Transmission de l'information

Bac S 2015 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 1 **10 points** **Durée conseillée 1 h 40**

1.1 Indiquer, à l'aide d'un tableau, les trois procédés de transmission de l'information évoqués, ainsi que leurs avantages et inconvénients.

Les documents évoquent la fibre optique, le câble électrique (réseau cuivre ou coaxial) et les ondes hertziennes (satellites, relais terrestres, réseaux mobiles).

Trois procédés : fibre optique, câble électrique, ondes hertziennes (tableau ci-dessous).

Procédé	Avantages	Inconvénients
Fibre optique (lumière guidée dans le verre)	• débit très élevé (très haut débit) • faible atténuation : longues distances • signal stable, compatible avec les amplificateurs optiques	• réseau à construire : déploiement long et coûteux • trop onéreux pour l'habitat très isolé
Câble électrique (cuivre ou coaxial)	• réseau historique déjà en place • haut débit sans nouveaux travaux	• débit limité : très haut débit seulement près du central • forte atténuation du signal
Ondes hertziennes (satellite, relais terrestres)	• mise en œuvre rapide, sans investissement lourd • atteint les régions d'accès difficile • liaison temporaire entre deux points	• débit plus faible que la fibre (16 Mbit/s annoncés en métropole)

1.1 · Tableau des trois procédés de transmission

1.2 Quels modes de transmission correspondent à une propagation guidée ou libre ? Justifier à partir d'un des procédés du tableau.

Propagation guidée : le signal suit un support matériel qui le conduit de l'émetteur au récepteur. C'est le cas de la fibre optique et du câble électrique.

Propagation libre : le signal se propage dans toutes les directions accessibles, sans support. C'est le cas des ondes hertziennes.

Justification : dans la fibre optique, la lumière reste confinée dans le cœur en verre et ne peut suivre que le trajet imposé par la fibre.

Guidée : fibre optique et câble électrique. Libre : ondes hertziennes.

PIÈGE

Répondre sans justifier. La question demande d'appuyer le classement sur un procédé précis : dire ce qui guide le signal (cœur de la fibre, fil de cuivre) ou constater qu'aucun support ne relie le satellite à l'antenne.

1.3 Rappeler les principales propriétés d'un faisceau laser.

Un faisceau laser est :

- **directif** : le faisceau diverge très peu ;
- **monochromatique** : il contient une seule longueur d'onde ;
- **cohérent** : les ondes émises sont en phase ;
- **concentré** : la puissance est répartie sur une très petite surface (et sur une durée très brève pour un laser à impulsions).

Directivité, monochromaticité, cohérence, concentration spatiale (et temporelle) de l'énergie.

COMPRENDRE
Le laser et l'émission stimulée faisaient partie du programme de Terminale S. Ils ne figurent plus dans le programme actuel de la spécialité : cette question de cours ne serait plus posée telle quelle.

1.4.1 Les signaux transmis par satellite ont une fréquence de l'ordre de 20 GHz. Quelle est leur longueur d'onde ?

Données utiles $f = 20\ \text{GHz} = 20 \times 10^9\ \text{Hz}$; $c = 3{,}00 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Les ondes hertziennes sont des ondes électromagnétiques : dans l'air, elles se propagent pratiquement à la célérité c.

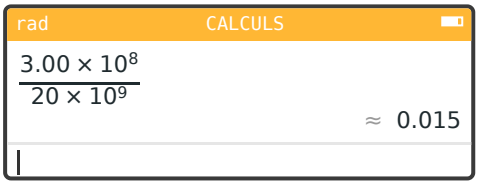
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3{,}00 \times 10^8}{20 \times 10^9} = 1{,}5 \times 10^{-2}\ \text{m}$$

$\lambda = 1{,}5 \times 10^{-2}$ m, soit 1,5 cm.

PIÈGE
Oublier de convertir les gigahertz : $1\ \text{GHz} = 10^9\ \text{Hz}$. Avec 10^6, on trouve 15 m et la conclusion sur la diffraction change.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs : la fréquence « de l'ordre de 20 GHz » est la donnée la moins précise, elle fixe la précision du résultat.

À LA CALCULATRICE



1.4.2 Ces signaux sont-ils susceptibles d'être significativement diffractés par des immeubles ou des collines ?

Données utiles $\lambda = 1{,}5$ cm (1.4.1)

La diffraction est marquée lorsque la dimension a de l'obstacle est du même ordre de grandeur que la longueur d'onde λ, ou plus petite.

