Corrigé complet — Bac S 2003 Antilles-Guyane (ancien programme)

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

Ex 1	**Condensateur d'un flash** Circuit RC · Constante de temps · Analyse dimensionnelle · Énergie d'un condensateur · Équation différentielle de la décharge	4 pts	52 min	10 questions	p. 2
Ex 2	**Réalisation d'une pile nickel-zinc** Pile électrochimique · Demi-équations d'oxydoréduction · Quotient de réaction et constante d'équilibre · Capacité électrique d'une pile · Loi de Beer-Lambert	6,5 pts	1 h 18	12 questions	p. 6
Ex 3	**Spécialité : Télescope de Newton** Miroir sphérique concave · Miroir plan · Lentille convergente · Système afocal · Grossissement · Diamètre apparent	4 pts	52 min	13 questions	p. 12
Ex 4	**Radioactivité dans la famille de l'uranium** Radioactivité alpha et bêta moins · Lois de conservation · Défaut de masse · Énergie de liaison par nucléon · Fission et courbe d'Aston	5,5 pts	1 h 05	9 questions	p. 17

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

Condensateur d'un flash

Bac S 2003 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Vérifier par analyse dimensionnelle l'homogénéité de l'expression $\tau = RC$.

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

Pour le condensateur, $q = C\,u$ et $q = I\,\Delta t$ (courant constant) : $[C] = \dfrac{[Q]}{[U]} = \dfrac{[I]\cdot[T]}{[U]}$.

$$[RC] = \frac{[U]}{[I]} \times \frac{[I]\cdot[T]}{[U]} = [T]$$

$[RC] = [T]$: le produit RC a la dimension d'une durée, l'expression $\tau = RC$ est homogène.

PIÈGE
Écrire « des ohms fois des farads donnent des secondes » sans justification : c'est exactement ce qu'il faut démontrer.

MÉTHODE
Pour une analyse dimensionnelle, exprimer chaque grandeur à l'aide d'une relation simple du cours (ici $u = Ri$, $q = Cu$, $q = I\,\Delta t$), puis simplifier le produit des dimensions.

1.2 Calculer numériquement τ.

Données utiles $R = 1{,}00\ \text{k}\Omega$; $C = 150\ \mu\text{F}$

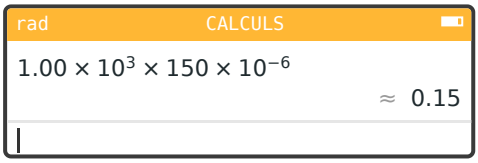
$\tau = R\,C = 1{,}00 \times 10^{3} \times 150 \times 10^{-6}$

$\tau = 0{,}150\ \text{s}$

PIÈGE
Laisser R en kilo-ohms ou C en microfarads : τ n'est en secondes que si R est en ohms et C en farads.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme R et C : on écrit $0{,}150$ s et non $0{,}15$ s.

À LA CALCULATRICE



1.3 Calculer l'énergie E emmagasinée par le condensateur une fois la charge terminée à la tension U_2.

Données utiles $C = 150\ \mu\text{F}$; $U_2 = 300\ \text{V}$

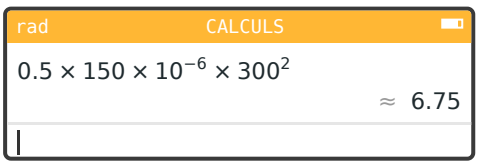
En fin de charge, la tension aux bornes du condensateur vaut U_2.

$$E = \frac{1}{2}\,C\,U_2^{2} = \frac{1}{2} \times 150 \times 10^{-6} \times 300^{2}$$

$E = 6{,}75\ \text{J}$

PIÈGE
Oublier le carré sur la tension ou le facteur $\frac{1}{2}$.

À LA CALCULATRICE



1.4 Calculer l'énergie E' qu'aurait stockée le condensateur chargé directement par la pile, puis justifier l'intérêt d'une charge sous 300 V.

Données utiles $C = 150\ \mu\text{F}$; $U_1 = 1{,}50\ \text{V}$; $E = 6{,}75\ \text{J}$ (1.3)

$$E' = \frac{1}{2} C U_1^2 = \frac{1}{2} \times 150 \times 10^{-6} \times 1{,}50^2 = 1{,}69 \times 10^{-4}\ \text{J}$$

$$\frac{E}{E'} = \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 = 200^2 = 4{,}00 \times 10^4$$

Sous 1,50 V, l'énergie stockée serait bien trop faible pour un éclair puissant, et la tension resterait très inférieure aux 250 V nécessaires à l'amorçage du tube.

$E' = 1{,}69 \times 10^{-4}$ J, soit 40 000 fois moins que E : la haute tension est indispensable.

COMPRENDRE

L'énergie varie comme le carré de la tension : multiplier la tension par 200 multiplie l'énergie stockée par 200^2.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$0.5 \times 150 \times 10^{-6} \times 1.50^2$

$\approx 1.6875 \times 10^{-4}$

$\left(\frac{300}{1.50}\right)^2$

≈ 40000

2.1.1 Déterminer graphiquement la constante de temps τ' de la décharge, en précisant la méthode employée (annexe à compléter).

Données utiles graphique $u = f(t)$ de l'annexe : $u(0) = 300\ \text{V}$

À la date $t = \tau'$, la tension vaut 37 % de sa valeur initiale : $u(\tau') = 0{,}37 \times 300 = 111\ \text{V}$.

Sur l'annexe, on trace l'horizontale $u = 111\ \text{V}$ jusqu'à la courbe, puis on lit l'abscisse du point d'intersection : $t = 0{,}0015\ \text{s}$.

Vérification : la tangente à la courbe à l'origine coupe l'axe des abscisses ($u = 0$) à la même date.

$\tau' = 1{,}5 \times 10^{-3}\ \text{s} = 1{,}5\ \text{ms}$

PIÈGE

Lire la date où la tension est divisée par deux (environ 1 ms) : ce n'est pas τ'. Penser aussi à laisser les traits de construction sur l'annexe.

COMPRENDRE

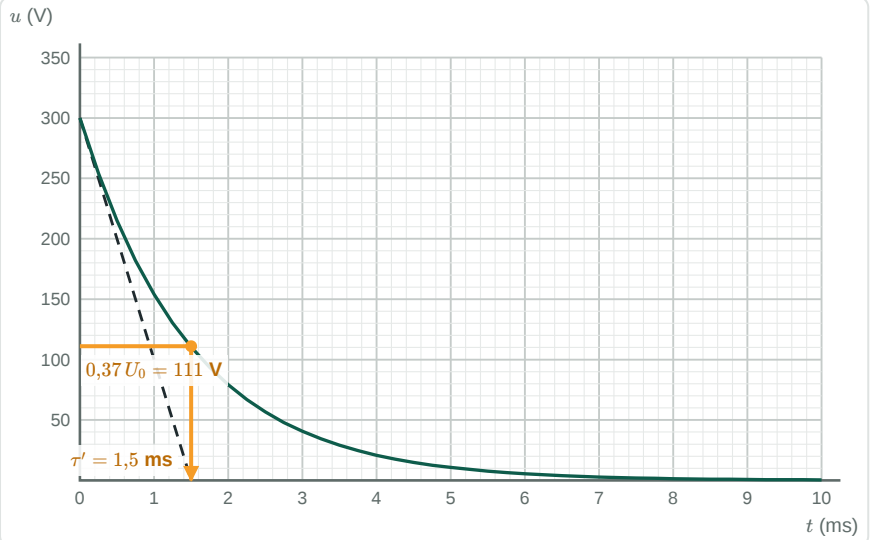
$u(\tau') = U_0\,\text{e}^{-1} \approx 0{,}37\,U_0$. La lecture à 37 % est plus fiable que la tangente à l'origine, dont le tracé à la main est imprécis.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

0.37×300

≈ 111



2.1.1 · Annexe complétée : tangente à l'origine et lecture à 37 % de la tension initiale

2.1.2 Comparer les constantes de temps de charge τ et de décharge τ'. Ce constat est-il en accord avec les conditions de fonctionnement du tube flash ?

