\right|$. Pendant la phase accélérée considérée, la vitesse augmente, donc $\dfrac{dv}{dt} > 0$ et $a(t) = \dfrac{dv(t)}{dt}$.

RÉPONSE À RETENIR

$\boxed{\vec{a}(t) = \dfrac{d\vec{v}(t)}{dt}}$ et $\boxed{a(t) = \left|\dfrac{dv(t)}{dt}\right|}$. Sur la phase étudiée, où la vitesse augmente, cela devient $\boxed{a(t) = \dfrac{dv(t)}{dt}}$.

Question A.2.

Sujet p. 9

> En analysant la courbe précédente, montrer que l'accélération du système est bien constante entre t_0 = 0 s et t_1 = 100 s et qu'elle vaut $a_0 = 1{,}20 \times 10^{-2}$ m·s^{-2}. En déduire l'équation horaire de la vitesse v(t) du centre de masse G du système en fonction de a_0 et t pour cette partie du mouvement.

Entre $t = 0$ s et $t = 100$ s, les points du graphique sont alignés sur une droite : la vitesse est une fonction affine du temps, donc sa dérivée est constante. On lit approximativement $v(0) = 0$ m·s^{-1} et $v(100\ \text{s}) = 1{,}20$ m·s^{-1}. La pente de la droite donne l'accélération :

$$a_0 = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{1{,}20 - 0}{100 - 0} = 1{,}20 \times 10^{-2}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}.$$

Pour une accélération constante, $v(t) = v(0) + a_0 t$. Comme la vitesse initiale est nulle, $v(t) = a_0 t$ sur l'intervalle considéré.

RÉPONSE À RETENIR

Entre 0 s et 100 s, l'accélération est constante et vaut $\boxed{a_0 = 1{,}20 \times 10^{-2}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}}$. L'équation horaire de la vitesse est $\boxed{v(t) = a_0 t = 1{,}20 \times 10^{-2} t\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}$, avec t en secondes.

Question A.3.

Sujet p. 8, 9

> Montrer que l'équation horaire de la position x(t) du centre d'inertie G s'écrit entre t_0 = 0 s et t_1 = 100 s : x(t) = ½ × a_0

× t².

La vitesse est la dérivée de la position : $\dfrac{dx}{dt} = v(t) = a_0 t$. En intégrant de 0 à t, et en utilisant la condition initiale $x(0) = 0$ puisque G se trouve en O à $t = 0$, on obtient :

$$x(t) = x(0) + \int_0^t a_0 u \, du = \frac{1}{2} a_0 t^2.$$

Cette expression vaut pour $0 \leq t \leq 100$ s. Avec $a_0 = 1{,}20 \times 10^{-2}\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$, elle s'écrit aussi $x(t) = 6{,}00 \times 10^{-3} t^2$ m lorsque t est en secondes.

RÉPONSE À RETENIR

Pour $0 \leq t \leq 100$ s, $\boxed{x(t) = \dfrac{1}{2} a_0 t^2}$, avec x en mètres et t en secondes.

Question A.4.

Sujet p. 9

Parmi les chronophotographies A, B et C suivantes, indiquer celle qui pourrait convenir pour le mouvement du système entre t_0 = 0 s et t_1 = 100 s. Justifier la réponse. Les points représentent les positions du centre de masse G du système à des intervalles de temps réguliers.

Les positions sont repérées à intervalles de temps réguliers. Pour un mouvement uniformément accéléré à partir du repos, $x_n = \dfrac{1}{2} a_0 (n\Delta t)^2$: les distances parcourues depuis la position initiale sont proportionnelles à n^2, et les écarts entre deux positions successives augmentent selon la suite des nombres impairs. Sur la figure, c'est la chronophotographie C qui présente ce motif. Dans B, les écarts augmentent plutôt de façon presque régulière, ce qui correspondrait à une vitesse initiale non nulle et ne représente pas le mouvement décrit, qui démarre du repos.

RÉPONSE À RETENIR

La chronophotographie qui convient est $\boxed{\mathrm{C}}$.

B. Étude dynamique du mouvement du système {bateau + eau + masque}

Question B.1.

Sujet p. 10, 19

Deux schémas représentés sont proposés pour modéliser la situation mécanique entre t_0 = 0 s et t_1 = 100 s. Déterminer le schéma qui représente le mieux la situation. Justifier la réponse en associant chaque vecteur force aux quatre forces décrites précédemment et en représentant la construction vectorielle de la somme des forces sur l'annexe à rendre avec la copie (page 19/19).

