Chaîne de transmission de l'information

Bac S 2017 Asie (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Partie A. Dans l'expérience, identifier l'émetteur, le canal de transmission, le type de transmission et le récepteur.

- Émetteur : le générateur de fonctions (GBF).
- Canal de transmission : le câble coaxial.
- Type de transmission : propagation **guidée**, le signal électrique est contraint de suivre le câble.
- Récepteur : l'oscilloscope (voie 2), qui reçoit la tension $u_s(t)$ en sortie du câble.

GBF (émetteur) → câble coaxial (canal, propagation guidée) → oscilloscope (récepteur)

COMPRENDRE
Ancien programme : la chaîne de transmission, l'atténuation d'un câble et la numérisation d'un signal ne figurent plus au programme actuel de spécialité de Terminale. Les incertitudes et la relation retard-distance-vitesse restent utiles.

1.2 Identifier sur l'oscillogramme le signal correspondant à la tension d'entrée du câble et celui correspondant à la tension de sortie. Justifier.

Le signal doit parcourir le câble avant d'atteindre la sortie : la tension de sortie est donc en **retard** sur la tension d'entrée. Sur l'oscillogramme, le front montant du signal B apparaît après celui du signal A.

De plus, le signal s'affaiblit en se propageant : l'amplitude de B (environ 2,5 V) est plus petite que celle de A (environ 2,9 V).

Signal A : tension d'entrée $u_e(t)$; signal B : tension de sortie $u_s(t)$.

MÉTHODE
Deux arguments indépendants suffisent : le retard (le signal de sortie démarre plus tard) et l'atténuation (son amplitude est plus faible). Citer les deux.

1.3 Déterminer la durée de propagation τ du signal dans le câble.

Données utiles base de temps : 100 ns/division

τ est le retard du signal B sur le signal A. On le mesure entre les deux fronts montants : ils sont séparés de 2,0 divisions.

$\tau = 2{,}0 \times 100 = 2{,}0 \times 10^{2}$ ns

$\tau = 2{,}0 \times 10^{-7}$ s

PIÈGE
Mesurer la durée d'un créneau (largeur du signal A) au lieu du décalage entre A et B. Le retard se lit entre deux points homologues, ici le début des deux fronts montants.

1.4 La lecture se fait avec une incertitude absolue égale à la plus petite graduation. En déduire l'incertitude $U(\tau)$ sur la durée de propagation.

Sur l'axe horizontal, une division est partagée en 5 petites graduations. Une petite graduation vaut donc $\frac{100}{5} = 20$ ns.

$U(\tau) = 20 \text{ ns} = 2 \times 10^{-8}$ s

COMPRENDRE
Une incertitude s'écrit avec un seul chiffre significatif. Elle fixe ensuite le dernier chiffre à garder dans le résultat de la mesure.

1.5 Calculer la vitesse de propagation v du signal dans ce câble.

Données utiles $\ell = 40{,}00$ m ; $\tau = 2{,}0 \times 10^{-7}$ s (1.3)

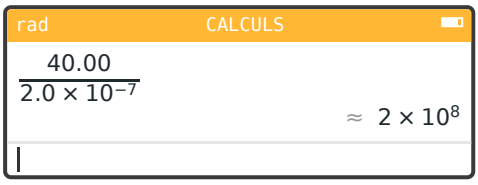
Le signal parcourt la longueur ℓ du câble pendant la durée τ :

$$v = \frac{\ell}{\tau} = \frac{40{,}00}{2{,}0 \times 10^{-7}}$$

$$\boxed{v = 2{,}0 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement : τ, lu sur l'écran, est la donnée la moins précise. Les quatre chiffres de ℓ n'y changent rien.

À LA CALCULATRICE



1.6 Montrer que l'une des incertitudes relatives $\frac{U(\ell)}{\ell}$ ou $\frac{U(\tau)}{\tau}$ peut être négligée. Déterminer alors un encadrement de la vitesse v.

