# Corrigé complet — Bac 2021 Métropole Juin Sujet 2

Physique-chimie, enseignement de spécialité **20 points** **3 h 30**


| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Ex 1 | **Vers la synthèse du plexiglas**<br>Acide et base de Brönsted · Constante d'acidité et pH · Synthèse d'un ester · Polymère et spectre infrarouge · Cinétique d'ordre 1 | 10 pts | 1 h 45 | 18 questions | p. 2 |
| Ex 2 | **Saut à l'élastique**<br>Deuxième loi de Newton · Chute libre verticale · Équations horaires · Énergie cinétique · Énergie potentielle de pesanteur · Énergie mécanique | 5 pts | 55 min | 8 questions | p. 9 |
| Ex 3 | **Mesures d'épaisseur**<br>Lentilles convergentes · Modèle du microscope · Image réelle, image virtuelle · Charge d'un condensateur · Circuit RC et temps caractéristique · Capacité d'un condensateur | 5 pts | 55 min | 9 questions | p. 13 |
| Ex 4 | **Étude d'un film de savon**<br>Interférences lumineuses · Interférences constructives et destructives · Différence de chemin optique · Indice de réfraction · Ordre d'interférence · Exploitation d'une figure d'interférences | 5 pts | 55 min | 7 questions | p. 17 |


**Comment s'en servir.** Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

# Vers la synthèse du plexiglas

Bac 2021 Métropole Juin Sujet 2 · Exercice 1 **10 points** **Durée conseillée 1 h 45**

**1.1** Indiquer les précautions opératoires et les équipements de sécurité nécessaires à la manipulation de l'acide méthacrylique. Justifier.

Les pictogrammes signalent une espèce **corrosive** (brûlures de la peau, lésions des yeux) et **toxique** (par contact cutané, nocive par inhalation).

- Contact avec la peau et les yeux : blouse fermée, gants et lunettes de protection.
- Vapeurs nocives et irritantes : manipulation sous hotte aspirante.

Blouse, gants, lunettes de protection et travail sous hotte.

**MÉTHODE**
Associer chaque équipement à un danger précis de la fiche : c'est cette association qui constitue la justification demandée.

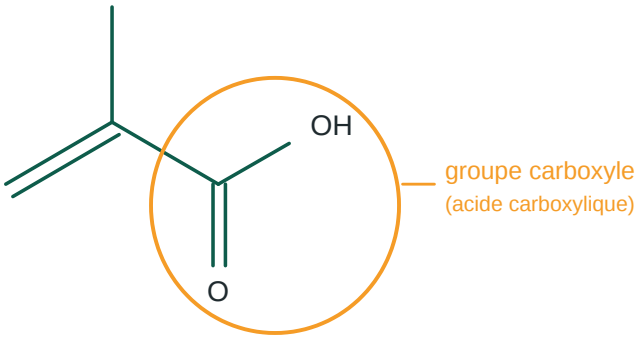
**1.2** Représenter la formule topologique de l'acide méthacrylique et entourer les groupes caractéristiques.

Dans une formule topologique, les atomes de carbone et les atomes d'hydrogène qu'ils portent ne sont pas écrits ; l'atome H du groupe $\mathrm{OH}$ reste écrit.

Un seul groupe caractéristique : le groupe carboxyle $-\mathrm{COOH}$ (famille des acides carboxyliques).

**PIÈGE**
Oublier le groupe méthyle porté par le carbone central, ou écrire les atomes de carbone : la formule ne serait plus topologique.

**COMPRENDRE**
La double liaison $\mathrm{C{=}C}$ range la molécule parmi les alcènes, mais ce n'est pas un groupe caractéristique au sens du programme.




**1.2** · Formule topologique de l'acide méthacrylique, groupe caractéristique entouré

**1.3** Justifier que la molécule d'acide méthacrylique est un acide au sens de Brönsted et écrire le couple acide-base associé.

Un acide de Brönsted est une espèce capable de céder un ion hydrogène $\mathrm{H^+}$. Le groupe carboxyle de l'acide méthacrylique peut céder l'ion $\mathrm{H^+}$ de sa liaison $\mathrm{O{-}H}$, polarisée :

$$\mathrm{C_4H_6O_2 = C_4H_5O_2^- + H^+}$$

Couple acide / base : $\mathrm{C_4H_6O_2}$ / $\mathrm{C_4H_5O_2^-}$, soit $\mathrm{CH_2{=}C(CH_3){-}COOH}$ / $\mathrm{CH_2{=}C(CH_3){-}COO^-}$.

**PIÈGE**
Inverser l'ordre du couple : l'acide s'écrit toujours en premier, la base conjuguée (ion méthacrylate) en second.

**1.4** Écrire l'équation de la réaction de l'acide méthacrylique, noté HA, dans l'eau.

L'acide HA cède un ion $H^+$ à l'eau, qui joue le rôle de base :

$$HA\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons A^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)$$

**COMPRENDRE**
La double flèche est nécessaire : le $pK_A$ vaut 4,7, l'acide est faible et sa réaction avec l'eau est limitée.

**1.5** Donner la relation entre la constante d'acidité $K_A$ du couple $HA\,/\,A^-$ et les concentrations à l'équilibre des espèces HA et $A^-$.

$K_A$ est la constante d'équilibre de la réaction de l'acide avec l'eau :

$$K_A = \frac{[A^-]_{éq} \times [H_3O^+]_{éq}}{[HA]_{éq} \times c^\circ} \text{ avec } c^\circ = 1\ mol \cdot L^{-1}$$

**PIÈGE**
Faire apparaître l'eau dans l'expression : l'eau est le solvant, elle n'y figure pas.

**1.6** Vérifier, par un raisonnement quantitatif, que le pH d'une solution aqueuse d'acide méthacrylique de concentration $c_m = 100\ g \cdot L^{-1}$ est de 2,3.

**Données utiles** $M = 86{,}1\ g \cdot mol^{-1}$ ; $pK_A = 4{,}7$ ; expression de $K_A$ (1.5)

Concentration en quantité de matière apportée : $C = \frac{c_m}{M} = \frac{100}{86{,}1} = 1{,}16\ mol \cdot L^{-1}$.

D'après l'équation (1.4), en notant $x = [H_3O^+]_{éq}$ : $[A^-]_{éq} = x$ et $[HA]_{éq} = C - x$ (concentrations en $mol \cdot L^{-1}$).

$$K_A = \frac{x^2}{C - x} \quad \text{soit} \quad x^2 + K_A\,x - K_A\,C = 0 \quad \text{avec } K_A = 10^{-4{,}7}$$

Seule la racine positive convient :

$$x = \frac{-K_A + \sqrt{K_A^2 + 4\,K_A\,C}}{2} = 4{,}80 \times 10^{-3}\ mol \cdot L^{-1}$$

$$pH = -\log\left(\frac{[H_3O^+]_{éq}}{c^\circ}\right) = -\log\left(4{,}80 \times 10^{-3}\right) = 2{,}32$$

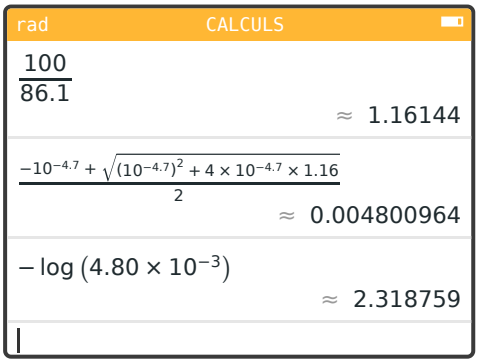
$pH = 2{,}32 \approx 2{,}3$ : la valeur annoncée est retrouvée.

**PIÈGE**
Traiter l'acide comme un acide fort ($pH = -\log C$, valeur négative ici), ou utiliser $100\ g \cdot L^{-1}$ comme une concentration en $mol \cdot L^{-1}$.