Le poids $\vec{P}$ est vertical vers le bas. La réaction normale $\vec{R}_N$ est perpendiculaire à la pente et dirigée vers l'extérieur du plan. La force de frottement $\vec{f}$ s'oppose au déplacement : elle est parallèle à la pente et dirigée vers $-Ox$. La force des automotrices $\vec{F}$ pousse le système vers $+Ox$.

Entre 0 s et 100 s, le système accélère dans le sens $+Ox$. D'après la deuxième loi de Newton, la somme des forces est donc non nulle et dirigée vers $+Ox$. Les composantes perpendiculaires à la pente se compensent, tandis que la composante de $\vec{F}$ selon la pente est supérieure aux composantes opposées de $\vec{f}$ et du poids. Le schéma 1 représente cette résultante vers le haut de la pente : dans le schéma 2, la force motrice est trop faible par rapport aux forces opposées, et la résultante serait dirigée vers le bas de la pente.

Pour la construction demandée sur l'annexe, on place les quatre vecteurs bout à bout en conservant leur direction, leur sens et leur longueur ; le vecteur somme relie l'origine du premier vecteur à l'extrémité du dernier. Il doit être parallèle à la pente et orienté vers $+Ox$.

RÉPONSE À RETENIR

Le schéma à retenir est $\boxed{\text{schéma 1}}$. Sur l'annexe, la construction de la somme des forces doit donner un vecteur non nul, parallèle à la pente et dirigé vers $+Ox$.

Question B.2.

Sujet p. 9, 10

> On s'intéresse à la phase du mouvement comprise entre t_2 = 140 s et t_3 = 300 s. Déterminer la nature du mouvement entre t_2 et t_3 et en déduire la valeur de la somme vectorielle des forces.

Entre $t_2 = 140$ s et $t_3 = 300$ s, le graphique de vitesse présente un palier : la vitesse est constante. Le mouvement est donc rectiligne uniforme, et l'accélération est nulle. D'après la deuxième loi de Newton, dans un référentiel galiléen, $\sum \vec{F} = m\vec{a}$.

RÉPONSE À RETENIR

Entre 140 s et 300 s, le mouvement est rectiligne uniforme. Ainsi $\vec{a} = \vec{0}$ et $\boxed{\sum \vec{F} = \vec{0}}$.

C. Observation du bateau à l'aide d'une lunette astronomique artisanale

Question C.1.

Sujet p. 11

> Identifier la lentille qui constitue l'oculaire et celle qui constitue l'objectif.

Le bateau, considéré à l'infini, envoie des rayons qui arrivent d'abord sur L_1. Cette lentille forme l'image intermédiaire A_1B_1 : c'est l'objectif. La lentille L_2 reçoit ensuite cette image intermédiaire et donne l'image finale : c'est l'oculaire.

RÉPONSE À RETENIR

$\boxed{L_1 \text{ est l'objectif et } L_2 \text{ est l'oculaire.}}$

Question C.2.

Sujet p. 11

> La consigne du professeur est de construire une lunette astronomique artisanale de grossissement G tel que G = 6. Après avoir établi l'expression du grossissement de la lunette astronomique artisanale, prévoir, parmi les lentilles disponibles de distances focales 5,0 cm, 10,0 cm, 12,5 cm, 20,0 cm et 30,0 cm, celles qu'il faudra utiliser pour L_1 et pour L_2. Préciser également le réglage des tubes en indiquant les graduations du tube 1 et du tube 2 qui doivent coïncider.

Pour une lunette astronomique afocale, l'image intermédiaire formée par l'objectif se trouve dans le plan focal objet de l'oculaire. Pour de petits angles, le grossissement angulaire en valeur absolue est le rapport de l'angle sous lequel l'image finale est vue à celui sous lequel l'objet est vu. Les relations géométriques dans les plans focaux donnent :

$$G = \left|\frac{\alpha'}{\alpha}\right| = \frac{f_1'}{f_2'}.$$

Il faut donc deux focales dont le rapport vaut 6, avec la plus grande pour l'objectif. Parmi les valeurs proposées, $30{,}0/5{,}0 = 6$: on choisit $f'_1 = 30{,}0$ cm pour L_1 et $f'_2 = 5{,}0$ cm pour L_2. Le réglage afocal impose une distance entre les lentilles égale à $f'_1 + f'_2 = 35{,}0$ cm.

