Corrigé complet — Bac S 2007 Liban (ancien programme)

Physique-chimie, Bac S (épreuve écrite) **16 points** **3 h 30**

Ex 1	**De la reine des prés à l'aspirine** Acide de Brönsted et constante d'acidité · Taux d'avancement final · Quotient de réaction à l'équilibre · Titrage pH-métrique · Estérification · Catalyse et rendement d'une synthèse	6,5 pts	1 h 18	15 questions	p. 2
Ex 2	**La station spatiale internationale à l'heure atomique pharao** Deuxième loi de Newton · Vecteur accélération · Mouvement circulaire uniforme · Lois de Kepler · Satellite géostationnaire · Niveaux d'énergie et photon	5,5 pts	1 h 05	14 questions	p. 7
Ex 3	**Filtre pour enceinte** Charge d'un condensateur · Constante de temps du circuit RC · Équation différentielle du premier ordre · Analyse dimensionnelle · Oscillations électriques amorties · Énergie d'un condensateur	4 pts	52 min	13 questions	p. 12
Ex 4	**Spécialité : Microscope** Miroir sphérique · Lentille mince convergente · Construction d'une image · Relation de conjugaison · Image à l'infini · Grossissement d'un oculaire	4 pts	52 min	8 questions	p. 16

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.

De la reine des prés à l'aspirine

Bac S 2007 Liban (ancien programme) · Exercice 1 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1 Partie I. Définir un acide au sens de Brönsted.

Un acide au sens de Brönsted est une espèce chimique capable de céder un ion hydrogène H^+ (un proton).

COMPRENDRE
La base conjuguée est l'espèce obtenue après cette perte : acide et base forment un couple, ici $HA\,/\,A^-$.

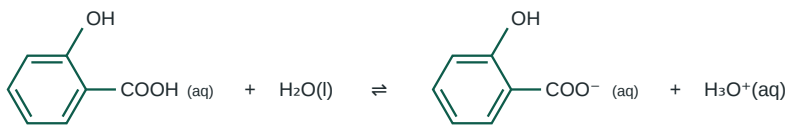
2 Partie I. Écrire l'équation de la réaction de l'acide salicylique avec l'eau, avec les formules semi-développées.

L'acide salicylique cède le proton de son groupe carboxyle à l'eau, qui joue le rôle de base (couple $H_3O^+\,/\,H_2O$).

Les formules semi-développées sont écrites sur la figure ci-dessous ; avec la notation HA pour l'acide salicylique :

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

PIÈGE
Arracher le proton du groupe hydroxyle $-OH$ porté par le cycle. C'est le groupe carboxyle $-COOH$ qui est acide et qui devient $-COO^-$.



2 · Équation avec les formules semi-développées

3 Partie I. Compléter le tableau d'évolution de l'annexe 1, l'acide salicylique étant noté $HA\,(aq)$.

Quantité initiale d'acide : $n_0 = C\,V$. L'eau est le solvant, elle est en excès. Les nombres stœchiométriques valent tous 1 : pour un avancement x, il disparaît x mol de HA et il se forme x mol de A^- et x mol de H_3O^+.

L'état final théorique est celui d'une transformation totale : HA est entièrement consommé, $n_0 - x_{max} = 0$.

État final expérimental : $n(HA) = n_0 - x_f$; $n(A^-) = n(H_3O^+) = x_f$

Équation de la réaction		HA(aq) + H₂O(l) = A⁻(aq) + H₃O⁺(aq)			
État	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)			
État initial	0	$n_0 = C{\cdot}V$	excès	0	0
État intermédiaire	x	$n_0 - x$	excès	x	x
État final expérimental	x_f	$n_0 - x_f$	excès	x_f	x_f
État final théorique	$x_{max} = n_0$	0	excès	$x_{max} = n_0$	$x_{max} = n_0$

3 · Annexe 1 complétée (en orange : ce que l'élève écrit)

4 Partie I. Définir puis calculer le taux d'avancement final τ de cette réaction. Conclure.

Données utiles $C = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $\text{pH} = 2{,}5$; $10^{-2{,}5} = 3 \times 10^{-3}$

Le taux d'avancement final est le rapport de l'avancement final à l'avancement maximal : $\tau = \dfrac{x_f}{x_{max}}$.

D'après le tableau : $x_f = n_f(\text{H}_3\text{O}^+) = [\text{H}_3\text{O}^+]_f \, V = 10^{-\text{pH}} V$ et $x_{max} = n_0 = C\,V$.

$$\tau = \frac{10^{-\text{pH}}\,V}{C\,V} = \frac{10^{-\text{pH}}}{C} = \frac{3 \times 10^{-3}}{1{,}0 \times 10^{-2}} = 0{,}3$$

$\tau = 0{,}3$, soit 30 % : $\tau < 1$, la transformation est limitée (non totale).

PIÈGE
Conclure « acide faible » sans comparer τ à 1. C'est parce que τ est inférieur à 1 que la réaction avec l'eau n'est pas totale.

COMPRENDRE
Un seul chiffre significatif : l'aide au calcul donne $10^{-2{,}5} = 3 \times 10^{-3}$ avec un seul chiffre. Le volume V, inconnu, se simplifie.

5 Partie I. Définir le quotient de réaction à l'équilibre $Q_{r,éq}$ et montrer que sa valeur est $Q_{r,éq} \approx 10^{-3}$.

Données utiles $C = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $[\text{H}_3\text{O}^+]_{éq} = 10^{-2{,}5} = 3 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $\dfrac{9}{7} = 1{,}3 \approx 1$

$$Q_{r,éq} = \frac{[\text{A}^-]_{éq}\,[\text{H}_3\text{O}^+]_{éq}}{[\text{HA}]_{éq}}$$

(concentrations en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; l'eau, solvant, n'apparaît pas).

D'après le tableau : $[\text{A}^-]_{éq} = [\text{H}_3\text{O}^+]_{éq} = \dfrac{x_f}{V} = 10^{-\text{pH}}$ et $[\text{HA}]_{éq} = \dfrac{n_0 - x_f}{V} = C - 10^{-\text{pH}}$.

$$Q_{r,éq} = \frac{\left(10^{-\text{pH}}\right)^2}{C - 10^{-\text{pH}}} = \frac{\left(3 \times 10^{-3}\right)^2}{1{,}0 \times 10^{-2} - 3 \times 10^{-3}} = \frac{9 \times 10^{-6}}{7 \times 10^{-3}} = 1{,}3 \times 10^{-3}$$

$Q_{r,éq} = 1{,}3 \times 10^{-3} \approx 10^{-3}$, valeur attendue.

PIÈGE
Écrire $[\text{HA}]_{éq} = C$ au dénominateur. Avec $\tau = 0{,}3$, près d'un tiers de l'acide a réagi : il faut retrancher $10^{-\text{pH}}$.

MÉTHODE
Sans calculatrice, écrire les deux termes de la soustraction avec la même puissance de dix : $10 \times 10^{-3} - 3 \times 10^{-3} = 7 \times 10^{-3}$.

6 Partie I. Comment nomme-t-on ce quotient de réaction à l'équilibre ? Sa valeur dépend-elle des conditions initiales ?

Données utiles $\text{p}K_A = 3{,}0$; $Q_{r,éq} \approx 10^{-3}$ (5)

Pour la réaction d'un acide avec l'eau, le quotient de réaction à l'équilibre est la constante d'acidité K_A du couple HA / A^-.

Sa valeur ne dépend pas des conditions initiales (ni de C, ni de V) : elle ne dépend que de la température.

$Q_{r,éq} = K_A$, constante d'acidité, indépendante des conditions initiales.

COMPRENDRE
Vérification avec le tableau de données : $K_A = 10^{-\text{p}K_A} = 10^{-3{,}0}$, ce qui est bien la valeur trouvée à la question 5.