**COMPRENDRE**
Le $pK_A$ est donné avec une seule décimale : le pH s'annonce avec une décimale, soit 2,3.

**MÉTHODE**
Plus rapide : l'acide est très peu dissocié, $x \ll C$, donc $K_A \approx x^2/C$ et $x \approx \sqrt{K_A C} = 4{,}8 \times 10^{-3}\ mol \cdot L^{-1}$, même pH.

**À LA CALCULATRICE**



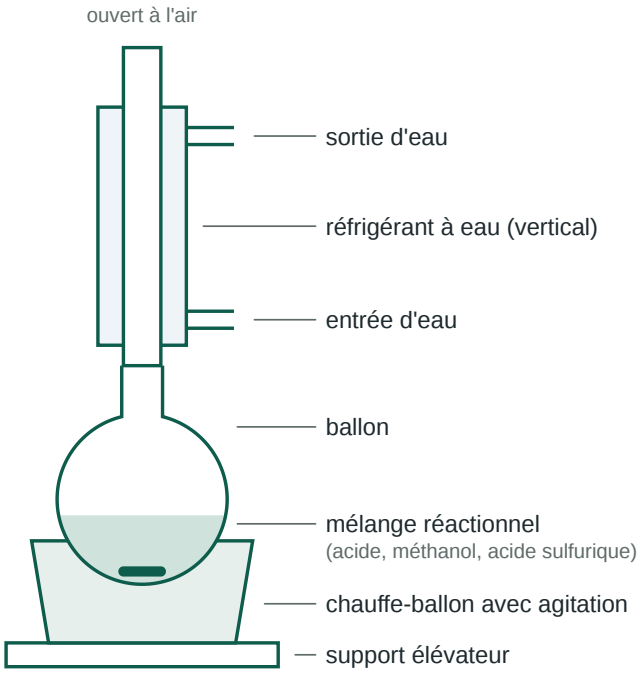

**2.1** Réaliser un schéma légendé du montage à reflux utilisé dans l'étape a et proposer un nom pour cette étape du protocole.

Schéma : ballon contenant le mélange réactionnel, placé dans un chauffe-ballon sur support élévateur, surmonté d'un réfrigérant vertical à eau (entrée d'eau en bas, sortie en haut), ouvert à son sommet.

Étape a : transformation chimique (synthèse du MMA) par chauffage à reflux.

**PIÈGE**
Boucher le haut du réfrigérant (surpression dangereuse) ou faire entrer l'eau par le haut : le manchon ne se remplirait pas.

**COMPRENDRE**
Le reflux permet de chauffer sans perte de matière : les vapeurs se liquéfient dans le réfrigérant et retombent dans le ballon.




**2.1** · Montage de chauffage à reflux

**2.2** Établir l'équation de la réaction modélisant la synthèse, sachant que de l'eau est produite.

L'acide méthacrylique réagit avec le méthanol pour former l'ester (MMA) et de l'eau ; la transformation n'est pas totale :

$$C_3H_5-COOH + CH_3-OH \rightleftharpoons C_3H_5-COO-CH_3 + H_2O$$

$$C_4H_6O_2 + CH_4O \rightleftharpoons C_5H_8O_2 + H_2O$$

**COMPRENDRE**
Vérification : $M(C_5H_8O_2) = 100{,}1\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, valeur du tableau. L'acide sulfurique, catalyseur, n'apparaît pas dans l'équation.

**2.3** Justifier les positions relatives des phases organique et aqueuse lors du lavage à l'eau glacée dans l'ampoule à décanter. Préciser la composition de chaque phase.

**Données utiles** densités : éther diéthylique 0,71 ; MMA 0,94 ; eau 1,00

L'éther diéthylique et l'eau sont très peu miscibles : il y a deux phases.

- Phase organique : éther diéthylique (solvant) et MMA, peu soluble dans l'eau mais soluble dans l'éther. Leurs densités (0,71 et 0,94) sont inférieures à celle de l'eau.
- Phase aqueuse : eau, avec les espèces qui y sont solubles : méthanol en excès, acide sulfurique, acide méthacrylique restant.

La phase organique, moins dense, est au-dessus ; la phase aqueuse est en dessous.

**PIÈGE**
Affirmer « la phase organique est toujours au-dessus » : c'est la comparaison des densités qui justifie la position.

**2.4** Donner le rôle de l'étape c et indiquer ce qui doit être surveillé pour être sûr de récupérer le MMA lors de la distillation fractionnée.

**Données utiles** températures d'ébullition : éther diéthylique 35 °C ; MMA 101 °C

L'étape c est une purification : la distillation fractionnée sépare le MMA de l'éther diéthylique (solvant d'extraction), dont les températures d'ébullition sont différentes.

On surveille la température en tête de colonne : l'éther distille d'abord, à 35 °C ; on change de récipient et on recueille la fraction qui passe lorsque le palier à 101 °C est atteint.

Purification du MMA ; surveiller la température en tête de colonne (fraction à 101 °C).

**COMPRENDRE**
L'espèce la plus volatile (température d'ébullition la plus basse) sort la première ; chaque palier de température correspond à une espèce pure.

**2.5** Déterminer les quantités de matière des réactifs introduits.

**Données utiles** acide méthacrylique : $m = 10{,}0$ g, $M = 86{,}1\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ; méthanol : $V = 35$ mL, $d = 0{,}79$, $M = 32{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ; $\rho_{\text{eau}} = 1{,}00\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$

Acide méthacrylique : $n_1 = \dfrac{m}{M} = \dfrac{10{,}0}{86{,}1} = 0{,}116\ \text{mol}$

Méthanol : $m_2 = d \times \rho_{\text{eau}} \times V$, donc

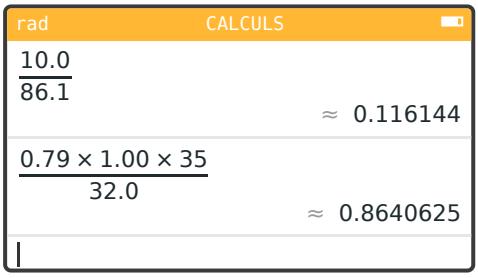
$$n_2 = \frac{d \times \rho_{\text{eau}} \times V}{M} = \frac{0{,}79 \times 1{,}00 \times 35}{32{,}0} = 0{,}86\ \text{mol}$$

$n(\text{acide}) = 0{,}116$ mol et $n(\text{méthanol}) = 0{,}86$ mol

**PIÈGE**
Compter l'acide sulfurique parmi les réactifs : c'est le catalyseur. Pour un liquide, passer par la masse volumique, jamais par un volume molaire.

**COMPRENDRE**
Deux chiffres significatifs pour le méthanol, comme $d$ et $V$ ; trois pour l'acide.

**À LA CALCULATRICE**




**2.6** En supposant la transformation totale, déterminer la masse maximale de méthacrylate de méthyle qui peut être obtenue.

**Données utiles** $n(\text{acide}) = 0{,}116$ mol et $n(\text{méthanol}) = 0{,}86$ mol (2.5) ; $M(\text{MMA}) = 100{,}1\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Les réactifs réagissent mole à mole et $0{,}116 < 0{,}86$ : l'acide méthacrylique est le réactif limitant.

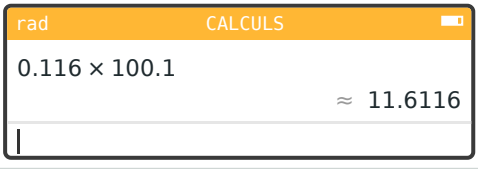
Une mole d'acide donne une mole d'ester : $n_{\max}(\text{MMA}) = n(\text{acide}) = 0{,}116$ mol.

