Corrigé complet — Bac 2021 Sujet zéro Terminale spécialité

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

Ex 1	**Dépolluer une eau avec des carapaces de crevettes** Polymères · Synthèse organique et rendement · Dosage par étalonnage · Taux d'avancement final · Vitesse volumique de consommation · Loi de vitesse d'ordre 1	10 pts	1 h 45	14 questions	p. 2
Ex 2	**Un microaccéléromètre capacitif** Condensateur plan · Capacité et géométrie · Ordre de grandeur · Circuit RC série · Équation différentielle de la charge · Temps caractéristique	5 pts	55 min	8 questions	p. 8
Ex 3	**Observer les cratères lunaires Messier** Lunette astronomique afocale · Lentilles minces convergentes · Image intermédiaire · Grossissement · Pouvoir séparateur de l'œil	5 pts	55 min	8 questions	p. 12
Ex 4	**Accélérateur linéaire Linac2 du CERN** Champ électrique uniforme · Force électrique et poids · Deuxième loi de Newton · Théorème de l'énergie cinétique · Accélérateur linéaire de particules	5 pts	55 min	9 questions	p. 15

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.

Dépolluer une eau avec des carapaces de crevettes

Bac 2021 Sujet zéro Terminale spécialité · Exercice 1 **10 points** **Durée conseillée 1 h 45**

1.1 Indiquer si la chitine est un polymère naturel ou artificiel, en justifiant. Même question pour le chitosane.

La chitine est extraite directement des carapaces de crustacés : elle est fabriquée par des êtres vivants, ce qui en fait un polymère **naturel**.

Le chitosane est obtenu en transformant chimiquement la chitine (traitement à la soude) : c'est un polymère **artificiel**.

Chitine : polymère naturel ; chitosane : polymère artificiel.

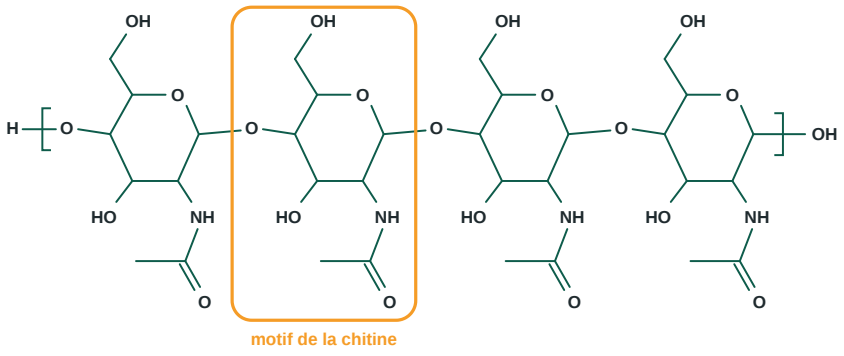
COMPRENDRE
Trois catégories : naturel (produit par le vivant), artificiel (polymère naturel modifié par une transformation chimique), synthétique (fabriqué à partir de petites molécules, souvent issues du pétrole).

1.2 Entourer, sur la figure 1 de l'annexe, le motif de la chitine.

Le motif est le groupe d'atomes qui se répète le long de la chaîne : ici il figure quatre fois entre les crochets. Il comprend l'atome d'oxygène de liaison, le cycle et tous ses groupes.

Motif entouré sur l'annexe (un seul des quatre suffit).

PIÈGE
Oublier l'atome O qui relie deux cycles, ou le prendre deux fois. Le motif contient un seul O de liaison : répété quatre fois, il doit redonner exactement le contenu des crochets.



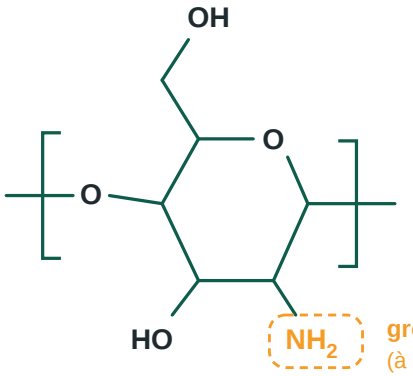
1.2 · Annexe, figure 1 : le motif de la chitine est entouré en orange

2.1 Représenter la formule topologique du motif du chitosane.

D'après la banque de réactions, l'ion hydroxyde transforme à chaud un amide en ion carboxylate et en amine. Dans le motif de la chitine, le groupe amide $-NH-CO-CH_3$ est donc coupé : l'ion éthanoate CH_3COO^- part et il reste $-NH_2$ sur le cycle. Le reste du motif est inchangé.

Motif du chitosane : celui de la chitine, avec $-NH_2$ à la place de $-NH-CO-CH_3$.

MÉTHODE
Repérer dans la molécule le groupe de la famille citée par la banque de réactions (ici l'amide), puis recopier la molécule en ne modifiant que ce groupe, comme dans l'exemple fourni.



groupe formé
(à la place de NH–CO–CH₃)

2.1 · Motif du chitosane : seul le groupe porté par l'azote a changé

2.2 Nommer la famille fonctionnelle correspondant au groupe caractéristique formé dans le chitosane.

Le groupe formé est le groupe amino $-\mathrm{NH_2}$.

Le chitosane appartient à la famille des **amines**.

PIÈGE
Confondre amine et amide : dans un amide, l'azote est lié à un carbone portant une double liaison $\mathrm{C{=}O}$. Ce n'est plus le cas ici.

2.3 Expliquer l'intérêt d'un montage à reflux, puis nommer les éléments du montage numérotés de 1 à 6.

Chauffer accélère la transformation (la température est un facteur cinétique). Le reflux évite les pertes de matière : les vapeurs se liquéfient dans le réfrigérant et retombent dans le ballon.

- 1 : sortie d'eau
- 2 : réfrigérant à boules
- 3 : arrivée d'eau
- 4 : ballon
- 5 : chauffe-ballon
- 6 : support élévateur

Reflux : chauffer pour aller plus vite, sans perdre de matière.

COMPRENDRE
L'eau entre par le bas du réfrigérant et sort par le haut : il reste ainsi toujours rempli. Le support élévateur permet de retirer rapidement le chauffage en cas de problème.

2.4 Définir et calculer le rendement de la synthèse, les ions hydroxyde étant en excès.

Données utiles $m_{\text{chitine}} = 8{,}0\ \text{g}$; $m_{\text{chitosane}} = 4{,}0\ \text{g}$; $M_{\text{motif chitine}} = 203\ \text{g·mol}^{-1}$; $M_{\text{motif chitosane}} = 159\ \text{g·mol}^{-1}$

Le rendement est le quotient de la quantité de produit réellement obtenue par la quantité maximale attendue si la transformation était totale : $\eta = \dfrac{n_{\text{exp}}}{n_{\text{max}}}$.

$\mathrm{HO^-}$ est en excès : la chitine est le réactif limitant. Chaque motif de chitine donne un motif de chitosane, donc $n_{\text{max}} = \dfrac{m_{\text{chitine}}}{M_{\text{motif chitine}}}$.

$$\eta = \frac{m_{\text{chitosane}}/M_{\text{motif chitosane}}}{m_{\text{chitine}}/M_{\text{motif chitine}}} = \frac{4{,}0/159}{8{,}0/203} = 0{,}64$$

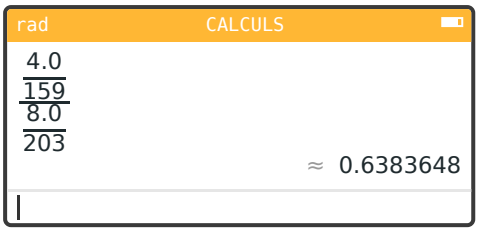
Remarque : la formule trouvée en 2.1 ($\mathrm{C_6H_{11}NO_4}$) correspond à $161\ \text{g·mol}^{-1}$ et non 159 ; le calcul est fait avec la valeur de l'énoncé.

