parle d'ailleurs de mémoire « tampon ». Il suffit alors simplement que la moyenne du débit de connexion, pendant la durée mise en mémoire soit supérieure au débit binaire de la vidéo.

**18 Test d'une clé USB**

*La plupart des clés USB actuelles utilisent une interface USB 2.0. Le débit binaire de cette interface peut atteindre 480 Mbit · s⁻¹. Deux clés USB sont comparées : un fichier de 3,7 Go est écrit sur chacune. La durée de cette action est respectivement de 3 min 30 s et de 8 min 37 s.*

**1.** *Quel est le débit binaire moyen de chacune des clés ?*
On calcule le débit binaire en faisant le rapport de la quantité de bits écrits par la durée nécessaire, sachant qu'un octet est constitué de 8 bits. Ainsi, le débit binaire de chacune des clé vaut :
$D_1 = 8 \times 3\,700/(3 \times 60 + 30) = 1{,}41 \times 10^2$ Mbit · s$^{-1}$ ;
$D_2 = 8 \times 3\,700/(8 \times 60 + 37) = 57{,}3$ Mbit · s$^{-1}$.

**2.** *Combien de temps cela aurait-il duré avec le débit maximum de l'interface USB 2.0 ?*
Si le débit avait été de 480 Mbit · s$^{-1}$, le fichier aurait été écrit pendant la durée : $\Delta t = 8 \times 3\,700/480 = 61{,}7$ s.

**19** **1.** On applique la formule :
$D = N \cdot k \cdot f_e = 2 \times 16 \times 44{,}1 \times 10^3 = 1{,}41 \times 10^6$ bit · s$^{-1}$.

**2.** La durée d'un CD est $t = 74$ min $= 4\,440$ s. Ainsi, un CD contient $n = 1{,}41 \times 10^6 \times 4\,440 = 6{,}27 \times 10^9$ bits de données musicale.

**3. a.** On fait un produit en croix :
$n_{\text{données}} = 6{,}27 \times 10^9 \times 128/147$
$= 5{,}46 \times 10^9$ bits de données.
**b.** $n_{\text{données}} = 5{,}46 \times 10^9/8 = 6{,}82 \times 10^8$ o ;
ou $n_{\text{données}} = 6{,}82 \times 10^8/1\,024 = 6{,}66 \times 10^5$ Kio ;
ou bien encore
$n_{\text{données}} = 6{,}66 \times 10^5/1\,024 = 6{,}50 \times 10^2$ Mio $= 650$ Mio, valeur qui apparaît également sur les CD de 74 min.

**4.** Puisqu'au débit de base, la totalité des données $n$ est lue pendant la durée $\Delta t = 74$ min, alors le débit de base se calcule par $D = n/\Delta t = 6{,}66 \times 10^5/4\,440 = 150$ Kio · s$^{-1}$.

## EXERCICES DE SYNTHÈSE

**20** **1. a.** La fréquence d'échantillonnage limite est égale au double de la fréquence du signal à échantillonner. Ainsi, $f_{e\,lim} = 2 \times 3 = 6$ kHz.
**b.** La fréquence d'échantillonnage doit être supérieure à $f_{e\,lim}$.

**2. a.** Le pas de quantification est égal à 1/1 000 de la tension maximale. Il faut donc au moins 1 000 valeurs numériques différentes. Ainsi, il faudra effectuer la quantification sur au moins $k_{min} = 10$ bits car $2^{10} = 1\,024$.
**b.** Avec les valeurs calculées précédemment, on trouve que le débit binaire minimum requis vaut :
$$D_{min} = k_{min} \cdot f_{e\,lim} = 10 \times 6 \text{ kHz} = 60 \text{ kbit} \cdot \text{s}^{-1}.$$
Le débit binaire imposé sera donc suffisant.
**c.** La fréquence d'échantillonnage sera alors :
$$f_e = D/k_{min} = 72/10 = 7{,}2 \text{ kHz}.$$