7.1 Partie I. Écrire l'équation de la réaction entre l'acide salicylique, noté $\text{HA}\,(\text{aq})$, et la solution d'hydroxyde de sodium.

L'acide HA cède un proton à la base HO^- ; les ions Na^+ sont spectateurs.

$$\text{HA}\,(\text{aq}) + \text{HO}^-\,(\text{aq}) \longrightarrow \text{A}^-\,(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}\,(\text{l})$$

COMPRENDRE
La réaction est supposée totale : on écrit une flèche simple. C'est l'une des conditions pour qu'une réaction serve de support à un titrage, avec la rapidité.

7.2 Partie I. Utiliser les courbes de l'annexe 2 pour déterminer l'équivalence acido-basique.

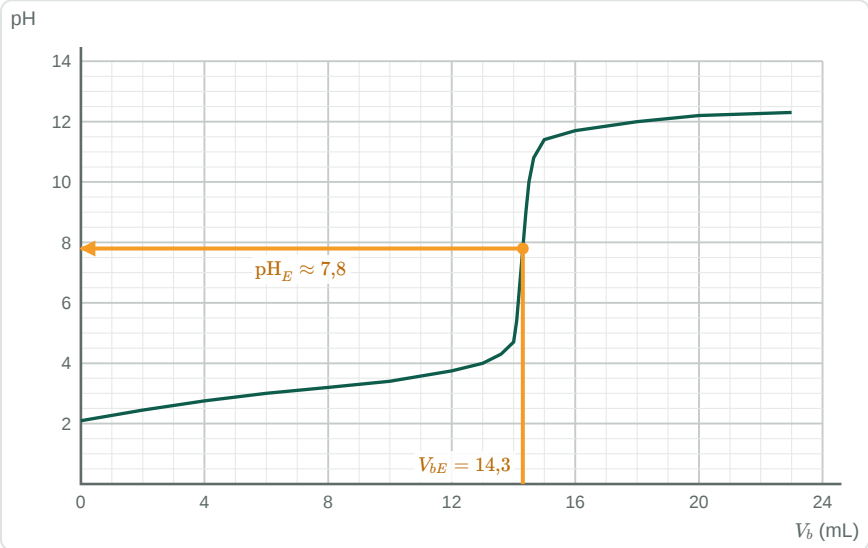
À l'équivalence, le pH varie le plus brutalement : la pente de la courbe $\mathrm{pH} = f(V_b)$ est maximale, donc la courbe dérivée $\dfrac{\mathrm{d\,pH}}{\mathrm{d}V_b} = f(V_b)$ passe par son maximum.

L'abscisse du sommet du pic de la courbe dérivée donne V_{bE}. On reporte ce volume sur la courbe $\mathrm{pH} = f(V_b)$ pour lire le pH à l'équivalence.

$V_{bE} = 14{,}3$ mL et $\mathrm{pH}_E \approx 7{,}8$

PIÈGE
Lire l'ordonnée du pic sur l'axe de droite et la prendre pour le pH à l'équivalence. Du pic, on ne retient que l'abscisse.

COMPRENDRE
La méthode des tangentes parallèles, appliquée à la courbe de pH, conduit au même point. Une lecture de V_{bE} entre 14,2 mL et 14,5 mL est recevable.



7.2 · Courbe $\mathrm{pH} = f(V_b)$ de l'annexe 2, avec la lecture du point d'équivalence

7.3 Partie I. Définir l'équivalence acido-basique et en déduire la concentration molaire en acide salicylique de la solution diluée, puis de la solution pharmaceutique.

Données utiles $C_b = 0{,}10\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $V_a = 20{,}0$ mL ; $V_{bE} = 14{,}3$ mL (7.2) ; dilution au dixième

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de la réaction de titrage : la quantité d'ions $\mathrm{HO^-}$ versée est égale à la quantité d'acide HA présente au départ dans la prise d'essai.

$n(\mathrm{HA})_{\text{initial}} = n(\mathrm{HO^-})_{\text{versé}}$, soit $C_a\,V_a = C_b\,V_{bE}$.

$$C_a = \frac{C_b\,V_{bE}}{V_a} = \frac{0{,}10 \times 14{,}3}{20{,}0} = 7{,}2 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$$

La solution pharmaceutique est dix fois plus concentrée : $C_p = 10\,C_a$.

$C_a = 7{,}2 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ (solution diluée) et $C_p = 0{,}72\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ (solution pharmaceutique)

PIÈGE
Oublier la dilution : le titrage donne la concentration de la solution diluée, pas celle du flacon.

COMPRENDRE
Contrôle de l'étiquette : $C_p \times M = 0{,}72 \times 138 \approx 99\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$, soit 9,9 g pour 100 mL. L'indication « 10 g pour 100 mL » est vérifiée.

MÉTHODE
Les volumes peuvent rester en mL dans le rapport $\dfrac{V_{bE}}{V_a}$: les unités se simplifient. Deux chiffres significatifs, comme C_b.

7.4 Partie I. Choisir dans la liste un indicateur coloré convenable pour ce titrage, en justifiant.

Données utiles $\mathrm{pH}_E \approx 7{,}8$ (7.2) ; rouge de crésol : zone de virage 7,2 – 8,8

Un indicateur coloré convient si sa zone de virage contient le pH à l'équivalence. Ici $\mathrm{pH}_E \approx 7{,}8$: seule la zone 7,2 – 8,8 encadre nettement cette valeur.

Indicateur choisi : le rouge de crésol (zone de virage 7,2 – 8,8).

PIÈGE
Choisir le bleu de bromothymol par habitude : 7,8 est en dehors de sa zone de virage (6,0 – 7,6).

COMPRENDRE
Le pH à l'équivalence est supérieur à 7 : la solution contient alors la base A^-, conjuguée de l'acide titré.

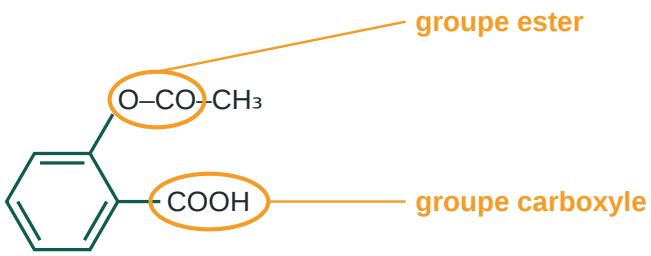
1 Partie II. Recopier la formule de l'acide acétylsalicylique, entourer et nommer les groupes caractéristiques présents.

La molécule porte deux groupes caractéristiques, fixés sur le cycle (figure ci-dessous).

- $-COOH$: groupe carboxyle (famille des acides carboxyliques) ;
- $-O-CO-CH_3$: groupe ester $-COO-$ (famille des esters).

Deux groupes : carboxyle $-COOH$ et ester $-O-CO^-$.

PIÈGE
Voir une fonction acide carboxylique dans $-OCOCH_3$: l'atome d'oxygène lié au cycle ne porte pas d'hydrogène, c'est un ester.



1 · Acide acétylsalicylique : groupes caractéristiques entourés

2 Partie II. Écrire l'équation de la synthèse de l'acide acétylsalicylique à partir de l'acide salicylique et de l'acide carboxylique convenable, nommer cet acide, donner le type de réaction et ses caractéristiques.

Le groupe $-OH$ de l'acide salicylique réagit comme un alcool. Pour obtenir le groupe $-O-CO-CH_3$, l'acide carboxylique doit apporter CH_3-CO^- : c'est l'acide éthanoïque CH_3-COOH (acide acétique).