Sur le schéma des tubes, la graduation du tube 1 est mesurée à partir de L_1, tandis que celle du tube 2 est mesurée à partir de L_2, en sens opposé. Lorsque deux graduations se font face, leur somme donne la distance entre les lentilles. Il faut donc faire coïncider des graduations dont la somme vaut 35 cm ; sur l'échelle figurée, 15 cm sur le tube 1 et 20 cm sur le tube 2 conviennent.

RÉPONSE À RETENIR

$\boxed{L_1 : f'_1 = 30{,}0\ \text{cm} \quad ; \quad L_2 : f'_2 = 5{,}0\ \text{cm}}$, car $G = f'_1/f'_2 = 6$. Pour le réglage afocal, les lentilles doivent être séparées de $35{,}0$ cm. Il faut faire coïncider la graduation $\boxed{15\ \text{cm}}$ du tube 1 avec la graduation $\boxed{20\ \text{cm}}$ du tube 2.

Exercice B

5 points

Un radar de contrôle de vitesses

Question 1.

Sujet p. 12, 13

> La vitesse d'un véhicule se déplaçant sur route sèche à double sens sans séparateur central et se rapprochant du cinémomètre est de 25 m·s⁻¹. La loi admet alors une tolérance de 5 km·h⁻¹. Déterminer les sanctions que le conducteur encourt en justifiant la réponse.

La vitesse mesurée est donnée en unités SI. On la convertit en kilomètres par heure :

$v = 25 \times 3{,}6 = 90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

Après prise en compte de la tolérance de $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, la vitesse retenue est $90 - 5 = 85 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Sur cette route sèche à double sens sans séparateur central, la vitesse autorisée est de $80 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. L'excès retenu est donc $85 - 80 = 5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, inférieur à $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. La vitesse maximale autorisée étant supérieure à $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, c'est la deuxième ligne du tableau des sanctions qui s'applique.

RÉPONSE À RETENIR

Le conducteur encourt une amende forfaitaire de **68 euros** et le retrait d'**1 point** sur son permis.

Question 2.

Sujet p. 13

> Lorsque la vitesse d'un véhicule dépasse la limite autorisée, le cinémomètre déclenche deux prises de vues, chacune accompagnée de l'émission d'un flash. La durée entre le début du premier flash et le début du deuxième n'excède pas 52 ms. La persistance rétinienne est de l'ordre de 0,070 seconde. Justifier pourquoi les membres du véhicule flashé n'ont vu qu'un seul éclair lumineux.

Le délai entre les débuts des deux flashs n'excède pas $52 \text{ ms} = 0{,}052 \text{ s}$. La persistance rétinienne est de l'ordre de $0{,}070 \text{ s}$. Comme $0{,}052 < 0{,}070$, l'image du premier éclair est encore conservée par la rétine lorsque le second éclair est émis.

RÉPONSE À RETENIR

Les membres du véhicule perçoivent les deux flashs comme un seul éclair lumineux, car leur intervalle temporel est inférieur à la durée de persistance rétinienne.

Question 3.

Sujet p. 13, 14

> Établir l'équation différentielle que vérifie la tension u_C aux bornes du condensateur lorsque l'interrupteur est en position 1.

En position 1, le condensateur se charge à travers la résistance sous la tension du générateur. Avec les conventions du circuit, la loi des mailles donne $E = u_R + u_C$. La loi d'Ohm donne $u_R = Ri$, et la relation courant-tension du condensateur est $i = C\,\dfrac{du_C}{dt}$. Ainsi, $u_R = RC\,\dfrac{du_C}{dt}$. En substituant dans la loi des mailles, on obtient l'équation différentielle recherchée.

RÉPONSE À RETENIR

$$RC\,\frac{du_C}{dt} + u_C = E$$

Équivalemment, $\dfrac{du_C}{dt} + \dfrac{1}{RC}u_C = \dfrac{E}{RC}$.

Question 4.

Sujet p. 14

> Les solutions de cette équation sont de la forme u_C = A + B × e^(−t/τ), où A, B et τ sont des constantes. Déterminer les expressions littérales des constantes A, B et τ. Justifier la réponse.