**21** **1.** Il y a 6/0,400 = 15 intervalles de 400 mV, soit 16 commandes en tout avec 0.

**2.** Pour obtenir 16 valeurs différentes, il faut disposer de 4 bits car $2^4 = 16$.

**3.** Chaque valeur numérique de 4 bits devra être transmise en moins de 1,00 ms. Il faut donc un débit binaire d'au moins :
$$D = 4/(1{,}00 \times 10^{-3}) = 4{,}00 \text{ kbits} \cdot \text{s}^{-1}.$$

**22** **1.** Les caractères étaient codés sur 10 bits. On pouvait donc écrire $2^{10} = 1\,024$ caractères différents (en réalité, seuls 7 bits sur les 10 servaient réellement au codage, soit 128 caractères différents).

**2.** Chaque caractère représentait 10 bits dans la trame envoyée. Ainsi, un débit de 1 200 bit · s$^{-1}$ permettait l'envoi de 120 caractères à la seconde. La fréquence d'envoi des caractères était donc $f = 120$ Hz.

**3.** Une page contient $25 \times 40 = 1\,000$ caractères. À raison de 120 caractères transmis à la seconde, il fallait donc $t = 1\,000/120 = 8{,}3$ secondes pour qu'une page entièrement remplie de texte s'affiche.

**23** **1.** En ajoutant un bit de parité, la taille d'une commande passe de 6 à 7 bits. Le débit binaire doit donc être multiplié par un coefficient 7/6.
$D' = 7 \times 9\,600/6 = 11\,200$ bit · s$^{-1}$.

**2.** L'ajout d'un bit de parité ne change pas la numérisation du signal. Ainsi, la fréquence d'échantillonnage est $f_e = D/k = 9\,600/6 = 1\,600$ Hz.

**3.** Puisque 6 bits de données représentent une commande, alors avec un débit de 9 600 bit · s$^{-1}$ on pourra transmettre 9 600/6 = 1 600 commandes par seconde (ce qui correspond à la fréquence d'échantillonnage).

**24** **1.** Données principales transmises par le signal RDS :
– des informations routières en temps réel utilisées par certains terminaux de navigation (TMC) ;
– des données quelconques dont le format est libre ;
– le nom de la station écoutée ;
– toutes les fréquences des émetteurs d'une station (le changement d'accord est automatique lorsque l'auditeur se déplace vers un nouvel émetteur) ;
– un signal lors de la diffusion d'informations routières par une station dédiée (pour que le programme en cours cesse au profit de l'information diffusée) ;
– des signaux de pilotage de l'étage audio d'un récepteur RDS pour ajuster le décodage audio et le niveau

sonore selon le type de voie audio reçue (mono, stéréo, programme musical ou parlé…) ;
– un signal d'identification du type de programmes diffusé par une station RDS ;
– l'heure et le jour ;
– des messages longs de 64 caractères (uniquement sur les récepteurs RDS de salon) ;
– les paramètres RDS d'autres stations (EON) ;
– une radiomessagerie Alphapage-RDS ;
– divers types de données numériques pour des services spécifiques ;
– des informations d'urgence destinées à alerter la population en cas d'événements exceptionnels compromettant sa sécurité (tempêtes violentes, cyclone, tremblement de terre, accidents industriels graves…) (DOM-TOM, régions sismiques).

**2.** Le signal A est celui dont les caractéristiques se rapprochent le plus d'un signal numérique : il n'admet qu'un nombre limité de valeurs (il s'agit en réalité d'un signal numérique modulé).

**3.** Sur 104 bits envoyés, seuls $4 \times 16 = 64$ bits contiennent des données. Le débit binaire des données est donc :

$$D = 64 \times 1\,187{,}5/104 = 730{,}8 \text{ bit} \cdot \text{s}^{-1}.$$

**4.** Avec 16 bits par trame, on peut coder $2^{16} = 65\,536$ valeurs différentes. Une trame de donnée peut donc prendre 65 536 valeurs différentes.