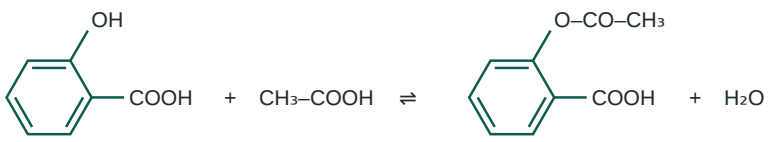
Équation (formules semi-développées sur la figure) :

$$C_7H_6O_3 + C_2H_4O_2 \rightleftharpoons C_9H_8O_4 + H_2O$$

Un acide carboxylique réagit avec un groupe hydroxyle pour donner un ester et de l'eau : c'est une estérification.

Estérification avec l'acide éthanoïque : réaction lente, limitée (par l'hydrolyse de l'ester, réaction inverse) et athermique.

COMPRENDRE
Estérification et hydrolyse se produisent en même temps : l'état final est un équilibre où les quatre espèces coexistent, d'où le symbole $\rightleftharpoons$.



2 · Synthèse de l'aspirine par estérification

3.1 Partie II. Quel est le rôle des ions oxonium H_3O^+ ? Donner la définition d'une telle espèce.

Les ions oxonium jouent le rôle de catalyseur de l'estérification.

Un catalyseur est une espèce chimique qui augmente la vitesse d'une réaction sans figurer dans son équation : consommé puis régénéré, il se retrouve intact en fin de transformation.

H_3O^+ est un catalyseur : il accélère la réaction sans modifier l'état final.

PIÈGE
Écrire que le catalyseur augmente le rendement. L'équilibre est atteint plus vite, mais le taux d'avancement final reste le même.

3.2 Partie II. Quel est l'intérêt d'utiliser un réactif en excès ?

La réaction est limitée. Introduire l'un des réactifs en excès déplace l'équilibre dans le sens direct, celui de la formation de l'ester : le réactif limitant est davantage consommé.

De plus, la concentration des réactifs est un facteur cinétique : une concentration plus élevée rend la réaction plus rapide.

L'excès d'un réactif augmente le taux d'avancement final, donc le rendement de la synthèse.

COMPRENDRE
Avec plus de réactif, le quotient de réaction initial est plus petit, donc plus éloigné de la constante d'équilibre K : le système doit avancer davantage pour l'atteindre.

MÉTHODE
On met en excès le réactif le moins coûteux, ici l'acide éthanoïque ; le rendement se calcule par rapport au réactif limitant.

4 Partie II. Écrire l'équation de la synthèse réalisée avec un dérivé de l'acide carboxylique, en précisant la famille et le nom de ce dérivé. Quel est l'intérêt de ce changement ?

On remplace l'acide éthanoïque par l'anhydride éthanoïque (anhydride acétique), de formule $CH_3-CO-O-CO-CH_3$, qui appartient à la famille des anhydrides d'acide.

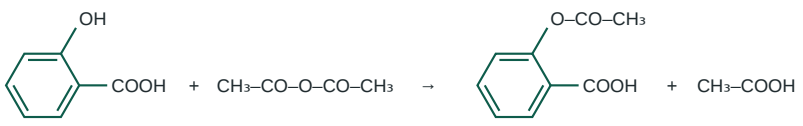
Équation (formules semi-développées sur la figure) :

$$C_7H_6O_3 + C_4H_6O_3 \longrightarrow C_9H_8O_4 + C_2H_4O_2$$

Il ne se forme plus d'eau, mais de l'acide éthanoïque : l'ester ne peut pas être hydrolysé, la réaction inverse n'a pas lieu.

Avec l'anhydride éthanoïque, la réaction est totale et rapide : le rendement est bien meilleur.

PIÈGE
Garder H_2O comme second produit. Avec un anhydride d'acide, le second produit est l'acide carboxylique correspondant.



4 · Synthèse de l'aspirine avec l'anhydride éthanoïque

La station spatiale internationale à l'heure atomique pharao

Bac S 2007 Liban (ancien programme) · Exercice 2 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1 (Partie I) Définir puis déterminer l'accélération de la navette à la date $t_4 = 4{,}0$ s.

Données utiles $v_3 = 14\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ à $t_3 = 3{,}0$ s ; $v_5 = 25\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ à $t_5 = 5{,}0$ s

Le vecteur accélération est la dérivée du vecteur vitesse par rapport au temps : $\vec{a} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$. La trajectoire étant rectiligne, sa valeur est $a = \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$.

À la date t_4, milieu de l'intervalle $[t_3\,;t_5]$, on l'approche par la variation de vitesse entre les deux dates qui l'encadrent :

$$a(t_4) \approx \frac{v_5 - v_3}{t_5 - t_3} = \frac{25 - 14}{5{,}0 - 3{,}0} = \frac{11}{2{,}0}$$

$a(t_4) = 5{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, vecteur vertical dirigé vers le haut.

PIÈGE
Calculer v/t avec une seule date (par exemple $25/5{,}0$) : c'est une variation de vitesse qu'il faut diviser par une durée. Utiliser les vitesses en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, pas en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.

COMPRENDRE
Les données ont deux chiffres significatifs : le résultat en garde deux. Les forces étant constantes (question 2), l'accélération l'est aussi et la valeur moyenne sur l'intervalle est la valeur à t_4.

2.1 (Partie I) Représenter les forces qui s'exercent sur la navette à la date $t_4 = 4{,}0$ s, sur le schéma simplifié reproduit.

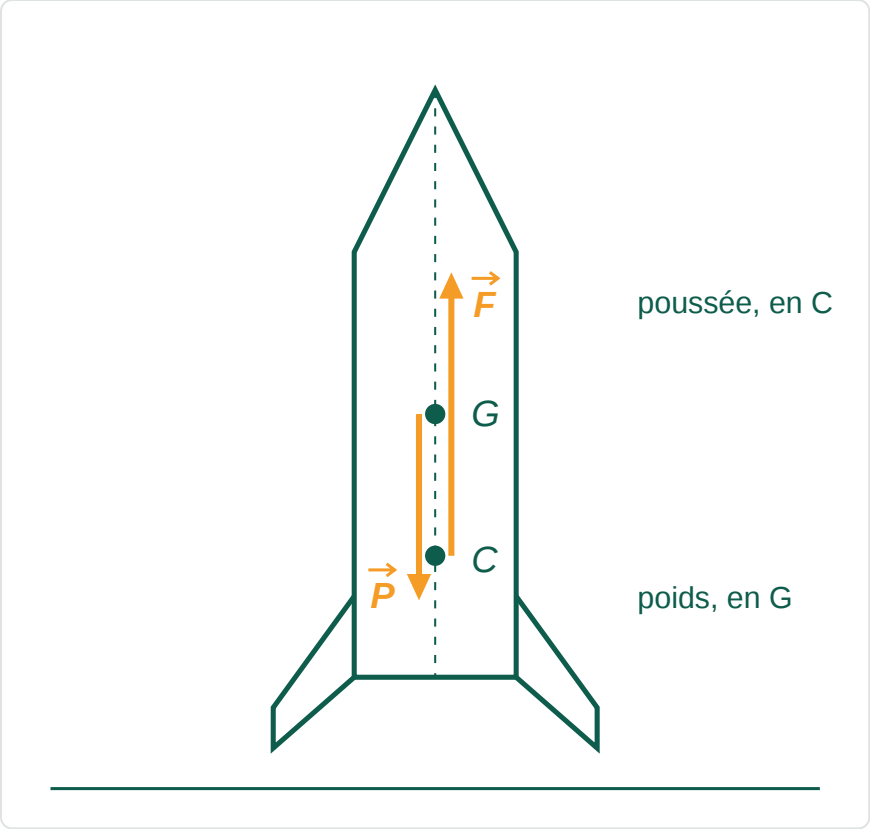
Système {navette}, référentiel terrestre supposé galiléen. L'action de l'air étant négligée, deux forces s'exercent :

- le poids $\vec{P}$: vertical, vers le bas, appliqué au centre de gravité G ;
- la poussée $\vec{F}$: verticale, vers le haut, appliquée au centre de poussée C.