$m_{\max} = n_{\max} \times M(\text{MMA}) = 0{,}116 \times 100{,}1$

$m_{\max} = 11{,}6$ g

**MÉTHODE**
Le rendement s'obtiendrait en divisant la masse de MMA réellement recueillie après distillation par cette masse maximale.

**À LA CALCULATRICE**



**2.7** Indiquer une méthode mise en œuvre pour optimiser la vitesse d'apparition du MMA et une méthode mise en œuvre pour optimiser le rendement.

- Vitesse : le chauffage (la température est un facteur cinétique) ; l'ajout d'acide sulfurique, catalyseur, agit aussi.
- Rendement : le méthanol est introduit en large excès (0,86 mol pour 0,116 mol d'acide), ce qui déplace l'équilibre dans le sens de la formation de l'ester.

Vitesse : chauffage (ou catalyseur) ; rendement : excès de méthanol.

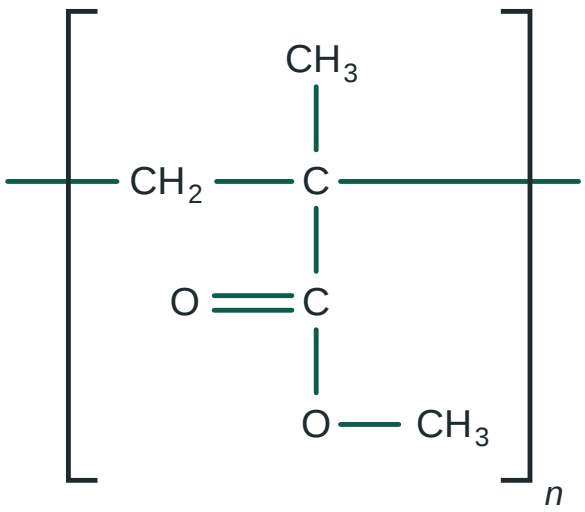
**PIÈGE**
Citer le catalyseur pour le rendement : il accélère la transformation sans modifier l'état d'équilibre.

**3.1** Représenter le motif du polymère.

Le motif est le groupe d'atomes qui se répète le long de la chaîne ; il provient de l'ouverture de la double liaison $C{=}C$ du monomère.

Motif : $-CH_2-C(CH_3)(COOCH_3)^-$, de même formule brute que le monomère, $C_5H_8O_2$.

**PIÈGE**
Laisser une double liaison $C{=}C$ dans le motif, ou oublier les deux liaisons qui sortent des crochets.




**3.1** · Motif du PMMA

**3.2** Justifier que l'on puisse suivre la transformation par spectroscopie infrarouge.

**Données utiles** bandes : $C{=}C$ entre 1620 et 1690 $cm^{-1}$ ; $C{=}O$ entre 1650 et 1750 $cm^{-1}$

Le monomère possède une liaison $C{=}C$ que le polymère n'a plus. Sur le spectre du MMA, une bande apparaît vers 1640 $cm^{-1}$, juste à droite de la bande intense de $C{=}O$ ; elle est absente du spectre du PMMA.

La bande de la liaison $C{=}C$ (vers 1640 $cm^{-1}$) s'atténue puis disparaît au cours de la polymérisation : elle permet de suivre la transformation.

**PIÈGE**
Choisir la bande $C{=}O$ : le groupe ester est présent dans le monomère comme dans le polymère, cette bande ne renseigne pas sur l'avancement.

**3.3** Déterminer le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ de la polymérisation du MMA à l'aide de la figure 3. Commenter.

**Données utiles** $[\text{MMA}]_0 = 518 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

À $t_{1/2}$, l'avancement vaut la moitié de sa valeur finale. Le MMA étant presque entièrement consommé en fin de suivi : $[\text{MMA}](t_{1/2}) = \dfrac{[\text{MMA}]_0}{2} = \dfrac{518}{2} = 259 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$.

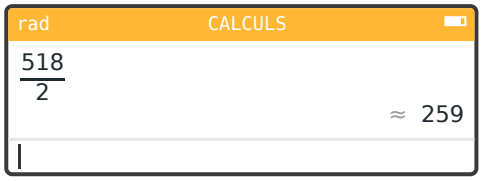
Sur la courbe de la figure 3, l'ordonnée 259 correspond à l'abscisse 1,1 h environ.

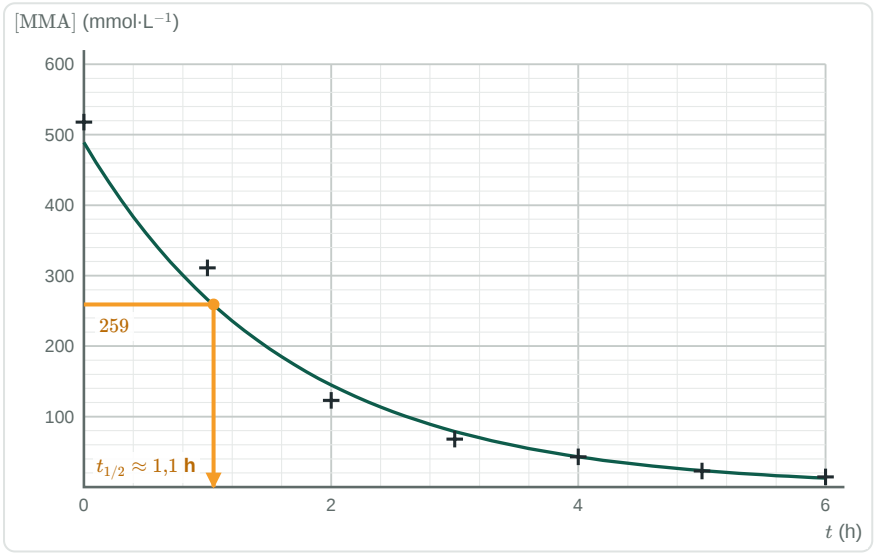
Commentaire : $t_{1/2}$ est court devant la durée du suivi (6 h). De plus, la concentration est à nouveau divisée par deux environ à chaque heure (123 à 2 h, 68 à 3 h) : $t_{1/2}$ ne dépend pas de la concentration initiale.

$\boxed{t_{1/2} \approx 1{,}1 \text{ h}}$

**COMPRENDRE**
La lecture se fait sur la courbe modèle, qui passe sous le point expérimental à 1 h : toute valeur entre 1,0 h et 1,3 h est recevable.

**À LA CALCULATRICE**




**3.3** · Figure 3 du sujet : lecture de $t_{1/2}$ sur la courbe

**3.4** À l'aide de la figure 3, estimer, en explicitant la méthode, la valeur de la vitesse de disparition $v_p$ du MMA à l'instant initial.

$v_p = -\dfrac{\text{d}[\text{MMA}]}{\text{d}t}$ : à $t = 0$, c'est l'opposé du coefficient directeur de la tangente à la courbe.

On trace la tangente à la courbe à l'origine des temps : elle passe par les points $(0\,;\,490)$ et $(1{,}6\,;\,0)$.