Données utiles $U(v) = v\sqrt{\left(\frac{U(\ell)}{\ell}\right)^2 + \left(\frac{U(\tau)}{\tau}\right)^2}$; $\ell = 40{,}00 \pm 0{,}05$ m ; $U(\tau) = 2 \times 10^{-8}$ s (1.4)

$\frac{U(\ell)}{\ell} = \frac{0{,}05}{40{,}00} \approx 1 \times 10^{-3}$ (0,1 %) $\quad \frac{U(\tau)}{\tau} = \frac{2 \times 10^{-8}}{2{,}0 \times 10^{-7}} = 0{,}1$ (10 %)

L'incertitude relative sur ℓ est environ 80 fois plus petite que celle sur τ : elle est négligeable. La relation devient

$$U(v) \approx v \times \frac{U(\tau)}{\tau} = 2{,}0 \times 10^{8} \times 0{,}1 = 2 \times 10^{7}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

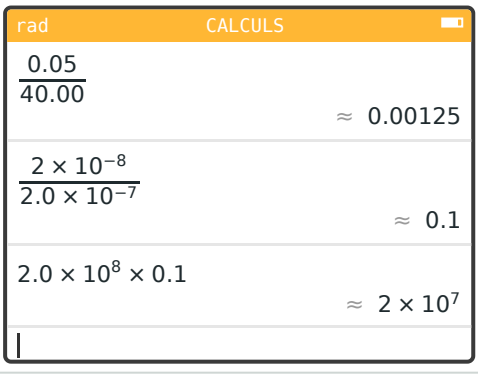
Donc $v = (2{,}0 \pm 0{,}2) \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

$$\boxed{1{,}8 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \leqslant v \leqslant 2{,}2 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

PIÈGE
Comparer les incertitudes absolues (0,05 m et 20 ns) n'a aucun sens : elles n'ont pas la même unité. Seules les incertitudes relatives, sans unité, se comparent.

MÉTHODE
Les incertitudes relatives sont élevées au carré avant d'être ajoutées : un terme 80 fois plus petit pèse plus de 6000 fois moins. La précision d'une mesure est fixée par sa grandeur la moins bien connue.

À LA CALCULATRICE



1.7 Calculer la vitesse théorique v_{th} de propagation du signal le long du câble coaxial.

Données utiles $v_{th} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_R}}$; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $\varepsilon_R = 2{,}1$

$$v_{th} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_R}} = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{\sqrt{2{,}1}}$$

$$\boxed{v_{th} = 2{,}1 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

COMPRENDRE
Le signal se propage dans l'isolant du câble moins vite que dans le vide : ici à environ 70 % de c. Résultat à deux chiffres significatifs, comme ε_R.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{3.00 \times 10^8}{\sqrt{2.1}} \approx 2.070197 \times 10^8$$

1.8 La valeur de la vitesse expérimentale est-elle acceptable ? Justifier à l'aide des réponses précédentes.

Données utiles $v = (2{,}0 \pm 0{,}2) \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (1.6) ; $v_{th} = 2{,}1 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (1.7)

La valeur théorique $v_{th} = 2{,}1 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ appartient à l'intervalle $[1{,}8 \times 10^8 \text{ ; } 2{,}2 \times 10^8] \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ obtenu par la mesure.

La valeur expérimentale est acceptable : elle est compatible avec la valeur théorique.

COMPRENDRE
Aujourd'hui, on compare l'écart à l'incertitude : $\frac{|v - v_{th}|}{U(v)} = \frac{0{,}1}{0{,}2} = 0{,}5$, bien inférieur à 2. La conclusion est la même.

2 Partie A, affaiblissement du signal. Parmi les câbles référencés, proposer un câble compatible avec les résultats de l'expérience. Étant donné la précision sur les mesures, que peut-on dire de cette méthode ?

Données utiles $\alpha = \frac{20}{\ell} \log\left(\frac{U_e}{U_s}\right)$; $\ell = 40{,}00 \text{ m}$; sensibilité verticale : 1 V/division ; tableau des coefficients d'atténuation

Lecture des amplitudes sur l'oscillogramme : $U_e = 2{,}9 \text{ V}$ (signal A) et $U_s = 2{,}5 \text{ V}$ (signal B).

$$\alpha = \frac{20}{\ell} \log\left(\frac{U_e}{U_s}\right) = \frac{20}{40{,}00} \times \log\left(\frac{2{,}9}{2{,}5}\right) = 3{,}2 \times 10^{-2} \text{ dB} \cdot \text{m}^{-1}$$

Cette valeur se situe entre celle du RG-58C/U ($2{,}3 \times 10^{-2}$) et celle du RG-188A/U ($4{,}0 \times 10^{-2}$), un peu plus près de la seconde : on propose le câble RG-188A/U.