La navette accélère vers le haut : la somme des forces est dirigée vers le haut, donc $F > P$.

Deux forces verticales : $\vec{P}$ vers le bas en G, $\vec{F}$ vers le haut en C, la flèche de $\vec{F}$ étant plus longue que celle de $\vec{P}$.

PIÈGE
Tracer deux flèches de même longueur : la navette aurait alors une vitesse constante. Chaque force part de son point d'application, G pour le poids, C pour la poussée.



2.1 · Forces sur la navette à la date t_4 (les deux flèches, portées par l'axe, sont légèrement écartées pour rester lisibles)

2.2 (Partie I) Calculer la valeur de la poussée.

Données utiles $M_N = 2{,}0 \times 10^3$ t ; $g = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $a = 5{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ (Q1)

Deuxième loi de Newton appliquée à la navette, de masse constante, dans le référentiel terrestre supposé galiléen : $\vec{P} + \vec{F} = M_N\,\vec{a}$.

En projetant sur un axe vertical orienté vers le haut : $-M_N\,g + F = M_N\,a$, donc

$$F = M_N\,(g + a)$$

Avec $M_N = 2{,}0 \times 10^3\ \text{t} = 2{,}0 \times 10^6\ \text{kg}$:

$$F = 2{,}0 \times 10^6 \times (10 + 5{,}5) = 2{,}0 \times 10^6 \times 15{,}5 = 31 \times 10^6\ \text{N}$$

$$\boxed{F = 3{,}1 \times 10^7\ \text{N}}$$

PIÈGE
Laisser la masse en tonnes : $1\ \text{t} = 10^3\ \text{kg}$. Autre erreur fréquente : écrire $F = M_N\,a$ en oubliant le poids, ce qui donne $1{,}1 \times 10^7$ N.

COMPRENDRE
Le poids vaut $M_N\,g = 2{,}0 \times 10^7$ N. La poussée est environ une fois et demie plus grande, ce qui justifie les longueurs des flèches du schéma.

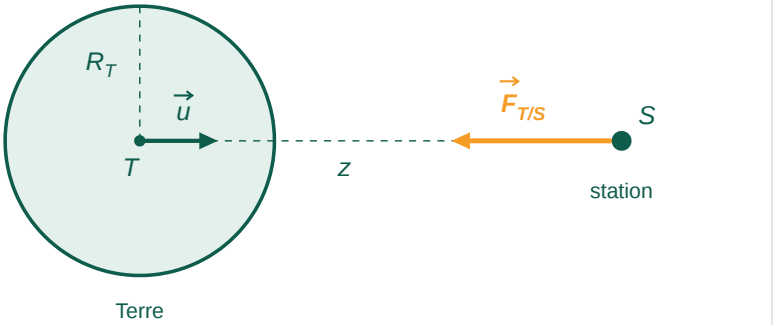
1 (Partie II) Donner l'expression vectorielle de la force gravitationnelle exercée par la Terre sur la station. Faire un schéma avec la Terre, la station et la force.

La Terre (répartition de masse sphérique) et la station (petite devant la distance) sont assimilées à deux points matériels T et S, distants de $TS = R_T + z$.

On note $\vec{u}$ le vecteur unitaire dirigé de T vers S. La force est attractive, donc dirigée de S vers T :

$$\boxed{\vec{F}_{T/S} = -\,G\,\frac{M_T\,M_S}{(R_T + z)^2}\,\vec{u}}$$

PIÈGE
Écrire z^2 au dénominateur : la distance se compte depuis le centre de la Terre. Le signe dépend du sens choisi pour $\vec{u}$, qu'il faut donc définir sur la copie et sur le schéma.



1 · La Terre, la station S et la force gravitationnelle exercée par la Terre sur la station

2.1 (Partie II) En supposant que seule la force gravitationnelle s'exerce sur la station, montrer que son mouvement est uniforme et établir l'expression de sa vitesse.

Système {station}, de masse M_S ; référentiel géocentrique supposé galiléen. On utilise le repère de Frenet lié à S : $\vec{u}_N$ dirigé de S vers T (donc $\vec{u}_N = -\vec{u}$) et $\vec{u}_T$ tangent à la trajectoire.

Deuxième loi de Newton : $\vec{F}_{T/S} = M_S\,\vec{a}$, soit

$$\vec{a} = \frac{G\,M_T}{(R_T+z)^2}\,\vec{u}_N$$

Pour un mouvement circulaire de rayon $R_T + z$: $\vec{a} = \dfrac{v^2}{R_T+z}\,\vec{u}_N + \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\,\vec{u}_T$.

Selon $\vec{u}_T$: $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$, la valeur de la vitesse est constante : le mouvement est **uniforme**.

Selon $\vec{u}_N$: $\dfrac{v^2}{R_T+z} = \dfrac{G\,M_T}{(R_T+z)^2}$, d'où

$$\boxed{v = \sqrt{\frac{G\,M_T}{R_T+z}}}$$

PIÈGE
Dire « l'accélération est constante, donc le mouvement est uniforme ». Le vecteur $\vec{a}$ change de direction à chaque instant ; c'est sa composante tangentielle nulle qui prouve que v ne varie pas.

MÉTHODE
Satellite en orbite circulaire : deuxième loi de Newton, puis accélération dans le repère de Frenet, puis identification. La composante tangentielle donne l'uniformité, la composante normale donne la vitesse.

2.2 (Partie II) La masse de la station passe de 195 tonnes (2006) à 435 tonnes (2010). Sa vitesse sur son orbite sera-t-elle modifiée ?

Dans l'expression $v = \sqrt{\dfrac{G\,M_T}{R_T+z}}$, la masse M_S n'apparaît pas : elle s'est simplifiée dans la deuxième loi de Newton.

À altitude z inchangée, la vitesse de la station n'est pas modifiée.

COMPRENDRE
La force gravitationnelle et le produit $M_S\,a$ sont tous deux proportionnels à M_S. Tous les satellites placés sur une même orbite circulaire ont donc la même vitesse, quelle que soit leur masse.

2.3 (Partie II) Quelle loi de Kepler prévoit que le mouvement circulaire d'un satellite est uniforme ? L'énoncer.

Il s'agit de la **deuxième loi de Kepler**, ou loi des aires : le segment reliant le centre de l'astre attracteur au satellite balaie des aires égales pendant des durées égales.

Sur une orbite circulaire, le segment TS a une longueur constante : des aires égales correspondent à des arcs de même longueur. La station parcourt donc des distances égales pendant des durées égales.

Deuxième loi de Kepler (loi des aires) : elle impose une vitesse de valeur constante sur une orbite circulaire.

PIÈGE
Confondre avec la troisième loi (T^2/r^3 constant), qui compare des orbites différentes et ne dit rien de la vitesse le long d'une même orbite.

3 (Partie II) Définir puis établir l'expression de la période de révolution de la station en fonction des données.

Données utiles $v = \sqrt{\dfrac{G\,M_T}{R_T + z}}$ (Q2.1)

La période de révolution T est la durée mise par la station pour effectuer un tour complet de son orbite dans le référentiel géocentrique.

Le mouvement est uniforme et la longueur d'un tour est $2\pi\,(R_T + z)$:

$$T = \frac{2\pi\,(R_T + z)}{v} = 2\pi\,(R_T + z)\sqrt{\frac{R_T + z}{G\,M_T}}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{(R_T + z)^3}{G\,M_T}}$$

COMPRENDRE
En élevant au carré, $\dfrac{T^2}{(R_T + z)^3} = \dfrac{4\pi^2}{G\,M_T}$: ce rapport est le même pour tous les satellites de la Terre. C'est la troisième loi de Kepler.

4.1 (Partie II) Définir un satellite géostationnaire.

Un satellite géostationnaire reste immobile par rapport au sol : il est en permanence à la verticale du même point de la surface terrestre. Pour cela :

- son orbite est circulaire et située dans le plan de l'équateur ;
- il tourne dans le même sens que la Terre ;
- sa période de révolution est égale à la période de rotation de la Terre sur elle-même (environ 24 h).