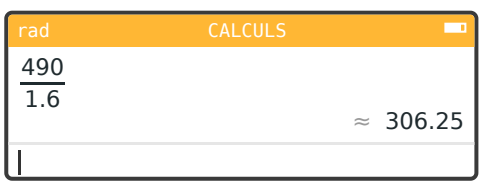
$$v_{p,0} = -\frac{0 - 490}{1{,}6 - 0} = 3{,}1 \times 10^2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$$

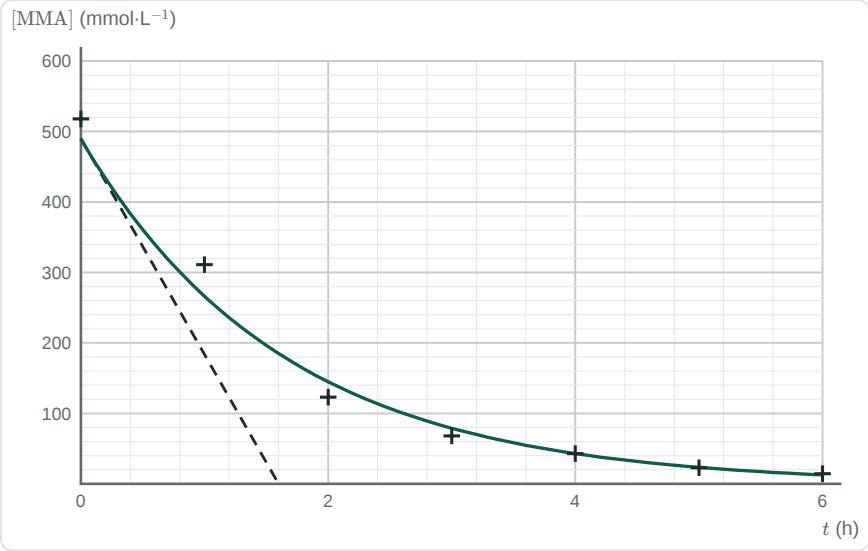
$\boxed{v_{p,0} \approx 3 \times 10^2 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}}$

**PIÈGE**
Calculer $\dfrac{518 - 311}{1}$ entre les deux premiers points : c'est une vitesse moyenne sur la première heure, inférieure à la vitesse initiale.

**COMPRENDRE**
Le tracé d'une tangente est peu précis : un seul chiffre significatif suffit. La figure 4 place d'ailleurs le point initial vers 210, même ordre de grandeur.

**À LA CALCULATRICE**






**3.4** · Figure 3 du sujet : tangente à la courbe à $t = 0$ (en tirets)

**3.5** En étudiant l'évolution de $v_p$ en fonction de la concentration en MMA sur la figure 4, déterminer si l'évolution temporelle de la concentration en MMA suit une loi de vitesse d'ordre 1.

Sur la figure 4, les points sont proches d'une droite passant par l'origine, malgré l'écart du point $(311\,;\,188)$ : $v_p$ est proportionnelle à la concentration en MMA.

$$v_p = k \times [\text{MMA}]$$

La vitesse de disparition est proportionnelle à $[\text{MMA}]$ : la loi de vitesse est d'ordre 1.

**PIÈGE**
Se contenter de « c'est une droite » : il faut qu'elle passe par l'origine pour conclure à la proportionnalité.

**COMPRENDRE**
Ordre 1 signifie aussi décroissance exponentielle de $[\text{MMA}]$ et temps de demi-réaction constant : c'est ce qu'indiquait le commentaire de la question 3.3.

# Saut à l'élastique

Bac 2021 Métropole Juin Sujet 2 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

**1** Déterminer les coordonnées du vecteur accélération $\vec{a}(t)$ de S dans le repère $(Ox\,;\,Oz)$.

Système {sauteur et son équipement}, de masse $m$ constante ; référentiel terrestre supposé galiléen. Modèle de la chute libre : la seule force est le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$.

Deuxième loi de Newton : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}$, soit $m\,\vec{g} = m\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = \vec{g}$.

Le vecteur $\vec{g}$ est vertical, dirigé vers le bas, et l'axe $(Oz)$ est orienté vers le haut :

$a_x(t) = 0$ et $a_z(t) = -g$, soit $\vec{a} = -g\,\vec{k}$

**PIÈGE**
Écrire $a_z = +g$. L'axe $(Oz)$ pointe vers le haut alors que $\vec{g}$ pointe vers le bas : la coordonnée est négative.

**MÉTHODE**
Toujours dans cet ordre : système, référentiel galiléen, bilan des forces, deuxième loi de Newton, puis projection sur les axes.

**2** Établir que l'équation horaire du mouvement selon l'axe $Oz$ s'écrit $z(t) = -\dfrac{1}{2}\,g\,t^2 - v_0\,t + H$.

Comme $a_z = \dfrac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t} = -g$, on cherche une primitive : $v_z(t) = -g\,t + C_1$.

À $t = 0$, $\vec{v}_0$ est vertical et dirigé vers le bas : $v_z(0) = -v_0$, donc $C_1 = -v_0$ et $v_z(t) = -g\,t - v_0$.

Comme $v_z = \dfrac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}$, une nouvelle primitive donne $z(t) = -\dfrac{1}{2}\,g\,t^2 - v_0\,t + C_2$.

À $t = 0$, le sauteur est à la hauteur $H$ : $z(0) = H$, donc $C_2 = H$.

$z(t) = -\dfrac{1}{2}\,g\,t^2 - v_0\,t + H$

**PIÈGE**
Oublier les constantes d'intégration, ou écrire $v_z(0) = +v_0$ : $v_0$ est une norme (positive) et la vitesse initiale est dirigée vers le bas.

**3** La modélisation $z(t) = -4{,}90\,t^2 - 1{,}10\,t + 49{,}8$ est-elle cohérente avec l'expression de la question 2 ? Justifier à l'aide de deux arguments.

**Données utiles** $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ; $H \approx 50\ \text{m}$

Les deux expressions sont des polynômes du second degré en $t$ ; on identifie les coefficients.

Terme en $t^2$ : $\dfrac{1}{2}\,g = 4{,}90$, soit $g = 2 \times 4{,}90 = 9{,}80\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, très proche de $9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

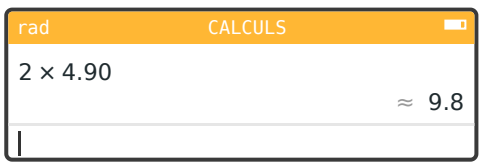
Terme constant : $H = 49{,}8$ m, en accord avec « environ 50 m ».

Le terme en $t$ donne $v_0 = 1{,}10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ : il est bien négatif dans l'équation, comme attendu pour un départ vers le bas.

La modélisation est cohérente : elle redonne $g \approx 9{,}80\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ et $H \approx 50$ m.

**COMPRENDRE**
Le modèle de la chute libre est donc validé pour la première phase : les frottements de l'air y sont négligeables.

**À LA CALCULATRICE**



**4** Calculer la date à laquelle l'élastique commence à se tendre.

**Données utiles** $L_0 = 8{,}0$ m ; $z(t) = -4{,}90\,t^2 - 1{,}10\,t + 49{,}8$

L'élastique commence à se tendre quand le sauteur est descendu de $L_0$ : $z(t_1) = H - L_0$, avec $H = 49{,}8$ m.

$-4{,}90\,t_1^2 - 1{,}10\,t_1 + 49{,}8 = 49{,}8 - 8{,}0$, soit $4{,}90\,t_1^2 + 1{,}10\,t_1 - 8{,}0 = 0$.

Discriminant : $\Delta = 1{,}10^2 + 4 \times 4{,}90 \times 8{,}0 = 158$. Deux solutions, dont une seule positive :

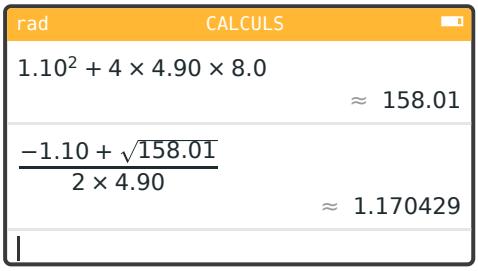
$$t_1 = \frac{-1{,}10 + \sqrt{158}}{2 \times 4{,}90} = 1{,}17 \text{ s}$$

$t_1 \approx 1{,}2$ s

**PIÈGE**
Poser $z = L_0$ ou $z = 0$. L'origine est au sol : après une chute de $8{,}0$ m, le sauteur est à l'altitude $H - L_0$.

**COMPRENDRE**
Deux chiffres significatifs, comme $L_0$. La valeur est compatible avec la figure 1, où la première phase se termine un peu après $1{,}1$ s. L'autre solution ($-1{,}4$ s) est négative : elle n'a pas de sens ici.