Données utiles $\tau = 0{,}150$ s (1.2) ; $\tau' = 1{,}5 \times 10^{-3}$ s (2.1.1)

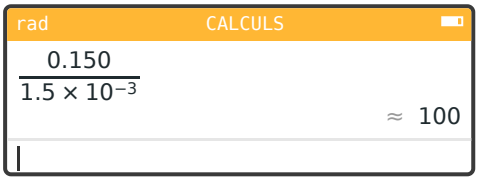
$$\frac{\tau}{\tau'} = \frac{0{,}150}{1{,}5 \times 10^{-3}} = 1{,}0 \times 10^{2}$$

La décharge est pratiquement terminée au bout de $5\,\tau' = 7{,}5$ ms : l'énergie stockée est libérée en quelques millisecondes, ce qui correspond bien à l'éclair très bref attendu du tube flash.

$\tau = 100\,\tau'$: la décharge est cent fois plus rapide que la charge, en accord avec un éclair très bref.

COMPRENDRE
Même énergie, durée très courte : la puissance fournie au tube est grande. La charge lente, elle, ménage la pile, qui ne peut délivrer qu'une faible puissance.

À LA CALCULATRICE



2.2 Le tube flash amorcé étant assimilé à un conducteur ohmique de résistance r, montrer que la tension u vérifie $\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{r\,C}u = 0$.

On note q la charge de l'armature vers laquelle pointe la flèche de u, et i l'intensité comptée positivement quand le courant arrive sur cette armature : $q = C\,u$ et $i = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = C\,\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t}$.

Avec cette orientation, le conducteur ohmique est en convention récepteur pour la tension $u_r = r\,i$, et la loi des mailles s'écrit $u + u_r = 0$, soit :

$$u + r\,C\,\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t} = 0$$

En divisant par $r\,C$:

$$\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{r\,C}u = 0$$

PIÈGE
Écrire $u = r\,i$ avec $i = C\,\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t}$: les deux relations ne sont pas compatibles avec un même sens de i, et on obtient un signe « $-$ » dans l'équation.

MÉTHODE
Toujours dans cet ordre : orienter le circuit, écrire la loi des mailles, remplacer chaque tension par sa relation avec i, puis i par $C\,\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t}$.

2.3 Vérifier que la solution de l'équation différentielle est de la forme $u = U_0\exp(-t/\tau')$.

On dérive : $\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t} = -\frac{U_0}{\tau'}\,\mathrm{e}^{-t/\tau'}$.

On reporte dans l'équation différentielle :

$$-\frac{U_0}{\tau'}\,\mathrm{e}^{-t/\tau'} + \frac{U_0}{r\,C}\,\mathrm{e}^{-t/\tau'} = U_0\,\mathrm{e}^{-t/\tau'}\left(\frac{1}{r\,C} - \frac{1}{\tau'}\right)$$

Cette expression est nulle à chaque instant si $\frac{1}{r\,C} = \frac{1}{\tau'}$.

$u = U_0\,\mathrm{e}^{-t/\tau'}$ est solution à condition que $\tau' = r\,C$.

COMPRENDRE
Avec $\tau' = 1{,}5$ ms et $C = 150\ \mu$F, on obtient $r = \frac{\tau'}{C} = 10\ \Omega$: le tube amorcé est cent fois moins résistant que R, d'où la décharge rapide.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{1.5 \times 10^{-3}}{150 \times 10^{-6}} \approx 10$$

2.4 Que représente la tension U_0 pour le fonctionnement du tube flash ?

À $t = 0$: $u(0) = U_0\,e^0 = U_0$.

U_0 est la tension aux bornes du condensateur, donc du tube flash, à l'instant où la décharge commence : c'est la tension disponible pour amorcer le tube.

2.5 Déterminer U_0. Cette valeur est-elle en accord avec la production de l'éclair ?

Données utiles graphique de l'annexe ; tension d'amorçage du tube : au moins 250 V

Par lecture graphique à $t = 0$: $u(0) = 300$ V. C'est la tension U_2 sous laquelle le condensateur a été chargé.

$300\text{ V} > 250\text{ V}$: la tension est suffisante pour amorcer le tube.

$U_0 = 300$ V, supérieure aux 250 V nécessaires : l'éclair est bien produit.

COMPRENDRE

Le condensateur doit être complètement chargé avant de déclencher : il faut attendre environ $5\,\tau = 0{,}75$ s après la fermeture de K_1.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$5 \times 0.150 \approx 0.75$$

Réalisation d'une pile nickel-zinc

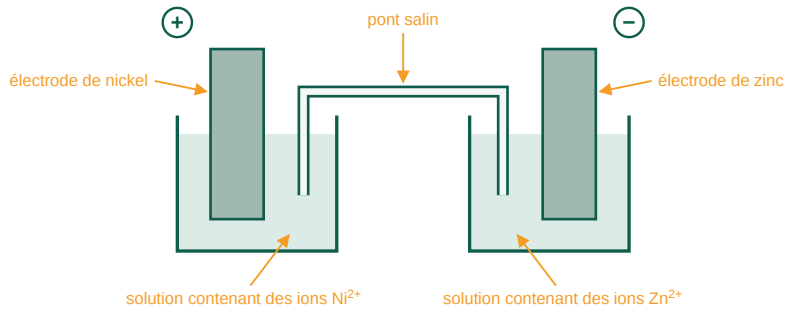
Bac S 2003 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 2 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1 L'électrode positive est l'électrode de nickel. Légender le schéma de la figure 1 : électrode de zinc, électrode de nickel, pont salin, solution contenant des ions $\mathrm{Zn^{2+}}$, solution contenant des ions $\mathrm{Ni^{2+}}$.

La borne $+$ est l'électrode de nickel : elle plonge dans la solution contenant les ions $\mathrm{Ni^{2+}}$. La borne $-$ est donc l'électrode de zinc, qui plonge dans la solution contenant les ions $\mathrm{Zn^{2+}}$. Le tube qui relie les deux béchers est le pont salin.

Schéma légendé : voir la figure 1 ci-dessous.

COMPRENDRE
Chaque demi-pile associe un métal et son propre cation : le nickel trempe dans $\mathrm{Ni^{2+}}$, le zinc dans $\mathrm{Zn^{2+}}$. Les deux réactifs $\mathrm{Ni^{2+}}$ et Zn ne sont jamais en contact direct.



1.1 · Figure 1 de l'annexe, légendée

1.2 Écrire les demi-équations aux électrodes en précisant oxydation ou réduction, puis l'équation de la réaction globale. Calculer le quotient réactionnel initial $Q_{r,i}$. Cette valeur est-elle cohérente avec la polarité proposée ?

Données utiles $[\mathrm{Ni^{2+}}]_i = [\mathrm{Zn^{2+}}]_i = C = 5{,}0 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $K = 10^{18}$

Électrode de nickel (borne $+$) : elle reçoit les électrons, il s'y produit une **réduction** :

$$\mathrm{Ni^{2+}\,(aq) + 2\,e^- = Ni\,(s)}$$

Électrode de zinc (borne $-$) : elle cède des électrons au circuit, il s'y produit une **oxydation** :

$$\mathrm{Zn\,(s) = Zn^{2+}\,(aq) + 2\,e^-}$$

Réaction globale quand la pile débite :

$$\mathrm{Ni^{2+}\,(aq) + Zn\,(s) = Zn^{2+}\,(aq) + Ni\,(s)}$$

Quotient réactionnel initial (les solides n'y figurent pas) :

$$Q_{r,i} = \frac{[\mathrm{Zn^{2+}}]_i}{[\mathrm{Ni^{2+}}]_i} = \frac{5{,}0 \times 10^{-2}}{5{,}0 \times 10^{-2}} = 1{,}0$$

$Q_{r,i} < K$: le système évolue dans le sens direct. Des ions $\mathrm{Ni^{2+}}$ sont réduits sur le nickel, qui consomme des électrons : c'est bien la borne positive.

