Corrigé complet — Bac S 2011 Polynésie rattrapage (ancien programme)

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

Ex 1	**Spécialité : L'enregistrement en studio d'un groupe de musique** Période et fréquence d'un son · Hauteur et timbre · Fondamental et harmoniques · Spectre en fréquences · Niveau d'intensité sonore	4 pts	52 min	12 questions	p. 2
Ex 2	**Une petite histoire de la seconde** Pendule simple · Période propre · Résonance · Oscillations électriques · Photon et niveaux d'énergie	6 pts	1 h 18	16 questions	p. 5

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.

Spécialité : L'enregistrement en studio d'un groupe de musique

Bac S 2011 Polynésie rattrapage (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1.1 Le son joué par la guitare (document 1) comporte-t-il des harmoniques ? Justifier.

La tension du document 1 est périodique, mais sa courbe n'est pas une sinusoïde : le motif qui se répète présente plusieurs maximums de hauteurs différentes.

Un son pur donnerait une sinusoïde. Le son de la guitare est donc un son complexe.

Oui, ce son comporte des harmoniques, car le signal est périodique sans être sinusoïdal.

COMPRENDRE
Sujet de l'ancien programme : harmoniques, hauteur et timbre ne figurent plus au programme actuel de spécialité de Terminale. Les lectures de période, de fréquence et le niveau sonore en décibels restent exigibles.

1.1.2 À partir du document 1, déterminer la période de la note jouée par la guitare, puis en déduire sa fréquence.

Données utiles document 1 : deux grands maximums successifs à $t \approx 4{,}0$ ms et $t \approx 9{,}0$ ms

On repère deux points identiques du motif, par exemple les deux plus grands maximums :

$T = 9{,}0 - 4{,}0 = 5{,}0 \text{ ms} = 5{,}0 \times 10^{-3} \text{ s}$

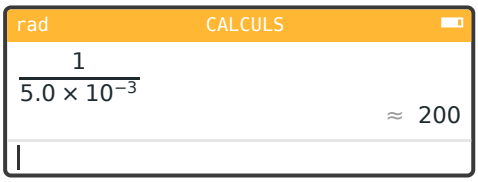
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{5{,}0 \times 10^{-3}}$$

$T = 5{,}0$ ms et $f = 2{,}0 \times 10^{2}$ Hz

PIÈGE
Mesurer l'écart entre deux maximums voisins de hauteurs différentes : ce n'est pas une période. Il faut retrouver le motif entier. Convertir aussi les millisecondes en secondes avant de calculer f.

COMPRENDRE
La lecture graphique donne deux chiffres significatifs : on écrit $2{,}0 \times 10^{2}$ Hz, pas 200 Hz. Le préambule du sujet tolère d'ailleurs un écart de quelques hertz.

À LA CALCULATRICE



1.2.1 Le son émis par la guitare (document 1) et celui émis par la basse (document 2) ont-ils approximativement la même hauteur ? Justifier.

Données utiles $T = 5{,}0$ ms pour la guitare (1.1.2) ; document 2 : grands maximums à $t \approx 0{,}4$ ms et $t \approx 5{,}4$ ms

Sur le document 2, le motif se répète au bout de $T' \approx 5{,}4 - 0{,}4 = 5{,}0$ ms, comme pour la guitare.

Les deux sons ont la même période, donc la même fréquence fondamentale, environ $2{,}0 \times 10^{2}$ Hz.

Oui : même fréquence fondamentale, donc approximativement la même hauteur.

COMPRENDRE
La hauteur d'un son est fixée par la fréquence de son fondamental, c'est-à-dire par la période du signal, et non par son amplitude ni par sa forme.

1.2.2 À quoi reconnaît-on sur les documents que ces deux instruments n'ont pas le même timbre ?

Les deux signaux ont la même période, mais leurs motifs n'ont pas la même forme.

Des courbes de formes différentes pour une même fréquence : les deux sons n'ont pas le même timbre.