**25** **1.** La luminance Y représente l'information sur l'intensité lumineuse « globale » apparente d'un pixel (c'est cette information qu'utilisaient les anciens téléviseurs « noir et blanc ») alors que les chrominances U et V (ou Cr et Cb) concernent l'intensité lumineuse de deux signaux colorés relativement au signal Y de référence (ce qui permet de retrouver la valeur du troisième).

**2. a.** Sur 10 bits, on peut générer $2^{10} = 1\,024$ valeurs différentes.
**b.** On doit ajouter les débits binaires de chaque composantes : $D = D_Y + D_U + D_V$ avec $D_Y = k_Y \cdot f_{eY}$ ; $D_U = k_U \cdot f_{eU}$ ; $D_V = k_V \cdot f_{eV}$ ; $k_Y = k_U = k_V = 10$.
Ainsi, $D = 10 \times (f_{eY} + f_{eU} + f_{eV})$
$= 10 \times (13{,}5 + 6{,}75 + 6{,}75) = 270 \text{ Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$.
**c.** Le débit binaire calculé est environ 27 fois supérieur au débit maximum du DVD. Ce n'est donc pas compatible.

**3. a.** Le rapport entre les deux débits est de 27. Même sur 1 bit (ce qui ne représente aucun intérêt) le débit binaire de la vidéo ne peut pas descendre au niveau de celui du DVD.
**b.** Le facteur de compression de l'encodage MPEG-2 doit donc être d'au moins 27 pour que la vidéo puisse être lisible sur un DVD.

**26 La vraie structure des données sur un CD**

*La plus petite entité de donnée d'un CD est appelée une trame, elle correspond à 33 octets (1 octet = 8 bits) et contient 24 octets d'échantillons musicaux en stéréo. Les 9 octets restants correspondent à 8 octets de correction de type CIRC et un octet de sous-code utilisé pour le contrôle et l'affichage. Chaque octet est converti en un mot de 17 bits. Ainsi, au total il ya $33 \times 17 = 561$ bits. Un mot de 27 bits est ajouté à la trame pour la synchronisation. Chaque secteur contient 98 trames. Le CD est lu à la vitesse de 75 secteurs par seconde.*

**1. a.** *Combien y a-t-il d'octets dans 1 secteur ?*
Un secteur contient 98 trames de $561 + 27 = 588$ bits.
Il y a donc $n_1 = 98 \times 588/8 = 7\,203$ o par secteur.
**b.** *Combien y a-t-il d'octets de données musicales dans un secteur ?*
Une trame ne contient que 24 octets de données musicales. Il y a donc $n_2 = 98 \times 24 = 2\,352$ o de données musicales par secteur.

**2. a.** *Quel est le débit binaire ?*
75 secteurs sont lus par seconde.
Ainsi $D_1 = 7\,203 \times 8 \times 75 = 4{,}321\,8 \text{ Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$.
**b.** *Quel est le débit binaire des données musicales ?*
De même : $D_2 = 2\,352 \times 8 \times 75 = 1{,}411\,2 \text{ Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$.

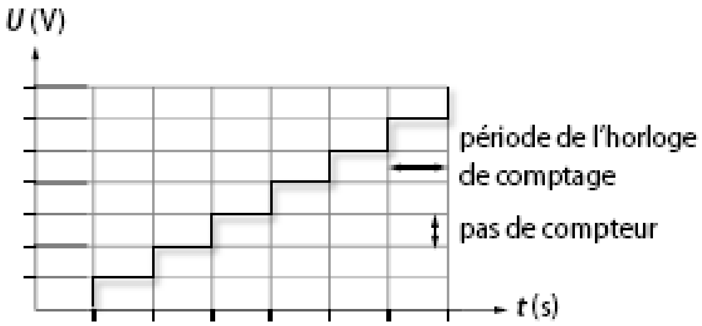
**3.** *La fréquence d'échantillonnage d'un CD est de 44 100 Hz par canal (stéréo). Combien y a-t-il de bits de quantification ?*
Le débit binaire d'un canal est donc :

$$D = 1{,}411\,2 \times 10^6/2 = 705{,}6 \text{ kbit} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Ainsi, nombre de bits de quantification $k$ se calcule par :

$$k = D/f_e = 7{,}056 \times 10^5/(4{,}41 \times 10^4) = 16 \text{ bits}.$$

**27** **1.**




**2.** Il s'agit toujours de comparer la tension à numériser à une tension de référence associée à une valeur numérique binaire. La différence principale vient du fait que dans ce cas, la tension de référence augmente jusqu'à atteindre la tension à numériser au lieu de l'atteindre par itération.