$Q_{r,i} = 1{,}0 \ll K = 10^{18}$: évolution en sens direct, cohérente avec la polarité proposée.

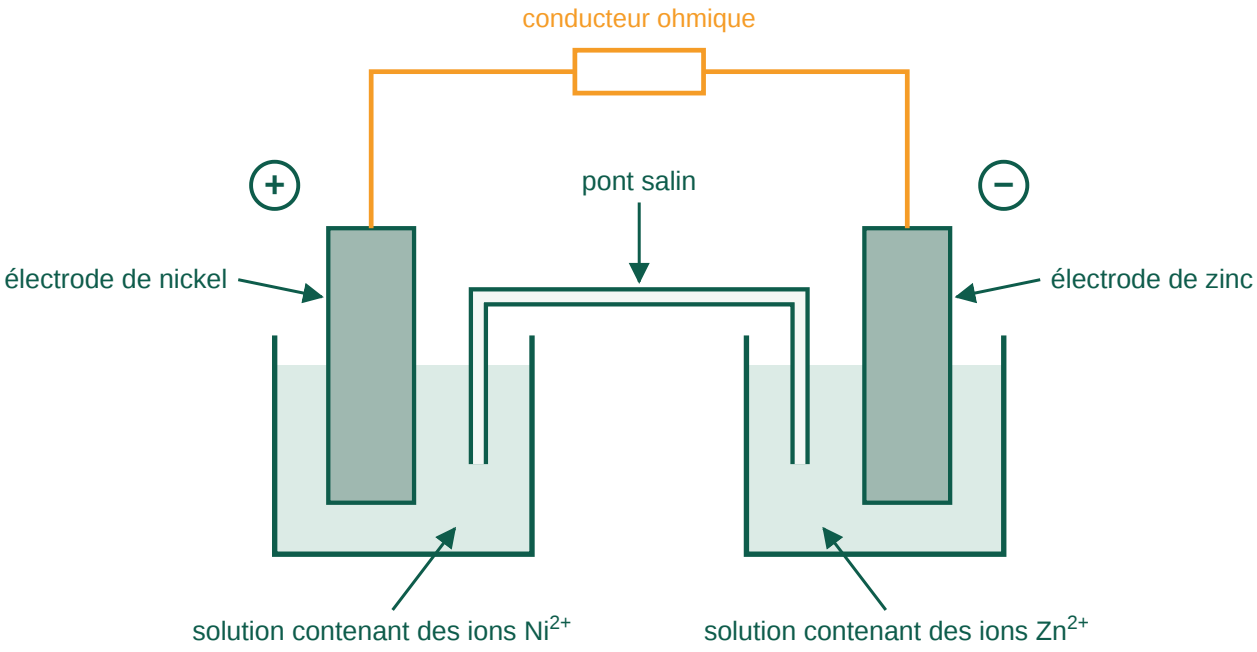
PIÈGE
Faire apparaître Zn et Ni dans Q_r. Les métaux solides n'ont pas de concentration : seuls les ions en solution interviennent.

MÉTHODE
Critère d'évolution : comparer $Q_{r,i}$ à K. Si $Q_{r,i} < K$, sens direct ; si $Q_{r,i} > K$, sens inverse. En déduire où sont consommés les électrons : c'est la borne $+$.

2.1.1 On fait débiter la pile dans un conducteur ohmique. Compléter le schéma de la figure 1.

On relie les deux électrodes par des fils de connexion à un conducteur ohmique placé à l'extérieur de la pile : le circuit est alors fermé.

Schéma complété : voir la figure ci-dessous.



2.1.1 · Figure 1 complétée : la pile débite dans un conducteur ohmique

2.1.2 Préciser sur ce schéma le sens du courant et le sens de déplacement des électrons dans le circuit extérieur.

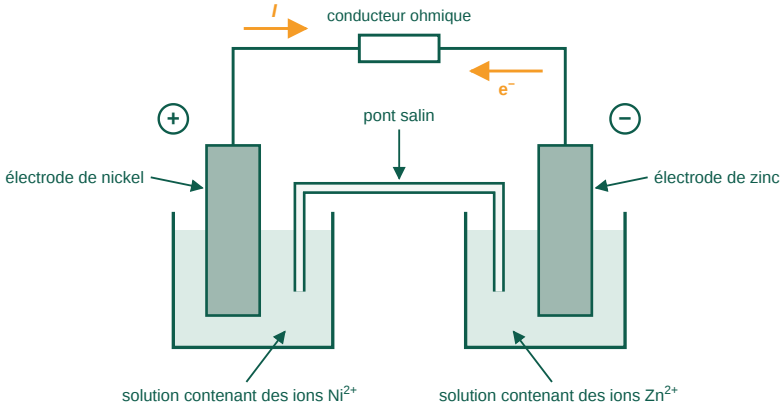
Dans le circuit extérieur, le courant sort de la pile par sa borne + : il va de l'électrode de nickel vers l'électrode de zinc à travers le conducteur ohmique.

Les électrons se déplacent en sens inverse du courant : ils partent de l'électrode de zinc, où ils sont libérés par l'oxydation, et arrivent à l'électrode de nickel.

Courant : du nickel (+) vers le zinc (−) ; électrons : du zinc vers le nickel.

COMPRENDRE

Les électrons ne circulent que dans les fils et les métaux. Dans les solutions et le pont salin, ce sont des ions qui transportent la charge et maintiennent la neutralité électrique de chaque bécher.



2.1.2 · Sens du courant et des électrons dans le circuit extérieur

2.2 Comment varie la concentration des ions positifs dans chacun des béchers ? En déduire l'évolution du quotient réactionnel Q_r.

Dans le bécher du nickel, les ions Ni^{2+} sont consommés par la réduction : $[\mathrm{Ni}^{2+}]$ diminue.

Dans le bécher du zinc, des ions Zn^{2+} sont formés par l'oxydation : $[\mathrm{Zn}^{2+}]$ augmente.

Comme $Q_r = \dfrac{[\mathrm{Zn}^{2+}]}{[\mathrm{Ni}^{2+}]}$, le numérateur augmente et le dénominateur diminue.

$[\mathrm{Ni}^{2+}]$ diminue, $[\mathrm{Zn}^{2+}]$ augmente : Q_r augmente au cours du fonctionnement.

2.3 La masse des électrodes ne limitant pas la réaction, pour quelle raison la pile s'arrêtera-t-elle de débiter ? Quelle est alors la valeur numérique de Q_r ?

Données utiles $K = 10^{18}$

Q_r augmente à partir de 1,0 et se rapproche de K. Lorsque Q_r atteint K, le système est à l'équilibre chimique : il n'évolue plus, aucun électron n'est échangé et l'intensité du courant est nulle. La pile est usée.

La pile s'arrête quand l'état d'équilibre est atteint : $Q_{r,\text{éq}} = K = 10^{18}$.

COMPRENDRE
$Q_r = 10^{18}$ signifie qu'il reste alors 10^{18} fois moins d'ions Ni^{2+} que d'ions Zn^{2+} : pratiquement plus aucun. Voilà pourquoi la question suivante traite la réaction comme totale.

2.4 La réaction étant considérée comme totale, calculer l'avancement maximal x_{max} de la réaction.

Données utiles $C = 5{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V = 100\ \text{mL} = 0{,}100\ \text{L}$

Le zinc de l'électrode est en excès : le réactif limitant est l'ion Ni^{2+}.

