Corrigé complet — Bac S 2006 Inde (Pondichéry) (ancien programme)

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

Ex 1	**Quand un acide rencontre une base** Esters et saponification · Constante d'acidité et pH · Taux d'avancement final · Conductivité d'une solution · Tableau d'avancement · Loi des gaz parfaits	7 pts	1 h 31	13 questions	p. 2
Ex 2	**Analogies électromécaniques** Oscillateur masse-ressort · Deuxième loi de Newton · Équation différentielle du second ordre · Période propre · Circuit LC · Analogie électromécanique	5 pts	1 h 05	8 questions	p. 6
Ex 3	**Spécialité : Etude d'un instrument d'observation astronomique** Miroir plan · Miroir sphérique concave · Télescope de Newton · Image intermédiaire et oculaire · Système afocal · Grossissement	4 pts	52 min	2 questions	p. 10
Ex 4	**Fusion deutérium tritium** Isotopes · Radioactivité β^- · Demi-vie · Fusion nucléaire · Énergie de liaison · Énergie libérée	4 pts	52 min	12 questions	p. 13

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.

Quand un acide rencontre une base

Bac S 2006 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 1 **7 points** **Durée conseillée 1 h 31**

1.a Donner l'autre nom du propan-1,2,3-triol.

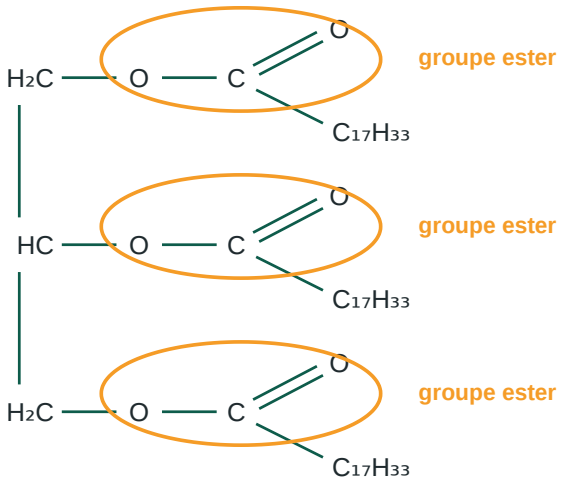
Le propan-1,2,3-triol est le **glycérol** (ou glycérine).

1.b Recopier la formule du triester et entourer la (ou les) fonction(s) caractéristique(s).

La molécule porte trois fois le groupe caractéristique $-COO-$ (un carbone doublement lié à un oxygène et simplement lié à un autre oxygène, lui-même lié à un carbone).

Trois groupes **ester** sont entourés sur la formule.

PIÈGE
N'entourer que $C{=}O$ désigne un groupe carbonyle. Le groupe ester comprend aussi l'atome d'oxygène lié par une liaison simple.



1.b · Formule du triester recopiée ; en orange, les trois groupes ester entourés

1.c Quel est l'autre nom de l'hydrolyse basique de l'huile, réalisée à chaud avec de la soude concentrée ?

L'hydrolyse basique d'un ester est une **saponification**.

COMPRENDRE
Le mot vient de « savon » : cette transformation, rapide à chaud et totale, sert à fabriquer les savons à partir de corps gras.

1.d Nommer les produits de la réaction entre le triester et la soude.

$HOCH_2-CHOH-CH_2OH$ est le propan-1,2,3-triol, c'est-à-dire le glycérol.

$(Na^+ + C_{17}H_{33}COO-)$ associe l'ion sodium à l'ion oléate, base conjuguée de l'acide oléique.

Les produits sont le **glycérol** et l'**oléate de sodium** (un savon).

PIÈGE
Répondre « acide oléique » : en milieu basique, on obtient l'ion carboxylate, pas l'acide carboxylique.

2.a Écrire l'équation de la réaction entre l'acide acétique et l'eau.

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

$$CH_3COOH\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons CH_3COO^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)$$

2.b Donner l'expression littérale de la constante d'équilibre associée à cette réaction, puis calculer sa valeur.

Données utiles $pK_a(CH_3COOH/CH_3COO^-) = 4{,}75$

L'eau est le solvant, elle n'apparaît pas dans l'expression :

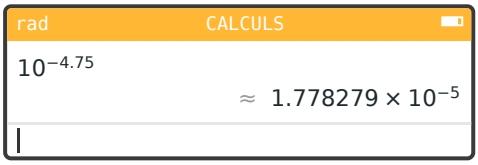
$$K = \frac{[CH_3COO^-]_{éq}\,[H_3O^+]_{éq}}{[CH_3COOH]_{éq}}$$

C'est la constante d'acidité du couple : $K = K_a = 10^{-pK_a} = 10^{-4{,}75}$

$$K = K_a = 1{,}8 \times 10^{-5}$$

COMPRENDRE
Un pK_a donné avec deux décimales conduit à un K_a à deux chiffres significatifs : les décimales d'un logarithme fixent les chiffres significatifs du nombre.

À LA CALCULATRICE



2.c Établir le tableau d'avancement de la réaction, calculer son taux d'avancement et conclure.

Données utiles $pH = 3{,}40$; $c = 1{,}00 \times 10^{-2}\ mol \cdot L^{-1}$

Pour un volume V de solution, la quantité initiale d'acide est cV :

État	CH_3COOH	H_2O	CH_3COO^-	H_3O^+
initial ($x = 0$)	cV	solvant	0	0
en cours (x)	$cV - x$	solvant	x	x
final (x_f)	$cV - x_f$	solvant	x_f	x_f

Si la transformation était totale : $cV - x_{max} = 0$, soit $x_{max} = cV$.

À l'état final : $x_f = [H_3O^+]_f\,V = 10^{-pH}\,V$.

