Le son: de sa numérisation à la lecture d'un CD

Bac S 2013 Amérique du Sud (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Justifier brièvement que le signal électrique à la sortie du micro est un signal analogique.

La tension u aux bornes du micro varie de façon continue au cours du temps : elle peut prendre une infinité de valeurs et reproduit fidèlement la vibration x des branches du diapason (document 1).

La tension varie continûment dans le temps : c'est un signal **analogique**.

1.2 Définir ce qu'est un signal numérique.

Un signal numérique ne prend qu'un nombre fini de valeurs : il varie par paliers, de façon discontinue. Chaque valeur est codée par un nombre binaire, c'est-à-dire une suite de 0 et de 1.

Signal **numérique** : signal discret, à valeurs en nombre limité, codé par une suite de bits.

1.3 Que signifie « échantillonner » un signal analogique ?

Échantillonner, c'est relever la valeur de la tension à des dates régulièrement espacées, séparées par la période d'échantillonnage T_e. Le nombre de mesures par seconde est la fréquence d'échantillonnage $f_e = \dfrac{1}{T_e}$.

Échantillonner : prélever la valeur du signal à intervalles de temps réguliers T_e.

COMPRENDRE

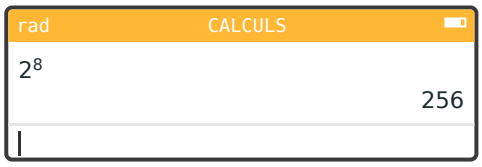
Plus f_e est grande, plus la suite des échantillons suit de près le signal de départ. Ici $f_e = 44{,}1$ kHz, soit cent fois la fréquence du « La » du diapason.

1.4 Combien de valeurs peut prendre un échantillon numérisé sur 8 bits ?

Un bit prend 2 valeurs (0 ou 1). Avec n bits, on forme 2^n nombres binaires différents.

Sur 8 bits : $2^8 = 256$ valeurs possibles.

À LA CALCULATRICE



1.5 Quelle est, en Mio, la place théorique occupée sur un CD audio par une minute de musique non compressée ?

Données utiles numérisation sur 2×16 bits ; $f_e = 44{,}1$ kHz ; $\Delta t = 60$ s ; 1 octet = 8 bits ; 1 Mio = 2^{20} octets

Nombre d'échantillons en une minute : $N = f_e \times \Delta t$.

Chaque échantillon occupe $2 \times 16 = 32$ bits, soit $\dfrac{32}{8} = 4$ octets.

Place occupée : $4 \times f_e \times \Delta t = 4 \times 44{,}1 \times 10^3 \times 60 = 1{,}06 \times 10^7$ octets.

En Mio : $\dfrac{4 \times 44{,}1 \times 10^3 \times 60}{2^{20}} = 10{,}1$

Une minute de musique occupe environ 10,1 Mio.

PIÈGE

Oublier le facteur 2 de la stéréo, laisser la fréquence en kHz, ou diviser par 10^6 : le sujet impose 1 Mio = 2^{20} octets.

COMPRENDRE

Trois chiffres significatifs, comme $f_e = 44{,}1$ kHz : les nombres 2, 16, 8 et 60 s sont des valeurs exactes.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$4 \times 44.1 \times 10^3 \times 60 \approx 1.0584 \times 10^7$

$\frac{4 \times 44.1 \times 10^3 \times 60}{2^{20}} \approx 10.09369$

2.1 Citer une propriété du faisceau laser utilisée dans la lecture des CD.

Le faisceau laser est très directif : il peut être concentré par la lentille sur une tache de l'ordre du micromètre.

Propriété utilisée : la **directivité** du faisceau (on accepte aussi : lumière monochromatique, ou cohérente).

COMPRENDRE
La lumière monochromatique et cohérente sert aux interférences de la partie 2.5. Le laser et ses propriétés ne figurent plus au programme actuel de spécialité.

2.2 Calculer la fréquence de la radiation monochromatique.

Données utiles $\lambda_0 = 780$ nm dans le vide (notée λ dans le texte du sujet) ; $c = 3{,}00 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Dans le vide : $\lambda_0 = \frac{c}{\nu}$, donc $\nu = \frac{c}{\lambda_0}$.

$$\nu = \frac{3{,}00 \times 10^8}{780 \times 10^{-9}} = 3{,}85 \times 10^{14}\ \text{Hz}$$

$\nu = 3{,}85 \times 10^{14}$ Hz

PIÈGE
Laisser la longueur d'onde en nanomètres : il faut 780×10^{-9} m pour obtenir des hertz.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{3.00 \times 10^8}{780 \times 10^{-9}} \approx 3.846154 \times 10^{14}$

2.3 Calculer la célérité de l'onde lumineuse dans le CD.

Données utiles $n = 1{,}55$; $c = 3{,}00 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Par définition de l'indice : $n = \frac{c}{v}$, donc $v = \frac{c}{n}$.

$$v = \frac{3{,}00 \times 10^8}{1{,}55} = 1{,}94 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$v = 1{,}94 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

COMPRENDRE
Contrôle rapide : $n > 1$, donc la lumière va moins vite dans le polycarbonate que dans le vide. Une valeur supérieure à c signale une erreur.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{3.00 \times 10^8}{1.55} \approx 1.935484 \times 10^8$

2.4 En déduire la longueur d'onde λ de la lumière dans le polycarbonate, sachant que la fréquence ne dépend pas du milieu traversé.