Sa quantité à l'avancement x est $n(\mathrm{Ni}^{2+}) = C\,V - x$. Elle s'annule pour $x = x_{max}$:

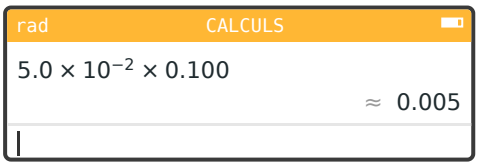
$$C\,V - x_{max} = 0 \quad \text{soit} \quad x_{max} = C\,V = 5{,}0 \times 10^{-2} \times 0{,}100$$

$x_{max} = 5{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol}$

PIÈGE
Laisser le volume en millilitres : avec une concentration en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, il faut $V = 0{,}100$ L.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la donnée la moins précise ($C = 5{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$).

À LA CALCULATRICE



2.5 Quelle relation existe-t-il entre x_{max} et la quantité de matière d'électrons qui ont circulé ? En déduire la quantité totale d'électricité fournie par cette pile.

Données utiles $x_{max} = 5{,}0 \times 10^{-3}$ mol (2.4) ; $F = 96\,500\ \text{C} \cdot \text{mol}^{-1}$

D'après les demi-équations, chaque ion Ni^{2+} réduit correspond à 2 électrons qui traversent le circuit. Pour un avancement x_{max} :

$$n(\mathrm{e}^-) = 2\,x_{max}$$

Une mole d'électrons porte la charge F, donc la quantité d'électricité totale est :

$$Q_{max} = n(\mathrm{e}^-)\,F = 2\,x_{max}\,F = 2 \times 5{,}0 \times 10^{-3} \times 96\,500 = 965\ \text{C}$$

$n(\mathrm{e}^-) = 2\,x_{max}$ et $Q_{max} = 9{,}7 \times 10^{2}\ \text{C}$

PIÈGE
Oublier le facteur 2. Le nombre d'électrons échangés se lit dans les demi-équations, pas dans l'équation globale où ils n'apparaissent plus.

COMPRENDRE
Cette charge maximale est la capacité de la pile. L'énoncé écrit « $F = 96\,500$ C » pour la charge d'une mole d'électrons : dans les calculs, la constante de Faraday s'utilise en $\text{C} \cdot \text{mol}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$2 \times 5.0 \times 10^{-3} \times 96\,500$

$\approx$ 965

3.1 (Question 3.1.1 du sujet.) Une pile identique fonctionne pendant une heure à intensité constante ; la masse de l'électrode de nickel augmente de $\Delta m = 100$ mg. Calculer la quantité de matière d'ions Ni^{2+} disparus $n_{disp}(Ni^{2+})$ pendant cette durée.

Données utiles $\Delta m = 100\ \text{mg} = 0{,}100\ \text{g}$; $M(\text{Ni}) = 58{,}7\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Le gain de masse de l'électrode est la masse de nickel métallique déposé. D'après la demi-équation $Ni^{2+} + 2\,e^- = Ni$, un ion Ni^{2+} disparaît pour chaque atome de nickel formé :

$$n_{disp}(Ni^{2+}) = n_{\text{formé}}(\text{Ni}) = \frac{\Delta m}{M(\text{Ni})} = \frac{0{,}100}{58{,}7}$$

$$\boxed{n_{disp}(Ni^{2+}) = 1{,}70 \times 10^{-3}\ \text{mol}}$$

PIÈGE
Utiliser la masse molaire du zinc : c'est l'électrode de nickel qui grossit. Convertir aussi les milligrammes en grammes.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{0.100}{58.7}$

$\approx$ 0.001703578

3.1.2 Déterminer la quantité d'électricité correspondante, notée Q. En déduire la valeur de l'intensité du courant.

Données utiles $n_{disp}(Ni^{2+})$ (3.1.1) ; $F = 96\,500\ \text{C} \cdot \text{mol}^{-1}$; $\Delta t = 1\ \text{h} = 3600\ \text{s}$

Ici l'avancement vaut $x = n_{disp}(Ni^{2+})$, et comme en 2.5 la quantité d'électrons échangés est $n(e^-) = 2\,x$:

$$Q = 2\,n_{disp}(Ni^{2+})\,F = 2 \times \frac{0{,}100}{58{,}7} \times 96\,500 = 329\ \text{C}$$

L'intensité étant constante, $Q = I\,\Delta t$:

$$I = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{329}{3600} = 9{,}13 \times 10^{-2}\ \text{A}$$

$$\boxed{Q = 329\ \text{C} \text{ et } I = 9{,}13 \times 10^{-2}\ \text{A} = 91{,}3\ \text{mA}}$$

PIÈGE
Laisser la durée en heures. Dans $Q = I\,\Delta t$, le coulomb est un ampère-seconde : $\Delta t = 3600$ s.

MÉTHODE
Garder la valeur non arrondie de n_{disp} dans la calculatrice. Avec la valeur arrondie $1{,}70 \times 10^{-3}$ mol, on obtiendrait 328 C : l'écart vient seulement de l'arrondi intermédiaire.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{2 \times 0.100}{58.7} \times 96\,500$

$\approx$ 328.7905

$\frac{\frac{2 \times 0.100}{58.7} \times 96\,500}{3600}$

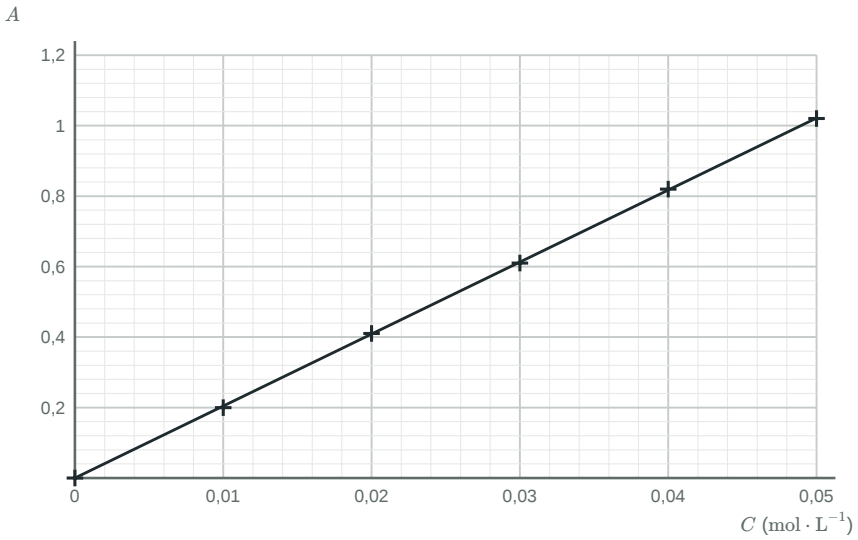
$\approx$ 0.09133068

3.2 À partir du tableau des absorbances de solutions de sulfate de nickel mesurées à 390 nm, tracer la courbe de l'absorbance en fonction de la concentration C sur la figure 2.

On place les six points du tableau sur la figure 2. Ils sont alignés avec l'origine : on trace à la règle la droite passant par l'origine et au plus près de tous les points.

Elle passe par le point $(0{,}050\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}\ ;\ 1{,}02)$: son coefficient directeur vaut $\dfrac{1{,}02}{0{,}050} \approx 20\ \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Droite passant par l'origine : A est proportionnelle à C (loi de Beer-Lambert), $A \approx 20\,C$.

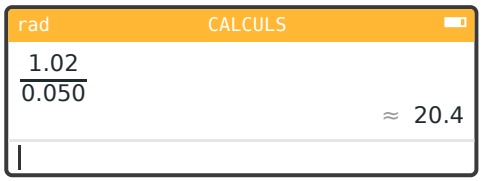


3.2 · Figure 2 de l'annexe : absorbance en fonction de la concentration

PIÈGE

Relier les points un à un par des segments. Une courbe d'étalonnage est une droite moyenne, tracée à la règle, qui lisse les petites erreurs de mesure.