COMPRENDRE
Le timbre dépend du nombre d'harmoniques et de leurs amplitudes relatives. C'est lui qui permet de distinguer deux instruments jouant la même note.

1.3 La note émise par le violon (document 3) est-elle plus ou moins aiguë que celle émise par la guitare ? Justifier.

Données utiles $T = 5{,}0$ ms pour la guitare (1.1.2) ; document 3 : environ quatre motifs en 9,6 ms

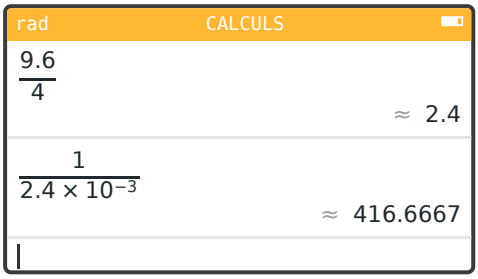
Sur le document 3, on compte environ quatre motifs en 9,6 ms : la période du violon est $T_V \approx 2{,}4$ ms.

$T_V < T$, donc $f_V > f$ puisque $f = \dfrac{1}{T}$ (ici $f_V \approx 4{,}2 \times 10^2$ Hz).

La note du violon est plus aiguë que celle de la guitare, car sa fréquence est plus élevée.

MÉTHODE
Pour une période courte, mesurer la durée de plusieurs motifs puis diviser par leur nombre : l'erreur de lecture est répartie sur l'ensemble.

À LA CALCULATRICE



2.1 La fréquence d'une note émise par le violon est $f_1 = 220$ Hz. Parmi 110 Hz, 330 Hz, 440 Hz et 660 Hz, indiquer les fréquences qui correspondent à des harmoniques de cette note.

Les harmoniques ont des fréquences multiples entières de celle du fondamental : $f_n = n\,f_1$ avec n entier.

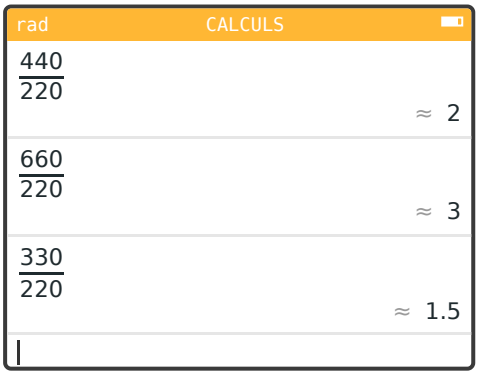
$440 = 2 \times 220$ et $660 = 3 \times 220$.

En revanche $110 = 0{,}5 \times 220$ et $330 = 1{,}5 \times 220$: ce ne sont pas des multiples entiers.

Les harmoniques sont 440 Hz (rang 2) et 660 Hz (rang 3).

PIÈGE
Retenir 110 Hz parce que 220 en est le double : un harmonique a toujours une fréquence supérieure à celle du fondamental.

À LA CALCULATRICE



2.2.1 Sur le spectre du document 4, quelle est la fréquence du fondamental ?

Le fondamental correspond au pic de plus basse fréquence du spectre.

$f_1 = 500$ Hz

PIÈGE
Choisir le pic le plus haut (1000 Hz). Le fondamental est le pic de plus petite fréquence, même si son amplitude n'est pas la plus grande.

2.2.2 Quelles sont les fréquences des harmoniques présentes dans ce spectre ?

Données utiles $f_1 = 500$ Hz (2.2.1)

Les autres pics du spectre sont situés à des multiples de 500 Hz : rangs 2, 3, 5 et 6.

Harmoniques présents : 1000 Hz, 1500 Hz, 2500 Hz et 3000 Hz.

COMPRENDRE
Il n'y a pas de pic à 2000 Hz ni à 3500 Hz : les harmoniques de rangs 4 et 7 sont absents. Un spectre ne contient pas forcément tous les multiples du fondamental.

2.3.1 Un son est synthétisé à partir de la tension $u(t) = 3\sin(2\pi \times 200\,t) + 1{,}5\sin(2\pi \times 400\,t) + 0{,}3\sin(2\pi \times 800\,t)$. Quelle est la fréquence du son généré ?

