

Numérisation de l'information

1 Numérisation d'un signal analogique

1.1 Signal analogique et signal numérique

Un signal est la représentation physique d'une information qui est transportée avec ou sans transformation de la source jusqu'au destinataire. Il existe deux catégories de signaux :

- Les signaux analogiques : ce sont des signaux variant de façon continue dans le temps.
- Les signaux numériques : ce sont des signaux variant de façon discrète dans le temps, par paliers, qui transportent une information sous la forme de nombres binaires. Ils sont constitués d'une succession de bits (contraction de l'anglais « binary digit », c'est le plus petit élément d'information stockable par un système numérique), ne pouvant prendre que deux valeurs : 0 ou 1.

1.2 Conversion analogique-numérique

Les systèmes de mesure analogique sont progressivement remplacés par des systèmes d'acquisition numérique. Le stockage, la duplication et le transport sont, en effet, plus fiables si les signaux sont numériques.

Pour qu'un signal analogique soit exploitable par un appareil numérique, il doit être converti en un signal numérique. Le procédé permettant de passer d'un signal analogique à un signal numérique est appelée la numérisation. Elle s'effectue en deux étapes :

- La première est l'échantillonnage, elle est effectuée par un échantillonneur-bloqueur.

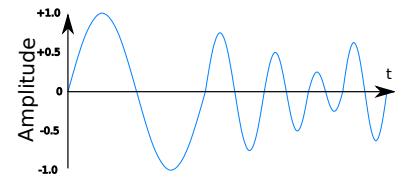


FIGURE 19.1: Un signal analogique, qui varie de façon continue.

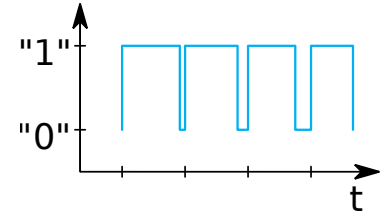


FIGURE 19.2: Un signal numérique, qui varie de façon discrète.

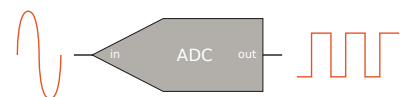


FIGURE 19.3: Un convertisseur analogique-numérique CAN (Digital-Analog Converter DAC en anglais) permet la conversion d'un signal analogique en signal numérique, au prix d'une perte d'information.

- La seconde est la quantification suivie du codage, elle est effectuée par un convertisseur analogique-numérique (CAN).

La numérisation est d'autant meilleure que le signal numérique se rapproche du signal analogique initial. Pour cela, plusieurs paramètres ont leur importance, en particulier la fréquence d'échantillonnage et le nombre de bits utilisés pour le codage.

1.3 La fréquence d'échantillonnage

Définition 19.1: Fréquence d'échantillonnage

L'échantillonnage consiste à « capturer » la valeur prise par le signal analogique à intervalles de temps égaux.

La durée T_e est appelée la période d'échantillonnage.

La fréquence à laquelle les échantillons sont prélevés est la fréquence d'échantillonnage f_e exprimée en Hertz (Hz). Elle correspond au nombre d'échantillons par seconde et est donnée par la relation :

$$f_e = \frac{1}{T_e}$$

Un échantillonneur-bloqueur est donc un dispositif dont le rôle est de « bloquer » et conserver la valeur capturée jusqu'à la prochaine capture.

EXEMPLES :

- On considère une tension analogique u dont les variations en fonctions du temps sont représentées ci-dessous. Cette tension analogique est traitée par un échantillonneur-bloqueur dont la fréquence d'échantillonnage est $f_e = 2000$ kHz. Calculer la période d'échantillonnage puis représenter les variations en fonction du temps de la tension échantillonnée que l'on notera u' .
- Un signal analogique $u_0(t)$ sinusoïdal de fréquence $f_0 = 2.0$ kHz créé par un GBF a été numérisé en variant la fréquence d'échantillonnage f_e d'un convertisseur 8 bits. Les signaux obtenus pour des fréquences d'échantillonnage de 20 kHz, 10 kHz, 5 kHz puis 1.0 kHz sont donnés ci-dessous :
 1. Calculer les périodes d'échantillonnage pour les différentes séries de mesure.
 2. Associer à chaque courbe expérimentale une légende. Faire apparaître la période d'échantillonnage pour chaque signal numérique.
 3. Pour quelles fréquences d'échantillonnage le signal de sortie est-il une image acceptable du signal analogique ?
 4. Quelle est la fréquence d'échantillonnage la plus basse qui permet de restituer au moins la période du signal analogique ?