Un immeuble ou une colline mesure de la dizaine à quelques centaines de mètres : $a \approx 10$ à 10^2 m, alors que $\lambda \approx 10^{-2}$ m.
L'obstacle est au moins mille fois plus grand que la longueur d'onde.

$\lambda \ll a$: ces signaux ne sont pas diffractés de façon significative par les immeubles et les collines.

MÉTHODE
Pour discuter une diffraction, comparer toujours deux longueurs dans la même unité : la longueur d'onde et la taille de l'obstacle ou de l'ouverture. La conclusion repose sur le rapport λ/a.

1.4.3 En déduire l'orientation que doivent avoir les antennes des relais terrestres par rapport aux satellites géostationnaires.

Sans diffraction, l'onde ne contourne pas les obstacles : elle se propage en ligne droite et un immeuble ou une colline crée une zone d'ombre.

L'antenne doit être pointée directement vers le satellite, en visée dégagée, sans obstacle sur le trajet.

COMPRENDRE
Un satellite géostationnaire est immobile par rapport au sol : l'antenne se règle une fois pour toutes, sans système de poursuite.

2.1 Retrouver la valeur de la vitesse de propagation de la lumière dans une fibre optique donnée dans l'article.

Données utiles $n_{\text{verre}} = 1{,}5$; $c = 3{,}00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

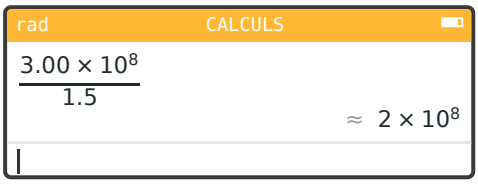
$$n_{\text{verre}} = \frac{c}{v_{\text{verre}}} \text{ donc}$$

$$v_{\text{verre}} = \frac{c}{n_{\text{verre}}} = \frac{3{,}00 \times 10^8}{1{,}5} = 2{,}0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$v_{\text{verre}} = 2{,}0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 2{,}0 \times 10^5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$: on retrouve les 200 000 km par seconde de l'article.

PIÈGE
S'arrêter au résultat en mètres par seconde. « Retrouver » impose de convertir en kilomètres par seconde et de comparer explicitement avec la valeur du texte.

À LA CALCULATRICE



2.2 Vérifier que l'atténuation linéique d'un signal transmis par fibre optique est de $0{,}18 \text{ dB} \cdot \text{km}^{-1}$. Comparer à celle d'un câble électrique ($10 \text{ dB} \cdot \text{km}^{-1}$) et conclure sur un intérêt de la fibre.

Données utiles pertes de 4 % par kilomètre ; $A = 10 \log \frac{P_{\text{entrée}}}{P_{\text{sortie}}}$; $\alpha = \frac{A}{L}$

Sur $L = 1$ km de fibre, 4 % de la puissance est perdue : il en reste 96 %, soit $P_{\text{sortie}} = 0{,}96\, P_{\text{entrée}}$.

$$\alpha = \frac{A}{L} = \frac{10}{L} \log \frac{P_{\text{entrée}}}{0{,}96\, P_{\text{entrée}}} = \frac{10}{1} \log \frac{1}{0{,}96} = 0{,}18 \text{ dB} \cdot \text{km}^{-1}$$

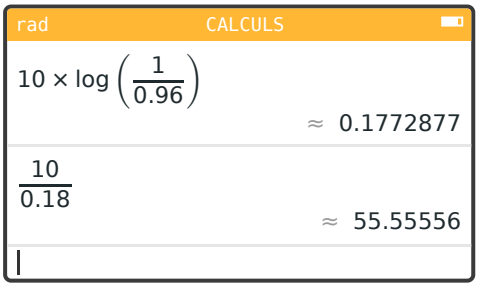
Comparaison : $\frac{10}{0{,}18} \approx 56$. L'atténuation linéique de la fibre est environ 56 fois plus faible que celle du câble électrique.

$\alpha = 0{,}18 \text{ dB} \cdot \text{km}^{-1}$ (valeur attendue : $0{,}18$). Le signal s'affaiblit beaucoup moins dans la fibre : elle convient aux longues distances.

PIÈGE
Écrire $P_{\text{sortie}} = 0{,}04\, P_{\text{entrée}}$. Les 4 % sont la part perdue : c'est la part restante, 96 %, qui figure au dénominateur.