À long terme, le condensateur est chargé et le courant devient nul : la tension à ses bornes tend vers la tension du générateur E. Dans $u_C = A + B\,e^{-t/\tau}$, le terme exponentiel tend vers zéro lorsque t tend vers l'infini ; donc $A = E$.

Le condensateur étant initialement déchargé, $u_C(0) = 0$. Ainsi $A + B = 0$, donc $B = -E$. Enfin, en remplaçant la forme proposée dans l'équation différentielle de la question 3, on obtient $\tau = RC$.

RÉPONSE À RETENIR

$\boxed{A = E, \quad B = -E, \quad \tau = RC}$, d'où $u_C(t) = E\left(1 - e^{-t/(RC)}\right)$.

Question 5.

Sujet p. 13, 14

> Déterminer la valeur de la capacité du condensateur utilisé. Justifier la réponse.

Pour une charge, $u_C = E(1 - e^{-t/\tau})$. À $t = \tau$, la tension vaut $E(1 - e^{-1})$, soit environ $0{,}63E$. Avec $E = 6{,}0\ \text{V}$, cela correspond à environ $3{,}8\ \text{V}$. Sur le graphique de la page 14, cette tension est atteinte vers $t = 0{,}022\ \text{s}$, donc $\tau \approx 0{,}022\ \text{s}$.

Or $\tau = RC$, donc, avec $R = 47\ \Omega$,

$$C = \frac{\tau}{R} \approx \frac{0{,}022}{47} = 4{,}7 \times 10^{-4}\ \text{F}.$$

La lecture du graphique étant approximative, la capacité est donnée avec une précision adaptée.

RÉPONSE À RETENIR

La capacité du condensateur est d'environ $\boxed{4{,}7 \times 10^{-4}\ \text{F} = 470\ \mu\text{F}}$.

Résolution de problème

Question 6.

Sujet p. 14, 15

> Vérifier si le dispositif utilisé par l'élève permet d'émettre les deux flashs avec le décalage temporel de 52 ms imposé par le cinémomètre. Le condensateur a une capacité C de 470 µF et la diode une tension seuil U_s de 3,30 V. La durée de décharge du condensateur jusqu'à cette tension seuil est de 8,0 ms. Lors de la deuxième charge, le condensateur bascule sur la position 2 dès qu'il a emmagasiné une énergie égale à 7,0 × 10⁻³ J. L'énergie emmagasinée est donnée par W_cond = ½ × C × u_C². Présenter la démarche suivie.

Entre les débuts des deux flashs, il s'écoule la durée de la première décharge, puis celle de la seconde charge jusqu'au basculement en position 2. La durée de la première décharge est donnée : $8{,}0\ \text{ms}$.

La tension à laquelle le condensateur bascule lors de la seconde charge se déduit de l'énergie emmagasinée :

$$u_C = \sqrt{\frac{2W_{\text{cond}}}{C}} = \sqrt{\frac{2 \times 7{,}0 \times 10^{-3}}{470 \times 10^{-6}}} \approx 5{,}46 \text{ V}.$$

La seconde charge commence à $3{,}30$ V. Sur le graphique de la page 15, la tension atteint environ $5{,}46$ V après $0{,}036$ s, soit environ 36 ms. Le délai entre les débuts des deux flashs est donc d'environ $8{,}0 + 36 = 44$ ms.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le délai estimé est d'environ **44 ms**, donc inférieur à 52 ms. Le dispositif permet d'émettre les deux flashs avec le décalage temporel imposé.

Exercice C

5 points

Capteurs solaires passifs, le mur Trombe-Michel

A. Les trois modes de transfert thermique

Question A.1.

Sujet p. 17

> Citer les trois modes de transfert thermique.

Dans un mur Trombe-Michel, l'énergie thermique peut être transférée par trois mécanismes distincts : le transfert de proche en proche dans la matière, le déplacement d'un fluide et l'émission ou l'absorption d'ondes électromagnétiques.

RÉPONSE À RETENIR

Les trois modes de transfert thermique sont la **conduction**, la **convection** et le **rayonnement**.

Question A.2.

Sujet p. 16, 17

> Citer, pour chacun de ces modes de transfert thermique, un exemple mis en œuvre dans un mur Trombe-Michel.