Chaque terme est de la forme $U_m \sin(2\pi f t)$: les trois composantes ont pour fréquences 200 Hz, 400 Hz et 800 Hz.

La fréquence d'un son complexe est celle de son fondamental, la plus petite des trois.

La fréquence du son généré est $f = 200$ Hz.

PIÈGE
Additionner les trois fréquences ou retenir la plus grande. La période de la somme est celle de la composante la plus lente, les deux autres étant ses multiples.

2.3.2 Tous les harmoniques de fréquence strictement inférieure à 1000 Hz sont-ils présents ?

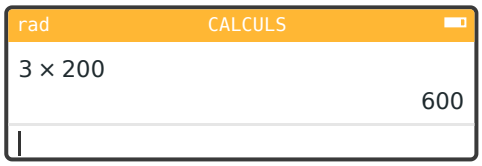
Données utiles $f = 200$ Hz (2.3.1)

Les multiples de 200 Hz strictement inférieurs à 1000 Hz sont 400 Hz, 600 Hz et 800 Hz.

L'expression de $u(t)$ contient des termes à 400 Hz et à 800 Hz, mais aucun à 600 Hz.

Non : l'harmonique de rang 3, de fréquence 600 Hz, est absent.

À LA CALCULATRICE



3.1 Dans la relation $L = 10\log\left(\dfrac{I}{I_0}\right)$ avec $I_0 = 10^{-12}$ W · m^{-2}, à quoi correspond l'intensité I_0 ?

I_0 est l'intensité sonore de référence : le seuil d'audibilité, plus petite intensité perçue par une oreille humaine normale.

COMPRENDRE
Pour $I = I_0$, on obtient $L = 10\log(1) = 0$ dB : le niveau 0 dB correspond au seuil d'audibilité, pas à l'absence de son.

3.2 Chaque guitare, jouant seule, donne un niveau sonore $L_G = 60$ dBA. Quel niveau sonore L_{2G} mesure-t-on lorsque les deux guitares jouent simultanément ?

Données utiles $L_G = 60$ dBA ; les intensités sonores s'ajoutent

Pour une guitare : $L_G = 10\log\left(\dfrac{I_G}{I_0}\right)$.

Les intensités s'ajoutent : $I_{2G} = I_G + I_G = 2\,I_G$.

$$L_{2G} = 10\log\left(\frac{2\,I_G}{I_0}\right) = 10\log(2) + 10\log\left(\frac{I_G}{I_0}\right) = L_G + 10\log(2)$$

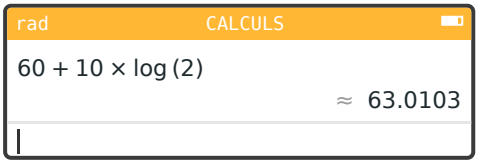
$L_{2G} = 60 + 3{,}0$

$L_{2G} = 63$ dBA

PIÈGE
Additionner les niveaux et annoncer 120 dBA. Ce sont les intensités qui s'ajoutent, jamais les niveaux en décibels.

MÉTHODE
Doubler l'intensité sonore ajoute toujours $10\log(2) \approx 3$ dB au niveau, quelle que soit la valeur de départ. La multiplier par 10 ajoute 10 dB.

À LA CALCULATRICE



Une petite histoire de la seconde

Bac S 2011 Polynésie rattrapage (ancien programme) · Exercice 2 **6 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1 Première partie. À quelle condition les oscillations du pendule sont-elles isochrones ?

Des oscillations isochrones ont une période qui ne dépend pas de leur amplitude.

C'est le cas tant que l'amplitude angulaire reste **petite** (une vingtaine de degrés au plus).

COMPRENDRE
Pour de grandes amplitudes, la période augmente avec l'amplitude : le pendule n'est plus une bonne horloge. Le protocole de la question 3 limite d'ailleurs l'amplitude initiale à 20°.