COMPRENDRE
Avec $10 \text{ dB} \cdot \text{km}^{-1}$, la puissance est divisée par 10 à chaque kilomètre de câble : 90 % de pertes, contre 4 % dans la fibre.

À LA CALCULATRICE



2.3 Pour une liaison New-York – Brest d'environ 7500 km, quelle atténuation constaterait-on sans amplificateur ? En déduire la perte en puissance et comparer avec la valeur du document.

Données utiles $\alpha = 0{,}18\ \text{dB}\cdot\text{km}^{-1}$ (2.2) ; $L = 7500$ km ; document : il ne resterait que 10^{-130} de l'énergie injectée

Atténuation : $A = \alpha \times L = 0{,}18 \times 7500 = 1{,}35 \times 10^3$ dB, soit environ $1{,}4 \times 10^3$ dB.

Perte en puissance : $A = 10 \log \dfrac{P_{\text{entrée}}}{P_{\text{sortie}}}$ donc $\dfrac{P_{\text{entrée}}}{P_{\text{sortie}}} = 10^{A/10}$ et

$$\frac{P_{\text{sortie}}}{P_{\text{entrée}}} = 10^{-A/10} = 10^{-1350/10} = 10^{-135}$$

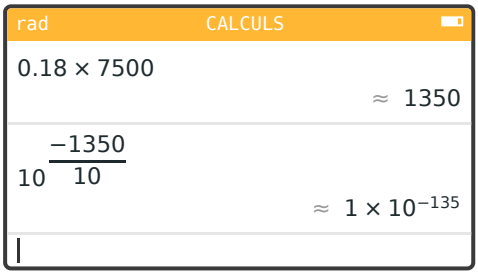
Comparaison : le document annonce 10^{-130}. Le calcul donne une fraction 10^5 fois plus petite, mais les deux exposants sont très proches (écart inférieur à 4 %). Dans les deux cas, il ne reste pratiquement rien du signal : la conclusion du document est confirmée.

$A \approx 1{,}4 \times 10^3$ dB ; $\dfrac{P_{\text{sortie}}}{P_{\text{entrée}}} = 10^{-135}$, du même ordre que les 10^{-130} du document.

COMPRENDRE
L'exposant est très sensible aux arrondis. Avec α non arrondi ($0{,}1773$), $A = 1330$ dB et il reste 10^{-133}. Les 10^{-130} du document correspondent à $A = 1300$ dB.

MÉTHODE
Pour inverser un logarithme décimal : isoler $\log x = y$, puis écrire $x = 10^y$. Ici $y = A/10$; le signe « moins » apparaît en prenant l'inverse du rapport.

À LA CALCULATRICE



3.1 À l'aide des notions de durée de propagation et de durée de transmission, interpréter la phrase : « L'intérêt de la fibre optique réside non pas dans sa "vitesse", mais dans la possibilité d'y propager des données à un débit largement supérieur ».

Durée de propagation : $\Delta t_{\text{prop}} = \dfrac{d}{v}$. La lumière dans la fibre et le signal dans un câble électrique ont à peu près la même vitesse (200 000 km par seconde) : pour une même distance, cette durée est la même. La fibre n'apporte rien sur ce point.

Durée de transmission : $\Delta t = \dfrac{n}{D}$. Le débit D de la fibre est beaucoup plus grand : pour un même message de taille n, cette durée est beaucoup plus courte.

La fibre ne réduit pas la durée de propagation ; elle réduit la durée de transmission grâce à son débit élevé.

COMPRENDRE
Image utile : deux personnes lisent le même texte à la même distance de l'auditeur. Le son met le même temps à arriver ; celle qui parle le plus vite termine la première.

COMPRENDRE
Le débit binaire était au programme de Terminale S ; il ne figure plus dans le programme actuel de la spécialité. La relation $\Delta t = n/D$ est ici fournie par le sujet.

3.2 Quelle est la durée de transmission d'une page du blog lorsque 15 élèves d'un établissement offrant un débit de $3\ \text{Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$ s'y connectent individuellement et simultanément ? Quel est l'intérêt du très haut débit pour les établissements scolaires ?

Données utiles page de 1000 ko ; 1 ko = 1024 octets ; 1 octet = 8 bits ; $D = 3\ \text{Mbit} \cdot \text{s}^{-1} = 3 \times 10^6\ \text{bit} \cdot \text{s}^{-1}$

Les 15 élèves se partagent le débit : il faut transmettre 15 fois la page.