Données utiles $v = \frac{c}{n}$ (2.3) ; $\nu = \frac{c}{\lambda_0}$ (2.2) ; $\lambda_0 = 780$ nm ; $n = 1{,}55$

Dans le polycarbonate, l'onde garde la fréquence ν et se propage à la célérité v :

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{c}{n} \times \frac{\lambda_0}{c} = \frac{\lambda_0}{n}$$

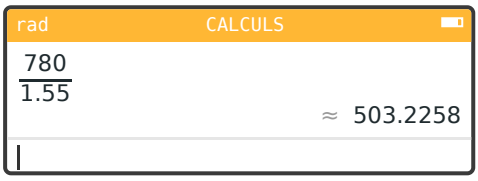
$$\lambda = \frac{780}{1{,}55} = 503 \text{ nm}$$

$\lambda = 503 \text{ nm} = 5{,}03 \times 10^{-7} \text{ m}$

COMPRENDRE
La longueur d'onde diminue dans le polycarbonate, mais la couleur de la radiation ne change pas : elle est fixée par la fréquence.

MÉTHODE
Passer par l'expression littérale $\lambda = \lambda_0/n$ évite de réutiliser deux valeurs arrondies : $1{,}94 \times 10^8 \div 3{,}85 \times 10^{14}$ donne 504 nm au lieu de 503 nm.

À LA CALCULATRICE



2.5.1 En s'aidant du document 4, expliquer pourquoi les interférences sont destructives si $h = \frac{\lambda}{4}$.

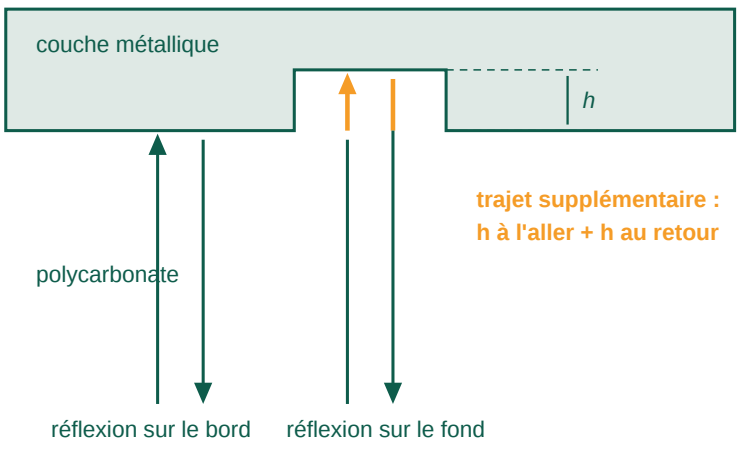
L'onde réfléchie par le fond de la cuvette parcourt, par rapport à l'onde réfléchie par le bord, la distance h une fois à l'aller et une fois au retour. La différence de marche entre les deux ondes vaut donc $\delta = 2h$.

Si $h = \frac{\lambda}{4}$: $\delta = 2 \times \frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda}{2}$.

Les interférences sont destructives quand $\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$, avec k entier : c'est le cas ici, avec $k = 0$. Les deux ondes se superposent en opposition de phase.

$\delta = 2h = \frac{\lambda}{2}$: les deux ondes réfléchies sont en opposition de phase, les interférences sont **destructives**.

PIÈGE
Écrire $\delta = h$ en oubliant le trajet retour : on trouverait alors $\delta = \lambda/4$, qui ne correspond ni à des interférences destructives ni à des interférences constructives.



2.5.1 · Document 4 : l'onde réfléchie au fond de la cuvette parcourt 2h de plus

2.5.2 Vérifier que la profondeur d'une cuvette est bien choisie pour provoquer des interférences destructives.

Données utiles $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$ (2.4) avec $\lambda_0 = 780$ nm et $n = 1{,}55$; profondeur des creux : $0{,}126\ \mu$m

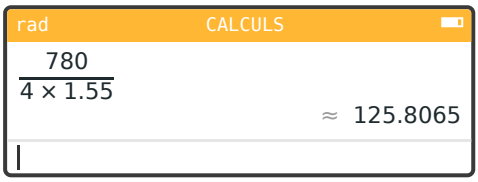
Les ondes se propagent dans le polycarbonate : la longueur d'onde à utiliser est $\lambda = 503$ nm. La profondeur qui donne des interférences destructives est :

$$h = \frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda_0}{4\,n} = \frac{780}{4 \times 1{,}55} = 126\ \text{nm}$$

$h = 126\ \text{nm} = 0{,}126\ \mu\text{m}$: c'est la profondeur des creux donnée par le sujet, elle est donc bien choisie.