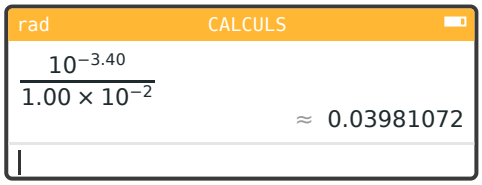
$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{10^{-pH}}{c} = \frac{10^{-3{,}40}}{1{,}00 \times 10^{-2}} = 4{,}0 \times 10^{-2}$$

$\tau = 4{,}0 \times 10^{-2}$, soit 4,0 % : $\tau < 1$, la transformation est **limitée** (très peu avancée), l'acide acétique est un acide faible.

PIÈGE
Oublier la conclusion. Sur 100 molécules d'acide apportées, 4 seulement ont réagi avec l'eau.

MÉTHODE
Le volume n'est pas donné : garder V en lettre, il se simplifie dans le rapport. Pour un acide seul dans l'eau, $\tau = \frac{10^{-pH}}{c}$.

À LA CALCULATRICE



2.d À partir de la conductivité mesurée de la solution diluée, retrouver la valeur de son pH.

Données utiles $\sigma = 15{,}5 \times 10^{-3}\ \text{S} \cdot \text{m}^{-1}$; $\lambda(H_3O^+) = 35{,}0 \times 10^{-3}\ \text{S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$; $\lambda(CH_3COO^-) = 4{,}09 \times 10^{-3}\ \text{S} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$

Les ions présents sont H_3O^+ et CH_3COO^- :

$$\sigma = \lambda(H_3O^+)\,[H_3O^+] + \lambda(CH_3COO^-)\,[CH_3COO^-]$$

D'après le tableau (2.c), $[CH_3COO^-] = [H_3O^+]$, donc :

$$[H_3O^+] = \frac{\sigma}{\lambda(H_3O^+) + \lambda(CH_3COO^-)} = \frac{15{,}5 \times 10^{-3}}{(35{,}0 + 4{,}09) \times 10^{-3}}$$

$[H_3O^+] = 0{,}397\ \text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$

soit $[H_3O^+] = 3{,}97 \times 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, puis $\text{pH} = -\log[H_3O^+] = -\log(3{,}97 \times 10^{-4})$.

$\text{pH} = 3{,}40$: on retrouve la valeur mesurée au pH-mètre.

PIÈGE
La loi donne une concentration en $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$. Il faut diviser par 1000 pour passer en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ avant de calculer le pH, sinon on trouve $0{,}40$.

COMPRENDRE
Les ions HO^-, ultra-minoritaires dans cette solution acide, sont négligés dans la conductivité.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{15.5 \times 10^{-3}}{35.0 \times 10^{-3} + 4.09 \times 10^{-3}} \approx 0.3965208$

$-\log(3.97 \times 10^{-4}) \approx 3.401209$

3.a Écrire l'équation de la réaction entre l'hydrogénocarbonate de sodium solide et l'acide acétique du vinaigre.

Données utiles $pK_a(CH_3COOH/CH_3COO^-) = 4{,}75$; $pK_a(CO_2,H_2O/HCO_3^-) = 6{,}35$

L'acide CH_3COOH cède un ion H^+ à la base HCO_3^- apportée par le solide ; il se forme CO_2,H_2O, c'est-à-dire du dioxyde de carbone gazeux et de l'eau. L'ion Na^+, libéré en solution, est spectateur.

$$NaHCO_3 + CH_3COOH \longrightarrow Na^+ + CH_3COO^- + CO_2 + H_2O$$

COMPRENDRE
L'acide du couple de plus petit pK_a réagit avec la base du couple de plus grand pK_a : $K = 10^{6{,}35-4{,}75} \approx 40$. Le gaz s'échappe, ce qui rend la transformation totale.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$10^{6.35-4.75} \approx 39.81072$

3.b Calculer la quantité de matière initiale correspondant à 1,00 g d'hydrogénocarbonate de sodium.

Données utiles $m = 1{,}00\ \text{g}$; $M(NaHCO_3) = 84\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$n_1 = \frac{m}{M(NaHCO_3)} = \frac{1{,}00}{84}$$

$n_1 = 1{,}2 \times 10^{-2}\ \text{mol}$

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{1.00}{84} \approx 0.01190476$

3.c Établir le tableau d'avancement de la réaction, puis en déduire l'avancement maximal et le réactif limitant.

Données utiles $n_1 = 1{,}2 \times 10^{-2}$ mol (3.b) ; $n_2 = 3{,}7 \times 10^{-5}$ mol d'acide acétique dans une goutte

Quantités en mol (état initial, en cours, final si la transformation est totale) :

État	$NaHCO_3$	CH_3COOH	Na^+	CH_3COO^-	CO_2	H_2O
$x = 0$	n_1	n_2	0	0	0	excès
x	$n_1 - x$	$n_2 - x$	x	x	x	excès
x_{max}	$n_1 - x_{max}$	$n_2 - x_{max}$	x_{max}	x_{max}	x_{max}	excès

Si $NaHCO_3$ est limitant : $n_1 - x_{max} = 0$, soit $x_{max} = 1{,}2 \times 10^{-2}$ mol.

Si CH_3COOH est limitant : $n_2 - x_{max} = 0$, soit $x_{max} = 3{,}7 \times 10^{-5}$ mol.

On retient la plus petite valeur.

$x_{max} = 3{,}7 \times 10^{-5}$ mol : le réactif limitant est l'**acide acétique**.

COMPRENDRE
Le bicarbonate est en très large excès (plus de 300 fois la quantité d'acide d'une goutte) : c'est pourquoi le manège dure tant qu'il reste du vinaigre.

3.d À partir du volume de gaz dégagé, déterminer la valeur de l'avancement final x_f de la réaction.