$\eta = 0{,}64$, soit 64 %.

PIÈGE
Écrire $\eta = 4{,}0/8{,}0 = 50$ %. Les deux motifs n'ont pas la même masse molaire : on compare des quantités de matière, ou bien la masse obtenue à la masse maximale (6,3 g).

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme les masses 8,0 g et 4,0 g. L'écart sur la masse molaire du chitosane change peu le résultat : avec $161\ \text{g·mol}^{-1}$ on trouve 63 %.

À LA CALCULATRICE



3.1 Indiquer la couleur d'une solution aqueuse de sulfate de cuivre(II). Justifier.

Le spectre montre que la solution absorbe surtout entre 700 et 830 nm, avec un maximum vers 800 nm : elle absorbe le rouge.

La couleur perçue est la couleur complémentaire de la couleur absorbée, diamétralement opposée sur le cercle chromatique. En face du rouge se trouve le cyan.

La solution est de couleur cyan (bleu clair).

PIÈGE
Répondre « rouge » : la longueur d'onde du maximum d'absorption donne la couleur absorbée, pas la couleur de la solution.

3.2 Décrire un protocole de dilution permettant d'obtenir 10,0 mL de la solution F1 à partir de la solution S.

Données utiles $C_S = 0{,}50\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $C_{F1} = 0{,}10\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $V_{F1} = 10{,}0\ \text{mL}$

Lors d'une dilution, la quantité de soluté se conserve : $C_S\,V_S = C_{F1}\,V_{F1}$.

$$V_S = \frac{C_{F1}\,V_{F1}}{C_S} = \frac{0{,}10 \times 10{,}0}{0{,}50} = 2{,}0\ \text{mL}$$

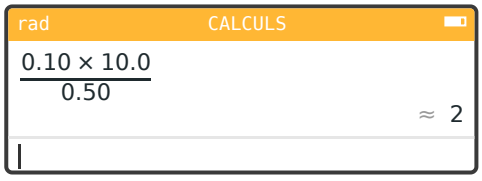
Protocole :

- verser un peu de solution S dans un bécher ;
- prélever 2,0 mL de S avec une pipette jaugée de 2,0 mL munie d'une propipette ;
- les introduire dans une fiole jaugée de 10,0 mL ;
- ajouter de l'eau distillée aux trois quarts, boucher, agiter ;
- compléter à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge, boucher, homogénéiser.

Prélever $V_S = 2{,}0$ mL de S (pipette jaugée) et compléter à 10,0 mL (fiole jaugée).

MÉTHODE
Facteur de dilution $F = C_S/C_{F1} = 5$: le volume de la fiole vaut cinq fois celui de la pipette. Toujours nommer la verrerie jaugée, avec son volume.

À LA CALCULATRICE



3.3 Montrer que le taux d'avancement final de la complexation vaut 0,73. Conclure sur l'efficacité de la dépollution et proposer, si besoin, une amélioration.

Données utiles $C_0 = 0{,}10\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $V_0 = 40$ mL ; chitosane en excès ; $A_{\text{filtrat}} = 0{,}30$; tableau des solutions étalons

Concentration finale. Les quotients A/C des six solutions étalons sont presque égaux (entre 11,0 et 11,6) : A est proportionnelle à C (loi de Beer-Lambert), $A = k\,C$ avec en moyenne $k = 11{,}3\ \text{L}\cdot\text{mol}^{-1}$.

$$C_f = \frac{A_{\text{filtrat}}}{k} = \frac{0{,}30}{11{,}3} = 2{,}7\times10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

Taux d'avancement. Cu^{2+} est le réactif limitant : $x_{\max} = C_0\,V_0$. À l'état final il reste $C_f\,V_0 = C_0\,V_0 - x_f$, donc $x_f = (C_0 - C_f)\,V_0$.

$$\tau = \frac{x_f}{x_{\max}} = \frac{C_0 - C_f}{C_0} = \frac{0{,}10 - 0{,}027}{0{,}10} = 0{,}73$$

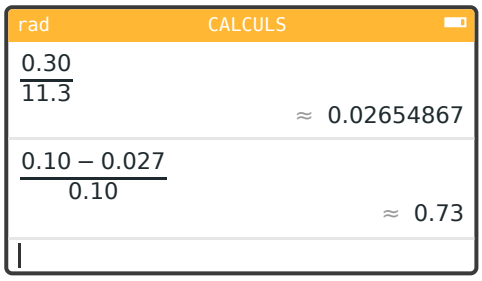
Conclusion. 73 % des ions cuivre(II) ont été retirés de l'eau, mais il en reste 27 % : la dépollution est réelle mais incomplète. Pour l'améliorer, on peut agir plus longtemps, utiliser un chitosane plus finement divisé, ou traiter de nouveau le filtrat avec du chitosane neuf.

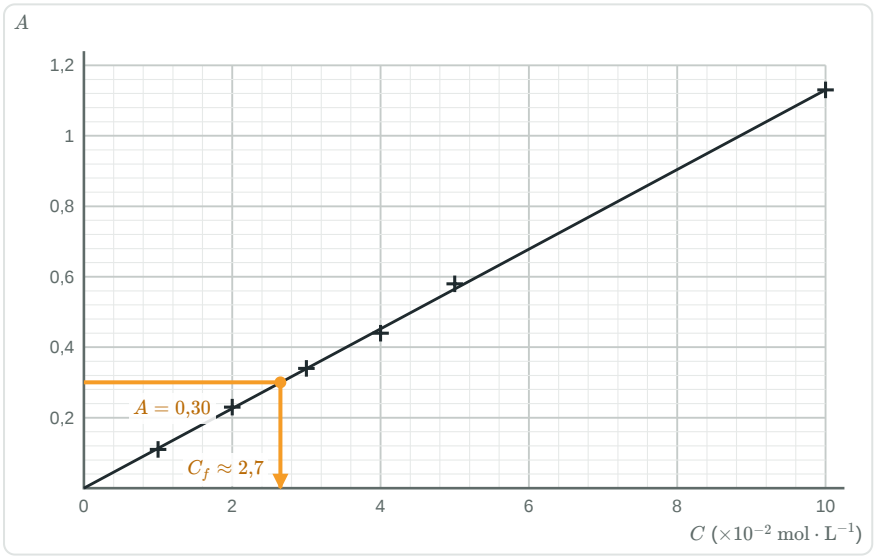
$\tau = 0{,}73$: valeur attendue retrouvée ; dépollution efficace mais partielle.

COMPRENDRE
Le volume V_0 se simplifie : τ ne dépend que des concentrations. Un taux inférieur à 1 signifie que la transformation n'est pas totale, bien que le chitosane soit en excès.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer le plan (trouver C_f par l'étalonnage, puis x_f, puis τ). Tracer la droite d'étalonnage et y lire C_f est une autre démarche tout aussi valable.

À LA CALCULATRICE





3.3 · Droite d'étalonnage et lecture pour le filtrat

4.1 Définir la vitesse volumique de consommation des ions $Cu^{2+}(aq)$.

C'est l'opposé de la dérivée par rapport au temps de la concentration en ions Cu^{2+} :

$$v = -\frac{\text{d}[Cu^{2+}]}{\text{d}t} = -\frac{\text{d}C}{\text{d}t}$$

PIÈGE
Oublier le signe « − » : la concentration d'un réactif diminue, sa dérivée est négative, alors qu'une vitesse est positive.

