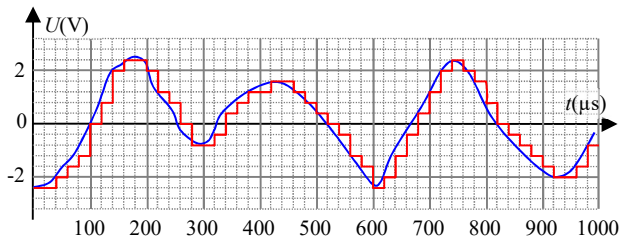


EXERCICES P7 : L'INFORMATION - STOCKAGE ET TRANSMISSION

1 Conversion analogique - numérique

Sur le graphique ci-dessous, on a représenté en bleu la tension amplifiée $u_r(t)$ issue d'un microphone et en rouge la tension envoyée au CAN par l'échantillonneur-bloqueur $u_c(t)$



1. Les tensions $u_r(t)$ et $u_c(t)$ sont-elles numériques ou analogiques ? Justifier.
2. Combien de valeurs différentes peut prendre le signal u_c sur le graphique de l'exercice 1 ? Combien de bits sont nécessaires pour coder cet ensemble de valeur ?
3. Déterminer la fréquence d'échantillonnage du convertisseur numérique-analogique.
4. Comment faudrait-il modifier les paramètres d'échantillonnage (format et fréquence) pour que le signal u_c se rapproche davantage de u_r ?

2 Image numérique

Le format vidéo full HD est défini par une résolution de 1920×1080 pixels, avec des couleurs codées sur 3×8 bits et un défilement de 25 images par seconde.

1. Donner la taille, en Gio, d'une vidéo de 1 heure dans ce format, en supposant un son 5.1 qualité CD (5 voies sonores, 44,1 kHz de fréquence d'échantillonnage pour chaque voie, format 16 bits), en supposant qu'il n'y ait aucune compression.
2. Conclure quant à la nécessité d'une compression.

Données : 1 kio = 1024 octets, 1 Mio = 1024 ko, et ainsi de suite.

3 Image numérique (bis)

Un touriste prend en photo, au format « portrait », la tour Eiffel (hauteur 300 m) avec un appareil photo « professionnel » de format 3/2 (la hauteur de l'image est 1,5 fois plus grande que la largeur) dont le capteur dispose de 20 Mpix.

En supposant un objectif et une mise au point parfaits, quelle est la taille du plus petit détail que l'on puisse distinguer sur la photo, sur la tour Eiffel ?

4 Stockage optique

1. Donner deux caractéristiques de la lumière laser utilisée dans la lecture des CD.

Données : La longueur d'onde dans le vide du laser utilisé pour les CD vaut $\lambda_0 = 780$ nm. L'indice de réfraction du polycarbonate est $n = 1,55$. On appelle h la profondeur des creux présents sur le sillon d'un CD.

2. Calculer la fréquence de la radiation monochromatique.
 - 3.1. Calculer la célérité de l'onde lumineuse dans le polycarbonate.
 - 3.2. En déduire la longueur d'onde λ de la lumière dans le polycarbonate, sachant que la fréquence ne dépend pas du milieu traversé.
4. Expliquer pourquoi les interférences sont destructives si $h = \lambda/4$. Quelle doit-être la profondeur d'une cuvette sur un CD ?
5. Dans quel cas le capteur reçoit-il plus de lumière, en étant sur le plateau ou en passant dans un creux ? Justifier à l'aide d'un schéma.
 - 6.1. Quel est le phénomène physique propre aux ondes qui empêche d'obtenir un faisceau de diamètre plus petit sur le CD ?
 - 6.2. Expliquer pourquoi l'utilisation d'une diode laser bleue peut permettre de stocker plus d'informations sur un disque Blu-ray dont la surface est identique à celle d'un CD ?
- 7.1. Doit-on conserver sur un disque Blu-ray, la même profondeur de cuvette que sur un CD classique ? Justifier la réponse.

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

8. Pourquoi dit-on que l'information est stockée sur le disque sous forme binaire ?

5 Procédés physiques de transmission

Soit une fibre optique à saut d'indice. L'indice du cœur est de $n = 1,50$. À travers cette fibre optique, que l'on supposera rectiligne et longue de $d = 2,00$ km, est envoyée une impulsion lumineuse d'une durée $\tau = 10$ ns.

1. Calculer le temps minimum mis par l'impulsion lumineuse pour parcourir les 2 km de fibre. Comment doit être le rayon lumineux, à l'intérieur de la fibre, pour le parcourir pendant cette durée ?
 - 2.a. Calculer la distance réelle parcourue par un rayon qui aurait une inclinaison de 20° avec l'axe du cœur. On suppose que l'angle de 20° est suffisant pour qu'il y ait réflexion totale sur les parois du cœur.
 - 2.b. En déduire avec quel retard arrive un rayon lumineux émis à la fin de l'impulsion et faisant un angle de 20° avec l'axe du cœur, par rapport à un rayon émis au début de l'impulsion et se propageant selon l'axe du cœur.
3. Comparer ce retard avec la durée de l'impulsion. Que peut-on en conclure ?