Données utiles $p = 1020$ hPa ; $\theta = 25$ °C ; $V_{gaz} = 0{,}89$ mL ; $R = 8{,}31$ J · K^{-1} · mol^{-1}

D'après le tableau (3.c), $n(CO_2) = x_f$. Le gaz est supposé parfait : $p\,V_{gaz} = n(CO_2)\,R\,T$, donc

$$x_f = \frac{p\,V_{gaz}}{R\,T}$$

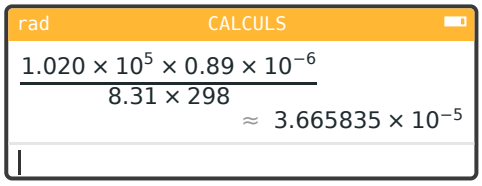
avec $p = 1{,}020 \times 10^5$ Pa, $V_{gaz} = 0{,}89 \times 10^{-6}$ m^3 et $T = 273 + 25 = 298$ K :

$$x_f = \frac{1{,}020 \times 10^5 \times 0{,}89 \times 10^{-6}}{8{,}31 \times 298}$$

$x_f = 3{,}7 \times 10^{-5}$ mol

PIÈGE
Unités du système international obligatoires : 1 hPa $= 10^2$ Pa, 1 mL $= 10^{-6}$ m^3, température en kelvins. Garder des mL donne un résultat un million de fois trop grand.

À LA CALCULATRICE



3.e Calculer le taux d'avancement final τ de cette transformation et conclure.

Données utiles $x_f = 3{,}7 \times 10^{-5}$ mol (3.d) ; $x_{max} = 3{,}7 \times 10^{-5}$ mol (3.c)

$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{3{,}7 \times 10^{-5}}{3{,}7 \times 10^{-5}} = 1{,}0$$

$\tau = 1{,}0$, soit 100 % : la transformation est **totale**.

COMPRENDRE
Contrairement à la réaction de l'acide acétique avec l'eau ($\tau = 4$ %), celle-ci consomme tout l'acide de la goutte : la gouttelette, débarrassée de ses bulles, redescend sans son acide.

Analogies électromécaniques

Bac S 2006 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.a Faire le bilan des forces agissant sur (S) et les représenter sur un schéma.

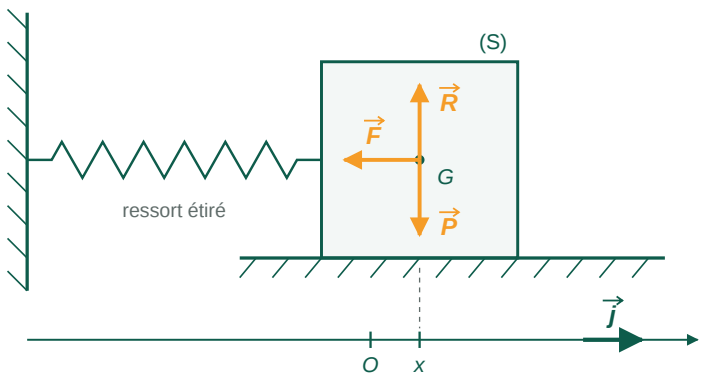
Système : le solide (S), étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Il est soumis à trois forces :

- son poids $\vec{P}$, vertical, dirigé vers le bas ;
- la réaction $\vec{R}$ du support, verticale et dirigée vers le haut, puisque le glissement se fait sans frottement ;
- la force de rappel du ressort $\vec{F} = -k\,x\,\vec{j}$, horizontale, dirigée vers O.

Trois forces : $\vec{P}$, $\vec{R}$ et $\vec{F} = -k\,x\,\vec{j}$, avec $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$.

PIÈGE
Dessiner $\vec{F}$ dans le sens du déplacement. La force de rappel ramène toujours G vers O : pour $x > 0$ (ressort étiré), elle est dirigée vers la gauche.

COMPRENDRE
L'oscillateur masse-ressort ne figure plus au programme actuel de spécialité. La démarche (bilan des forces, deuxième loi de Newton, projection) reste celle de tout exercice de mécanique.



1.a · Les trois forces appliquées à (S), représentées en G pour x > 0

1.b Retrouver l'équation différentielle du mouvement en précisant la loi physique utilisée.

Deuxième loi de Newton appliquée à (S), de masse m constante, dans le référentiel terrestre galiléen :

$$\vec{P} + \vec{R} + \vec{F} = m\,\vec{a}$$

Projection sur l'axe $(O, \vec{j})$: le poids et la réaction sont verticaux, leur projection est nulle. Il reste $-k\,x = m\,a_x$ avec $a_x = \dfrac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}$.

$$m\,\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} + k\,x = 0 \text{ (deuxième loi de Newton)}$$

MÉTHODE
Écrire la loi sous forme vectorielle, puis projeter sur l'axe du mouvement. Les forces perpendiculaires à l'axe disparaissent de la projection : inutile de connaître leur valeur.

1.c Vérifier que $x = A\cos\left(2\pi\dfrac{t}{T}+\varphi\right)$ est solution si T a une expression à donner en fonction de k et m. Donner l'unité de $\dfrac{m}{k}$, le nom de T et sa valeur.

Données utiles $\dfrac{m}{k} = 1{,}0\times10^{-2}$ S.I.

On dérive deux fois :

$$\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = -A\frac{2\pi}{T}\sin\left(2\pi\frac{t}{T}+\varphi\right) \text{ puis } \frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} = -\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 x$$

On reporte dans l'équation différentielle :

$$\left[k - m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2\right]x(t) = 0$$

Cette égalité est vraie à tout instant, quels que soient A et φ, si le crochet est nul : $k = m\dfrac{4\pi^2}{T^2}$, soit $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$.

Unité : k est en $\mathrm{N\cdot m^{-1}}$ et $1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{kg\cdot m\cdot s^{-2}}$, donc k est en $\mathrm{kg\cdot s^{-2}}$ et $\dfrac{m}{k}$ en $\mathrm{s^2}$.