4.2 Estimer, par une construction graphique sur la figure 2 de l'annexe, la vitesse volumique de consommation des ions Cu^{2+} (aq) à la date $t = 10$ min.

La vitesse à $t = 10$ min est l'opposé du coefficient directeur de la tangente à la courbe en ce point. On trace cette tangente et on y choisit deux points éloignés : A (4 min ; $12{,}8 \times 10^{-3}$ mol · L^{-1}) et B (16 min ; $5{,}6 \times 10^{-3}$ mol · L^{-1}).

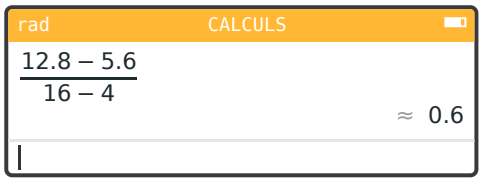
$$v = -\frac{C_B - C_A}{t_B - t_A} = -\frac{(5{,}6 - 12{,}8) \times 10^{-3}}{16 - 4}$$

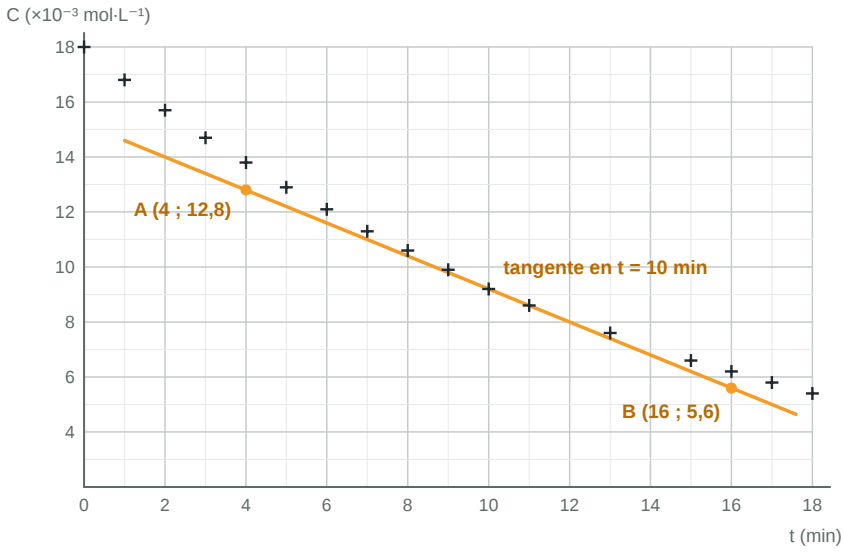
$$v(10\text{ min}) \approx 6{,}0 \times 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

PIÈGE
Prendre les points A et B sur la courbe au lieu de la tangente, ou oublier le facteur 10^{-3} de l'axe des ordonnées.

COMPRENDRE
Le tracé d'une tangente est approximatif : toute valeur comprise entre 5 et 7 $\times 10^{-4}$ mol · L^{-1} · min^{-1} est acceptable, avec les traits de construction visibles.

À LA CALCULATRICE





4.2 · Annexe, figure 2 : tangente à la courbe à la date $t = 10$ min

4.3 Décrire l'évolution de la vitesse volumique de consommation des ions Cu^{2+}(aq) au cours du temps. Proposer, en justifiant, un facteur cinétique à l'origine de cette évolution.

La courbe $C(t)$ est de moins en moins pentue : la tangente se rapproche de l'horizontale, son coefficient directeur diminue en valeur absolue. La vitesse de consommation **diminue** donc au cours du temps.

Le facteur cinétique responsable est la concentration du réactif : les ions Cu^{2+} sont consommés, leur concentration baisse, et la transformation ralentit.

La vitesse diminue au cours du temps car la concentration en Cu^{2+} diminue.

PIÈGE
Citer la température : rien n'indique qu'elle varie pendant l'expérience. Le facteur cinétique doit être une grandeur qui change réellement au cours du temps.

4.4 Expliquer, à l'aide de l'extrait de programme, pourquoi les vitesses volumiques calculées par ce programme sont des valeurs approchées.

La ligne 19, `v.append(-(C[i+1]-C[i])/(t[i+1]-t[i]))`, calcule $-\dfrac{C_{i+1}-C_i}{t_{i+1}-t_i}$: c'est le taux de variation de C entre deux mesures successives, séparées de 1 min (parfois 2 min).

Or la vitesse est une dérivée, c'est-à-dire la limite de ce taux quand l'intervalle de temps tend vers zéro. Le programme calcule donc une vitesse moyenne sur chaque intervalle, pas la vitesse à la date t_i.

Le programme remplace la dérivée par un taux de variation sur une durée non négligeable : valeur approchée.

COMPRENDRE
Graphiquement, le programme utilise la pente de la corde entre deux points voisins au lieu de celle de la tangente. Plus les mesures sont rapprochées, meilleure est l'approximation.

4.5 Indiquer, en justifiant, si la complexation des ions Cu^{2+}(aq) peut être modélisée par une loi d'ordre 1.

Une transformation suit une loi d'ordre 1 si la vitesse de consommation du réactif est proportionnelle à sa concentration : $v = k\,C$.

La figure 5 montre des points alignés, modélisés par $v = 0{,}065\,C - 0{,}005$. L'ordonnée à l'origine ($0{,}005\ \mathrm{mmol \cdot L^{-1} \cdot min^{-1}}$) est négligeable devant les vitesses mesurées (de 0,4 à 1,2) : la droite passe pratiquement par l'origine, donc $v \approx 0{,}065\,C$.

Oui : v est proportionnelle à C, loi d'ordre 1 avec $k \approx 0{,}065\ \mathrm{min^{-1}}$.

PIÈGE
Se contenter de « les points sont alignés ». Une droite ne suffit pas : l'ordre 1 exige la proportionnalité, donc une droite passant par l'origine.

Un microaccéléromètre capacitif

Bac 2021 Sujet zéro Terminale spécialité · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

1.1.1 À l'aide des images prises au microscope électronique, évaluer l'ordre de grandeur de la distance entre deux tiges successives du peigne fixé au support.

Données utiles figure 1, image de droite : barre d'échelle de $100\ \mu\text{m}$

Sur l'image agrandie de la figure 1, on reporte l'écart entre deux tiges fixes voisines le long de la barre d'échelle : la barre de $100\ \mu\text{m}$ couvre environ 7 intervalles.

$$d \approx \frac{100\ \mu\text{m}}{7} \approx 14\ \mu\text{m}$$

$d \approx 14\ \mu\text{m}$, soit un ordre de grandeur de $10\ \mu\text{m} = 10^{-5}\ \text{m}$.

PIÈGE
Utiliser la barre d'échelle de l'image de gauche ($429\ \mu\text{m}$) pour une longueur mesurée sur l'image de droite : chaque image a sa propre échelle.

MÉTHODE
Mesurer à la règle la barre d'échelle et plusieurs intervalles d'un coup, puis faire un produit en croix. Mesurer plusieurs intervalles réduit l'erreur de lecture.

1.1.2 En déduire une estimation de l'ordre de grandeur de la capacité C_0 d'un condensateur élémentaire au repos (condensateur plan idéal, air entre les armatures). Comparer aux ordres de grandeur des capacités usuelles.