À LA CALCULATRICE



3.3 L'absorbance de la solution où plonge l'électrode de nickel vaut $A = 0{,}67$. En déduire graphiquement la concentration des ions Ni^{2+} restant en solution. Quelle est la quantité d'ions Ni^{2+} disparus ? Ce résultat est-il conforme au calcul du 3.1.1 ?

Données utiles $C = 5{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V = 0{,}100$ L ; $n_{disp}(Ni^{2+}) = 1{,}70 \times 10^{-3}$ mol (3.1.1)

Sur la droite d'étalonnage, le point d'ordonnée $A = 0{,}67$ a pour abscisse :

$$C' = [Ni^{2+}]_{\text{restant}} \approx 0{,}033\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Quantité d'ions disparus, différence entre la quantité initiale et la quantité restante :

$$n_{disp}(Ni^{2+}) = C\,V - C'\,V = (C - C')\,V$$

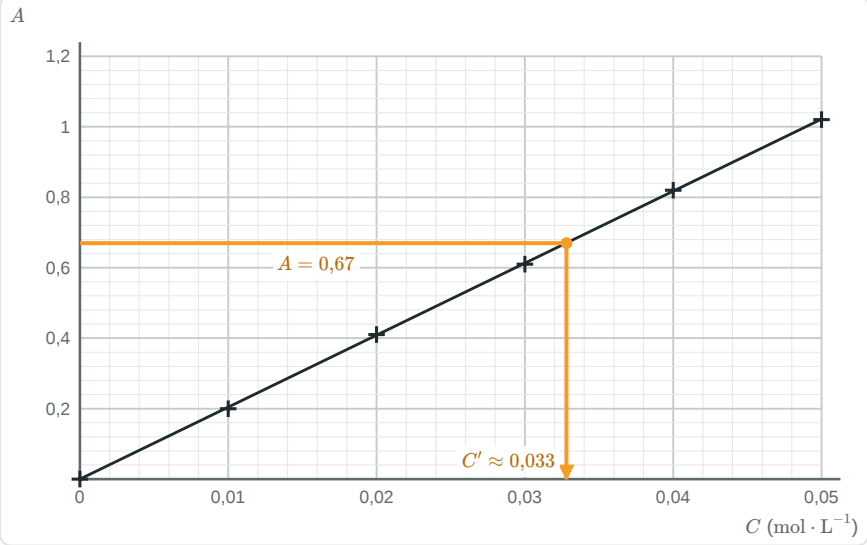
$$n_{disp}(Ni^{2+}) = (0{,}050 - 0{,}033) \times 0{,}100 = 1{,}7 \times 10^{-3}\ \text{mol}$$

Cette valeur est égale, à la précision de la lecture graphique, à celle obtenue à partir du gain de masse de l'électrode.

$[Ni^{2+}]_{\text{restant}} \approx 0{,}033\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $n_{disp}(Ni^{2+}) = 1{,}7 \times 10^{-3}$ mol, conforme au 3.1.1 ($1{,}70 \times 10^{-3}$ mol).

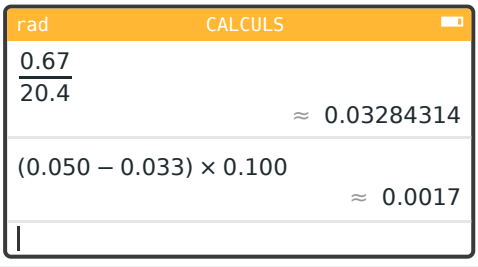
COMPRENDRE

Deux mesures indépendantes, une pesée et un dosage par étalonnage, donnent le même résultat. La lecture graphique ne fournit que deux chiffres significatifs, d'où $1{,}7 \times 10^{-3}$ mol.



3.3 · Lecture graphique pour $A = 0{,}67$

À LA CALCULATRICE



Spécialité : Télescope de Newton

Bac S 2003 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Définir la distance focale d'un miroir concave.

La distance focale est la distance entre le sommet S du miroir et son foyer F_1, point de l'axe où convergent, après réflexion, les rayons parallèles à l'axe. Le foyer est le milieu de $[SC]$.

$$f_1' = SF_1 = \frac{SC}{2}$$

COMPRENDRE
Le sommet S est le point où l'axe optique rencontre le miroir ; C est le centre de la sphère dont le miroir est une portion. La focale vaut donc la moitié du rayon de courbure.

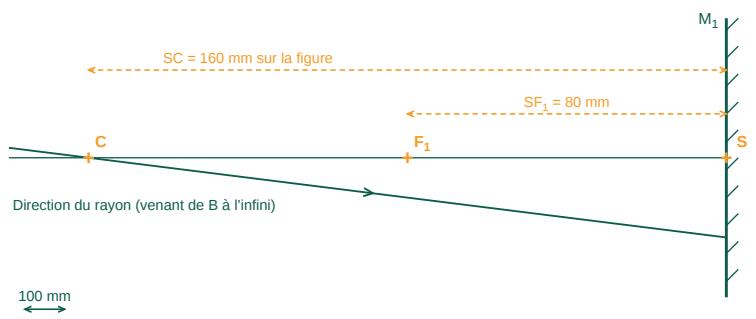
1.2 Sur la figure 1, positionner le sommet S, le centre C et le foyer F_1 en respectant l'échelle (10 mm sur la figure pour 100 mm réels).

Données utiles $SC = 1\,600$ mm ; focale de l'objectif : 800 mm

S est à l'intersection de l'axe optique et de M_1. À l'échelle 1/10 : $SC = 160$ mm sur la figure et $SF_1 = \frac{SC}{2} = 80$ mm.

C est à 160 mm de S, F_1 à 80 mm de S (milieu de $[SC]$).

COMPRENDRE
Vérification : la valeur $SF_1 = 800$ mm est bien la focale annoncée par la notice. Sur l'annexe, le rayon déjà tracé coupe l'axe au point C.



1.2 · Figure 1 de l'annexe : points S, C et F₁

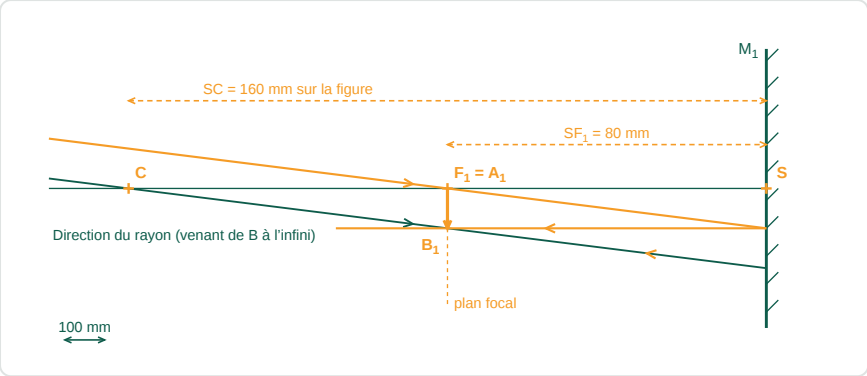
1.3 Construire sur la figure 1 l'image A_1B_1 de la planète Mars située à l'infini.

Mars est à l'infini : son image se forme dans le plan focal du miroir, avec $A_1 = F_1$.

Le rayon tracé, issu de B, passe par C : il se réfléchit sur lui-même. B_1 est à son intersection avec le plan focal.

A_1B_1 est dans le plan focal : A_1 en F_1, B_1 à 10 mm sous l'axe sur la figure.

MÉTHODE
Deux rayons utiles : celui qui passe par C revient sur lui-même ; celui qui passe par le foyer repart parallèlement à l'axe (tracé de contrôle, en orange). Les rayons issus d'un même point à l'infini sont parallèles entre eux.