T est la période propre de l'oscillateur.

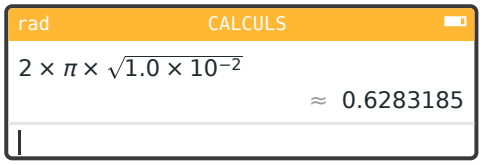
$$T = 2\pi\sqrt{1{,}0\times10^{-2}} = 0{,}63\ \mathrm{s}$$

$T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}} = 0{,}63$ s ; $\dfrac{m}{k}$ s'exprime en $\mathrm{s^2}$.

PIÈGE
Oublier le facteur $\dfrac{2\pi}{T}$ à chaque dérivation : il sort deux fois, d'où le carré. Sans lui, on ne trouve aucune condition sur T.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la donnée $1{,}0\times10^{-2}$. L'unité $\mathrm{s^2}$ est cohérente : la racine de $\dfrac{m}{k}$ donne bien une durée.

À LA CALCULATRICE



1.d En prenant en compte les conditions initiales, montrer que $A = X_0$ et $\varphi = 0$.

Données utiles à $t = 0$: $x = X_0 = +4{,}0$ cm et $v_x = 0$

Vitesse : $v_x(t) = \dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = -A\dfrac{2\pi}{T}\sin\left(2\pi\dfrac{t}{T}+\varphi\right)$.

À $t = 0$:

- $v_x(0) = -A\dfrac{2\pi}{T}\sin\varphi = 0$ avec $A \neq 0$, donc $\sin\varphi = 0$: $\varphi = 0$ ou $\varphi = \pi$;
- $x(0) = A\cos\varphi = X_0 > 0$.

L'amplitude A étant choisie positive, il faut $\cos\varphi > 0$: on retient $\varphi = 0$, d'où $A = X_0$.

$\varphi = 0$ et $A = X_0$: $x(t) = X_0\cos\left(2\pi\dfrac{t}{T}\right)$

COMPRENDRE
Le couple $\varphi = \pi$, $A = -X_0$ décrit exactement le même mouvement. Par convention l'amplitude est positive, ce qui fixe $\varphi = 0$.

MÉTHODE
Deux constantes inconnues (A et φ) demandent deux conditions initiales : une sur la position, une sur la vitesse. Commencer par celle qui est nulle.

2.a Quelle grandeur mécanique correspond à l'intensité $i(t)$? Quelles grandeurs électriques correspondent à la raideur du ressort et à la masse du solide ?

Les deux équations ont la même forme :

$$m\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}+k\,x=0 \qquad L\frac{\mathrm{d}^2q}{\mathrm{d}t^2}+\frac{1}{C}\,q=0$$

La charge q joue le rôle de l'abscisse x. Comme $i=\dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$, l'intensité correspond à $\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$, c'est-à-dire à la vitesse v_x du solide.

Par identification des coefficients : la raideur k correspond à $\dfrac{1}{C}$, la masse m à l'inductance L.

$$i \leftrightarrow v_x \ ; \ k \leftrightarrow \frac{1}{C} \ ; \ m \leftrightarrow L$$

PIÈGE
Associer k à C. Dans l'équation électrique, q est divisée par C : c'est l'inverse de la capacité qui tient la place de la raideur.

COMPRENDRE
La bobine et le circuit LC ne sont plus au programme actuel de spécialité. Ici l'énoncé fournit l'équation : seule la comparaison terme à terme est demandée.

2.b Montrer que $q(t)=Q_0\cos\left(2\pi\dfrac{t}{T'}\right)$. Donner l'expression de T' en fonction des caractéristiques des composants, puis calculer sa valeur.

Données utiles $L=0{,}10$ H ; $C=10{,}0\ \mu$F ; $Q_0=10^{-4}$ C ; $x(t)=X_0\cos\left(2\pi\dfrac{t}{T}\right)$ (1.d)

Les équations différentielles ont la même forme et les conditions initiales se correspondent :

- $q(0)=Q_0$, comme $x(0)=X_0$;
- $i(0)=0$ (l'interrupteur vient d'être fermé, le courant est encore nul), comme $v_x(0)=0$.

La solution a donc la même forme que $x(t)$, en remplaçant X_0 par Q_0 et T par T'.

Pour la période, on remplace m par L et k par $\dfrac{1}{C}$ dans $T=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$: $T'=2\pi\sqrt{LC}$.

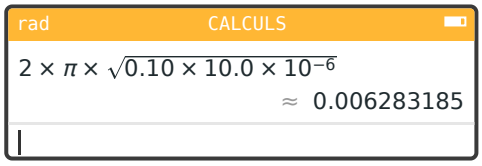
$$T'=2\pi\sqrt{0{,}10\times10{,}0\times10^{-6}}=6{,}3\times10^{-3}\ \text{s}$$

$$q(t)=Q_0\cos\left(2\pi\frac{t}{T'}\right) \text{ avec } T'=2\pi\sqrt{LC}=6{,}3\ \text{ms}$$

PIÈGE
Laisser C en microfarads. Il faut $C=10{,}0\times10^{-6}$ F pour obtenir T' en secondes.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, imposés par $L=0{,}10$ H. La condition $i(0)=0$ est indispensable : sans elle, rien ne justifie une phase nulle.

À LA CALCULATRICE



3 Représenter sur deux schémas différents les fonctions $x(t)$ et $q(t)$, pour t variant de 0 à $2T$ (ou $2T'$), en précisant les points importants.