Satellite fixe dans le référentiel terrestre : orbite circulaire équatoriale, même sens de rotation et même période que la Terre.

PIÈGE
Se limiter à « sa période vaut 24 h ». Sans le plan équatorial et le sens de rotation, le satellite ne reste pas au-dessus du même point.

4.2 (Partie II) La station est-elle géostationnaire ? Justifier la réponse.

Données utiles orbite inclinée de 51,6° par rapport à l'équateur ; seize révolutions par jour

L'orbite de la station est inclinée de 51,6° par rapport à l'équateur : elle n'est pas dans le plan équatorial.

De plus, la station effectue seize révolutions par jour : sa période vaut $\dfrac{24\text{ h}}{16} = 1{,}5\text{ h}$, très différente de la période de rotation de la Terre.

La station n'est pas géostationnaire.

COMPRENDRE
Un seul critère non respecté suffit pour conclure. La troisième loi de Kepler relie période et altitude : une période de 24 h correspond à environ 36 000 km d'altitude, très loin des 400 km de la station.

1 (Partie III) Expliquer la phrase : « dans un atome, les niveaux d'énergie sont quantifiés ».

L'énergie d'un atome ne peut pas prendre n'importe quelle valeur : elle ne peut prendre que certaines valeurs bien déterminées, séparées les unes des autres, propres à chaque élément. Ces valeurs sont les niveaux d'énergie de l'atome.

L'énergie de l'atome ne prend que des valeurs discrètes : elle ne varie pas de façon continue.

COMPRENDRE
Conséquence : un atome ne peut absorber ou émettre que des photons dont l'énergie est exactement égale à l'écart entre deux de ses niveaux. C'est ce qui rend la fréquence du césium si stable.

2 (Partie III) Calculer la longueur d'onde de l'onde électromagnétique émise.

Données utiles valeurs arrondies imposées : $c \approx 3 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $\nu \approx 9 \times 10^{9}$ Hz

Dans le vide ou dans l'air, longueur d'onde et fréquence sont liées par $\lambda = \dfrac{c}{\nu}$.

$$\lambda = \frac{3 \times 10^{8}}{9 \times 10^{9}} = \frac{1}{3} \times 10^{-1}\ \text{m} \approx 0{,}03\ \text{m}$$

$\lambda \approx 3 \times 10^{-2}$ m, soit environ 3 cm.

COMPRENDRE
Les valeurs arrondies n'ont qu'un chiffre significatif : le résultat aussi. Une longueur d'onde de quelques centimètres place cette onde dans le domaine des micro-ondes, et non dans le visible.

MÉTHODE
Sans calculatrice : traiter séparément les nombres ($3/9 = 1/3 \approx 0{,}33$) et les puissances de dix ($10^{8}/10^{9} = 10^{-1}$), puis regrouper.

3 (Partie III) Calculer la différence d'énergie entre les niveaux A et B de l'atome de césium 133.

Données utiles valeurs arrondies imposées : $h \approx 7 \times 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s}$; $\nu \approx 9 \times 10^{9}$ Hz

L'atome passe du niveau A au niveau B en absorbant un photon de fréquence ν. L'énergie de ce photon est égale à l'écart entre les deux niveaux :

$$\Delta E = E_B - E_A = h\nu$$

$$\Delta E = 7 \times 10^{-34} \times 9 \times 10^{9} = 63 \times 10^{-25}\ \text{J} = 6{,}3 \times 10^{-24}\ \text{J}$$

$\Delta E = E_B - E_A \approx 6 \times 10^{-24}$ J

PIÈGE
Additionner mal les exposants : $10^{-34} \times 10^{9} = 10^{-25}$, puis $63 \times 10^{-25} = 6{,}3 \times 10^{-24}$. La différence $E_B - E_A$ est positive, car l'atome gagne de l'énergie.

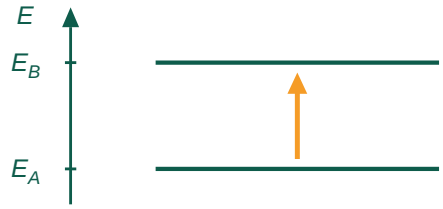
COMPRENDRE
Avec les valeurs précises de h et de ν, on trouve $6{,}09 \times 10^{-24}$ J : l'arrondi demandé conduit bien au même résultat à un chiffre significatif.

4 (Partie III) Sur un diagramme, placer les niveaux d'énergie E_A et E_B puis représenter la transition effectuée par les atomes de césium qui absorbent l'onde.

En absorbant un photon, l'atome gagne de l'énergie : E_B est placé au-dessus de E_A sur l'axe des énergies, et la transition est une flèche verticale de E_A vers E_B.

$E_B > E_A$; flèche vers le haut de E_A à E_B, avec $E_B - E_A = h\nu$.

PIÈGE
Orienter la flèche vers le bas : cela représenterait l'émission d'un photon. Pour une absorption, la flèche monte.



4 · Diagramme d'énergie : absorption d'un photon par l'atome de césium

Filtre pour enceinte

Bac S 2007 Liban (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1 Partie I. Indiquer sur le schéma de l'annexe les branchements du système d'acquisition pour visualiser E sur la voie A et u_C sur la voie B.

Les deux tensions ont une borne commune : le fil du bas, relié à la borne négative du générateur. On y branche la masse.

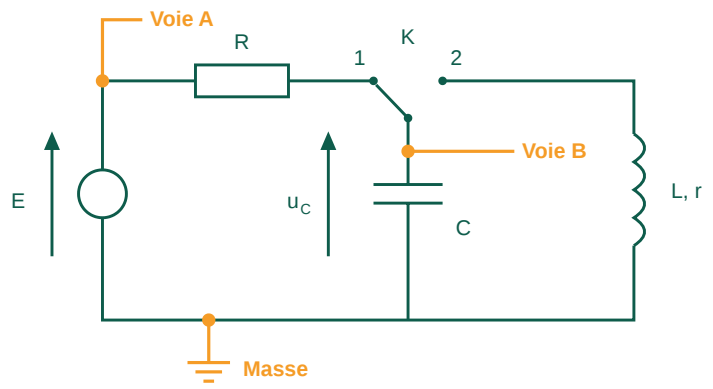
La voie A est reliée à la borne positive du générateur : elle mesure E.

La voie B est reliée à l'armature supérieure du condensateur : elle mesure u_C.

Masse sur le fil du bas ; voie A entre le générateur et R ; voie B entre K et le condensateur.

PIÈGE

Une voie se branche à la pointe de la flèche tension, la masse à son pied. Brancher la voie B entre R et K donnerait u_C seulement tant que K reste en position 1.



1 · Montage de l'annexe complété : branchements du système d'acquisition

2.1 Partie I. La tension s'écrit $u_C = U\,[1 - \exp(-t/\tau)]$. Déterminer graphiquement U.

Quand t devient très grand, $\exp(-t/\tau)$ tend vers 0, donc u_C tend vers U : U est la valeur de l'asymptote horizontale.

Sur les courbes I, u_C rejoint le palier de la tension E.

$U = 12$ V

COMPRENDRE

Le condensateur chargé ne laisse plus passer de courant : la tension aux bornes de R est nulle et u_C vaut alors la tension du générateur.

2.2 Partie I. Que représente τ pour la charge d'un condensateur ? Nommer τ.

τ est une durée qui indique la rapidité de la charge : à $t = \tau$, u_C atteint 63 % de sa valeur finale, et la charge est pratiquement terminée à $t = 5\tau$.

τ est la **constante de temps** du circuit.