1.3 · Figure 1 complétée : image A₁B₁ dans le plan focal

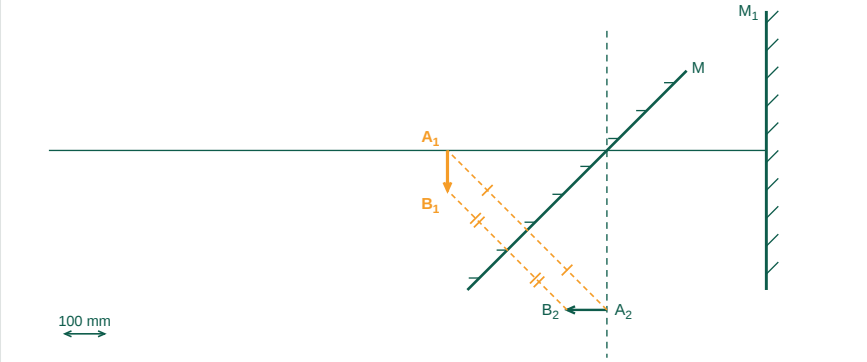
2.1 À partir de A_2B_2, replacer par construction l'image intermédiaire A_1B_1 de Mars sur la figure 2.

Objet et image sont symétriques par rapport au plan d'un miroir plan. Pour A_2 puis B_2 : perpendiculaire à M, et report de la même distance de l'autre côté.

A_1B_1 est le symétrique de A_2B_2 par rapport à M : A_1 se retrouve en F_1.

PIÈGE

Tracer la symétrie par rapport à l'axe optique ou par rapport au point où M coupe l'axe. La symétrie se fait par rapport à la droite du miroir, incliné à 45° : le segment horizontal A_2B_2 devient vertical.



2.1 · Figure 2 complétée : A₁B₁, symétrique de A₂B₂ par rapport à M

2.2 Quel rôle joue l'image intermédiaire A_1B_1 pour le système miroir plan M et oculaire L ?

A_1B_1 joue le rôle d'**objet** pour le système formé par le miroir plan M et l'oculaire L.

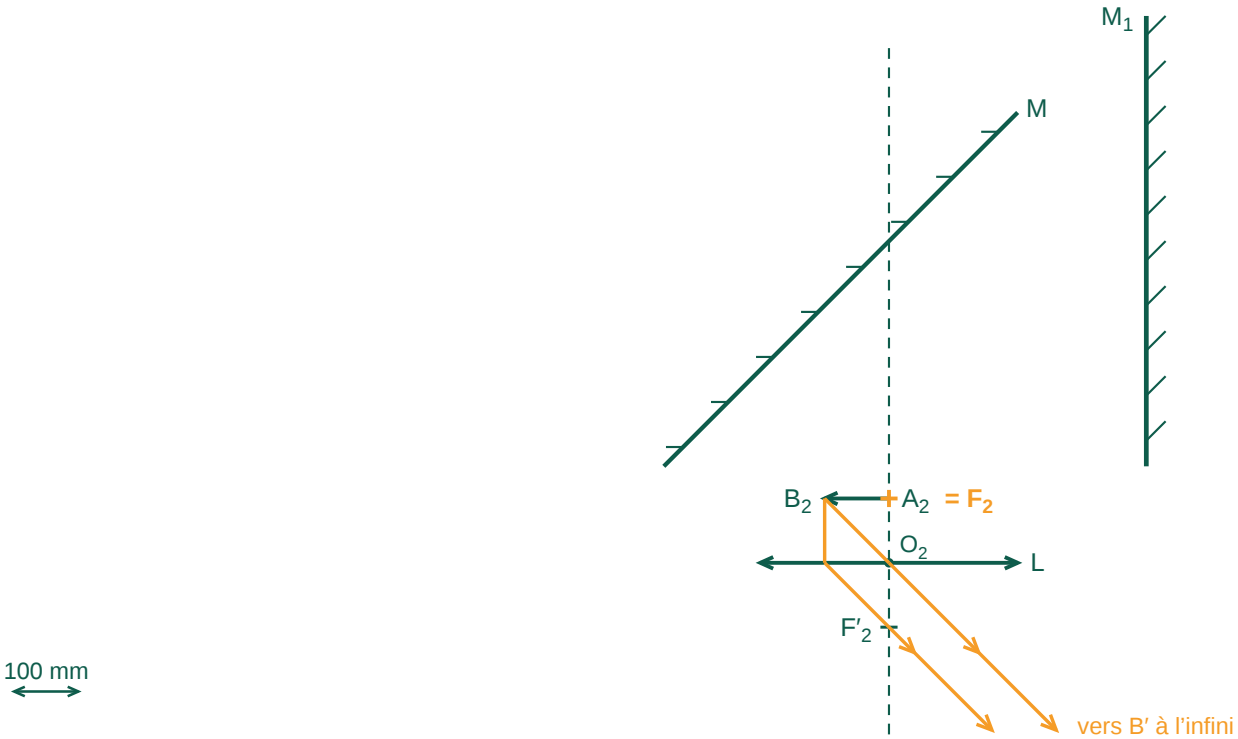
COMPRENDRE

Dans un instrument à plusieurs éléments, l'image donnée par l'un sert d'objet au suivant. Ici le miroir M intercepte la lumière avant qu'elle ne converge en A_1B_1 : il ne fait que renvoyer l'image sur le côté du tube.

3.1 Placer le foyer objet F_2 de la lentille sur la figure 3.

Les foyers sont symétriques par rapport au centre optique O_2 : on reporte $O_2F_2 = O_2F_2'$ sur l'axe, du côté d'où vient la lumière.

F_2 est confondu avec le point A_2.



3.1 · Figure 3 complétée : foyer F_2 et rayons issus de B_2

3.2 Où se situe l'image définitive de la planète Mars observée à l'aide de ce télescope ?

A_2B_2, objet pour l'oculaire, se trouve dans le plan focal objet de la lentille ($A_2 = F_2$).

L'image définitive est rejetée à l'infini.

COMPRENDRE
C'est le sens du mot afocal : un objet à l'infini donne une image à l'infini. L'œil observe alors sans accommoder, donc sans fatigue.

3.3 Justifier la réponse précédente en traçant, sur la figure 3, la marche de deux rayons caractéristiques issus de B_2 et traversant la lentille L.

Voir la figure 3 complétée (question 3.1) :

- le rayon passant par le centre optique O_2 n'est pas dévié ;
- le rayon parallèle à l'axe optique de L émerge en passant par F'_2.

Les deux rayons émergents sont parallèles : l'image B' de B_2 est à l'infini.

PIÈGE
Tracer les rayons parallèles à l'axe du miroir M_1. L'axe optique de l'oculaire est la droite en pointillés, perpendiculaire à la lentille : c'est par rapport à lui que se définissent les rayons caractéristiques.

4.1 À partir des données de la fiche technique, calculer la distance focale f'_2 de l'oculaire.

Données utiles $G = 325$ (grossissement maximal théorique) ; $f'_1 = 800$ mm

$G = \dfrac{f'_1}{f'_2}$ donc $f'_2 = \dfrac{f'_1}{G}$

$$f'_2 = \frac{800}{325} = 2{,}46 \text{ mm}$$

$f'_2 = 2{,}46$ mm

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme G et f'_1. Le grossissement maximal correspond à l'oculaire de plus courte focale. Sur l'annexe, l'oculaire est dessiné avec une focale bien plus grande, pour que la construction reste lisible.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{800}{325}$

≈ 2.461538

4.2.1 Définir le diamètre apparent α.

α est l'angle sous lequel on voit la planète à l'œil nu : l'angle entre les rayons parvenant à l'œil depuis deux bords diamétralement opposés de Mars.

COMPRENDRE
Si d est le diamètre de la planète et D sa distance à l'observateur, alors, l'angle étant très petit, $\alpha \approx \frac{d}{D}$ avec α en radian.