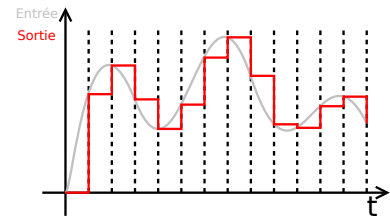


FIGURE 19.4: L'échantillonneur bloqueur bloque le signal qu'il reçoit en entrée pour une durée T_e , lorsqu'il a terminé, il reprend un échantillon, etc...

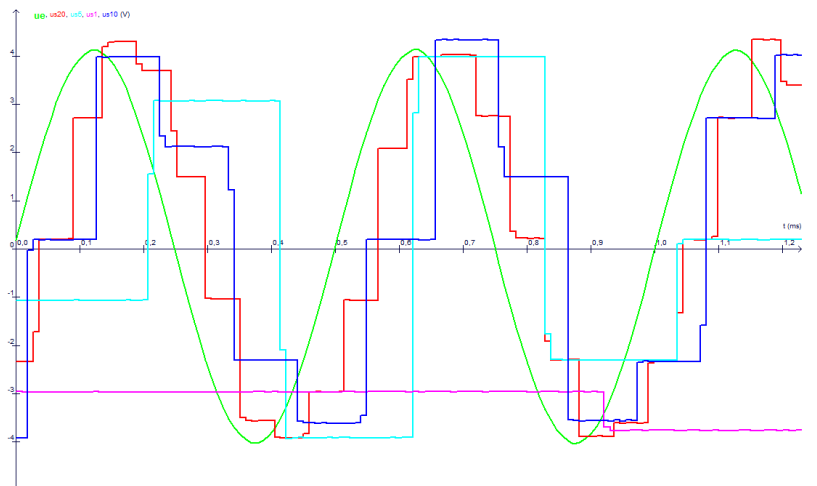


FIGURE 19.5: Effet de la fréquence d'échantillonnage sur la fidélité du signal numérique.

CONCLUSION : Plus la fréquence d'échantillonnage sera grande, plus la période d'échantillonnage sera petite, plus le nombre d'échantillons prélevés sera grand, plus le signal numérique sera proche du signal analogique et donc meilleure sera la numérisation. (voir figure 19.6)

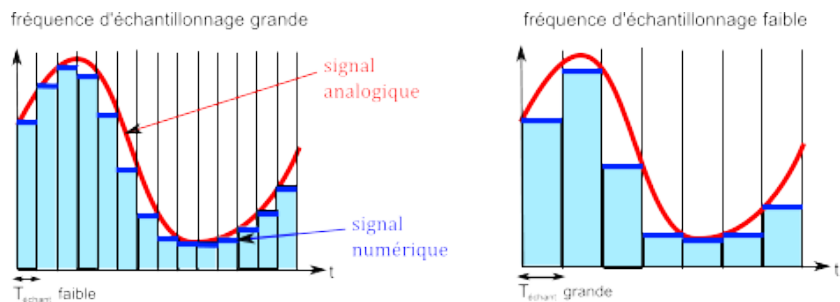


FIGURE 19.6: Perte d'information due à la fréquence d'échantillonnage

Influence de la fréquence d'échantillonnage sur la numérisation d'un son
- Écoute des enregistrements audio ...

Propriété 19.1: Théorème de Shannon (critère de Nyquist)

Pour numériser convenablement un signal, il faut que la fréquence d'échantillonnage f_e soit au moins deux fois supérieure à la fréquence du signal à numériser.