**À LA CALCULATRICE**




**5** En déduire la valeur de la vitesse atteinte à cet instant.

**Données utiles** $t_1 = 1{,}17$ s (Q4)

On dérive l'équation horaire : $v_z(t) = \dfrac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t} = -9{,}80\,t - 1{,}10$.

$v_z(t_1) = -9{,}80 \times 1{,}17 - 1{,}10 = -12{,}6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

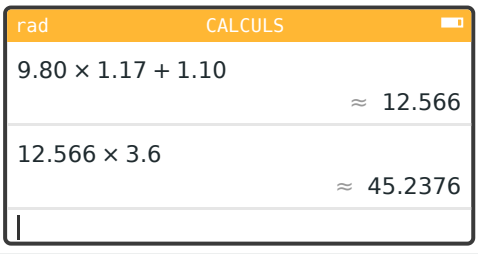
Le mouvement est vertical : $v = |v_z|$.

$v \approx 13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (soit environ $45 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$)

**PIÈGE**
Donner une vitesse négative. On demande la valeur de la vitesse, c'est-à-dire la norme ; le signe de $v_z$ indique seulement le sens du mouvement.

**MÉTHODE**
Garder la valeur non arrondie de $t_1$ dans le calcul et n'arrondir qu'à la fin : avec $t_1 = 1{,}2$ s on trouverait encore $13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, mais ce n'est pas toujours le cas.

**À LA CALCULATRICE**



**6.1** Identifier parmi les courbes A, B, C de la figure 1 l'énergie cinétique, l'énergie potentielle de pesanteur et l'énergie mécanique. Justifier.

**Données utiles** $m = 80$ kg ; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ; $H = 49{,}8$ m ; $v_0 = 1{,}10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Q3)

**Énergie cinétique** $E_c = \frac{1}{2} m v^2$ : à $t = 0$, $E_c = \frac{1}{2} \times 80 \times 1{,}10^2 = 48$ J, presque nulle à l'échelle du graphique ; elle augmente pendant la chute libre et s'annule quand le sauteur s'arrête (fin de la 2e phase). C'est la courbe C.

**Énergie potentielle de pesanteur** $E_{pp} = m\,g\,z$ : à $t = 0$, $E_{pp} = 80 \times 9{,}81 \times 49{,}8 = 3{,}9 \times 10^4$ J, puis elle diminue tant que le sauteur descend et augmente quand il remonte. C'est la courbe B.

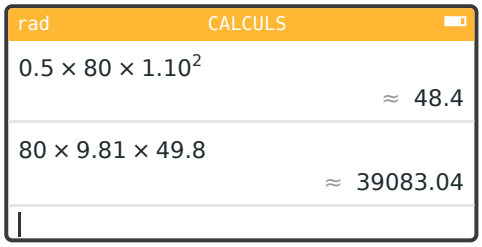
**Énergie mécanique** $E_m = E_c + E_{pp}$ : en chute libre, elle se conserve. La courbe A est quasiment constante, proche de $3{,}9 \times 10^4$ J, pendant la 1re phase.

Courbe A : énergie mécanique ; courbe B : énergie potentielle de pesanteur ; courbe C : énergie cinétique.

**PIÈGE**
Confondre A et B, qui partent du même point. Ce qui les distingue : B diminue nettement dès le début, alors que A reste presque constante.

**COMPRENDRE**
On vérifie sur la figure qu'à chaque date de la 1re phase, l'ordonnée de A est la somme de celles de B et de C.

**À LA CALCULATRICE**




**6.2** Identifier l'(les) information(s) manquante(s) sur le système nécessaire(s) au tracé de la suite de la courbe A pour les deuxième et troisième phases.

Dès la 2e phase, l'élastique est tendu : il exerce une force sur le sauteur et stocke de l'énergie potentielle élastique. L'énergie mécanique du système doit alors inclure ce terme, qui dépend de l'allongement de l'élastique et de sa raideur.

L'allongement se déduit de la vidéo, mais on ne connaît pas les caractéristiques de l'élastique.

Il manque la raideur de l'élastique (ou l'expression de la force qu'il exerce), nécessaire au calcul de l'énergie potentielle élastique.

**COMPRENDRE**
Sans ce terme, la somme $E_c + E_{pp}$ diminue fortement pendant la 2e phase : à $2{,}5$ s elle ne vaut plus que $22\,500$ J. L'écart correspond surtout à l'énergie stockée par l'élastique.

**6.3** L'étirement $\Delta L$ de l'élastique doit rester inférieur ou égal à $4\,L_0$. À l'aide de la figure 1, calculer la distance maximale parcourue par le sauteur. Conclure.

**Données utiles** $m = 80$ kg ; $g = 9{,}81$ m · s$^{-2}$ ; $H = 49{,}8$ m ; $L_0 = 8{,}0$ m

Le sauteur est au plus bas quand $E_{pp}$ est minimale (à $t \approx 2{,}5$ s, où $E_c = 0$). Lecture sur la courbe B : $E_{pp,\min} \approx 22\,500$ J.

Altitude minimale : $z_{\min} = \dfrac{E_{pp,\min}}{m\,g} = \dfrac{22\,500}{80 \times 9{,}81} = 28{,}7$ m.

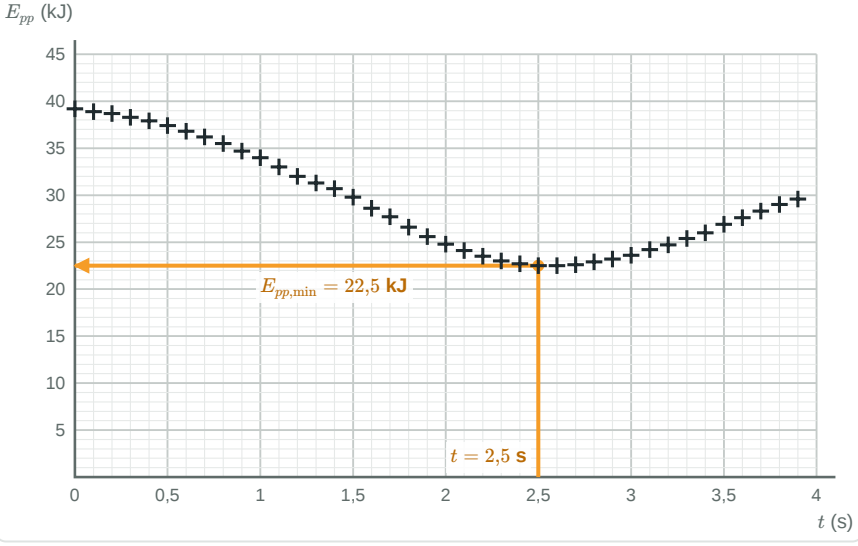
Distance maximale parcourue : $d_{\max} = H - z_{\min} = 49{,}8 - 28{,}7 = 21$ m.

Étirement maximal de l'élastique : $\Delta L = d_{\max} - L_0 = 21 - 8{,}0 = 13$ m, à comparer à $4\,L_0 = 4 \times 8{,}0 = 32$ m.

$d_{\max} \approx 21$ m ; $\Delta L \approx 13$ m $\leqslant 4\,L_0 = 32$ m : la condition de sécurité est respectée.

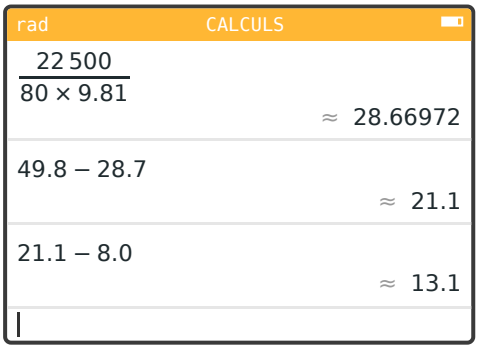
**PIÈGE**
Comparer directement la distance parcourue à $4\,L_0$. L'étirement est l'allongement de l'élastique : il faut retrancher sa longueur au repos $L_0$.