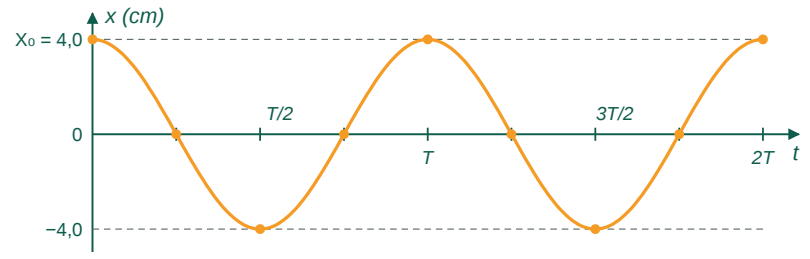
Données utiles $X_0=4{,}0$ cm ; $T=0{,}63$ s (1.c) ; $Q_0=10^{-4}$ C $=100\ \mu$C ; $T'=6{,}3$ ms (2.b)

Les deux fonctions sont des cosinus de phase nulle : elles ont la même allure.

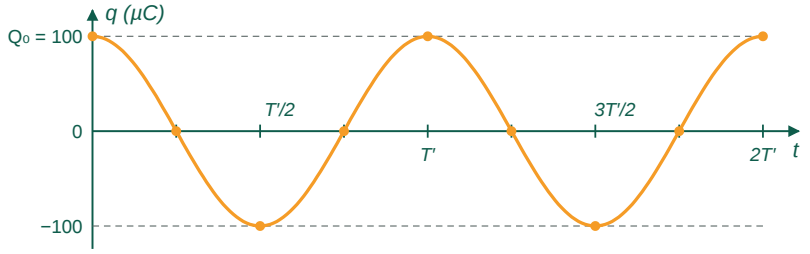
- À $t=0$: valeur maximale ($X_0=4{,}0$ cm ; $Q_0=100\ \mu$C), avec une tangente horizontale car $v_x(0)=0$ et $i(0)=0$.
- Maximum à chaque période : $t=0$, T, $2T$.
- Minimum ($-X_0$ ou $-Q_0$) aux demi-périodes : $t=\dfrac{T}{2}$ et $\dfrac{3T}{2}$.
- Passage par zéro en $t=\dfrac{T}{4}$, $\dfrac{3T}{4}$, $\dfrac{5T}{4}$ et $\dfrac{7T}{4}$.

Deux sinusoïdes de même allure : $x(t)$ d'amplitude $4{,}0$ cm et de période $0{,}63$ s ; $q(t)$ d'amplitude $100\ \mu$C et de période $6{,}3$ ms.

MÉTHODE
Placer d'abord les points remarquables tous les quarts de période (maximum, zéro, minimum, zéro), puis les relier par une courbe arrondie, sans pointe aux extrémums.



T = 0,63 s ; x s'annule en T/4, 3T/4, 5T/4 et 7T/4



T′ = 6,3 ms ; q s'annule en T′/4, 3T′/4, 5T′/4 et 7T′/4

3 · Allure de x(t) et de q(t) sur deux périodes

4 Les oscillateurs réels ne sont pas idéaux. Pourquoi ? Quels sont les phénomènes physiques responsables ?

Un oscillateur réel perd de l'énergie au cours du temps : l'amplitude de ses oscillations diminue, elles sont amorties.

- Oscillateur mécanique : les frottements (du solide sur le support, de l'air sur le solide) transforment peu à peu l'énergie mécanique en énergie thermique.
- Oscillateur électrique : la bobine et les fils ont une résistance non nulle ; l'énergie électrique du circuit est dissipée par effet Joule.

Causes : les frottements pour le système solide-ressort, la résistance du circuit (effet Joule) pour le circuit LC.

COMPRENDRE

L'analogie se prolonge : la résistance R du circuit joue le rôle du coefficient de frottement. Dans les deux cas, l'énergie de l'oscillateur est convertie en chaleur.

Spécialité : Etude d'un instrument d'observation astronomique

Bac S 2006 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

2 Après l'étude préliminaire des deux miroirs (partie 1 : figures 1 et 2), construire les images D_1E_1 et D_2E_2 de la Lune dans le télescope de Newton, puis l'image définitive D_3E_3 et l'angle θ'. Justifier le réglage adopté.

1.a Chaque rayon se réfléchit avec un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence : les rayons réfléchis se coupent en A′, symétrique de A par rapport au plan du miroir. Les rayons incidents convergent vers A sans l'atteindre : A est un objet **virtuel**. Les rayons réfléchis passent réellement par A′ : A′ est une image **réelle**, que l'on peut recueillir sur un écran.

1.b Le rayon passant par F_1 repart parallèlement à l'axe $x'x$. Le rayon arrivant en S repart symétriquement par rapport à l'axe. B étant à l'infini, son image B_1 est à l'intersection des deux rayons réfléchis, dans le plan focal du miroir (figure 2).

2.a D est à l'infini sur l'axe : D_1 est confondu avec F_1. Les deux rayons issus de E (par S et par F_1) donnent E_1 dans le plan focal, comme en 1.b. Le miroir plan donne de D_1E_1 une image symétrique par rapport à son plan : D_2E_2 est perpendiculaire à l'axe $y'y$, avec D_2 sur cet axe, et $D_2E_2 = D_1E_1$.

2.b D_2E_2 est dans le plan focal objet de l'oculaire : les rayons issus de E_2 sortent parallèles entre eux, dans la direction de la droite (E_2O), qui fait l'angle θ' avec l'axe $y'y$ (figure 3). Un œil normal voit sans accommoder un objet à l'infini : l'observation se fait sans fatigue.

$D_2E_2 = D_1E_1$ et l'image définitive D_3E_3 est à l'infini, vue sous l'angle θ'.

PIÈGE

Faire converger les rayons après l'oculaire. Un objet placé dans le plan focal objet d'une lentille convergente donne des rayons émergents parallèles : il faut les tracer parallèles à la droite (E_2O), qui n'est pas déviée.