PIÈGE
Prendre la longueur d'onde dans le vide : $780 \div 4 = 195$ nm ne correspond pas à la profondeur des creux. La réflexion a lieu à l'intérieur du polycarbonate.

À LA CALCULATRICE



2.5.3 Comparer sans calcul l'éclairement de la photodiode quand le faisceau laser éclaire un plat ou une cuvette.

Sur un plat, tout le faisceau se réfléchit sur une même surface : les ondes réfléchies n'ont aucune différence de marche, elles restent en phase et la photodiode reçoit un éclairement maximal.

Sur une cuvette, les ondes réfléchies par le fond et par le bord interfèrent de façon destructive : la photodiode reçoit un éclairement très faible.

L'éclairement de la photodiode est **fort sur un plat**, **faible sur une cuvette**.

COMPRENDRE
La photodiode traduit ces variations d'éclairement en tension. Chaque passage plat-creux ou creux-plat se repère par un changement brutal d'éclairement : c'est ainsi que l'information est lue.

3.1 Quel est le phénomène physique propre aux ondes qui empêche d'obtenir un faisceau de diamètre plus petit sur le CD ?

Le faisceau passe par des ouvertures de taille limitée (lentille de mise au point) : il s'étale, et la tache obtenue sur le disque ne peut pas être rendue aussi fine que l'on veut.

Ce phénomène est la **diffraction**.

3.2 Expliquer pourquoi une diode laser bleue peut permettre de stocker plus d'informations sur un disque Blu-ray de même surface qu'un CD.

Données utiles $\lambda_0 = 405$ nm (Blu-ray) ; $\lambda_0 = 780$ nm (CD)

L'écart angulaire de diffraction vaut $\theta = \frac{\lambda}{a}$, où a est la dimension de l'ouverture : il est proportionnel à la longueur d'onde.

La longueur d'onde du laser bleu est environ deux fois plus petite : la diffraction est moins marquée et le faisceau peut être concentré sur une tache plus petite. On peut alors graver des cuvettes plus petites et resserrer les spires de la piste.

Longueur d'onde plus courte, donc diffraction plus faible et tache plus fine : davantage de cuvettes sur une même surface, donc plus d'informations.

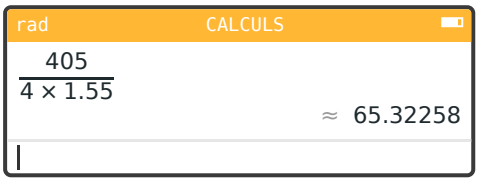
3.3 Doit-on conserver sur un disque Blu-ray la même profondeur de cuvette que sur un CD classique ? Justifier.

Les interférences destructives exigent $h = \dfrac{\lambda}{4}$, où λ est la longueur d'onde dans le disque. La longueur d'onde du laser bleu étant environ deux fois plus petite, la profondeur doit être environ deux fois plus petite elle aussi.

Non : les cuvettes d'un disque Blu-ray doivent être moins profondes, environ deux fois moins que celles d'un CD.

COMPRENDRE
Ordre de grandeur, pour un disque de même indice : $405 \div (4 \times 1{,}55) \approx 65$ nm, contre 126 nm pour un CD.

À LA CALCULATRICE



3.4 Peut-on lire un CD sur un lecteur Blu-ray ? Une seule justification est demandée.

Sur un CD, $h = \dfrac{\lambda_{CD}}{4}$, donc la différence de marche vaut $\delta = 2h = \dfrac{\lambda_{CD}}{2}$. Or la longueur d'onde du laser bleu est $\lambda_B \approx \dfrac{\lambda_{CD}}{2}$, donc $\delta \approx \lambda_B$.

Les interférences sont alors constructives sur une cuvette : la photodiode reçoit un éclairement fort sur les cuvettes comme sur les plats et ne les distingue plus.

Non, pas avec le laser bleu : sur un CD, $\delta \approx \lambda_B$, les interférences ne sont plus destructives sur les cuvettes.

COMPRENDRE
Autre justification acceptée : la tache du laser bleu, plus fine que la cuvette d'un CD, n'éclaire plus à la fois le fond et le bord. Les lecteurs du commerce lisent les CD grâce à une seconde diode laser.