**3. a.** Sur 8 bits, on peut écrire $2^8 = 256$ valeurs différentes. Si la fréquence du compteur est de 1,00 MHz, alors il faudra une durée $\Delta t = 256/(1{,}00 \times 10^6) = 256$ µs pour compter toutes les valeurs. La période d'échantillonnage doit être supérieure à 256 µs pour permettre à l'étage de quantification d'avoir le temps de remplir son rôle. Ainsi, la fréquence d'échantillonnage doit être plus petite que $f_{e\ lim}$ avec :

$$f_{e\ lim} = 1/(256 \times 10^{-6}) = 3{,}91\ \text{kHz}.$$

Le débit binaire sera :

$$D = k \cdot f_{e\ lim} = 8 \times 3{,}91 \times 10^{3} = 31{,}25\ \text{kbit} \cdot \text{s}^{-1}.$$

**b.** Sur 16 bits, on peut écrire $2^{16} = 65\ 536$ valeurs différentes. Si la fréquence du compteur est de 1,00 MHz, alors il faudra une durée $\Delta t = 65\ 536/(1{,}00 \times 10^{6}) = 65{,}5$ ms pour compter toutes les valeurs. La période d'échantillonnage doit être supérieure à 65,5 ms pour permettre à l'étage de quantification d'avoir le temps de remplir son rôle. Ainsi, la fréquence d'échantillonnage doit être plus petite que $f_{e\ lim}$ avec $f_{e\ lim} = 1/(65{,}5 \times 10^{-3}) = 15{,}3$ Hz. Le débit binaire sera $D = k \cdot f_{e\ lim} = 244\ \text{bit} \cdot \text{s}^{-1}$.

**c.** On voit que la fréquence d'échantillonnage et le débit binaire chutent rapidement si on augmente le nombre de bits de quantification : on divise par 2 à chaque bit ajouté. Ce mode est peu utilisé à cause de cela. Par comparaison avec la méthode vue en activité, l'ajout d'un bit demande juste une période d'horloge de quantification en plus, ainsi lorsqu'on passe de 8 à 16 bits, la fréquence d'échantillonnage et le débit binaire sont seulement divisés par 2.

## EN ROUTE POUR LE SUPÉRIEUR

**28** **1.** On a $D_{SACD} = k_{SACD} \cdot f_{e\ SACD} = 1 \times 2{,}82 \times 10^{6}$
$= 2{,}82\ \text{Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$.

**2.** $D_{CD} = k_{CD} \cdot f_{e\ CD} = (16 \times k_{SACD}) \times (f_{e\ SACD}/64) = D_{SACD}/4$
$= 704\ \text{kbit} \cdot \text{s}^{-1}$.

**3. a.** Le pas de quantification, contrairement aux méthodes étudiées précédemment, ne dépend pas du nombre de bits de quantification (puisqu'il n'y a qu'un bit obligatoirement).

**b.** Avec une quantification « classique », l'amplitude maximum $U_{max}$, la résolution $R$ et le pas de quantification $\Delta$ sont liés par la relation : $R = U_{max}/\Delta$.

La condition donnée impose $\Delta \cdot f_e > U_{max} \Leftrightarrow f_e > U_{max}/\Delta$ soit $f_e > R$. On peut donc théoriquement prendre pour valeur limite $R_{lim} = f_e = 2{,}82 \times 10^{6}$. Or $2^{21} = 2{,}097 \times 10^{6}$. Donc une quantification avec 21 bits respecte pratiquement la seule condition imposée. Étant donné que c'est la seule limite pour fixer $\Delta$, la précision de cette méthode est donc très grande.