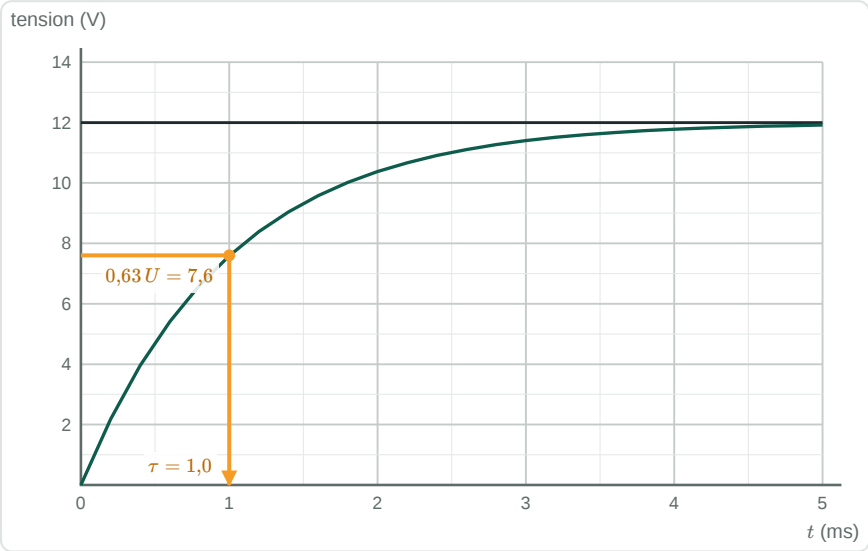
2.3 Partie I. Déterminer graphiquement la valeur de τ, en faisant apparaître la méthode sur les courbes I.

Données utiles $U = 12$ V (2.1) ; aide au calcul : $0{,}63 \times 12 \approx 7{,}6$

À $t = \tau$: $u_C(\tau) = U\left(1 - \mathrm{e}^{-1}\right) = 0{,}63\,U = 0{,}63 \times 12 = 7{,}6$ V.

On trace l'horizontale d'ordonnée 7,6 V jusqu'à la courbe u_C, puis on lit l'abscisse du point obtenu.

$\tau = 1{,}0$ ms



2.3 · Courbes I : asymptote $U = 12$ V et lecture de τ à 63 % de U

COMPRENDRE
La lecture graphique ne permet pas mieux que deux chiffres significatifs, comme pour $E = 12$ V.

MÉTHODE
Autre tracé possible : la tangente à l'origine coupe l'asymptote $u_C = U$ à l'abscisse τ. Elle est moins précise, car la tangente est délicate à tracer.

3.1 Partie I. Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension u_C lors de la charge.

K est en position 1 : le générateur, R et le condensateur sont en série. On oriente le courant i du générateur vers R, et u_R en convention récepteur.

Loi des mailles : $E = u_R + u_C$.

Loi d'Ohm : $u_R = R\,i$. Pour le condensateur : $q = C\,u_C$ et $i = \dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$, donc $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$.

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

PIÈGE
Sans orientation du courant ni convention précisée, les signes ne sont pas justifiés. Indiquer i et u_R sur le schéma ou les définir en une phrase.

3.2 Partie I. Montrer que $u_C = U\,[1 - \exp(-t/\tau)]$ est solution de cette équation et exprimer U et τ en fonction des grandeurs du montage.

On dérive : $\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = \dfrac{U}{\tau}\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$.

On remplace dans le premier membre de l'équation :

$$R\,C\,\frac{U}{\tau}\,\mathrm{e}^{-t/\tau} + U - U\,\mathrm{e}^{-t/\tau} = U + U\left(\frac{R\,C}{\tau} - 1\right)\mathrm{e}^{-t/\tau}$$

Cette expression doit valoir E à chaque instant. Comme $\mathrm{e}^{-t/\tau}$ varie avec t, il faut que son coefficient soit nul et que le terme constant soit égal à E.

La fonction est solution si $\tau = R\,C$ et $U = E$.

COMPRENDRE
Le résultat $U = E$ est cohérent avec la lecture graphique de la question 2.1 : $U = 12$ V.

MÉTHODE
Pour vérifier une solution proposée : dériver, remplacer, regrouper les termes en exponentielle, puis imposer l'égalité à tout instant. On obtient une condition par constante.

3.3 Partie I. Vérifier la dimension de τ par une analyse dimensionnelle.

$[\tau] = [R]\,[C]$.

Loi d'Ohm $u = Ri$: $[R] = \dfrac{[U]}{[I]}$.

Relation $i = C\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$: $[I] = [C]\dfrac{[U]}{[T]}$, donc $[C] = \dfrac{[I]\,[T]}{[U]}$.

$$[\tau] = \frac{[U]}{[I]} \times \frac{[I]\,[T]}{[U]} = [T]$$

$\tau = RC$ a la dimension d'une durée.

PIÈGE
Écrire « des ohms fois des farads donnent des secondes » n'est pas une démonstration : il faut revenir à des relations connues entre tension, intensité et durée.

1 Partie II. Le condensateur chargé se décharge dans la bobine. Quelle est la nature du phénomène observé ?

Sur la courbe II, u_C prend alternativement des valeurs positives et négatives, à intervalles de temps réguliers, avec une amplitude qui diminue.

Le circuit est le siège d'**oscillations électriques amorties** : le régime est pseudo-périodique.

COMPRENDRE
La bobine et les oscillations électriques des circuits RLC ne figurent plus au programme actuel de la spécialité. La partie I (circuit RC) reste, elle, entièrement au programme.

2.1 Partie II. Nommer le temps caractéristique du phénomène observé puis le déterminer, en faisant apparaître la méthode sur la courbe II.

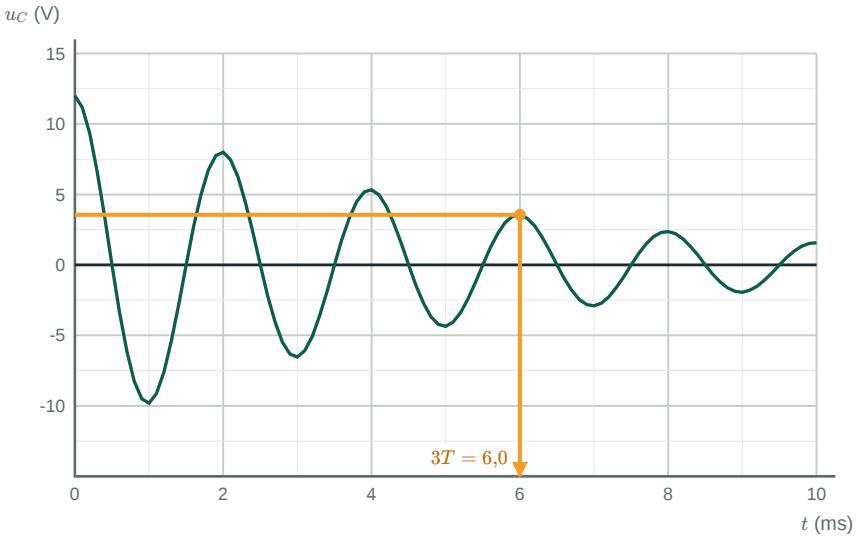
Ce temps caractéristique est la **pseudo-période** T, durée entre deux maximums successifs de u_C.

Entre le maximum initial ($t = 0$) et le quatrième maximum, on compte trois pseudo-périodes : $3T = 6{,}0$ ms.

$$T = \frac{6{,}0}{3} = 2{,}0 \text{ ms}$$

$T = 2{,}0 \text{ ms} = 2{,}0 \times 10^{-3}$ s

MÉTHODE
Mesurer plusieurs pseudo-périodes puis diviser : l'incertitude de lecture est divisée d'autant.