COMPRENDRE

Le raisonnement est celui de la lunette astronomique : l'objectif forme une image intermédiaire dans son plan focal, l'oculaire la rejette à l'infini. Ici l'objectif est un miroir, et le miroir plan renvoie seulement la lumière sur le côté du tube.

MÉTHODE

Pour un miroir plan, placer d'abord le symétrique du point objet par rapport au plan du miroir, puis tracer les rayons réfléchis vers ce point. C'est plus précis que de reporter des angles au rapporteur.

Figure 1 : miroir plan

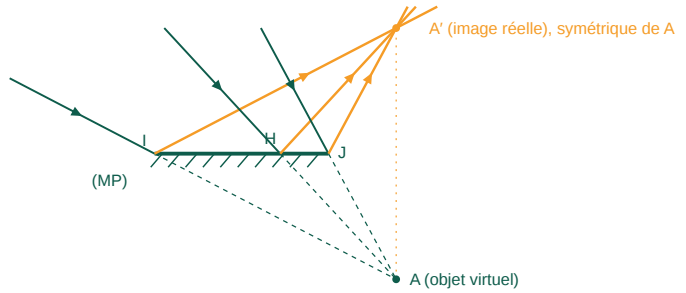


Figure 2 : miroir sphérique concave

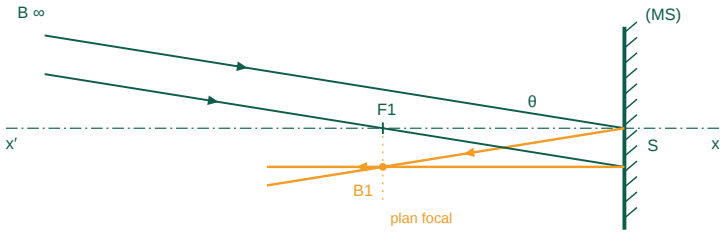
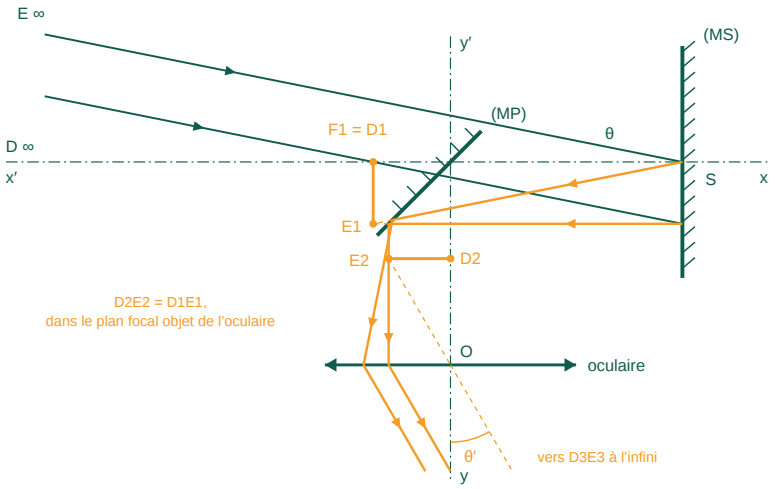


Figure 3 : télescope de Newton



2 · Annexes complétées (figures 1, 2 et 3) : en orange, les tracés de l'élève

3 Exprimer puis calculer D_1E_1 et θ'. Montrer que $G = \dfrac{f_1}{f_2'}$, calculer G, puis choisir l'oculaire (9 mm ou 20 mm) qui donne le grossissement maximal.

Données utiles $f_1 = 910\text{ mm}$; $f_2' = 9\text{ mm}$; $\theta = 8{,}7 \times 10^{-3}\text{ rad}$; $D_2E_2 = D_1E_1$ (question 2)

3.a Dans le triangle SF_1E_1, rectangle en F_1 : $\tan\theta = \dfrac{D_1E_1}{f_1}$. Avec $\tan\theta \approx \theta$:

$$D_1E_1 = f_1\,\theta = 910 \times 8{,}7 \times 10^{-3} = 7{,}9\text{ mm}$$

3.b Dans le triangle OD_2E_2, rectangle en D_2 : $\tan\theta' = \dfrac{D_2E_2}{f_2'}$, soit en confondant l'angle et sa tangente :

$$\theta' = \frac{D_2E_2}{f_2'} = \frac{7{,}9}{9} = 0{,}9\text{ rad}$$

3.c Comme $D_2E_2 = D_1E_1 = f_1\,\theta$: $\theta' = \dfrac{f_1\,\theta}{f_2'}$, donc $G = \dfrac{\theta'}{\theta} = \dfrac{f_1}{f_2'}$.

$$G = \frac{910}{9} \approx 1 \times 10^2$$

3.d f_1 est fixée et G est inversement proportionnel à f_2' : le grossissement est le plus grand avec la plus petite focale. Avec l'oculaire de 20 mm, $G = \dfrac{910}{20} = 46$ seulement.

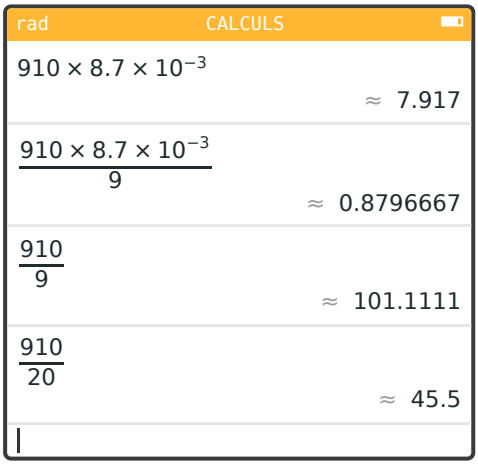
$G = \dfrac{f_1}{f_2'} \approx 1 \times 10^2$, maximal avec l'oculaire de 9 mm.