6 Atténuation

Au départ d'une liaison par câble, on injecte un signal numérique ayant une puissance $P_e = 10$ W. À la fréquence utilisée, le câble a un coefficient d'atténuation de $\alpha_{dB} = 40$ dB/km. Tout au long du câble règne un bruit d'une puissance de $P_b = 10$ μ W.

1. Quel est la valeur du rapport signal/bruit à l'entrée du câble ?
- Le signal numérique ne peut plus être distingué du bruit si sa puissance P_s est inférieure à $2 \times P_b$ (et donc, l'information est perdue).
 2. À quelle valeur minimale du rapport signal/bruit cela correspond-il ?
 - 3.a. Peut-on recevoir correctement le signal après qu'il a parcouru 1 km de câble ?
 - 3.b. Quelle est la longueur maximale de câble que le signal peut correctement parcourir avant de devoir être réamplifié ?

7 Débit binaire

New Horizons utilise un système de télécommunications en bande X pour recevoir les commandes depuis la Terre et transmettre les données scientifiques recueillies ainsi que les informations sur le fonctionnement de ses équipements. [...] À la distance de Pluton, située à plus de 4 milliards de kilomètres, le débit chute à 1 000 bits/seconde et le signal met 4 heures pour parvenir jusqu'à la Terre ; aussi faut-il près de 9 mois pour transmettre l'ensemble des données recueillies lors du rapide survol de Pluton et de son satellite.

Calculer, en Mio (1 Mio = 2^{20} octets) la quantité d'information récoltée par *New Horizons* au cours de son survol de Pluton et de ses satellites.

8 Principe de fonctionnement d'un GPS

Annales « Métropole 2013 » - Ex.2, partie 4

9 Nouveau stockage optique : le Blu-ray

Annales « Asie 2013 » - Ex.1

10 Laser et stockage optique

Annales « Nouvelle-Calédonie (r) 2013 » - Ex.2

11 Le très haut débit pour tous

Annales « Liban 2013 » - Ex.3

Correction

Ex. 1

- La tension u_e (en bleu) est analogique car elle varie continûment dans le temps. La tension u_c est numérique car elle présente des valeurs discrètes.
- Le signal u_c peut prendre des valeurs comprises entre $-2,4$ V et $+2,4$ V par palier de $0,4$ V (lecture graphique). Ceci fait $4,8/0,4 + 1 = 13$ valeurs possible (pourquoi $+1$? Rappelez-vous l'histoire du nombre de barrière et de poteaux dans une clôture...)
- $2^3 = 8$ et $2^4 = 16$. Pour pouvoir coder 13 valeurs différentes, 3 bits ne sont pas suffisant. Il en faut 4.
- Par lecture graphique, on constate qu'une mesure est prise toutes les 20 μ s. Cela fait $1/20 \cdot 10^{-6} = 50\,000$ mesure par seconde, soit une fréquence d'échantillonnage de 50 kHz.
- Pour avoir un signal numérique plus fidèle au signal analogique, il faut augmenter la fréquence d'échantillonnage et coder la valeur sur un nombre plus grand de bits.

Ex. 2

- Taille d'une image : $1920 \times 1080 \times 3 \times 8 = 49,8 \cdot 10^6$ bits soit $6,22 \cdot 10^6$ octets
 Pour une heure de film : $6,22 \cdot 10^6 \times 25 \times 3600 = 560 \cdot 10^9$ octets
 Pour le son : $5 \times 16 \times 44,1 \cdot 10^3 \times 3600 = 12,7 \cdot 10^9$ bits soit $1,59 \cdot 10^9$ octets
 Donc pour une heure de film non compressé, cela fait un total de $562 \cdot 10^9$ octets
 D'après les données : 1 Gio = 1024 Mio = 1024^2 kio = 1024^3 octets
 Donc $562 \cdot 10^9$ octets = 523 Gio
- Cette taille est très conséquente... Un film de 2h ne tiendrait pas sur un disque dur de 1 To... Quant à la possibilité de télécharger un film (en toute légalité, bien sûr), elle serait à oublier. Une compression est donc nécessaire.

Ex. 3

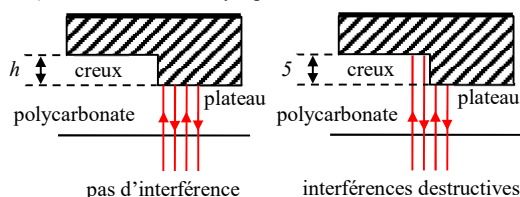
Première étape : calculer les dimensions de l'image. Si on appelle L son plus grand côté et ℓ son plus petit côté, on sait que $L = 1,5 \cdot \ell$ (format 3/2) et que $L \cdot \ell = 20 \cdot 10^6$ pixels. Donc $1,5 \cdot \ell^2 = 20 \cdot 10^6$. Ce qui donne $\ell = 3650$ pixels et $L = 5480$ pixels.