Données utiles $\varepsilon_{air} = 8{,}9 \times 10^{-12}\ \text{F}\cdot\text{m}^{-1}$; $S = 65\ \mu\text{m}^2$; $d \approx 10^{-5}\ \text{m}$ (1.1.1) ; $C = \varepsilon\dfrac{S}{d}$

Conversion de la surface : $S = 65\ \mu\text{m}^2 = 65 \times (10^{-6})^2\ \text{m}^2 = 65 \times 10^{-12}\ \text{m}^2$.

$$C_0 = \varepsilon_{air}\frac{S}{d} = 8{,}9 \times 10^{-12} \times \frac{65 \times 10^{-12}}{10^{-5}} \approx 6 \times 10^{-17}\ \text{F}$$

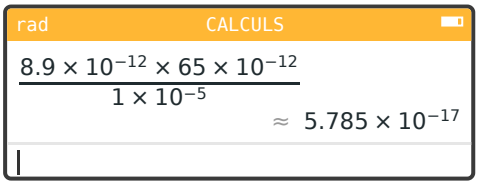
Les condensateurs usuels (ceux du laboratoire) ont des capacités de l'ordre du nanofarad au microfarad (10^{-9} à 10^{-6} F).

$C_0 \approx 6 \times 10^{-17}\ \text{F}$, soit un ordre de grandeur de $10^{-16}\ \text{F}$: une capacité extrêmement faible, environ 10^7 fois plus petite qu'un nanofarad.

PIÈGE
Convertir μm^2 comme des μm : $1\ \mu\text{m}^2 = 10^{-12}\ \text{m}^2$, et non $10^{-6}\ \text{m}^2$. L'erreur fausse le résultat d'un facteur un million.

COMPRENDRE
On demande un ordre de grandeur : une puissance de dix suffit. Prendre $d = 14\ \mu\text{m}$ donnerait $4 \times 10^{-17}\ \text{F}$: le résultat reste de quelques $10^{-17}\ \text{F}$, la comparaison ne change pas.

À LA CALCULATRICE



1.1.3 Dans la configuration du schéma (b) de la figure 2, comparer les valeurs des capacités C_1 et C_2. Justifier.

Sur le schéma (b), la tige mobile s'est rapprochée d'une tige fixe et éloignée de l'autre : l'écart entre les armatures du condensateur 1 est plus grand que celui du condensateur 2, soit $d_1 > d_2$.

Les deux condensateurs ont la même surface S en regard et le même milieu (l'air). Comme $C = \varepsilon\dfrac{S}{d}$, la capacité est inversement proportionnelle à l'écart d.

$d_1 > d_2$ donc $C_1 < C_2$.

COMPRENDRE
C'est le principe du capteur : au repos $C_1 = C_2 = C_0$; une accélération déplace la masse mobile, l'une des capacités augmente quand l'autre diminue, et cet écart renseigne sur l'accélération.

1.2 Comparer la valeur de l'accélération du drone à celle de l'accélération moyenne d'une moto qui passe d'une vitesse nulle à $100\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ en 3 s. Commenter.

Données utiles $U_S = U_0 + B\,a_x$; $U_0 = 1{,}50\ \text{V}$; $B = 0{,}0306\ \text{V}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^2$; $U_S = 2{,}02\ \text{V}$

Drone : de $U_S = U_0 + B\,a_x$ on tire

$$a_x = \frac{U_S - U_0}{B} = \frac{2{,}02 - 1{,}50}{0{,}0306} = 17{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

Moto : $\Delta v = 100\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1} = \frac{100}{3{,}6}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} = 27{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, donc

$$a_{moto} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{27{,}8}{3} \approx 9\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

L'accélération du drone est presque deux fois celle de la moto, dont le démarrage est pourtant très vif. C'est une valeur élevée, à la portée d'un drone léger et puissant pendant une courte durée.

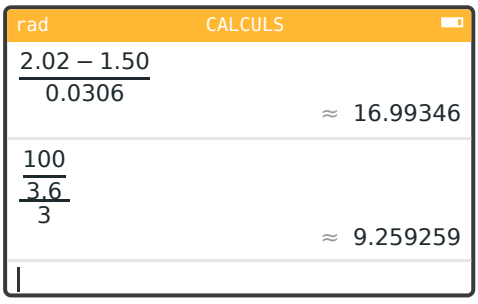
$a_x = 17{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ pour le drone, $a_{moto} \approx 9\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$: $a_x \approx 2\,a_{moto}$.

PIÈGE
Garder la vitesse en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$: on trouverait 33 au lieu de $9\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$. Il faut diviser par 3,6 avant de diviser par la durée.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : $U_S - U_0 = 0{,}52\ \text{V}$ et B en a trois, on écrit 17,0. La durée « 3 s » n'en a qu'un : pour la moto, $9\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ suffit.

MÉTHODE
« Comparer » demande deux valeurs dans la même unité, puis un rapport chiffré. « Commenter » demande une phrase sur la vraisemblance ou la signification du résultat.

À LA CALCULATRICE



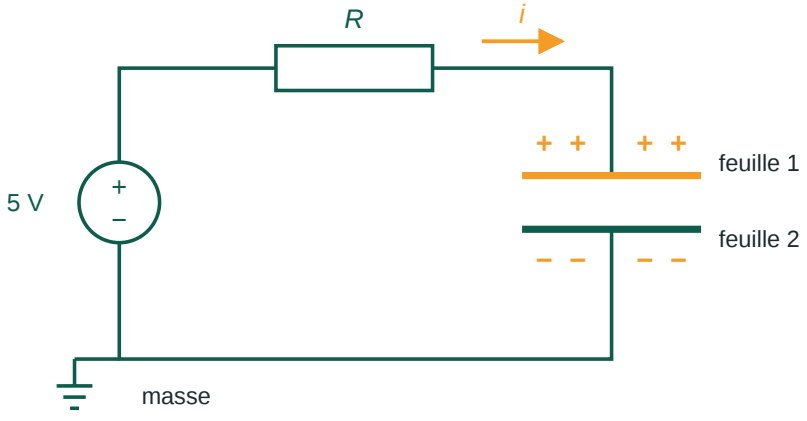
2.1 Indiquer le signe des charges qui s'accumulent sur chaque feuille d'aluminium.

La feuille 1 est reliée, à travers le conducteur ohmique, à la borne positive du générateur ($+5$ V) ; la feuille 2 est reliée à la masse, c'est-à-dire à la borne négative.

Pendant la charge, le courant arrive sur la feuille 1 : des électrons quittent cette feuille et d'autres s'accumulent sur la feuille 2. La tension U_C, fléchée vers la feuille 1, est d'ailleurs positive.

Feuille d'aluminium 1 : charges positives ($+q$). Feuille d'aluminium 2 : charges négatives ($-q$).

COMPRENDRE
Aucune charge ne traverse le film de polyéthylène, qui est isolant. Les électrons circulent dans les fils, d'une feuille à l'autre en passant par le générateur : les deux feuilles portent des charges opposées.



2.1 · Circuit de charge : sens du courant et signe des charges sur les feuilles

2.2 Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension U_C aux bornes du condensateur dans le circuit RC idéal, de résistance R et de capacité C.

Loi des mailles, interrupteur fermé : $E = U_R + U_C$.

Loi d'Ohm : $U_R = R\,i$.

Pour le condensateur, avec q la charge de l'armature par laquelle arrive le courant : $i = \dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$ et $q = C\,U_C$. Comme C est constante, $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}U_C}{\mathrm{d}t}$.

On remplace dans la loi des mailles : $E = R\,C\,\dfrac{\mathrm{d}U_C}{\mathrm{d}t} + U_C$, puis on divise par RC.

$$\frac{\mathrm{d}U_C}{\mathrm{d}t} + \frac{U_C}{RC} = \frac{E}{RC}$$

PIÈGE
Une erreur de signe en isolant la dérivée : $\dfrac{\mathrm{d}U_C}{\mathrm{d}t} = -\dfrac{U_C}{RC} + \dfrac{E}{RC}$. Le terme en U_C porte le signe moins, sinon la tension divergerait au lieu de tendre vers E.