On associe un exemple propre à chacun des trois modes : dans le mur, la chaleur se transmet de proche en proche à travers les matériaux solides ; l'air chauffé se déplace dans la lame d'air ; enfin, le rayonnement solaire traverse le double vitrage et est absorbé par la surface noire du mur.

RÉPONSE À RETENIR

- **Conduction :** transfert thermique à travers les matériaux solides, notamment le mur de béton.
- **Convection :** circulation de l'air chauffé dans la lame d'air entre le vitrage et le mur.
- **Rayonnement :** le rayonnement solaire traverse le double vitrage et est absorbé par la surface noire du mur. Le mur chaud émet aussi un rayonnement infrarouge vers la pièce.

B. Isolation de la façade

Question B.1.

Sujet p. 17

> La température extérieure est de 5,0 °C et la température à l'intérieur de la pièce est de 19 °C. Exprimer les flux thermiques Φ_1 et Φ_2 correspondant respectivement aux résistances R_1 et R_2, puis calculer leurs valeurs. R_1 est la résistance de l'ensemble {mur + double vitrage} sans lame d'air et R_2 celle de l'ensemble {mur + double vitrage + lame d'air}.

Les couches successives ont la même surface d'échange et leurs résistances thermiques s'ajoutent. La surface de la façade vaut :

$$S = L \times H = 3{,}0 \times 2{,}5 = 7{,}5\ \text{m}^2.$$

Pour le mur de béton, l'épaisseur est $e = 40\ \text{cm} = 0{,}40\ \text{m}$. Sa résistance thermique vaut :

$$R_{béton} = \frac{e}{\lambda S} = \frac{0{,}40}{1{,}75 \times 7{,}5} = 0{,}0305\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}.$$

La résistance du double vitrage est donnée dans le tableau : $0{,}13\ \mathrm{K\cdot W^{-1}}$. Ainsi, sans lame d'air, $R_1 = 0{,}13 + 0{,}0305 = 0{,}1605\ \mathrm{K\cdot W^{-1}}$. Avec la lame d'air, $R_2 = R_1 + 0{,}46 = 0{,}6205\ \mathrm{K\cdot W^{-1}}$.

La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur est $\Delta T = 19 - 5{,}0 = 14\ \mathrm{K}$. En régime thermique considéré, la valeur du flux thermique traversant l'ensemble des couches est la différence de température divisée par la résistance thermique totale :

$$\Phi_1 = \frac{T_{int} - T_{ext}}{R_1} = \frac{14}{0{,}1605} \simeq 87\ \mathrm{W}, \qquad \Phi_2 = \frac{T_{int} - T_{ext}}{R_2} = \frac{14}{0{,}6205} \simeq 23\ \mathrm{W}.$$

Ces valeurs sont données en prenant le sens intérieur vers extérieur comme sens du flux.

RÉPONSE À RETENIR

$R_1 \simeq 0{,}16\ \mathrm{K\cdot W^{-1}}$ et $R_2 \simeq 0{,}62\ \mathrm{K\cdot W^{-1}}$. Les flux thermiques, de l'intérieur vers l'extérieur, sont $\Phi_1 \simeq 87\ \mathrm{W}$ et $\Phi_2 \simeq 23\ \mathrm{W}$.

Question B.2.

Sujet p. 17

En exploitant les valeurs obtenues, conclure quant à l'efficacité de la lame d'air.

À différence de température identique, le flux thermique est d'autant plus faible que la résistance thermique est grande. L'ajout de la lame d'air fait passer la résistance de $R_1 \simeq 0{,}16$ à $R_2 \simeq 0{,}62\ \mathrm{K\cdot W^{-1}}$, tandis que le flux calculé diminue d'environ 87 à $23\ \mathrm{W}$.

RÉPONSE À RETENIR

La lame d'air améliore l'isolation de la façade : elle augmente nettement la résistance thermique et réduit le flux de chaleur perdu vers l'extérieur.

C. Chauffage de la pièce

Question C.1.

Sujet p. 18

La pièce contient 30 m³ d'air assimilé à un gaz parfait. La température de l'air passe de 19,0 °C à 23,0 °C. Sa capacité thermique vaut C = 39,2 kJ·K⁻¹ et la variation d'énergie interne est exprimée par ΔU = C·ΔT. Calculer la variation de l'énergie interne de l'air contenu dans la pièce.