**COMPRENDRE**
Le sauteur s'arrête à près de 29 m du sol : la marge est large. Même en comparant 21 m à 32 m, la conclusion serait identique.




**6.3** · Courbe B de la figure 1 (valeurs relevées), avec la lecture du minimum

**À LA CALCULATRICE**



# Mesures d'épaisseur

Bac 2021 Métropole Juin Sujet 2 · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

**1.1** Sur l'annexe, construire l'image intermédiaire $A_1B_1$ de l'objet $AB$ à travers l'objectif, puis l'image définitive $A_2B_2$ de $A_1B_1$ à travers l'oculaire.

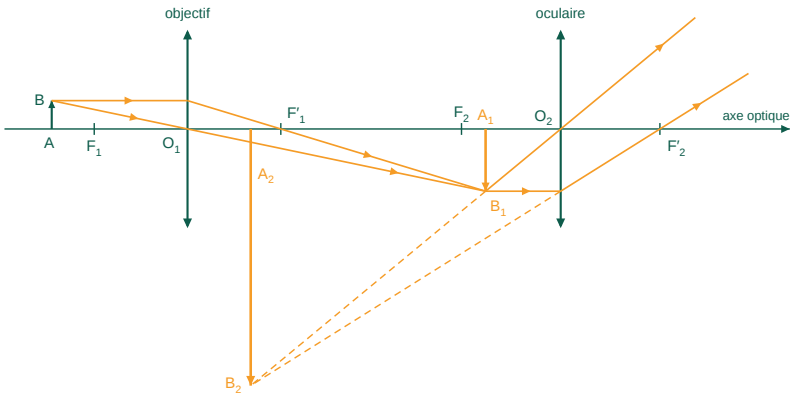
**Objectif.** Deux rayons issus de $B$ : celui qui passe par $O_1$ n'est pas dévié ; celui qui arrive parallèle à l'axe optique ressort en passant par $F_1'$. Ils se coupent en $B_1$ ; $A_1$ est sur l'axe, à la verticale de $B_1$.

**Oculaire.** $A_1B_1$ sert d'objet. Deux rayons issus de $B_1$ : celui qui passe par $O_2$ n'est pas dévié ; celui qui arrive parallèle à l'axe ressort en passant par $F_2'$. Ces rayons s'écartent après l'oculaire : on les prolonge vers l'arrière, en pointillés, jusqu'à leur intersection $B_2$ ; $A_2$ est sur l'axe.

Voir l'annexe complétée : $A_1B_1$ se forme entre $F_2$ et $O_2$, $A_2B_2$ se trouve du côté de l'objectif, sous l'axe.

**PIÈGE**
Les rayons qui sortent de l'oculaire ne se coupent pas à droite. Chercher l'image de ce côté fait perdre la construction : ce sont leurs prolongements, à gauche, qui se coupent.

**MÉTHODE**
Deux rayons suffisent pour chaque lentille : celui passant par le centre optique (non dévié) et celui parallèle à l'axe (il ressort par le foyer image). On flèche les rayons ; les prolongements se tracent en pointillés.




**1.1** · Annexe complétée : en orange, les rayons, l'image intermédiaire $A_1B_1$ et l'image définitive $A_2B_2$ (prolongements en pointillés)

**1.2** Donner les caractéristiques de l'image définitive $A_2B_2$.

- $A_2B_2$ est obtenue à l'intersection des prolongements des rayons, en avant de l'oculaire : elle ne peut pas être recueillie sur un écran.
- Elle est de sens contraire à l'objet $AB$.
- Elle est plus grande que l'objet $AB$.

L'image définitive $A_2B_2$ est **virtuelle**, **renversée** par rapport à $AB$ et **agrandie**.

**COMPRENDRE**
$A_2B_2$ est droite par rapport à $A_1B_1$ (l'oculaire agit comme une loupe), mais $A_1B_1$ est déjà renversée par l'objectif : c'est par rapport à l'objet $AB$ que l'on conclut.

**1.3** Pour une observation sans accommodation, l'image définitive $A_2B_2$ doit se situer à l'infini. Indiquer où doit se former l'image intermédiaire $A_1B_1$.

Une lentille convergente donne une image à l'infini d'un objet placé dans son plan focal objet : les rayons issus d'un point de ce plan ressortent parallèles entre eux.

$A_1B_1$ doit se former dans le plan focal objet de l'oculaire : $A_1$ est confondu avec $F_2$.

**PIÈGE**
Confondre $F_2$ (foyer objet de l'oculaire) et $F_1'$ (foyer image de l'objectif) : l'image $A_1B_1$ d'un objet proche ne se forme pas en $F_1'$.

**1.4** Déterminer la valeur de l'épaisseur $e$ du film plastique sachant que le déplacement $d$ de la vis micrométrique entre les deux mises au point vaut $\frac{e}{n}$. Commenter le résultat.

**Données utiles** $n = 1{,}49$ ; 10 graduations de la vis correspondent à 20 µm ; d'après les fabricants, $e$ est compris entre 50 µm et 120 µm

Lecture de la figure 3 : le repère est en face de la graduation 128 pour le 1er trait et de la graduation 150 pour le 2e trait, soit $150 - 128 = 22$ graduations.

Par proportionnalité : $d = \dfrac{22 \times 20}{10} = 44\ \mu\text{m}$.

Comme $d = \dfrac{e}{n}$ : $\quad e = n \times d = 1{,}49 \times 44 = 66\ \mu\text{m}$

Cette valeur est comprise entre 50 µm et 120 µm : elle est conforme aux épaisseurs annoncées par les fabricants.

$e = 66\ \mu\text{m}$, dans l'intervalle 50 µm – 120 µm.

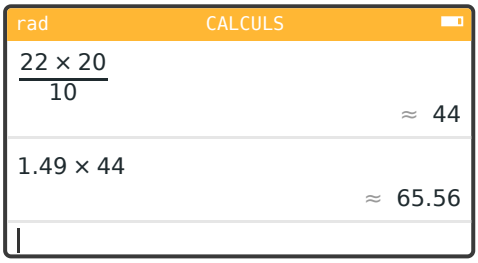
**PIÈGE**

Écrire $e = \dfrac{d}{n}$, ou prendre $d = 44$ µm pour l'épaisseur. Le film, d'indice $n$, fait paraître le second trait plus proche : l'épaisseur réelle est plus grande que $d$.

**COMPRENDRE**

Deux chiffres significatifs, comme $d$. Une graduation vaut 2 µm : une erreur de lecture d'une graduation change $e$ d'environ 3 µm.

**À LA CALCULATRICE**




**2.1** Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension $u_C$ aux bornes du condensateur pour $t \geq 0$.

Pour $t \geq 0$, l'interrupteur est fermé. On note $i$ l'intensité du courant, orientée vers l'armature de charge $+q$, et $u_R$ la tension aux bornes du conducteur ohmique en convention récepteur.

Loi des mailles : $E = u_R + u_C$

Loi d'Ohm : $u_R = R\,i$

Condensateur : $i = \dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$ et $q = C\,u_C$ avec $C$ constante, donc $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$.

En reportant dans la loi des mailles :

$$R\,C\,\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + u_C = E$$

**MÉTHODE**

Circuit RC : 1) loi des mailles ; 2) loi d'Ohm ; 3) $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$ ; 4) on remplace pour ne garder que $u_C$.

**2.2** La solution générale de l'équation différentielle est $u_C(t) = A\,\mathrm{e}^{-t/\tau} + B$. Déterminer l'expression des constantes $A$, $B$ et $\tau$ en fonction de $E$, $R$ et $C$.