2 Que représente la grandeur ℓ dans l'expression de la période propre du pendule ?

ℓ est la **longueur du pendule** : la distance, en mètre, entre le point de suspension du fil et le centre d'inertie de l'objet accroché.

PIÈGE
Répondre « la longueur du fil » est incomplet : il faut aller jusqu'au centre de la masse suspendue.

3.1 Expliquer pourquoi il est préférable de mesurer 10 oscillations et non pas une seule.

L'incertitude du chronométrage (déclenchement et arrêt à la main) est la même quelle que soit la durée mesurée. Sur une durée dix fois plus longue, elle pèse dix fois moins.

Mesurer 10 oscillations puis diviser par 10 **réduit l'incertitude relative** sur la période.

COMPRENDRE
Avec une erreur de 0,2 s au chronomètre, une seule oscillation de 1,3 s serait connue à 15 % près ; dix oscillations (13,4 s) le sont à 1,5 % près.

3.2 Tracer la courbe $T_0 = f(\sqrt{\ell})$ avec les échelles 1 cm pour $0{,}10\ \text{m}^{1/2}$ et 1 cm pour 1,0 s.

Données utiles ℓ (m) : 0,45 ; 0,30 ; 0,20 ; 0,10 Δt (s) : 13,4 ; 11,0 ; 9,0 ; 6,4

Pour chaque mesure, on calcule $\sqrt{\ell}$ et $T_0 = \dfrac{\Delta t}{10}$:

ℓ (m)	0,45	0,30	0,20	0,10
$\sqrt{\ell}$ ($\text{m}^{1/2}$)	0,67	0,55	0,45	0,32
T_0 (s)	1,34	1,10	0,90	0,64

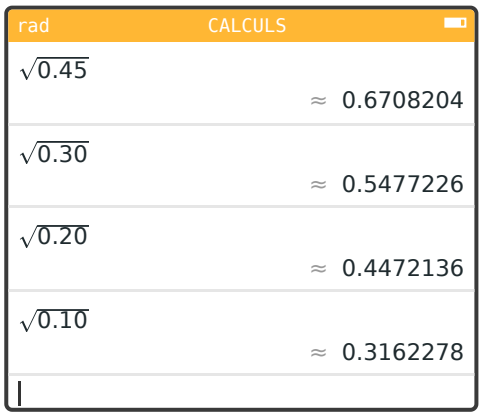
On place les quatre points, puis on trace à la règle la droite moyenne.

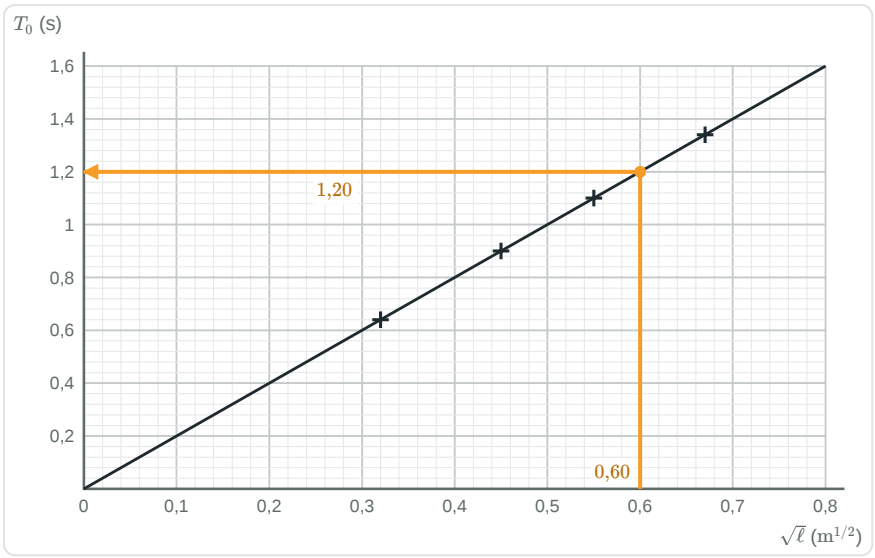
Les points sont alignés sur une droite qui passe par l'origine (voir la figure).