Deuxième étape : en déduire l'échelle de la photo. On suppose que le touriste prend la tour Eiffel en entier. Cela implique que les 300 m de la tour seront enregistrés sur une hauteur de 5480 pixels. Chaque pixels correspond donc, sur la tour Eiffel à $300/5480 = 5,5$ cm. C'est la taille du plus petit détails visible (une tache de $5,5$ cm de diamètre occupera un pixel sur la photo).

Ex. 4

- Directivité, monochromaticité, cohérence temporelle (toutes les ondes sont en phase).
- $f = c/\lambda = 3,85 \cdot 10^{14}$ Hz
1. $v = c/n = 1,94 \cdot 10^8$ m·s⁻¹
2. $\lambda = v/f = 503$ nm
- Si $h = \lambda/4$, les ondes qui se réfléchissent au fond de la cuvette auront une différence de marche de $\lambda/2$ avec celles qui se réfléchissent sur la plaine. Elles seront donc en opposition de phase avec ces dernières, ce qui créera des interférences destructives.
 Sur un CD $h = 503/4 = 126$ nm

5. Le capteur reçoit plus de lumière quand le faisceau passe sur le plateau (ou plaine) car dans ce cas, il n'y a pas d'interférence destructive.



6.1. C'est la diffraction

6.2. Le laser bleu a une longueur d'onde plus petite que le laser d'un CD (rouge). Il sera donc moins diffracté et son spot (surface balayée par le rayon laser sur le CD) sera plus petit. Cela signifie que les creux seront

plus petits, de même que la distance inter-sillon. En d'autres termes, on peut « écrire » plus petit sur un Blu-ray que sur un CD, et donc stocker plus d'information.

7.1. La longueur d'onde du laser Blu-ray n'étant pas la même que celle d'un laser de lecteur CD, et sachant qu'il faut que la profondeur des creux soit égale à $\lambda/4$, on ne peut donc pas avoir la même profondeur de creux sur un disque Blu-ray que sur un CD.

7.2. La question est mal posée (mais elle est tombée telle quelle au bac, Amérique du Sud 2013) et appelle deux réponses possibles. La réponse « attendue » : non, on ne peut pas, car la longueur d'onde d'un laser Blu-ray n'est pas compatible avec la profondeur des creux sur un CD (ni avec leur largeur, d'ailleurs).

La réponse « stupide » mais juste : Oui, on peut lire un CD avec un lecteur Blu-ray. J'en ai un chez moi et c'est tout à fait possible...

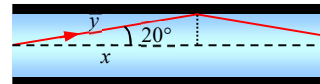
Mais on peut rendre cette réponse plus pertinente en rajoutant : c'est parce que les lecteurs Blu-ray sont équipés de plusieurs diodes laser différentes, pour les rendre compatibles avec la lecture d'un CD ou d'un DVD.

8. Car seules deux valeurs différentes sont stockés sur le disque : 0 et 1.

Ex. 5

1. $\Delta t_{\min} = d/v = n \cdot d/c = 10^{-5}$ s. Le rayon doit être parallèle à l'axe du cœur.

2.a. Soit y la distance parcourue par la lumière pour parcourir une distance x dans la fibre selon l'axe du cœur.



On a $x/y = \cos 20^\circ$. Donc pour parcourir les 2 km de la fibre, ce rayon se déplace en fait sur une distance de $2 / \cos(20^\circ) = 2,13$ km.

2.b. $\Delta t' = n \cdot d'/c = 1,06 \cdot 10^{-5}$ soit un retard de $0,6$ μ s.

3. $600/10 = 60$. L'étalement de l'impulsion lumineuse est 60 fois plus grande que sa durée au départ. Cela limite grandement la fréquence des impulsions lumineuses afin qu'elles ne se recouvrent pas, ce qui rendrait le signal inexploitable.

Ex. 6

1. $r_{\text{sb}} = 10 \cdot \log(10/10 \cdot 10^{-6}) = 60$ dB

2. $r_{\text{sb min}} = 10 \cdot \log(20/10) = 3,0$ dB

3.a. Après 1 km de câble, sa puissance a diminué de 40 dB, soit un facteur 10^4 . Il n'a plus qu'une puissance de 10^{-3} W, soit un rapport signal - bruit de $r_{\text{sb 1km}} = 10 \cdot \log(10^{-3}/10^{-5}) = 20$ dB. On est au-dessus de la limite des 3 dB donc le signal peut être reçu correctement.

3.b. Le signal ne doit pas perdre plus de 57 dB, soit une distance de $57/40 = 1,4$ km.

Ex. 7

Convertir 9 mois en secondes : $3600 \times 24 \times 30 \times 9 = 23 \cdot 10^6$ s

Nombre de bit transmis pendant cette durée : $23 \cdot 10^6 \times 1000 = 23 \cdot 10^9$ bit

Conversion en octet : $23 \cdot 10^9 / 8 = 2,9 \cdot 10^9$ octet

Conversion en Mo : $2,9 \cdot 10^9 / 2^{20} \approx 2781$ Mio