Précision : la plus petite graduation verticale vaut 0,2 V, alors que l'écart $U_e - U_s$ n'est que de 0,4 V. Dans le cas le plus défavorable ($U_e = 3{,}1 \text{ V}$ et $U_s = 2{,}3 \text{ V}$), on trouverait $\alpha = 6{,}5 \times 10^{-2} \text{ dB} \cdot \text{m}^{-1}$; à l'inverse, avec $U_e = U_s = 2{,}7 \text{ V}$, α serait nul.

$\alpha \approx 3{,}2 \times 10^{-2} \text{ dB} \cdot \text{m}^{-1}$: câble RG-188A/U proposé, mais la méthode est trop peu précise pour identifier le câble ; seul le RG-174/U est exclu.

PIÈGE
Utiliser le logarithme népérien : ici « log » désigne le logarithme décimal (touche log, pas ln). Le rapport est U_e/U_s, supérieur à 1, pour que α soit positif.

COMPRENDRE
Le rapport U_e/U_s est proche de 1 : une petite erreur de lecture sur chaque tension change beaucoup son logarithme. Un câble plus long, donc un signal plus atténué, donnerait une mesure bien plus précise.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{20}{40.00} \times \log\left(\frac{2.9}{2.5}\right) \approx 0.03222899$$

$$\frac{20}{40.00} \times \log\left(\frac{3.1}{2.3}\right) \approx 0.06481693$$

1 Partie B. Calculer le pas du convertisseur.

Données utiles $p = \dfrac{\Delta U}{2^n}$; calibre $-0{,}5\ \text{V} / +0{,}5\ \text{V}$; convertisseur $n = 12$ bits

Plage de mesures : $\Delta U = U_{max} - U_{min} = 0{,}5 - (-0{,}5) = 1{,}0\ \text{V}$.

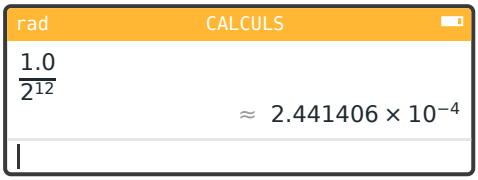
$$p = \frac{\Delta U}{2^n} = \frac{1{,}0}{2^{12}} = \frac{1{,}0}{4096}$$

$$p = 2{,}4 \times 10^{-4}\ \text{V} \approx 0{,}24\ \text{mV}$$

PIÈGE
Prendre $\Delta U = 0{,}5$ V : la plage va de $-0{,}5$ V à $+0{,}5$ V, soit 1,0 V. Autre erreur fréquente : calculer 2×12 au lieu de 2^{12}.

COMPRENDRE
Avec 12 bits, le convertisseur dispose de $2^{12} = 4096$ valeurs pour couvrir la plage. C'est pourquoi le sujet arrondit ensuite le pas à 0,25 mV.

À LA CALCULATRICE



2 Partie B. Calculer la fréquence d'échantillonnage puis en déduire la période d'échantillonnage T_e.

Données utiles 2000 points de mesure en 30 ms

La fréquence d'échantillonnage est le nombre de mesures par seconde :

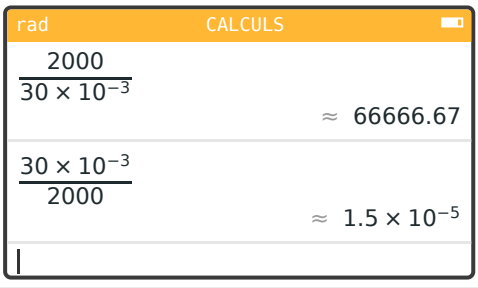
$$f_e = \frac{N}{\Delta t} = \frac{2000}{30 \times 10^{-3}} = 6{,}7 \times 10^4\ \text{Hz}$$

$$T_e = \frac{1}{f_e} = \frac{\Delta t}{N} = \frac{30 \times 10^{-3}}{2000} = 1{,}5 \times 10^{-5}\ \text{s}$$

$$f_e = 6{,}7 \times 10^4\ \text{Hz} = 67\ \text{kHz} \text{ et } T_e = 15\ \mu\text{s}$$

PIÈGE
Laisser la durée en millisecondes : on obtiendrait 67 Hz. Calculer T_e à partir de la valeur non arrondie de f_e, ou directement par $\Delta t / N$.