4.2.2 Calculer le diamètre apparent α' (en degré).

Données utiles $G = 325$; $\alpha = 14'' = 3{,}88 \times 10^{-3}$ degré

$G = \frac{\alpha'}{\alpha}$ donc $\alpha' = G\,\alpha$

$$\alpha' = 325 \times 3{,}88 \times 10^{-3} = 1{,}26^\circ$$

$\alpha' = 1{,}26^\circ$

COMPRENDRE
Les deux angles sont dans un rapport : α' sort dans l'unité de α, ici le degré. À travers le télescope, Mars apparaît environ deux fois et demie plus large que la pleine Lune à l'œil nu (0,5°).

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$325 \times 3.88 \times 10^{-3}$

≈ 1.261

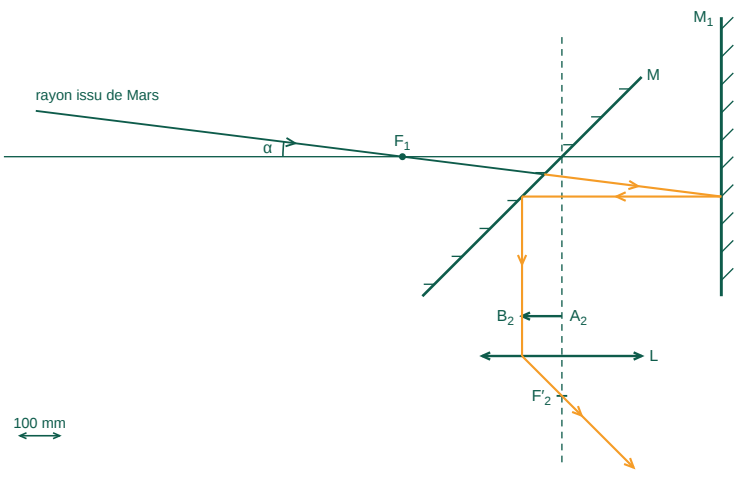
4.2.3 Tracer la marche d'un rayon issu de Mars et passant par le foyer F_1, sur la figure 4.

On prolonge le rayon jusqu'à M_1 :

- passant par F_1, il est réfléchi par M_1 parallèlement à l'axe ;
- le miroir M, incliné à 45°, le renvoie parallèlement à l'axe de l'oculaire : il passe par B_2 ;
- arrivant sur L parallèlement à son axe, il émerge en passant par F'_2.

Le rayon émerge de l'oculaire en passant par F'_2.

COMPRENDRE
Sur le schéma, le miroir M est très agrandi et le rayon semble le traverser. En réalité le miroir secondaire est petit : il n'arrête qu'une faible part de la lumière qui entre dans le tube.

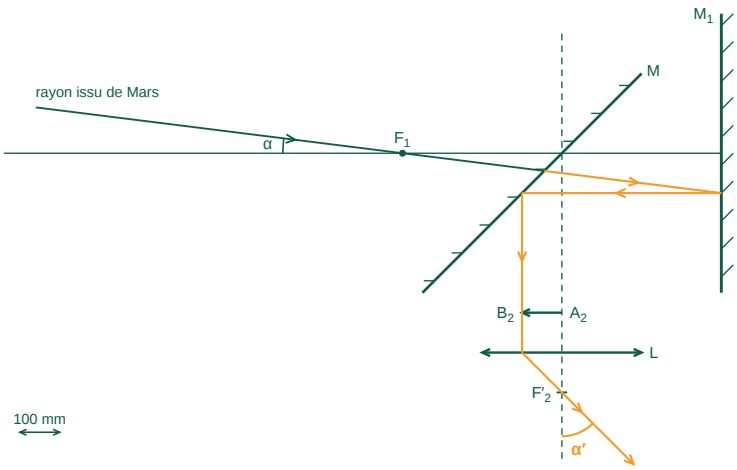


4.2.3 · Figure 4 : marche du rayon passant par F₁

4.2.4 En respectant l'augmentation de l'angle α, faire figurer le diamètre apparent α' sur la figure 4.

α' est l'angle, de sommet F'_2, entre le rayon émergent et l'axe optique de l'oculaire ; il est nettement plus grand que α.

PIÈGE
Marquer α' par rapport à l'axe du miroir M_1. Après le renvoi par M, la direction de référence est l'axe de l'oculaire, en pointillés.



4.2.4 · Figure 4 complétée : angle α′ en sortie de l'oculaire

Radioactivité dans la famille de l'uranium

Bac S 2003 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 4 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1 Quel est le type de radioactivité correspondant à la désintégration du radium 226 en radon 222 ? Justifier.

Le noyau de radium émet un noyau d'hélium $^{4}_{2}\mathrm{He}$, appelé particule α.

Il s'agit d'une radioactivité α.

COMPRENDRE
Le noyau fils perd 4 nucléons dont 2 protons : A passe de 226 à 222 et Z de 88 à 86. C'est la signature d'une émission α.

1.2 Donner l'expression littérale du défaut de masse Δm d'un noyau $^{A}_{Z}\mathrm{X}$ de masse m_X, puis calculer en u celui du noyau de radium.

Données utiles $m_p = 1{,}007$ u ; $m_n = 1{,}009$ u ; $m_{\mathrm{Ra}} = 225{,}977$ u ; radium : $Z = 88$, $A = 226$

Le défaut de masse est l'écart entre la masse des nucléons séparés et la masse du noyau :

$$\Delta m = Z\,m_p + (A - Z)\,m_n - m_X$$

Le noyau de radium contient 88 protons et $226 - 88 = 138$ neutrons :

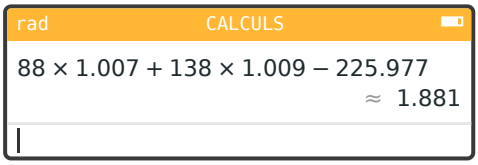
$$\Delta m(\mathrm{Ra}) = 88 \times 1{,}007 + 138 \times 1{,}009 - 225{,}977 = 227{,}858 - 225{,}977$$

$\Delta m(\mathrm{Ra}) = 1{,}881$ u

PIÈGE
Multiplier m_n par A au lieu de $A - Z$, ou écrire la différence dans l'autre sens : avec cette définition, le défaut de masse est positif.

COMPRENDRE
Les masses sont données au millième d'unité : la somme et la différence se gardent au millième, d'où 1,881 u.

À LA CALCULATRICE



1.3 Écrire la relation d'équivalence masse-énergie.

Toute particule de masse m, au repos, possède une énergie de masse E.

$E = m\,c^2$, avec E en joule, m en kilogramme et c en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

1.4 Définir l'énergie de liaison E_l d'un noyau. Calculer celle du radon en joule, vérifier qu'elle vaut $1{,}71 \times 10^3$ MeV, puis en déduire l'énergie de liaison par nucléon.

Données utiles $\Delta m(\mathrm{Rn}) = 3{,}04 \times 10^{-27}$ kg ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$; $1\ \mathrm{MeV} = 1{,}60 \times 10^{-13}$ J ; radon : $A = 222$

L'énergie de liaison est l'énergie qu'il faut apporter à un noyau au repos pour le dissocier en ses nucléons, isolés et immobiles.

$E_l(\mathrm{Rn}) = \Delta m(\mathrm{Rn}) \times c^2 = 3{,}04 \times 10^{-27} \times (3{,}00 \times 10^{8})^2 = 2{,}74 \times 10^{-10}$ J

En MeV : $E_l(\mathrm{Rn}) = \dfrac{2{,}736 \times 10^{-10}}{1{,}60 \times 10^{-13}} = 1{,}71 \times 10^{3}$ MeV, ce qui est la valeur annoncée.

Par nucléon : $\dfrac{E_l}{A} = \dfrac{1{,}71 \times 10^{3}}{222}$

$\dfrac{E_l}{A}(\mathrm{Rn}) = 7{,}70\ \mathrm{MeV \cdot nucléon^{-1}}$

PIÈGE
Le défaut de masse est ici donné en kilogramme : on applique directement $\Delta m\,c^2$, sans le multiplier par la valeur de u. Oublier le carré de c est l'autre erreur fréquente.