MÉTHODE
Toujours les mêmes quatre étapes : loi des mailles, loi d'Ohm, relation $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}U_C}{\mathrm{d}t}$, substitution. On termine avec un coefficient 1 devant la dérivée pour faire apparaître $\tau = RC$.

2.3 Déterminer la valeur limite atteinte par U_C lorsque $t \gg \tau$. Commenter.

Données utiles $U_C(t) = E\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$ avec $\tau = RC$; $E = 5{,}00$ V

Lorsque $t \gg \tau$, le rapport $\dfrac{t}{\tau}$ devient très grand, donc $e^{-t/\tau}$ tend vers 0 et U_C tend vers $E(1 - 0) = E$.

Le condensateur est alors chargé : la tension à ses bornes est égale à celle du générateur, $\dfrac{\mathrm{d}U_C}{\mathrm{d}t} = 0$ donc le courant est nul et $U_R = 0$. Cette limite ne dépend pas de R : sur la figure 4, les deux courbes rejoignent le même palier, proche de 5 V.

$U_C \to E = 5{,}00$ V : le condensateur est totalement chargé, le régime permanent est atteint.

COMPRENDRE
On retrouve la limite sans la solution : en régime permanent $\dfrac{\mathrm{d}U_C}{\mathrm{d}t} = 0$, et l'équation différentielle donne directement $U_C = E$. En pratique la charge est considérée comme terminée au bout de 5τ.

2.4 Expliquer qualitativement comment il est possible de déterminer l'écart entre les feuilles d'aluminium à partir des résultats de la figure 4.

Données utiles $\varepsilon_{PE} = 19 \times 10^{-12}\ \text{F} \cdot \text{m}^{-1}$; feuilles carrées de 25 cm de côté ; $R = 600\ \text{k}\Omega$ ou $300\ \text{k}\Omega$; $C = \varepsilon \dfrac{S}{d}$

Étape 1 : on détermine le temps caractéristique τ sur une courbe de la figure 4. À $t = \tau$, $U_C = E(1 - e^{-1}) \approx 0{,}63\,E$: τ est l'abscisse du point d'ordonnée $0{,}63 \times 5{,}00 \approx 3{,}2$ V (ou l'abscisse du point où la tangente à l'origine coupe l'asymptote $U_C = E$).

Étape 2 : comme $\tau = RC$ et que R est connue, on en déduit la capacité $C = \dfrac{\tau}{R}$. Les deux courbes doivent donner la même valeur de C.

Étape 3 : le dispositif est un condensateur plan de surface $S = (0{,}25)^2\ \text{m}^2$, dont le milieu isolant est le polyéthylène : $C = \varepsilon_{PE} \dfrac{S}{d}$.

$$d = \frac{\varepsilon_{PE}\, S}{C} = \frac{\varepsilon_{PE}\, S\, R}{\tau}$$, avec τ lu sur la figure 4.

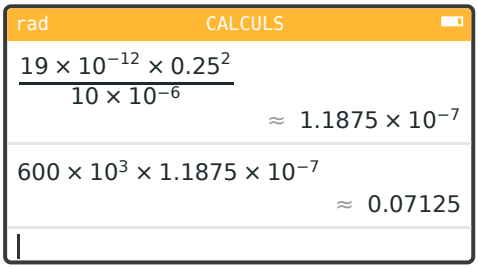
PIÈGE

Lire τ à $0{,}63 \times 6$ V parce que l'axe monte jusqu'à 6 V. Le palier est $E = 5{,}00$ V : c'est 63 % de cette valeur qu'il faut repérer.

COMPRENDRE

Avec l'épaisseur usuelle de $10\ \mu\text{m}$, on attend $C \approx 1{,}2 \times 10^{-7}$ F, soit $\tau \approx 71$ ms pour $600\ \text{k}\Omega$: quelques dizaines de millisecondes, l'échelle de temps de la figure 4.

À LA CALCULATRICE



Observer les cratères lunaires Messier

Bac 2021 Sujet zéro Terminale spécialité · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

1.1 Expliquer pourquoi la lunette décrite est commercialisée comme une lunette « 70/300 ».

D'après la fiche technique, l'objectif a un diamètre de 70 mm et une distance focale de 300 mm.

« 70/300 » signifie : diamètre de l'objectif (70 mm) / distance focale de l'objectif (300 mm).

1.2 Compléter l'annexe : marche du rayon issu de B_∞ à travers la lunette afocale, image intermédiaire A_1B_1 et angle θ' sous lequel est vue l'image $A'B'$.

Le rayon issu de B_∞ passe par le centre optique O_1 de l'objectif : il n'est pas dévié.

L'objet est à l'infini : son image A_1B_1 se forme dans le plan focal image de l'objectif, avec A_1 en F'_{obj} et B_1 sur le rayon tracé.

B_1 est dans le plan focal objet de l'oculaire : le rayon émerge de l'oculaire parallèlement à la droite (B_1O_2).

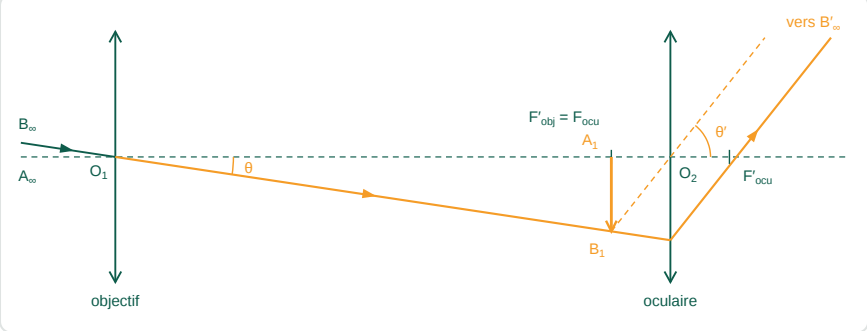
A_1B_1 est dans le plan focal commun ; θ' est l'angle entre l'axe optique et le rayon émergent.

PIÈGE

Faire converger le rayon émergent vers F'_{ocu} : cela ne vaut que pour un rayon arrivant parallèlement à l'axe optique, ce qui n'est pas le cas ici.

MÉTHODE

Pour tracer le rayon émergent, on trace d'abord en pointillés la droite (B_1O_2) : un rayon passant par O_2 ne serait pas dévié. Tous les rayons issus de B_1 sortent parallèles à cette droite.



1.2 · Annexe complétée : image intermédiaire A_1B_1 et angle θ' en sortie de la lunette

1.3 Définir le terme « afocal », puis expliquer l'intérêt de disposer d'une lunette afocale.

Un système afocal donne d'un objet situé à l'infini une image elle aussi située à l'infini. C'est le cas ici puisque F'_{obj} et F_{ocu} sont confondus.

L'œil observe une image à l'infini : il n'accommode pas, l'observation se fait sans fatigue visuelle.

COMPRENDRE

Un œil normal au repos voit net à l'infini. Si l'image finale était proche, le cristallin devrait se bomber en permanence, ce qui fatigue lors d'une longue observation.

1.4 Définir le grossissement de la lunette puis montrer, à partir de l'annexe, que $G = \dfrac{f'_{obj}}{f'_{ocu}}$.

Données utiles pour les petits angles en radian, $\tan\theta \approx \theta$

Le grossissement est $G = \dfrac{\theta'}{\theta}$, avec θ l'angle sous lequel l'objet est vu à l'œil nu et θ' l'angle sous lequel son image est vue à travers la lunette.

Dans le triangle $O_1A_1B_1$, rectangle en A_1 : $\tan\theta = \dfrac{A_1B_1}{O_1A_1} = \dfrac{A_1B_1}{f'_{obj}}$,

donc $\theta \approx \dfrac{A_1B_1}{f'_{obj}}$.