À LA CALCULATRICE



3 Partie B. Représenter sur l'annexe toutes les valeurs du signal après échantillonnage entre $t = 0$ µs et $t = 60$ µs, avec un pas de 0,25 mV.

Données utiles $T_e = 15\ \mu\text{s}$ (question 2) ; pas $p = 0{,}25\ \text{mV}$

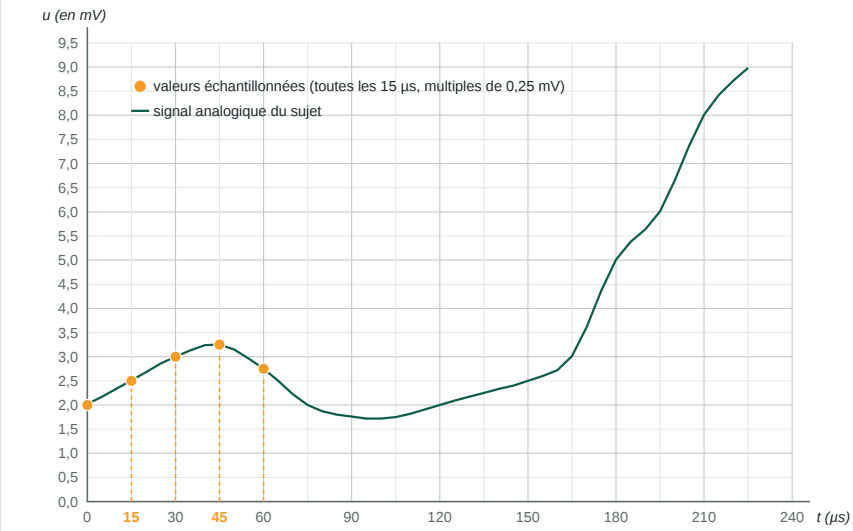
Une mesure est faite toutes les $T_e = 15\ \mu\text{s}$: aux dates 0, 15, 30, 45 et 60 µs. À chaque date, la tension lue sur la courbe est remplacée par le multiple de 0,25 mV le plus proche.

- $t = 0$ µs : $u \approx 2{,}0$ mV, valeur retenue 2,00 mV
- $t = 15$ µs : $u \approx 2{,}5$ mV, valeur retenue 2,50 mV
- $t = 30$ µs : $u \approx 3{,}0$ mV, valeur retenue 3,00 mV
- $t = 45$ µs : $u \approx 3{,}25$ mV, valeur retenue 3,25 mV
- $t = 60$ µs : $u \approx 2{,}75$ mV, valeur retenue 2,75 mV

Cinq points sur l'annexe : (0 ; 2,00), (15 ; 2,50), (30 ; 3,00), (45 ; 3,25), (60 ; 2,75), en µs et mV.

PIÈGE
Ne placer des points qu'aux graduations de l'axe (0, 30, 60 µs) : il en faut aussi à 15 et 45 µs. Chaque ordonnée doit être un multiple de 0,25 mV.

MÉTHODE
Numériser, c'est découper deux fois : en temps (échantillonnage, une valeur tous les T_e) puis en tension (quantification, multiples du pas). Le signal numérisé est une suite de points, pas une courbe continue.



3 · Annexe complétée : les cinq valeurs échantillonnées entre 0 et 60 µs

4 Partie B. Proposer une amélioration, avec le même matériel, pour obtenir un signal échantillonné de meilleure qualité.

Le signal ne dépasse pas 10 mV alors que le calibre couvre 1,0 V : seule une très petite partie des 4096 niveaux est utilisée.

En choisissant un calibre plus petit, adapté au signal (par exemple $-10\,\text{mV} / +10\,\text{mV}$ s'il existe), la plage ΔU diminue, donc le pas $p = \dfrac{\Delta U}{2^n}$ aussi : la tension est restituée plus finement.

On peut aussi augmenter la fréquence d'échantillonnage (davantage de points sur la même durée), si le système le permet.

> Choisir le plus petit calibre contenant le signal (pas plus fin) et, si possible, une fréquence d'échantillonnage plus élevée.

COMPRENDRE

Le nombre de bits est imposé par le matériel : il reste deux réglages, le calibre (qui fixe le pas) et la fréquence d'échantillonnage (qui fixe l'écart de temps entre deux mesures).