2.1 · Courbe II : trois pseudo-périodes entre le maximum initial et le quatrième maximum

2.2 Partie II. Donner l'expression de ce temps en fonction des éléments du montage.

L'amortissement est faible : la pseudo-période est pratiquement égale à la période propre du circuit (L, C).

$$T \approx T_0 = 2\pi\sqrt{L\,C}$$

PIÈGE
La résistance r n'intervient pas dans cette expression. Ne pas confondre non plus avec la constante de temps $R\,C$ de la partie I.

3 Partie II. En déduire la valeur de l'inductance L de la bobine.

Données utiles $T = 2{,}0 \times 10^{-3}$ s (2.1) ; $C = 10\ \mu\text{F} = 10 \times 10^{-6}$ F ; aide au calcul : $\pi^2 \approx 10$

$T^2 = 4\pi^2\,L\,C$, donc $L = \dfrac{T^2}{4\pi^2\,C}$.

$$L = \frac{(2{,}0 \times 10^{-3})^2}{4 \times 10 \times 10 \times 10^{-6}} = \frac{4{,}0 \times 10^{-6}}{4{,}0 \times 10^{-4}}$$

$L = 1{,}0 \times 10^{-2}$ H, soit 10 mH.

PIÈGE
Oublier d'élever au carré, ou laisser T en millisecondes et C en microfarads : le henry s'obtient avec des secondes et des farads.

4 Partie II. Comment voit-on que la bobine possède une résistance non nulle ?

L'amplitude des oscillations diminue au cours du temps : l'énergie du circuit décroît. Elle est dissipée par effet Joule, ce qui exige une résistance dans le circuit de décharge. Celui-ci ne contient que le condensateur et la bobine.

L'amortissement des oscillations montre que $r \neq 0$.

COMPRENDRE
En position 2, la résistance R n'est plus dans le circuit : seule la bobine peut dissiper de l'énergie. Avec $r = 0$, l'amplitude resterait égale à 12 V.

5 Partie II. Sous quelle(s) forme(s) est stockée l'énergie totale du dipôle (L, C) à la date $t = 2{,}0$ ms ? Calculer sa valeur.

Données utiles $C = 10 \times 10^{-6}$ F ; courbe II : $u_C = 8{,}0$ V à $t = 2{,}0$ ms

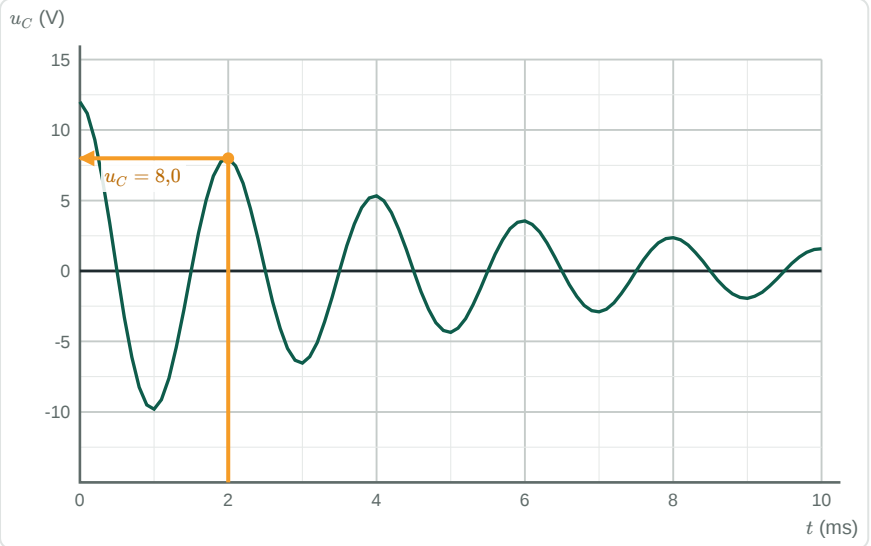
À $t = 2{,}0$ ms, u_C est maximale : $\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = 0$, donc $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = 0$.

L'énergie de la bobine, $\dfrac{1}{2}\,L\,i^2$, est nulle : toute l'énergie est stockée dans le condensateur, sous forme électrique.

$$E_{\text{tot}} = \frac{1}{2}\,C\,u_C^2 = 0{,}5 \times 10 \times 10^{-6} \times 8{,}0^2 = 0{,}5 \times 10 \times 64 \times 10^{-6}$$

$E_{\text{tot}} = 3{,}2 \times 10^{-4}$ J, entièrement dans le condensateur.

PIÈGE
Prendre $u_C = 12$ V, valeur à $t = 0$: on trouverait $7{,}2 \times 10^{-4}$ J. L'écart avec le résultat correspond à l'énergie déjà dissipée par effet Joule dans r.



5 · Courbe II : à $t = 2{,}0$ ms, u_C passe par un maximum

Spécialité : Microscope

Bac S 2007 Liban (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1 En justifiant, placer sur la figure (a) le foyer principal F du miroir sphérique d'axe (Δ) et de centre C.

Le foyer principal F d'un miroir sphérique se trouve au milieu du segment [CS], où S est le sommet du miroir :

$$CF = FS = \frac{CS}{2}$$

F est le point de l'axe (Δ) situé au milieu de [CS] (tracé sur la figure de la question 2).

COMPRENDRE
Le miroir sphérique appartenait à l'ancien enseignement de spécialité ; il n'est plus étudié dans la spécialité actuelle. Les idées utilisées ici (foyer, plan focal, source à l'infini) restent celles des lentilles et de la lunette astronomique.

2 Compléter sur la figure (a) la marche des rayons lumineux provenant de la source qui éclaire le miroir.

Les deux rayons incidents sont parallèles : la source est à l'infini. Son image B se forme donc dans le plan focal du miroir, plan perpendiculaire à (Δ) passant par F.

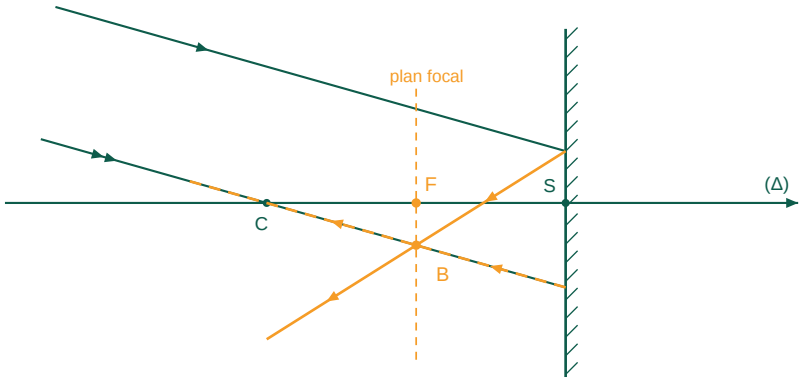
Le rayon incident qui passe par le centre C se réfléchit sur lui-même : il repasse par C. Il coupe le plan focal au point B.

L'autre rayon se réfléchit en passant lui aussi par B.

Les rayons réfléchis convergent au point B du plan focal, situé sur le rayon qui passe par C.

PIÈGE
Faire converger les rayons réfléchis au foyer F. Ce serait vrai seulement pour des rayons incidents parallèles à l'axe (Δ) ; ici ils sont inclinés, donc ils se croisent ailleurs dans le plan focal.

MÉTHODE
Faisceau parallèle incliné : repérer d'abord le point image dans le plan focal grâce à un rayon particulier (celui qui passe par C), puis faire passer par ce point tous les autres rayons réfléchis.



2 · Figure (a) complétée : foyer F, plan focal et rayons réfléchis (en orange)

1 Compléter les figures (b) et (c) en construisant l'image A_1B_1 de l'objet AB donnée par la lentille L_1.

Dans chaque cas, on trace deux rayons issus de B :

- le rayon parallèle à l'axe optique, qui émerge en passant par le foyer image F_1' ;
- le rayon passant par le centre optique O_1, qui n'est pas dévié.

B_1 est à l'intersection des rayons émergents (ou de leurs prolongements) ; A_1 est sur l'axe, à la verticale de B_1.