Dans le triangle $O_2A_1B_1$, rectangle en A_1 : $\tan\theta' = \dfrac{A_1B_1}{O_2A_1} = \dfrac{A_1B_1}{f'_{ocu}}$,

donc $\theta' \approx \dfrac{A_1B_1}{f'_{ocu}}$.

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{A_1B_1}{f'_{ocu}} \times \frac{f'_{obj}}{A_1B_1}$$

$$\boxed{G = \frac{f'_{obj}}{f'_{ocu}}}$$

PIÈGE
Inverser le rapport. La focale de l'objectif est au numérateur : plus la focale de l'oculaire est courte, plus la lunette grossit.

MÉTHODE
Les deux angles s'écrivent avec le même côté A_1B_1, commun aux deux triangles : il se simplifie dans le rapport. L'angle θ se retrouve en O_1 dans le triangle $O_1A_1B_1$ (angles opposés par le sommet).

2.1 Montrer, en précisant les hypothèses à l'aide d'un schéma, que l'angle θ sous lequel le cratère Messier est vu depuis la Terre vaut $2{,}86 \times 10^{-5}$ rad.

Données utiles $D = 3{,}84 \times 10^5$ km ; $d = 11{,}0$ km

Hypothèses : le cratère est vu de face, sa largeur d étant perpendiculaire à la direction d'observation, et $d \ll D$, donc l'angle θ est petit.

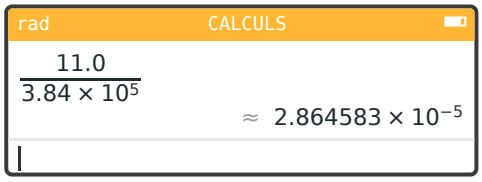
D'après le schéma : $\tan\theta = \dfrac{d}{D}$, et comme θ est petit, $\tan\theta \approx \theta$.

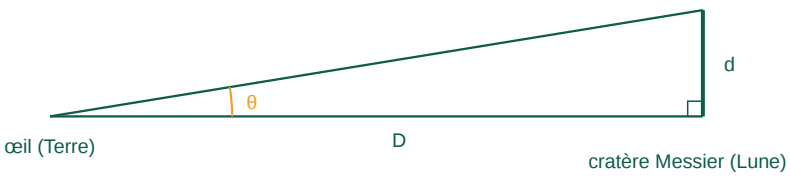
$$\theta = \frac{d}{D} = \frac{11{,}0}{3{,}84 \times 10^5} = 2{,}86 \times 10^{-5} \text{ rad}$$

$\theta = 2{,}86 \times 10^{-5}$ rad : on retrouve la valeur annoncée.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme d et D. Les deux longueurs sont en kilomètres : leur rapport est sans unité, et l'angle obtenu est en radian.

À LA CALCULATRICE





2.1 · Le cratère, de largeur d, vu depuis la Terre à la distance D (échelle non respectée)

2.2 L'observation du cratère lunaire Messier est-elle possible à l'œil nu ?

Données utiles $\varepsilon = 3{,}0 \times 10^{-4}$ rad ; $\theta = 2{,}86 \times 10^{-5}$ rad (2.1)

$\theta = 2{,}86 \times 10^{-5}$ rad est inférieur à $\varepsilon = 3{,}0 \times 10^{-4}$ rad, environ dix fois plus petit.

$\theta < \varepsilon$: l'œil nu ne peut pas distinguer les deux bords du cratère, l'observation est impossible.

PIÈGE
Comparer les mantisses 2,86 et 3,0 sans regarder les puissances de dix : 10^{-5} contre 10^{-4}, il y a un facteur dix entre les deux angles.

2.3 Calculer la taille de l'image intermédiaire A_1B_1 du cratère Messier à travers l'objectif de la lunette.

Données utiles $f'_{obj} = 300$ mm ; $\theta = 2{,}86 \times 10^{-5}$ rad (2.1)

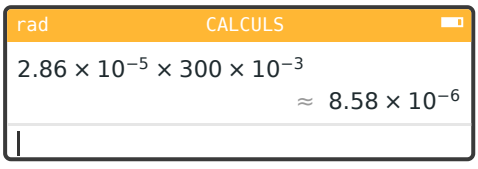
D'après la question 1.4 : $\theta = \dfrac{A_1B_1}{f'_{obj}}$, donc $A_1B_1 = \theta \times f'_{obj}$.

$$A_1B_1 = 2{,}86 \times 10^{-5} \times 300 \times 10^{-3} = 8{,}58 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$A_1B_1 = 8{,}58 \times 10^{-6}$ m, soit environ $8{,}6$ μm

PIÈGE
Laisser la focale en millimètres en annonçant un résultat en mètres. Avec $\theta = d/D$ non arrondi, on obtient $8{,}59 \times 10^{-6}$ m : les deux valeurs sont acceptées.

À LA CALCULATRICE



2.4 Déterminer le ou les oculaires, parmi les trois fournis, qu'un astronome amateur doit utiliser pour espérer observer le cratère Messier.

Données utiles $f'_{obj} = 300$ mm ; f'_{ocu} : 35 mm, 20 mm ou 10 mm ; $\varepsilon = 3{,}0 \times 10^{-4}$ rad ; $\theta = 2{,}86 \times 10^{-5}$ rad (2.1)

Le cratère est observable si l'angle θ' en sortie de la lunette est supérieur au pouvoir séparateur de l'œil : $\theta' > \varepsilon$.

D'après la question 1.4 : $\theta' = G \times \theta = \dfrac{f'_{obj}}{f'_{ocu}} \times \theta$.

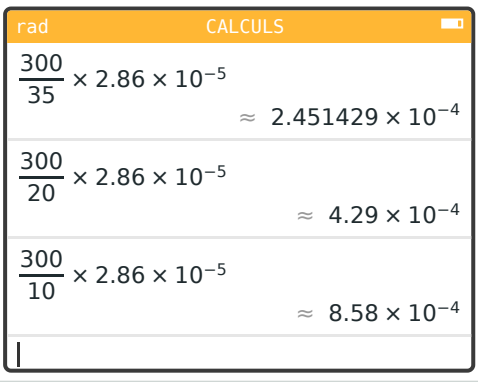
- Oculaire de 35 mm : $\theta' = \dfrac{300}{35} \times 2{,}86 \times 10^{-5} = 2{,}5 \times 10^{-4}$ rad $< \varepsilon$.
- Oculaire de 20 mm : $\theta' = \dfrac{300}{20} \times 2{,}86 \times 10^{-5} = 4{,}3 \times 10^{-4}$ rad $> \varepsilon$.
- Oculaire de 10 mm : $\theta' = \dfrac{300}{10} \times 2{,}86 \times 10^{-5} = 8{,}6 \times 10^{-4}$ rad $> \varepsilon$.

Il faut utiliser l'oculaire de 20 mm ou celui de 10 mm ; celui de 35 mm ne grossit pas assez.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs suffisent ici, comme pour ε et les focales des oculaires. Le rapport des focales se calcule en millimètres : les unités se simplifient.

MÉTHODE
Autre démarche : chercher le grossissement minimal $G_{min} = \varepsilon/\theta \approx 10{,}5$, puis la focale maximale $f'_{ocu} = f'_{obj}/G_{min} \approx 29$ mm. Seuls les oculaires de 20 mm et 10 mm conviennent.

À LA CALCULATRICE



Accélérateur linéaire Linac2 du CERN

Bac 2021 Sujet zéro Terminale spécialité · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

1.1 Représenter, sur l'annexe, le vecteur champ électrique $\vec{E}$ au point M, à l'échelle 1 cm pour $10\ \text{MV}\cdot\text{m}^{-1}$.