PIÈGE
Porter Δt en ordonnée au lieu de T_0, ou ℓ en abscisse au lieu de $\sqrt{\ell}$. Ne pas relier les points par des segments : on trace une droite moyenne.

COMPRENDRE
Avec 1 cm pour 1,0 s, les points tiennent sur moins de 1,5 cm de hauteur. Si la copie le permet, une ordonnée dilatée (1 cm pour 0,10 s, comme ici) rend la lecture bien plus précise.

À LA CALCULATRICE





3.2 · Période propre en fonction de la racine carrée de la longueur (ordonnée dilatée)

3.3 À partir de la courbe, montrer que l'expression théorique de la période propre d'un pendule simple est vérifiée.

Données utiles $g = 9{,}81\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$; droite tracée en 3.2

La courbe est une droite passant par l'origine : T_0 est proportionnelle à $\sqrt{\ell}$, soit $T_0 = a\sqrt{\ell}$.

Coefficient directeur, avec l'origine et le point de la droite $(0{,}60\ ;\ 1{,}20)$:

$$a = \frac{1{,}20 - 0}{0{,}60 - 0} = 2{,}0\ \text{s} \cdot \text{m}^{-1/2}$$

L'expression théorique s'écrit $T_0 = 2\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{g}} = \dfrac{2\pi}{\sqrt{g}}\sqrt{\ell}$: elle prévoit aussi une proportionnalité, de coefficient

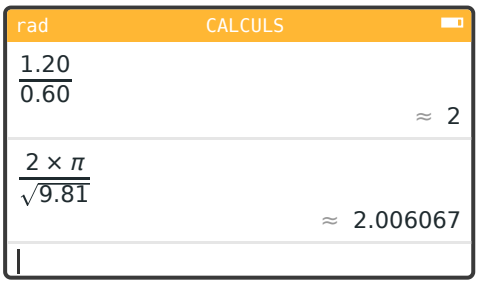
$$\frac{2\pi}{\sqrt{g}} = \frac{2\pi}{\sqrt{9{,}81}} = 2{,}01\ \text{s} \cdot \text{m}^{-1/2}$$

$a = 2{,}0\ \text{s} \cdot \text{m}^{-1/2}$ pour $2{,}01\ \text{s} \cdot \text{m}^{-1/2}$ attendu : l'expression théorique est vérifiée.

PIÈGE
Calculer le coefficient directeur avec un point du tableau qui n'est pas sur la droite tracée. On prend deux points de la droite, éloignés l'un de l'autre.

MÉTHODE
Pour valider une loi à partir d'une droite, deux contrôles : la forme (droite passant par l'origine, donc proportionnalité) et la valeur du coefficient directeur, comparée à celle de la formule.

À LA CALCULATRICE



4 Un pendule « bat la seconde » : un aller dure une seconde. Quelle doit être sa longueur ?

Données utiles $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

Une période correspond à un aller et un retour : $T_0 = 2 \times 1{,}00 = 2{,}00\ \text{s}$

$T_0 = 2\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{g}}$ donne $T_0^2 = 4\pi^2\,\dfrac{\ell}{g}$, d'où $\ell = \dfrac{g\,T_0^2}{4\pi^2}$.

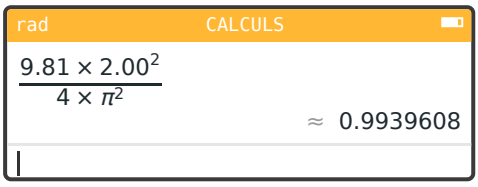
$$\ell = \frac{9{,}81 \times 2{,}00^2}{4\pi^2} = 0{,}994\ \text{m}$$

$\ell = 0{,}994\ \text{m}$, soit environ 1 m.

PIÈGE
Prendre $T_0 = 1$ s : on trouverait 0,25 m, quatre fois trop court. La seconde est ici la durée d'un aller simple, pas d'une oscillation complète.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : g en compte trois et la durée d'un aller est fixée par définition, donc trois chiffres au résultat.