MÉTHODE
Pour passer du joule au MeV, on divise par $1{,}60 \times 10^{-13}$, car $1\ \mathrm{MeV} = 10^{6} \times 1{,}60 \times 10^{-19}$ J. On reprend la valeur non arrondie $2{,}736 \times 10^{-10}$ J pour ce calcul.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$3.04 \times 10^{-27} \times (3.00 \times 10^{8})^{2}$
$\approx 2.736 \times 10^{-10}$

$\dfrac{2.736 \times 10^{-10}}{1.60 \times 10^{-13}}$
≈ 1710

$\dfrac{1710}{222}$
≈ 7.702703

1.5 Établir littéralement la variation d'énergie ΔE de la désintégration du radium en fonction de m_{Ra}, m_{Rn} et m_{He}, puis l'exprimer en joule.

Données utiles $m_{\text{Ra}} = 225{,}977$ u ; $m_{\text{Rn}} = 221{,}970$ u ; $m_{\text{He}} = 4{,}001$ u ; $1\text{ u} = 1{,}660\,54 \times 10^{-27}$ kg ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1}

La variation d'énergie est le produit de la variation de masse (produits moins réactif) par c^2 :

$$\Delta E = (m_{\text{Rn}} + m_{\text{He}} - m_{\text{Ra}})\, c^2$$

$$\Delta E = (221{,}970 + 4{,}001 - 225{,}977) \times 1{,}660\,54 \times 10^{-27} \times (3{,}00 \times 10^{8})^2$$

La masse diminue de $0{,}006$ u : ΔE est négative, le système cède de l'énergie à l'extérieur.

$\Delta E = -8{,}97 \times 10^{-13}$ J, soit environ -9×10^{-13} J

PIÈGE
Les masses sont en u : il faut les convertir en kilogramme avant de multiplier par c^2, sinon le résultat n'est pas en joule.

COMPRENDRE
La variation de masse, $-0{,}006$ u, n'est connue qu'avec un seul chiffre significatif : le résultat vaut en réalité -9×10^{-13} J, soit une énergie libérée d'environ $5{,}6$ MeV.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$(221.970 + 4.001 - 225.977) \times 1.66054 \times 10^{-27} \times (3.00 \times 10^{8})^{2}$
$\approx -8.966916 \times 10^{-13}$

$(221.970 + 4.001 - 225.977) \times 931.5$
≈ -5.589

2.1 Définir le terme « isotope ».

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

COMPRENDRE
$^{238}_{92}\text{U}$ et $^{235}_{92}\text{U}$ ont tous deux 92 protons : c'est le même élément. Ils comptent respectivement 146 et 143 neutrons.

2.2 Définir la fission. Écrire la réaction de fission d'un noyau d'uranium 235 bombardé par un neutron et donnant Zr et Te. À l'aide de la courbe d'Aston, dégager l'intérêt énergétique de cette réaction.

Données utiles ${}^{99}_{40}\mathrm{Zr}$; ${}^{134}_{52}\mathrm{Te}$; courbe d'Aston de l'annexe

La fission est une réaction nucléaire provoquée : un noyau lourd, percuté par un neutron, se scinde en deux noyaux plus légers en libérant des neutrons et de l'énergie.

Conservation du nombre de nucléons : $235 + 1 = 99 + 134 + x$, donc $x = 3$ neutrons émis. Conservation de la charge : $92 = 40 + 52$.

$$ {}^{235}_{92}\mathrm{U} + {}^{1}_{0}\mathrm{n} \longrightarrow {}^{99}_{40}\mathrm{Zr} + {}^{134}_{52}\mathrm{Te} + 3\,{}^{1}_{0}\mathrm{n} $$

Sur la courbe d'Aston, on lit $\dfrac{E_l}{A} \approx 7{,}3$ MeV par nucléon pour U, $8{,}7$ pour Zr et $8{,}5$ pour Te. Les noyaux formés sont plus bas sur la courbe : leurs nucléons sont plus liés, ils sont plus stables que l'uranium.

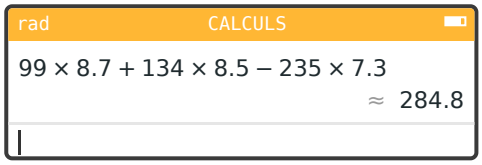
Énergie libérée : $99 \times 8{,}7 + 134 \times 8{,}5 - 235 \times 7{,}3 \approx 2{,}8 \times 10^2$ MeV.

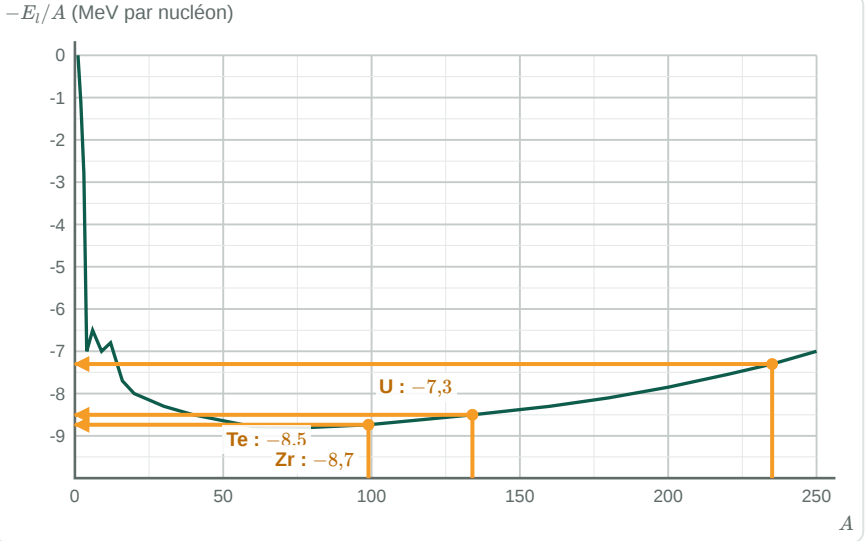
La fission d'un seul noyau d'uranium 235 libère une énergie de l'ordre de 3×10^2 MeV.

PIÈGE
L'axe vertical porte $-E_l/A$: le noyau le plus stable est le plus bas. Dans l'équation, ne pas oublier le neutron incident dans le décompte des nucléons.

COMPRENDRE
Cette énergie est environ cinquante fois plus grande que celle de la désintégration α du radium (question 1.5). Les trois neutrons émis peuvent provoquer d'autres fissions : c'est la réaction en chaîne.

À LA CALCULATRICE





2.2 · Annexe complétée : lecture de $-E_l/A$ pour U, Te et Zr sur la courbe d'Aston

3.1 Donner la définition de la radioactivité β^-.

La radioactivité β^- est la désintégration spontanée d'un noyau instable, qui se transforme en un noyau fils en émettant un électron ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$.

COMPRENDRE
Dans le noyau, un neutron se transforme en proton : A ne change pas et Z augmente d'une unité. Elle concerne les noyaux trop riches en neutrons.

3.2 Écrire l'équation de désintégration du noyau de zirconium 99.

Données utiles ${}^{99}_{40}\mathrm{Zr}$; noyau fils : niobium Nb ; désintégration β^-

Conservation du nombre de nucléons : $99 = A + 0$, donc $A = 99$.
Conservation de la charge : $40 = Z - 1$, donc $Z = 41$.

$$ {}^{99}_{40}\mathrm{Zr} \longrightarrow {}^{99}_{41}\mathrm{Nb} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e} $$

PIÈGE
Écrire $Z = 39$ pour le niobium : l'électron porte la charge -1, donc le numéro atomique du noyau fils augmente.

COMPRENDRE
Un antineutrino est aussi émis lors d'une désintégration β^-. Sans charge ni nucléon, il ne modifie pas les lois de conservation utilisées ici.