Données utiles $U = 2{,}00\ \text{MV} = 2{,}00\times10^{6}\ \text{V}$; $d = 10{,}0\ \text{cm} = 0{,}100\ \text{m}$

Norme du champ : $E = \dfrac{U}{d} = \dfrac{2{,}00\times10^{6}}{0{,}100} = 2{,}00\times10^{7}\ \text{V}\cdot\text{m}^{-1} = 20{,}0\ \text{MV}\cdot\text{m}^{-1}$

À l'échelle de l'annexe, la flèche mesure $\dfrac{20{,}0}{10} = 2{,}0$ cm.

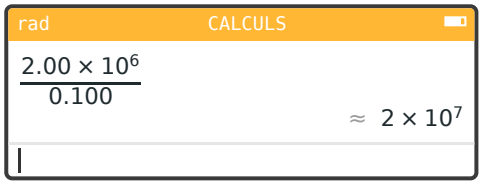
Le vecteur $\vec{E}$ est tracé à partir du point M, parallèle à l'axe Ox et dans le sens de cet axe, de la plaque au potentiel V_1 vers la plaque au potentiel V_2.

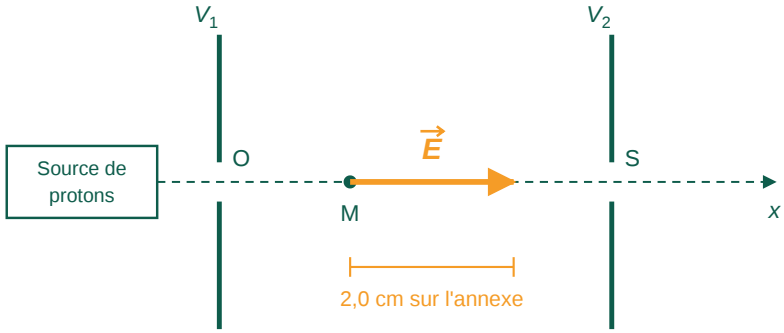
$E = 20{,}0\ \text{MV}\cdot\text{m}^{-1}$: flèche de 2,0 cm, d'origine M, dans le sens de l'axe Ox.

PIÈGE
Laisser d en centimètres donne un champ cent fois trop petit. La flèche part de M, pas de O, et se mesure à la règle : 2,0 cm.

COMPRENDRE
$U = V_1 - V_2 > 0$: la plaque de gauche a le potentiel le plus élevé. Le champ électrique est toujours dirigé dans le sens des potentiels décroissants.

À LA CALCULATRICE





1.1 · Annexe de la question 1.1 complétée : le vecteur $\vec{E}$ en M, dirigé selon l'axe Ox

1.2 Comparer la valeur du poids d'un proton avec celle de la force électrique qu'il subit à l'intérieur du condensateur. Conclure.

Données utiles $m_p = 1{,}67\times10^{-27}$ kg ; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $e = 1{,}6\times10^{-19}$ C ; $E = 2{,}00\times10^{7}\ \text{V}\cdot\text{m}^{-1}$ (1.1)

Poids : $P = m_p\, g = 1{,}67\times10^{-27}\times9{,}81 = 1{,}64\times10^{-26}$ N

Force électrique : $F = e\,E = 1{,}6\times10^{-19}\times2{,}00\times10^{7} = 3{,}2\times10^{-12}$ N

Rapport : $\dfrac{F}{P} = \dfrac{3{,}2\times10^{-12}}{1{,}64\times10^{-26}} = 2{,}0\times10^{14}$

$F \approx 2{,}0\times10^{14}\times P$: le poids du proton est négligeable devant la force électrique.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : e n'en a que deux, donc F et le rapport aussi ; P en garde trois, comme m_p et g.

MÉTHODE
Comparer deux grandeurs, c'est calculer leur rapport, puis conclure. Ici, la conclusion sert à la suite : la force électrique est la seule force à prendre en compte.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$1.67 \times 10^{-27} \times 9.81 \approx 1.63827 \times 10^{-26}$

$1.6 \times 10^{-19} \times 2.00 \times 10^{7} \approx 3.2 \times 10^{-12}$

$\dfrac{3.2 \times 10^{-12}}{1.64 \times 10^{-26}} \approx 1.95122 \times 10^{14}$

1.3 Déterminer l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$ du proton en fonction de m_p, e et $\vec{E}$. En déduire la nature de son mouvement dans le condensateur.

Système {proton}, de masse m_p constante ; référentiel terrestre supposé galiléen.

Seule force prise en compte : la force électrique $\vec{F} = e\,\vec{E}$ (poids négligeable, question 1.2).

Deuxième loi de Newton : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m_p\,\vec{a}$, soit $e\,\vec{E} = m_p\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = \dfrac{e}{m_p}\,\vec{E}$.

Le champ $\vec{E}$ est uniforme : le vecteur $\vec{a}$ est constant, dirigé selon l'axe Ox. La vitesse initiale étant nulle, le proton se déplace sur la droite (Ox), dans le sens de $\vec{a}$.

$\vec{a} = \dfrac{e}{m_p}\,\vec{E}$: le mouvement est **rectiligne uniformément accéléré**.

PIÈGE
Répondre seulement « accéléré ». Il faut les deux mots : rectiligne (vitesse initiale nulle, $\vec{a}$ de direction fixe) et uniformément accéléré ($\vec{a}$ constant).

COMPRENDRE
La charge du proton est positive : $\vec{F}$ et $\vec{a}$ ont le sens de $\vec{E}$. Pour un électron, de charge $-e$, l'accélération serait de sens opposé au champ.

1.4 En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, montrer que $E_C(S) - E_C(O) = e\,U$.

Théorème de l'énergie cinétique, appliqué au proton entre O et S : la variation d'énergie cinétique est égale à la somme des travaux des forces appliquées, ici le travail de la seule force électrique.

$$E_C(S) - E_C(O) = W_{OS}(\vec{F})$$

La force $\vec{F} = e\,\vec{E}$ est constante, de même direction et de même sens que le déplacement $\overrightarrow{OS}$, avec $OS = d$:

$$W_{OS}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{OS} = e\,E\,d$$

Or $E = \dfrac{U}{d}$, donc $W_{OS}(\vec{F}) = e \times \dfrac{U}{d} \times d = e\,U$.

$E_C(S) - E_C(O) = e\,U$, ce qui est la relation attendue.

COMPRENDRE
Le gain d'énergie cinétique ne dépend que de la tension, pas de la distance d. Avec $U = 2{,}00$ MV, le proton gagne 2,00 MeV.

MÉTHODE
Travail d'une force constante : $W_{AB} = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB} = F \times AB \times \cos\alpha$. Ici $\alpha = 0$: le travail est positif, il est moteur.

1.5 En déduire l'expression de la vitesse v_S du proton à la sortie du premier condensateur en fonction de m_p, e et U. Déterminer sa valeur et commenter le résultat.