On dérive : $\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = -\dfrac{A}{\tau}\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$, puis on reporte dans l'équation différentielle :

$$-\frac{RCA}{\tau}\,\mathrm{e}^{-t/\tau} + A\,\mathrm{e}^{-t/\tau} + B = E \quad \text{soit} \quad A\left(1 - \frac{RC}{\tau}\right)\mathrm{e}^{-t/\tau} + B = E$$

Cette égalité doit être vraie à chaque instant, ce qui impose $1 - \dfrac{RC}{\tau} = 0$ et $B = E$.

Condition initiale : le condensateur est déchargé, $u_C(0) = 0$, soit $A + B = 0$, donc $A = -B$.

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

**PIÈGE**
Oublier le signe : $A = -E$, et non $E$. Vérification rapide : à $t = 0$, $u_C = -E + E = 0$.

**MÉTHODE**
L'équation différentielle fixe $\tau$ et $B$ ; seule la condition initiale donne $A$. On peut aussi trouver $B$ par le régime permanent : quand $t \to \infty$, $u_C \to B$ et le condensateur chargé a pour tension $E$.

**2.3** Déterminer la valeur de la constante $B$ et la valeur du temps caractéristique $\tau$ à l'aide de la figure 6 en expliquant la démarche suivie.

**Données utiles** $B = E$ et $u_C(t) = E\left(1 - \mathrm{e}^{-t/\tau}\right)$ (2.2)

**Constante $B$.** Quand $t$ devient grand, $\mathrm{e}^{-t/\tau}$ tend vers 0 et $u_C$ tend vers $B$. La courbe présente une asymptote horizontale d'ordonnée 6,0 V : $B = E = 6{,}0$ V.

**Temps caractéristique.** À la date $t = \tau$ : $u_C(\tau) = E\left(1 - \mathrm{e}^{-1}\right) = 0{,}63\,E = 0{,}63 \times 6{,}0 = 3{,}8$ V.

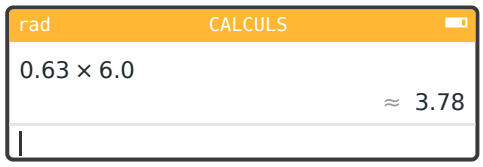
On repère sur la courbe le point d'ordonnée 3,8 V et on lit son abscisse : $\tau = 0{,}6 \times 10^{-4}$ s.

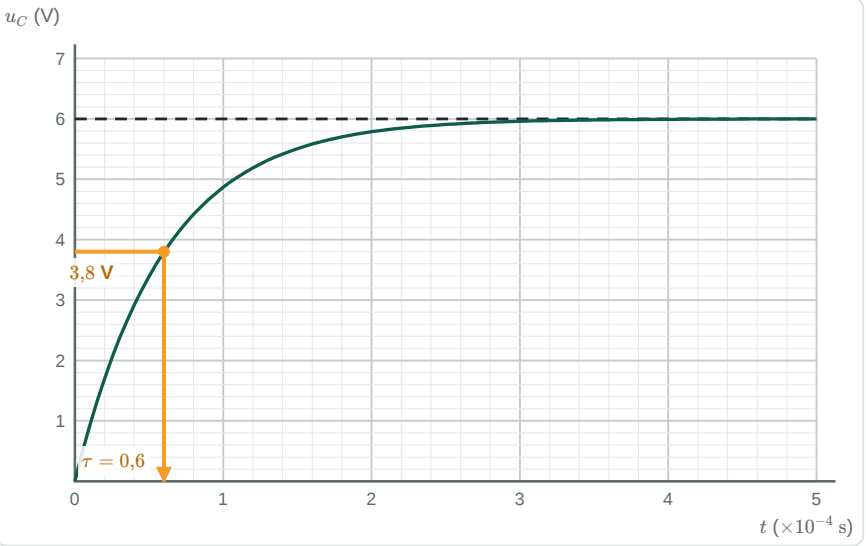
$$\boxed{B = 6{,}0 \text{ V et } \tau = 6 \times 10^{-5} \text{ s}}$$

**PIÈGE**
Lire $\tau$ là où la courbe atteint son palier (vers $3 \times 10^{-4}$ s) : cette date vaut environ $5\tau$. Attention aussi à l'échelle : une petite division vaut $0{,}2 \times 10^{-4}$ s.

**MÉTHODE**
Autre lecture possible : la tangente à l'origine coupe l'asymptote $u_C = E$ à la date $t = \tau$. La méthode des 63 % est plus précise sur une courbe expérimentale.

**À LA CALCULATRICE**




**2.3** · Figure 6 du sujet, avec les deux lectures : asymptote et point d'ordonnée $0{,}63\,E$

**2.4** Déterminer la valeur de la capacité $C$ du condensateur réalisé.

**Données utiles** $\tau = 6 \times 10^{-5}$ s (2.3) ; $R = 1{,}00 \times 10^{4}\ \Omega$

$\tau = RC$ donc $C = \dfrac{\tau}{R}$

$$C = \frac{6 \times 10^{-5}}{1{,}00 \times 10^{4}} = 6 \times 10^{-9}\ \text{F}$$

$C = 6 \times 10^{-9}\ \text{F} = 6\ \text{nF}$

**COMPRENDRE**
Un seul chiffre significatif : la lecture graphique de $\tau$ limite la précision, même si $R$ est connue avec trois chiffres.

**À LA CALCULATRICE**

rad CALCULS

$\dfrac{6 \times 10^{-5}}{1.00 \times 10^{4}} \approx 6 \times 10^{-9}$

**2.5** En déduire la valeur de l'épaisseur du film plastique utilisé pour fabriquer la pochette. Commenter le résultat.

**Données utiles** $C = 1{,}95 \times 10^{-11} \times \dfrac{S}{2e}$ ; feuilles de 20 cm × 20 cm ; $C = 6 \times 10^{-9}$ F (2.4) ; $e = 66\ \mu\text{m}$ au microscope (1.4)

Surface d'une armature : $S = 0{,}20 \times 0{,}20 = 4{,}0 \times 10^{-2}\ \text{m}^2$.

$C = 1{,}95 \times 10^{-11} \times \dfrac{S}{2e}$ donc $e = \dfrac{1{,}95 \times 10^{-11} \times S}{2\,C}$

$$e = \frac{1{,}95 \times 10^{-11} \times 4{,}0 \times 10^{-2}}{2 \times 6 \times 10^{-9}} = 6{,}5 \times 10^{-5}\ \text{m}$$

Les deux méthodes donnent des valeurs très proches (65 µm et 66 µm), toutes deux dans l'intervalle 50 µm – 120 µm annoncé : la mesure capacitive confirme la mesure optique.

$e = 6{,}5 \times 10^{-5}\ \text{m} = 65\ \mu\text{m}$, en accord avec la mesure au microscope (66 µm).

**PIÈGE**
Laisser la surface en $\text{cm}^2$ ($400\ \text{cm}^2 = 4{,}0 \times 10^{-2}\ \text{m}^2$), ou oublier le facteur 2 : le condensateur contient deux films, l'épaisseur entre les armatures est $2e$.

**COMPRENDRE**
Avec $\tau$ lu à un chiffre significatif, $e$ n'est connue qu'à environ 10 % près. L'accord à 1 µm est donc en partie fortuit ; ce qui compte, c'est que les deux résultats soient compatibles.

**À LA CALCULATRICE**

rad CALCULS

$\dfrac{1.95 \times 10^{-11} \times 0.20^{2}}{2 \times 6 \times 10^{-9}} \approx 6.5 \times 10^{-5}$

# Étude d'un film de savon

Bac 2021 Métropole Juin Sujet 2 · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

**1.1** En utilisant la figure 3, expliquer comment distinguer les zones d'interférences constructives des zones d'interférences destructives.

Sur la figure 3, le film présente une alternance de bandes horizontales claires et sombres.