À LA CALCULATRICE



1.1 Deuxième partie. Quel est le phénomène physique illustré par la courbe (1) de la figure 1 ?

L'oscillateur électrique impose sa fréquence au quartz (oscillations forcées). L'amplitude des oscillations du quartz passe par un maximum marqué pour une fréquence particulière.

La courbe (1) illustre le phénomène de **résonance**.

1.2 À l'aide de la figure 1, déterminer la fréquence propre f_0 d'oscillations du quartz.

D'après le texte, à la résonance la fréquence imposée est égale à la fréquence propre du quartz. On lit donc l'abscisse du maximum de la courbe (1).

$f_0 = 32\,768\ \text{Hz}$

COMPRENDRE
Cette valeur n'est pas due au hasard : $32\,768 = 2^{15}$. C'est ce qui rendra la division de fréquence de la question 3 très simple.

1.3 Calculer le facteur de qualité $Q = \dfrac{f_0}{\beta}$, puis indiquer si l'amortissement est faible ou fort.

Données utiles $f_0 = 32\,768$ Hz (1.2) ; figure 1 : 2 Hz par graduation

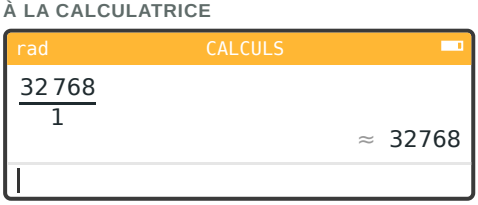
Sur la figure 1, la double flèche β couvre environ la moitié d'un intervalle de 2 Hz : $\beta \approx 1$ Hz.

$$Q = \frac{f_0}{\beta} = \frac{32\,768}{1} \approx 3 \times 10^4$$

$Q \approx 3 \times 10^4$, très supérieur à 10 : la résonance est aiguë et l'amortissement est **faible**.

COMPRENDRE
La lecture de β est grossière : un seul chiffre significatif pour Q. La conclusion ne dépend pas de cette imprécision, car Q dépasse 10 de plusieurs ordres de grandeur.

À LA CALCULATRICE



2.1 Parmi les figures 2.a et 2.b, reconnaître la tension aux bornes du condensateur lors d'une décharge oscillante.

Sur la figure 2.a, la tension change de signe périodiquement, de part et d'autre de 0 V. Sur la figure 2.b, elle décroît vers 0 V sans jamais changer de signe.

La décharge oscillante correspond à la **figure 2.a**.

COMPRENDRE
La figure 2.b est celle d'une décharge sans oscillation, comme dans un circuit RC ou un circuit RLC trop résistif.

2.2 Quelle est l'influence de la valeur de la résistance R sur le phénomène d'oscillations ?

La résistance dissipe l'énergie du circuit par effet Joule : elle amortit les oscillations.

Plus R est grande, plus l'amplitude des oscillations décroît vite ; au-delà d'une certaine valeur de R, il n'y a plus d'oscillation.

PIÈGE
Dire que R modifie la période : tant que l'amortissement est faible, la pseudo-période reste voisine de la période propre, qui ne dépend que de L et C.

2.3 Rappeler l'expression de la période propre T_0 d'un circuit LC série, puis en déduire la fréquence propre f_0 du circuit modélisant le quartz.

Données utiles $L = 7\,860$ H ; $C = 3{,}001 \times 10^{-15}$ F

Période propre : $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$.

Fréquence propre : $f_0 = \dfrac{1}{T_0} = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

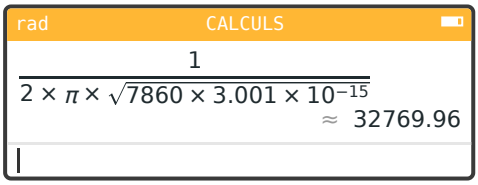
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{7\,860 \times 3{,}001 \times 10^{-15}}} = 3{,}277 \times 10^4 \text{ Hz}$$

$f_0 = 3{,}277 \times 10^4$ Hz, en accord avec la lecture de la figure 1.