PIÈGE
Les deux focales doivent être dans la même unité avant de faire le rapport. L'angle θ doit être en radians dans $D_1E_1 = f_1\,\theta$: avec 0,5 (en degrés), le résultat est faux.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : θ en a deux, donc $D_1E_1 = 7{,}9$ mm ; $f_2' = 9$ mm n'en a qu'un, donc $\theta' = 0{,}9$ rad et $G \approx 1 \times 10^2$. Le calcul donne 101.

COMPRENDRE
$\theta' \approx 0{,}9$ rad vaut environ 50° : ce n'est plus un petit angle, et $\tan\theta' \approx \theta'$ devient grossier. Le sujet demande pourtant ce calcul ; la relation $G = f_1/f_2'$ reste la définition utilisée.

À LA CALCULATRICE



Fusion deutérium tritium

Bac S 2006 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 (III.1.a) Qu'appelle-t-on isotopes ?

Des isotopes sont des noyaux qui ont le même nombre de protons Z mais des nombres de neutrons différents, donc des nombres de nucléons A différents.

Isotopes : même Z, A différents.

COMPRENDRE
Même Z signifie même élément chimique : les isotopes ont les mêmes propriétés chimiques, mais pas la même masse ni la même stabilité.

1.2 (III.1.b) Écrire les noyaux de deutérium D et de tritium T dans la notation ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$. À quel élément chimique appartiennent-ils ?

Données utiles D : 1 proton et 1 neutron ; T : 1 proton et 2 neutrons

Deutérium : $Z = 1$ et $A = 1 + 1 = 2$, noté ${}^{2}_{1}\mathrm{D}$.

Tritium : $Z = 1$ et $A = 1 + 2 = 3$, noté ${}^{3}_{1}\mathrm{T}$.

Ces deux noyaux ont $Z = 1$: ils appartiennent à l'élément hydrogène, comme ${}^{1}_{1}\mathrm{H}$.

${}^{2}_{1}\mathrm{D} = {}^{2}_{1}\mathrm{H}$ et ${}^{3}_{1}\mathrm{T} = {}^{3}_{1}\mathrm{H}$: deux isotopes de l'hydrogène.

PIÈGE
A est le nombre de nucléons (protons + neutrons), pas le nombre de neutrons : écrire ${}^{1}_{1}\mathrm{D}$ ou ${}^{2}_{1}\mathrm{T}$ fait perdre les points.

2.1 (III.2.a) Qu'est-ce qu'un noyau radioactif ?

Un noyau radioactif est un noyau instable : il se désintègre spontanément, de façon aléatoire, en un autre noyau avec émission d'une particule et, souvent, d'un rayonnement γ.

COMPRENDRE
« Spontanément » est le mot attendu : la désintégration se produit sans intervention extérieure, à un instant imprévisible pour un noyau donné.

2.2 (III.2.b) Le tritium est radioactif β^-. Écrire l'équation de sa désintégration.

Une désintégration β^- émet un électron ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$. Avec un noyau fils ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$:

$$ {}^{3}_{1}\mathrm{T} \longrightarrow {}^{A}_{Z}\mathrm{X} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} $$

Conservation du nombre de nucléons : $3 = A + 0$, donc $A = 3$.

Conservation de la charge : $1 = Z - 1$, donc $Z = 2$: le noyau fils est un noyau d'hélium.

${}^{3}_{1}\mathrm{T} \longrightarrow {}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$

PIÈGE
En β^-, Z augmente d'une unité : le noyau fils est ${}^{3}_{2}\mathrm{He}$ (donné dans les notations du sujet), pas un isotope de l'hydrogène.

MÉTHODE
Toute équation nucléaire se vérifie avec les deux lois de Soddy : somme des A et somme des Z identiques de part et d'autre de la flèche.

2.3 (III.2.c) Le tritium a une demi-vie $t_{1/2} = 12$ ans. Que signifie cette affirmation ?

La demi-vie est la durée nécessaire pour que la moitié des noyaux radioactifs présents dans un échantillon se soient désintégrés.

Dans un échantillon de tritium, il ne reste que la moitié des noyaux de tritium au bout de 12 ans.

COMPRENDRE
Au bout de 24 ans il en reste le quart, et non zéro : le nombre de noyaux est divisé par 2 à chaque demi-vie.

3.1 (III.3.a) Qu'appelle-t-on réaction nucléaire de fusion ?

La fusion est une réaction nucléaire provoquée au cours de laquelle deux noyaux légers s'assemblent pour former un noyau plus lourd, en libérant de l'énergie.

PIÈGE
Ne pas confondre avec la fission, où un noyau lourd se casse en deux noyaux plus légers sous l'impact d'un neutron.

3.2 (III.3.b) Écrire l'équation de la fusion DT, qui forme un noyau $^4_2\mathrm{He}$. Exprimer l'énergie ΔE qui peut être libérée en fonction des énergies de masse E_m.

$^2_1\mathrm{D} + {}^3_1\mathrm{T} \longrightarrow {}^4_2\mathrm{He} + {}^A_Z\mathrm{X}$ avec $2+3=4+A$, soit $A=1$, et $1+1=2+Z$, soit $Z=0$: la particule émise est un neutron.

$$^2_1\mathrm{D} + {}^3_1\mathrm{T} \longrightarrow {}^4_2\mathrm{He} + {}^1_0\mathrm{n}$$

L'énergie libérée est l'énergie de masse perdue par le système, avec $E_m = m\,c^2$:

$$\Delta E = E_m(^2_1\mathrm{D}) + E_m(^3_1\mathrm{T}) - E_m(^4_2\mathrm{He}) - E_m(^1_0\mathrm{n})$$

COMPRENDRE
Ainsi définie, l'énergie libérée est positive. Avec la convention « produits moins réactifs », on obtient l'opposé : une variation d'énergie de masse négative, le système cédant de l'énergie à l'extérieur. Les deux écritures sont cohérentes si le signe est justifié.