Figure (b) : les rayons émergents se coupent après la lentille. L'image est réelle, renversée et agrandie.

Figure (c) : les rayons émergents divergent ; ce sont leurs prolongements qui se coupent, avant la lentille. L'image est virtuelle, droite et agrandie.

(b) : A_1B_1 réelle et renversée, à droite de F_1' ; (c) : A_1B_1 virtuelle et droite, à gauche de F_1.

PIÈGE
Sur la figure (c), tracer les prolongements en traits pleins. Ils ne correspondent à aucun trajet de lumière : ils se dessinent en pointillés, comme l'image virtuelle A_1B_1.

Figure (b)

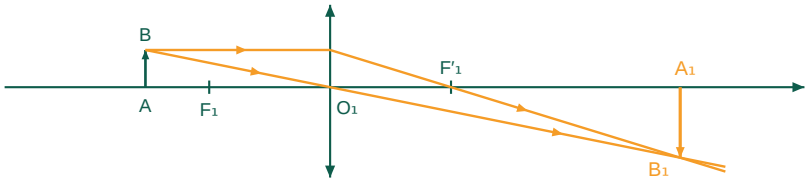
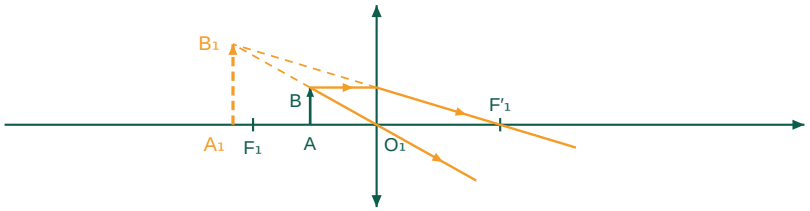


Figure (c)



1 · Figures (b) et (c) complétées : en pointillés, les prolongements et l'image virtuelle

2 Laquelle de ces deux constructions correspond à la situation du microscope ?

L'objectif du microscope donne de l'objet une image intermédiaire renversée et très agrandie. Seule la figure (b) donne une image renversée : l'objet y est placé un peu avant le foyer objet F_1.

C'est la figure (b) qui correspond au microscope.

COMPRENDRE
Sur la figure (c), l'objet est entre F_1 et O_1 : la lentille fonctionne en loupe et l'image est droite. Dans un microscope, ce rôle est tenu par l'oculaire, pas par l'objectif.

3 Déduire de la mesure sur le banc optique la distance focale f_1' de l'objectif.

Données utiles objet à 5,0 cm avant l'objectif ; image nette sur un écran à 15,0 cm après l'objectif

L'axe est orienté dans le sens de la lumière : $\overline{O_1A} = -5{,}0$ cm et $\overline{O_1A_1} = +15{,}0$ cm.

Relation de conjugaison :

$$\frac{1}{\overline{O_1A_1}} - \frac{1}{\overline{O_1A}} = \frac{1}{f_1'}$$

$$\frac{1}{f_1'} = \frac{1}{15{,}0} + \frac{1}{5{,}0} = \frac{1}{15{,}0} + \frac{3}{15{,}0} = \frac{4}{15{,}0} \text{ cm}^{-1}$$

$$f_1' = \frac{15{,}0}{4} = 3{,}75 \text{ cm}$$

$f_1' \approx 3{,}8$ cm

PIÈGE
Oublier que $\overline{O_1A}$ est négative (objet avant la lentille). Avec $+5{,}0$ cm, on obtiendrait $\frac{1}{f_1'} = -\frac{2}{15}$, soit une distance focale négative, impossible pour une lentille convergente.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la donnée la moins précise (5,0 cm). Vérification : l'objet est entre f_1' et $2f_1'$ de la lentille ($3{,}75 < 5{,}0 < 7{,}5$), donc l'image est réelle et agrandie, comme sur la figure (b).

MÉTHODE
Sans calculatrice, garder des fractions : réduire au même dénominateur, additionner, puis inverser à la toute fin.

1 Où doit se situer l'image intermédiaire A_1B_1 pour que l'image définitive A'B' soit à l'infini ?

Une lentille convergente donne une image à l'infini lorsque l'objet est dans son plan focal objet. Ici, l'objet de l'oculaire L_2 est l'image intermédiaire A_1B_1.

A_1B_1 doit être dans le plan focal objet de l'oculaire : A_1 est confondu avec le foyer objet F_2.

COMPRENDRE
Le microscope n'est plus étudié dans la spécialité actuelle, mais ce réglage est exactement celui de la lunette astronomique : image intermédiaire au foyer objet de l'oculaire, image finale à l'infini, observée sans fatigue par l'œil.

2 Compléter la figure (d) en construisant l'image définitive A'B' de A_1B_1.

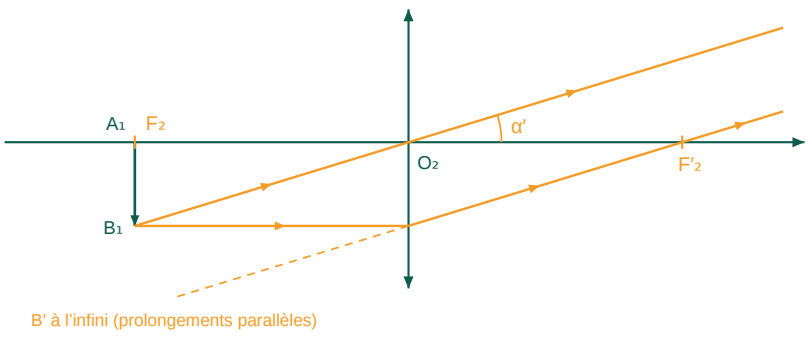
A_1 est au foyer objet : on place F_2 en A_1, puis F_2' symétrique de F_2 par rapport à O_2.

Deux rayons issus de B_1 : celui qui passe par O_2 n'est pas dévié ; celui qui arrive parallèlement à l'axe émerge en passant par F_2'.

Les deux rayons émergents sont parallèles entre eux : B' est à l'infini, dans leur direction. Elle fait l'angle α' avec l'axe optique.

A'B' est à l'infini : tous les rayons issus de B_1 émergent parallèles au rayon B_1O_2.

PIÈGE
Chercher à faire se couper les deux rayons émergents. Ils doivent rester rigoureusement parallèles : c'est ce parallélisme qui traduit une image à l'infini.



2 · Figure (d) complétée : A_1 au foyer objet F_2, rayons émergents parallèles

3 Exprimer le grossissement G_2 de l'oculaire en fonction de f'_2 et de d, puis calculer f'_2.

Données utiles $G_2 = 10$; $d = 25$ cm

À l'œil nu, l'objet A_1B_1 placé à la distance d est vu sous l'angle α :

$$\alpha \approx \tan\alpha = \frac{A_1B_1}{d}$$

À travers l'oculaire, l'image à l'infini est vue sous l'angle α'. Dans le triangle $O_2A_1B_1$, rectangle en A_1, avec $O_2A_1 = f'_2$: $\alpha' \approx \tan\alpha' = \frac{A_1B_1}{f'_2}$

$$G_2 = \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{A_1B_1}{f'_2} \times \frac{d}{A_1B_1} = \frac{d}{f'_2}$$

D'où $f'_2 = \frac{d}{G_2} = \frac{25}{10}$

$$\boxed{G_2 = \frac{d}{f'_2} \text{ et } f'_2 = 2{,}5 \text{ cm}}$$

PIÈGE

Exprimer α et α' avec des longueurs d'unités différentes. d est en centimètres : f'_2 sort en centimètres. Ne pas confondre non plus grossissement (rapport d'angles) et grandissement (rapport de tailles).

COMPRENDRE

Plus la distance focale de l'oculaire est courte, plus le grossissement est fort. La distance $d = 25$ cm est la plus petite distance de vision nette d'un œil normal.