$n = 15 \times 1000 \times 1024 \times 8 = 1{,}23 \times 10^8$ bit

$$\Delta t = \frac{n}{D} = \frac{1{,}23 \times 10^8}{3 \times 10^6} = 41\ \text{s}$$

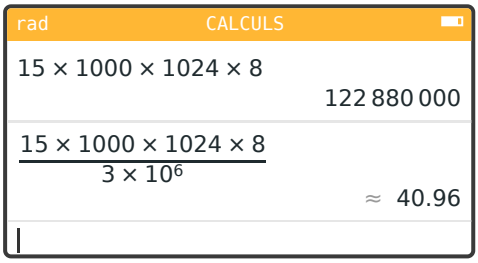
Avec le très haut débit ($D \geqslant 30\ \text{Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$), le débit est au moins dix fois plus grand : la durée tombe à 4 s environ.

$\Delta t \approx 41$ s, soit environ 40 s : durée bien trop longue pour une seule page. Le très haut débit permet à toute une classe de travailler en ligne en même temps.

PIÈGE
Calculer pour un seul élève (2,7 s), ou oublier de convertir les octets en bits : le débit est en bits par seconde, la taille de la page en kilooctets.

COMPRENDRE
Le sujet impose 1 ko = 1024 octets. Avec la définition officielle (1 ko = 1000 octets), on trouve 40 s : l'écart est négligeable devant la précision du débit.

À LA CALCULATRICE



3.3 Estimer la durée de propagation qu'observerait un élève résidant en France pour consulter la page du blog hébergé aux États-Unis.

Données utiles liaison New-York – Brest : $d \approx 7500$ km (2.3) ; $v_{\text{verre}} = 2{,}0 \times 10^5\ \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ (2.1)

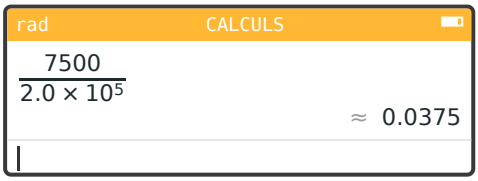
Le signal traverse l'Atlantique dans une fibre optique. On prend comme distance la longueur de la liaison New-York – Brest.

$$\Delta t_{\text{prop}} = \frac{d}{v_{\text{verre}}} = \frac{7500}{2{,}0 \times 10^5} = 3{,}8 \times 10^{-2}\ \text{s}$$

$\Delta t_{\text{prop}} \approx 4 \times 10^{-2}$ s : quelques centièmes de seconde.

COMPRENDRE
C'est une estimation : le serveur et l'élève ne sont pas exactement à New-York et à Brest. Avec 10 000 km, on obtient 0,05 s : l'ordre de grandeur ne change pas, un seul chiffre significatif suffit.

À LA CALCULATRICE



3.4 Doubler le débit d'un établissement français permet-il de diviser par deux la latence observée pour consulter une page du blog ? Justifier quantitativement pour un établissement ayant un débit de $100\ \text{Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$.

Données utiles page de 1000 ko ; $\Delta t_{\text{prop}} \approx 0{,}04$ s (3.3) ; latence = durée de transmission + durée de propagation

Taille d'une page : $n = 1000 \times 1024 \times 8 = 8{,}19 \times 10^6$ bit.

Avec $D = 100\ \text{Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$: $\Delta t = \dfrac{n}{D} = \dfrac{8{,}19 \times 10^6}{100 \times 10^6} = 0{,}082$ s, d'où une latence de $0{,}082 + 0{,}04 = 0{,}12$ s.

Avec $D' = 200\ \text{Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$: $\Delta t' = \dfrac{\Delta t}{2} = 0{,}041$ s, d'où une latence de $0{,}041 + 0{,}04 = 0{,}08$ s.

Doubler le débit divise par deux la durée de transmission, mais la durée de propagation ne dépend pas du débit : elle reste la même.

Non : la latence passe de $0{,}12$ s à $0{,}08$ s. Elle est divisée par $1{,}5$ environ, pas par 2.

PIÈGE

Diviser toute la latence par deux. Seul le terme n/D dépend du débit ; la durée de propagation est fixée par la distance et la vitesse dans la fibre.

COMPRENDRE

À très haut débit, la durée de transmission devient comparable à la durée de propagation : augmenter encore le débit rapporte de moins en moins. À $3\ \text{Mbit}\cdot\text{s}^{-1}$, au contraire, la propagation est négligeable.

À LA CALCULATRICE