La variation de température est $\Delta T = T_f - T_i = 23{,}0 - 19{,}0 = 4{,}0\ \mathrm{K}$. Avec $\Delta U = C\Delta T$ et $C = 39{,}2\ \mathrm{kJ\cdot K^{-1}}$:

$$\Delta U = 39{,}2 \times 4{,}0 = 156{,}8\ \mathrm{kJ} = 1{,}568 \times 10^5\ \mathrm{J}.$$

La variation est positive puisque la température de l'air augmente.

RÉPONSE À RETENIR

$\boxed{\Delta U = +156{,}8\ \mathrm{kJ} \simeq +1{,}57 \times 10^5\ \mathrm{J}}$.

Question C.2.

Sujet p. 18

Le flux d'énergie solaire F_solaire reçu par le double vitrage est estimé à 675 W. On estime à 25 % le pourcentage de l'énergie solaire transférée à l'air de la pièce. Déterminer la durée nécessaire au réchauffement de l'air de la

pièce de 19 °C à 23 °C.

La puissance solaire transférée à l'air vaut $P = 0{,}25 F_{solaire} = 0{,}25 \times 675 = 168{,}75\ \mathrm{W}$. En supposant cette puissance constante pendant le réchauffement, l'énergie reçue est $\Delta U = Pt$, donc :

$$t = \frac{\Delta U}{P} = \frac{156{,}8 \times 10^3}{168{,}75} \simeq 9{,}29 \times 10^2\ \mathrm{s}.$$

En minutes, $t \simeq 929/60 \simeq 15{,}5\ \mathrm{min}$.

RÉPONSE À RETENIR

La durée nécessaire est d'environ $\boxed{9{,}3 \times 10^2\ \mathrm{s} \simeq 15{,}5\ \mathrm{min}}$, sous l'hypothèse que la puissance transférée reste constante.

D. Flux thermique nocturne

Question D.1.

Sujet p. 18

Le mur en béton est à une température constante T_m de 25 °C et l'air de la pièce à une température constante T de 19 °C. Le coefficient de transfert thermique h vaut 10 W·m⁻²·K⁻¹. Choisir, en justifiant, parmi les trois expressions suivantes celle qui correspond à l'expression du flux thermique de convection : $\Phi_c = (h/S)\cdot(T_m - T)$; $\Phi_c = h\cdot S\cdot(T_m - T)$; $\Phi_c = h\cdot S/(T_m - T)$.

Le flux thermique de convection est proportionnel au coefficient d'échange h, à la surface d'échange S et à la différence de température $T_m - T$. La vérification des unités confirme le choix : $hS(T_m - T)$ a pour unité $\mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1} \times m^2 \times K = W}$, l'unité d'un flux thermique. Les deux autres expressions proposées n'ont pas cette unité.

RÉPONSE À RETENIR

L'expression correcte est $\boxed{\Phi_c = hS(T_m - T)}$.

Question D.2.

Sujet p. 17, 18

La nuit, le mur en béton restitue de la chaleur à l'air de la pièce en émettant un flux thermique total de l'ordre de 4 000 W. En conduisant un raisonnement argumenté, déterminer si le mur restitue la chaleur à l'air de la pièce uniquement selon un mode convectif. Commenter.

La surface d'échange du mur vaut $S = 3{,}0 \times 2{,}5 = 7{,}5\ \mathrm{m^2}$, et l'écart de température est $T_m - T = 25 - 19 = 6\ \mathrm{K}$. Si le transfert nocturne était uniquement convectif, le flux serait :

$$\Phi_c = hS(T_m - T) = 10 \times 7{,}5 \times 6 = 450\ \mathrm{W}.$$

Ce résultat est très inférieur au flux total annoncé, de l'ordre de $4\,000\ \mathrm{W}$. La convection seule ne peut donc pas expliquer la restitution thermique indiquée. D'autres modes de transfert contribuent, notamment le rayonnement infrarouge émis par le mur chaud vers la pièce. Comme le flux total est donné comme un ordre de grandeur, cette comparaison ne permet pas de déterminer précisément la part de chaque mode.

RÉPONSE À RETENIR

Non. La convection fournirait environ $450\ \mathrm{W}$, bien moins que les $4\,000\ \mathrm{W}$ annoncés. D'autres transferts, notamment le rayonnement infrarouge du mur vers la pièce, participent donc à la restitution de chaleur.

© 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.