Données utiles $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C ; $U = 2{,}00 \times 10^{6}$ V ; $m_p = 1{,}67 \times 10^{-27}$ kg

La vitesse est nulle en O : $E_C(O) = 0$. La relation de la question 1.4 devient $\frac{1}{2} m_p v_S^2 = e\,U$, donc

$$v_S = \sqrt{\frac{2\,e\,U}{m_p}}$$

$$v_S = \sqrt{\frac{2 \times 1{,}6 \times 10^{-19} \times 2{,}00 \times 10^{6}}{1{,}67 \times 10^{-27}}} = 2{,}0 \times 10^{7}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

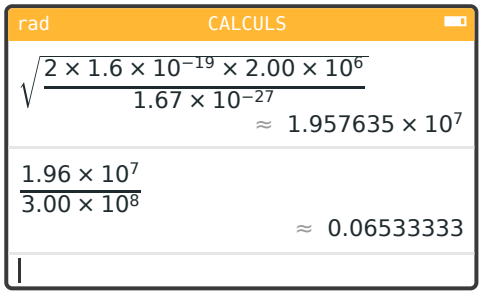
Commentaire : cette vitesse est très élevée, alors que le proton n'a parcouru que 10,0 cm. Avec $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, $\frac{v_S}{c} = 0{,}065$: la vitesse reste inférieure à 10 % de la célérité de la lumière, l'étude en mécanique classique est acceptable.

$v_S = \sqrt{\frac{2\,e\,U}{m_p}} = 2{,}0 \times 10^{7}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, soit environ 6,5 % de la célérité de la lumière.

PIÈGE
Laisser U en mégavolts, ou oublier la racine carrée. Une vitesse supérieure à $3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ doit alerter : elle est impossible.

COMPRENDRE
La célérité c n'est pas dans les données, c'est une valeur à connaître. « Commenter » demande un jugement appuyé sur un ordre de grandeur, pas une simple répétition du résultat.

À LA CALCULATRICE



2.1 Indiquer le sens du champ électrique dans l'intervalle 1 et dans l'intervalle 2 à l'instant $t = \frac{T}{4}$, puis représenter ces deux vecteurs sur l'annexe.

Données utiles $T = 40$ ns ; figure 4 ; tubes 1 et 3 au potentiel V_A, tube 2 au potentiel V_B

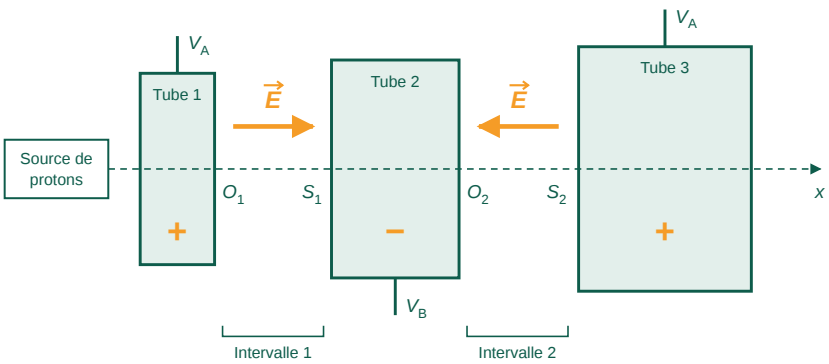
À $t = \frac{T}{4} = 10$ ns, la figure 4 donne $U_a = +2$ MV : $U_a > 0$, donc $V_A > V_B$.

Le champ électrique est dirigé du tube au potentiel le plus élevé vers le tube au potentiel le plus bas.

- Intervalle 1 : du tube 1 (V_A) vers le tube 2 (V_B), donc dans le sens de l'axe Ox.
- Intervalle 2 : du tube 3 (V_A) vers le tube 2 (V_B), donc dans le sens opposé à l'axe Ox.

À $t = \frac{T}{4}$: $\vec{E}$ dans le sens de Ox dans l'intervalle 1, en sens opposé dans l'intervalle 2.

PIÈGE
Tracer deux flèches de même sens. Les tubes sont reliés alternativement aux bornes A et B : deux intervalles voisins ont, à chaque instant, des champs de sens opposés.



2.1 · Annexe complétée à $t = T/4$: tubes 1 et 3 au potentiel le plus élevé

2.2 Mêmes questions à la date $t = \dfrac{3T}{4}$.

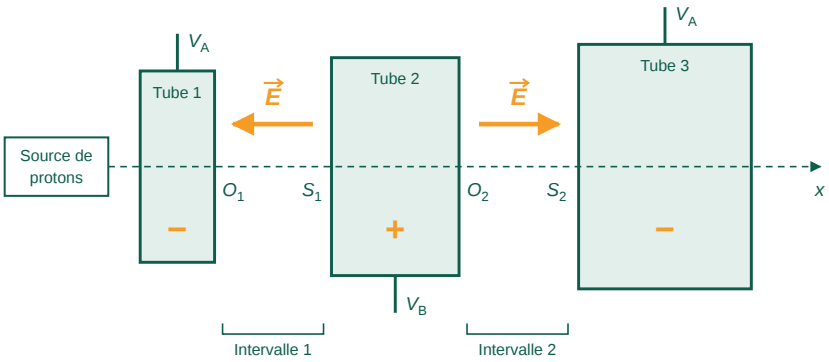
À $t = \dfrac{3T}{4} = 30$ ns, la figure 4 donne $U_a = -2$ MV : $U_a < 0$, donc $V_A < V_B$.

Le champ est toujours dirigé vers le tube au potentiel le plus bas, qui est maintenant celui relié à A.

- Intervalle 1 : du tube 2 (V_B) vers le tube 1 (V_A), donc dans le sens opposé à l'axe Ox.
- Intervalle 2 : du tube 2 (V_B) vers le tube 3 (V_A), donc dans le sens de l'axe Ox.

À $t = \dfrac{3T}{4}$: $\vec{E}$ en sens opposé à Ox dans l'intervalle 1, dans le sens de Ox dans l'intervalle 2.

COMPRENDRE
Une demi-période plus tard, la tension a changé de signe : chaque champ s'est inversé, avec la même valeur maximale.



2.2 · Même schéma à $t = 3T/4$: les deux champs ont changé de sens

2.3 Justifier que, pour être accélérés de manière optimale dans chaque intervalle, les protons doivent mettre une durée $\Delta t = \dfrac{T}{2}$ pour traverser chaque tube.

Le proton, de charge positive, est accéléré si la force $\vec{F} = e\,\vec{E}$ est dans le sens de son mouvement : le champ doit être dans le sens de l'axe Ox. L'accélération est optimale quand la tension, donc le champ, a sa valeur maximale.

Dans l'intervalle 1, c'est le cas à $t = \dfrac{T}{4}$ (question 2.1). Dans l'intervalle 2, c'est le cas à $t = \dfrac{3T}{4}$ (question 2.2).

Le proton doit donc atteindre l'intervalle 2 une demi-période après son passage dans l'intervalle 1. Entre les deux, il traverse le tube 2 (la durée de traversée d'un intervalle est négligée). Le même raisonnement vaut pour chaque tube.

$\Delta t = \dfrac{3T}{4} - \dfrac{T}{4} = \dfrac{T}{2}$: pendant la traversée d'un tube, le champ de l'intervalle suivant a le temps de s'inverser.

COMPRENDRE
Si le proton sortait du tube plus tôt ou plus tard, il trouverait un champ plus faible, voire de sens opposé, qui le freinerait. Avec $T = 40$ ns, chaque tube est traversé en 20 ns.

2.4 Expliquer qualitativement pourquoi les tubes du Linac2 sont de plus en plus longs.

Dans un tube, le champ électrique est nul : le proton s'y déplace à vitesse constante v. Un tube traversé en une durée $\frac{T}{2}$ a donc pour longueur $L = v \times \frac{T}{2}$.

À chaque intervalle, le proton est accéléré : sa vitesse est plus grande dans chaque tube que dans le précédent. La durée de traversée $\frac{T}{2}$ est la même pour tous les tubes, puisque la période de la tension est fixée.

$L = v \times \frac{T}{2}$ avec v croissante et T constante : les tubes doivent être de plus en plus longs.

PIÈGE
Écrire que le proton accélère dans les tubes. Il n'accélère que dans les intervalles ; dans un tube, sa vitesse est constante.