Dans les bandes claires, l'intensité lumineuse est maximale : les rayons 2 et 3 s'y renforcent. Dans les bandes sombres, l'intensité est minimale : les rayons 2 et 3 s'y compensent.

Bandes claires : interférences constructives. Bandes sombres : interférences destructives.

**COMPRENDRE**
Les franges sont horizontales car l'épaisseur du film ne dépend que de la hauteur : chaque frange relie des points de même épaisseur.

**1.2** Donner qualitativement la condition d'interférences constructives et celle d'interférences destructives.

Les interférences sont constructives en un point si les deux ondes qui s'y superposent sont en phase : leurs maxima coïncident.

Elles sont destructives si les deux ondes sont en opposition de phase : les maxima de l'une coïncident avec les minima de l'autre.

En phase : interférences constructives. En opposition de phase : interférences destructives.

**MÉTHODE**
Traduction quantitative, utile pour la suite : $\delta = k\,\lambda$ pour des interférences constructives, $\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$ pour des interférences destructives, avec $k$ entier.

**1.3** Déterminer à l'aide d'un calcul si les interférences au point M sont destructives ou constructives.

**Données utiles** $\delta(\mathrm{M}) = 2\,n\,e - \frac{\lambda}{2}$ ; $n = 1{,}34$ ; $e = 900$ nm ; $\lambda = 600$ nm

Différence de chemin optique au point M :

$$\delta(\mathrm{M}) = 2 \times 1{,}34 \times 900 - \frac{600}{2} = 2{,}11 \times 10^3 \text{ nm}$$

On la compare à la longueur d'onde :

$$\frac{\delta(\mathrm{M})}{\lambda} = \frac{2\,112}{600} = 3{,}52 \approx 3{,}5$$

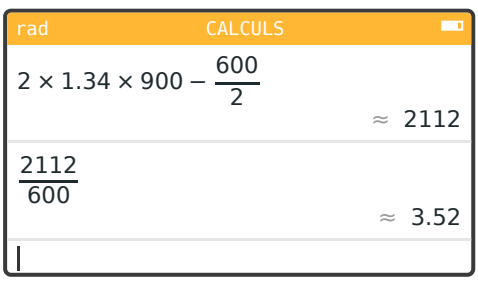
Donc $\delta(\mathrm{M}) \approx \left(3 + \frac{1}{2}\right)\lambda$ : c'est un nombre demi-entier de longueurs d'onde, les rayons 2 et 3 sont en opposition de phase.

$\frac{\delta(\mathrm{M})}{\lambda} \approx 3{,}5$ : les interférences au point M sont destructives.

**PIÈGE**
S'arrêter à la valeur de $\delta$ sans la diviser par $\lambda$ : seul le rapport $\frac{\delta}{\lambda}$, entier ou demi-entier, permet de conclure.

**COMPRENDRE**
Trois chiffres significatifs, comme $n$, $e$ et $\lambda$. Les deux longueurs restent en nanomètres : inutile de convertir pour un rapport.

**À LA CALCULATRICE**



**2.1** Montrer que les épaisseurs correspondant à des interférences constructives sont données par $e_k = \left(\frac{2k+1}{4}\right) \times \frac{\lambda}{n}$.

**Données utiles** $\delta = 2\,n\,e - \frac{\lambda}{2}$

Les interférences sont constructives si $\delta = k\,\lambda$, avec $k$ entier.

$$2\,n\,e_k - \frac{\lambda}{2} = k\,\lambda$$

$$2\,n\,e_k = k\,\lambda + \frac{\lambda}{2} = \frac{(2k+1)\,\lambda}{2}$$

On divise par $2\,n$ :

$$e_k = \frac{(2k+1)\,\lambda}{4\,n}$$

Une épaisseur est positive, ce qui impose $2k+1 > 0$, donc $k \geqslant 0$.

$e_k = \left(\frac{2k+1}{4}\right) \times \frac{\lambda}{n}$ avec $k$ entier, $k \geqslant 0$ : relation attendue.

**MÉTHODE**
Pour un « montrer que » : écrire la condition physique, y remplacer l'expression admise de $\delta$, puis isoler la grandeur demandée ligne après ligne, sans sauter d'étape.

**2.2** Calculer l'épaisseur minimale pour que des interférences constructives en lumière bleue apparaissent.

**Données utiles** $\lambda_{\text{bleu}} = 458$ nm ; $n = 1{,}34$ ; relation de la question 2.1

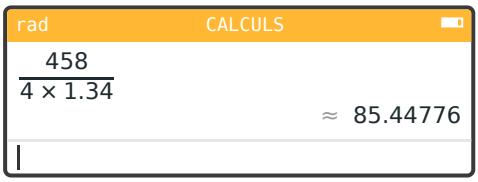
$e_k$ augmente avec $k$ : l'épaisseur minimale correspond à $k = 0$.

$$e_0 = \frac{\lambda_{\text{bleu}}}{4\,n} = \frac{458}{4 \times 1{,}34}$$

$e_0 = 85{,}4$ nm

**PIÈGE**
Taper 458÷4×1.34 sans parenthèses : la calculatrice multiplie alors par $n$ et affiche 153 nm.

**À LA CALCULATRICE**




**2.3** La zone sans couleur, en haut du support, correspond à une épaisseur très faible (interférences destructives). Au cours du temps, elle s'étend vers le bas. Proposer une explication.

Le film est vertical : sous l'effet de son poids, l'eau savonneuse s'écoule lentement vers le bas du cadre. Le film s'amincit donc au cours du temps, en commençant par le haut.

L'épaisseur devient très faible sur une hauteur de plus en plus grande, et les interférences y sont destructives pour toutes les couleurs.

La gravité draine le liquide vers le bas : la partie très mince du film, sans couleur, gagne du terrain vers le bas.

**COMPRENDRE**
Si $e$ est très petite devant $\lambda$, alors $\delta \approx -\frac{\lambda}{2}$ quelle que soit $\lambda$ : opposition de phase pour toutes les couleurs, donc aucune lumière réfléchie.

**2.4** Au point A de la figure 5, les interférences sont constructives à la fois en lumière bleue et en lumière rouge-orangée. Déterminer l'épaisseur du film de savon au point A.

**Données utiles** $\lambda_{\text{bleu}} = 458$ nm ; $\lambda_{\text{rouge}} = 600$ nm ; $n = 1{,}34$ ; relation de la question 2.1

Sur la figure 5, on compte les franges brillantes à partir de celles repérées $k = 1, 2, 3$, jusqu'au point A :

- en lumière bleue, A est sur la frange $k = 8$ ;
- en lumière rouge-orangée, A est sur la frange $k = 6$.

En lumière bleue :

$$e_8 = \frac{(2 \times 8 + 1) \times 458}{4 \times 1{,}34} = 1{,}45 \times 10^3 \text{ nm}$$

En lumière rouge-orangée :

$$e_6 = \frac{(2 \times 6 + 1) \times 600}{4 \times 1{,}34} = 1{,}46 \times 10^3 \text{ nm}$$

Les deux valeurs ne diffèrent que de $0{,}2\ \%$ : elles décrivent bien la même épaisseur.

$e_{\text{A}} \approx 1{,}45 \times 10^3$ nm, soit environ $1{,}5\ \mu$m

**PIÈGE**

Se tromper d'une frange dans le comptage : avec $k = 7$ en bleu et $k = 6$ en rouge, on trouve 1 282 nm et 1 455 nm, deux valeurs incompatibles. L'accord des deux calculs valide le comptage.

**MÉTHODE**

Vérification sans la figure : il faut $(2k + 1) \times 458 = (2k' + 1) \times 600$, soit un rapport de nombres impairs proche de $1{,}31$. Or $\frac{17}{13} \approx 1{,}31$ : $k = 8$ et $k' = 6$.

**À LA CALCULATRICE**