PIÈGE
Faire intervenir R dans le calcul : la période propre est celle du circuit sans résistance. Autre erreur fréquente : oublier la racine carrée.

COMPRENDRE
L et C sont donnés avec quatre chiffres significatifs, d'où quatre chiffres pour f_0.

À LA CALCULATRICE



3 La fréquence f_0 est divisée par 2^n. Déterminer l'entier n pour obtenir un signal de fréquence égale à 1 Hz.

Données utiles $f_0 = 32\,768$ Hz (1.2)

On veut $\dfrac{f_0}{2^n} = 1$ Hz, soit $2^n = f_0$ (f_0 en hertz).

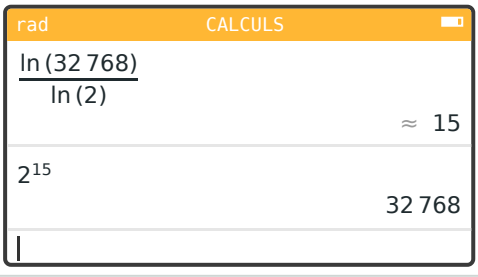
En prenant le logarithme : $n \ln 2 = \ln f_0$, d'où

$$n = \frac{\ln f_0}{\ln 2} = \frac{\ln(32\,768)}{\ln 2} = 15$$

$n = 15$: on vérifie que $2^{15} = 32\,768$.

COMPRENDRE
Diviser par 2^{15}, c'est diviser quinze fois de suite la fréquence par 2. Avec la valeur de 2.3 on trouve 15,0001 : n étant entier, la réponse est la même.

À LA CALCULATRICE



1 Troisième partie. Donner la relation entre les énergies E_p, E_n et la fréquence ν du photon émis.

L'énergie perdue par l'atome est emportée par le photon, d'énergie $h\nu$.

$$E_p - E_n = h\,\nu$$

PIÈGE
Écrire $E_n - E_p = h\nu$: avec $E_p > E_n$ cette différence est négative, alors que l'énergie d'un photon est positive.

2 Donner la valeur de la fréquence ν correspondant à la transition électronique définissant la seconde.

Une seconde contient $9\,192\,631\,770$ périodes de la radiation :

$$T = \frac{1\text{ s}}{9\,192\,631\,770}$$

La fréquence est l'inverse de la période, c'est-à-dire le nombre de périodes par seconde.

$$\nu = \frac{1}{T} = 9\,192\,631\,770\text{ Hz} \approx 9{,}19 \times 10^{9}\text{ Hz}$$

COMPRENDRE
Cette valeur est exacte, fixée par la définition de la seconde. La radiation appartient au domaine des micro-ondes, pas à la lumière visible.

3 Calculer la variation d'énergie $E_p - E_n$ correspondante, en joule et en électron-volt.

Données utiles $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J · s ; $1\text{ eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J ; $\nu = 9\,192\,631\,770$ Hz (question 2)

$$E_p - E_n = h\,\nu$$

$$E_p - E_n = 6{,}63 \times 10^{-34} \times 9\,192\,631\,770 = 6{,}09 \times 10^{-24}\text{ J}$$

Conversion : $E_p - E_n = \dfrac{6{,}09 \times 10^{-24}}{1{,}60 \times 10^{-19}} = 3{,}81 \times 10^{-5}\text{ eV}$

$$E_p - E_n = 6{,}09 \times 10^{-24}\text{ J} = 3{,}81 \times 10^{-5}\text{ eV}$$

PIÈGE
Multiplier par $1{,}60 \times 10^{-19}$ pour passer en eV. Un joule vaut beaucoup d'électrons-volts : on divise, et le nombre obtenu en eV est plus grand qu'en joule.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme h. L'écart est environ cent mille fois plus petit que les transitions du visible (quelques eV) : c'est une structure « hyperfine ».

À LA CALCULATRICE