3.3 (III.3.c) Exprimer la masse $m(^A_Z\mathrm{X})$ en fonction de m_p, m_n, Z, A et $E_L(^A_Z\mathrm{X})$. En déduire ΔE en fonction des énergies de liaison.

L'énergie de liaison correspond au défaut de masse du noyau : $E_L(^A_Z\mathrm{X}) = \left[Z\,m_p + (A-Z)\,m_n - m(^A_Z\mathrm{X})\right]c^2$, donc

$$m(^A_Z\mathrm{X}) = Z\,m_p + (A-Z)\,m_n - \frac{E_L(^A_Z\mathrm{X})}{c^2}$$

Énergies de masse des quatre particules :

$E_m(\mathrm{D}) = (m_p + m_n)\,c^2 - E_L(\mathrm{D})$

$E_m(\mathrm{T}) = (m_p + 2\,m_n)\,c^2 - E_L(\mathrm{T})$

$E_m(^4_2\mathrm{He}) = (2\,m_p + 2\,m_n)\,c^2 - E_L(^4_2\mathrm{He})$

$E_m(^1_0\mathrm{n}) = m_n\,c^2$ (nucléon isolé, pas d'énergie de liaison).

Dans ΔE (III.3.b), les termes en m_p et m_n s'annulent : $2\,m_p + 3\,m_n$ avant comme après.

$$\Delta E = E_L(^4_2\mathrm{He}) - E_L(\mathrm{D}) - E_L(\mathrm{T})$$

PIÈGE
Le signe s'inverse entre les deux écritures : masses « réactifs moins produits », mais énergies de liaison « produits moins réactifs ».

MÉTHODE
Le nombre de protons et le nombre de neutrons sont conservés : dans tout bilan, les masses des nucléons s'éliminent et il ne reste que les énergies de liaison, produits moins réactifs.

3.4 (III.3.d) Calculer numériquement la valeur de ΔE.

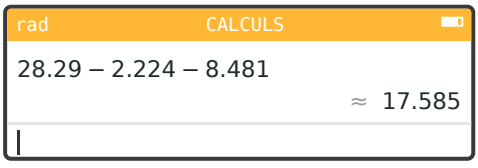
Données utiles $E_L(\mathrm{D}) = 2{,}224$ MeV ; $E_L(\mathrm{T}) = 8{,}481$ MeV ; $E_L(^4_2\mathrm{He}) = 28{,}29$ MeV ; expression de ΔE (III.3.c)

$$\Delta E = E_L(^4_2\mathrm{He}) - E_L(\mathrm{D}) - E_L(\mathrm{T}) = 28{,}29 - 2{,}224 - 8{,}481$$

$\Delta E = 17{,}59$ MeV : la fusion d'un noyau D et d'un noyau T libère 17,59 MeV.

COMPRENDRE
Pour une somme ou une différence, on garde le nombre de décimales de la donnée la moins précise : $28{,}29$ a deux décimales, donc $17{,}585$ s'arrondit à $17{,}59$ MeV.

À LA CALCULATRICE



4.1 (III.4.a) Les noyaux D et T se repoussent. Pourquoi ?

Les deux noyaux portent chacun une charge positive $+e$ (un proton) : deux charges de même signe se repoussent par interaction électrique (répulsion coulombienne).

COMPRENDRE
Cette répulsion augmente quand la distance diminue : il faut des noyaux très rapides pour les amener au contact, où l'interaction forte l'emporte.

4.2 (III.4.b) Quelle doit être la température minimale des noyaux pour que la fusion ait lieu ?

Données utiles $E_C > 0{,}35$ MeV ; température proportionnelle à E_C ; 1 eV correspond à 7700 K

$E_C = 0{,}35\ \text{MeV} = 0{,}35 \times 10^6\ \text{eV}$.

La température est proportionnelle à l'énergie cinétique : $T_{\min} = \dfrac{E_C}{1\ \text{eV}} \times 7700\ \text{K}$

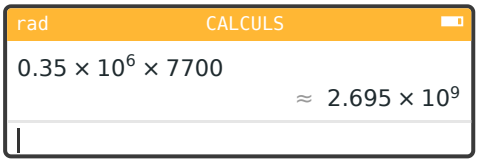
$$T_{\min} = 0{,}35 \times 10^6 \times 7700 = 2{,}7 \times 10^9\ \text{K}$$

$T_{\min} = 2{,}7 \times 10^9$ K, soit près de trois milliards de kelvins.

PIÈGE
Oublier la conversion $1\ \text{MeV} = 10^6\ \text{eV}$: on trouverait $2{,}7 \times 10^3$ K, une température de flamme, sans rapport avec la fusion.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme $0{,}35$ MeV.

À LA CALCULATRICE



4.3 (III.4.c) La température interne du Soleil n'est que de 15×10^6 K. Quelle conclusion inspire la comparaison de ces deux températures ?

Données utiles $T_{\min} = 2{,}7 \times 10^9$ K (III.4.b) ; $T_{\text{Soleil}} = 15 \times 10^6$ K

$$\frac{T_{\min}}{T_{\text{Soleil}}} = \frac{2{,}7 \times 10^9}{15 \times 10^6} = 1{,}8 \times 10^2$$

La température au cœur du Soleil est environ 180 fois plus faible que la température minimale calculée.

D'après ce modèle, la fusion DT ne devrait pas se produire dans le Soleil : l'énergie solaire provient d'autres réactions de fusion, possibles à une température plus basse.

COMPRENDRE
Le Soleil brille pourtant grâce à la fusion : le critère d'agitation thermique retenu ici est donc trop sévère pour décrire ce qui se passe réellement dans une étoile.

À LA CALCULATRICE