Type de support de sons	f_e choisie
CD audio	44.1 kHz
DVD	48 kHz
Téléphonie	8 kHz
Radio numérique	22.5 kHz

TABLE 19.1: Fréquences d'échantillonnage standard pour encoder le son dans des dispositifs audio du quotidien. On rappelle qu'une oreille humaine jeune peut entendre de 20 Hz à 20 kHz. Commentez vis-à-vis du critère de Nyquist

1.4 La quantification et le codage

Définition 19.2: Quantification, codage

Lors de la quantification et du codage, les valeurs de l'amplitude du signal échantillonné sont discrétisées. Une valeur binaire codée sur n bits est alors associée à chaque échantillon capturé lors de l'échantillonnage.

Définition 19.3: Pas d'un convertisseur analogique-numérique

La plus petite variation de tension analogique que peut repérer un CAN est appelé le pas du convertisseur. Ce pas, exprimé en volt, dépend du nombre de bits du convertisseur et de son calibre.

- Le calibre d'un convertisseur définit l'intervalle des valeurs mesurables par le convertisseur.
- Le nombre de bits d'un convertisseur fixe le nombre de niveaux de quantification permettant de coder les valeurs du signal à numériser.
 - Avec 2 bits, on peut distinguer : 00, 01, 10 et 11 soit $4 = 2^2$ niveaux de quantification.
 - Avec 3 bits, on peut distinguer : 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111 soit $8 = 2^3$ niveaux de quantification.
 - Avec 4 bits, on peut distinguer $2^4 = 16$ niveaux de quantification.

Un convertisseur de n bits permet donc de distinguer 2^n niveaux de quantification répartis de V_{min} à V_{max} . On a ainsi un pas de quantification donné par la relation :

$$p = \frac{V_{max} - V_{min}}{2^n}$$

Le pas d'un convertisseur fixe les valeurs que pourra prendre la tension numérisée : ces valeurs sont donc des multiples entiers du pas.

Le CAN compare la valeur de chaque échantillon capturé lors de l'échantillonnage à l'ensemble des valeurs permises par sa résolution. Cette valeur est alors remplacée par une des valeurs autorisées puis est codée par un nombre binaire. L'ensemble de ces nombres mis bout-à-bout constitue le signal numérique.

EXEMPLE :

On considère une tension analogique u . La tension échantillonnée u' correspondante (les points bleus sur la figure 19.7 correspondent aux échan-

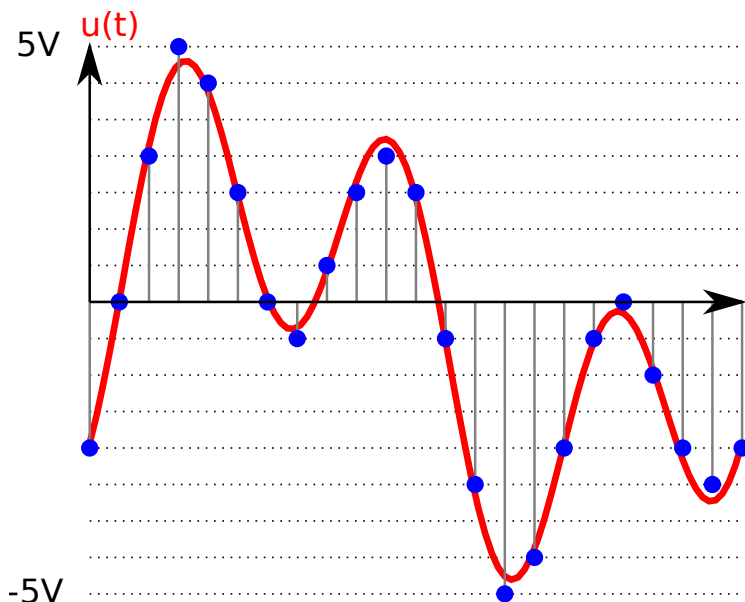


FIGURE 19.7: Échantillonnage, puis encodage sur 4 bits d'un signal analogique.

tillons prélevés) est appliquée à l'entrée d'un CAN dont la plage de conversion est [-5V,5V] ; on encode le signal sur 4 bits.

1. Sur combien de niveaux est encodée la tension ?
2. Déterminer le pas du convertisseur.
3. Attribuer à chaque valeur de tension permise un nombre binaire, le nombre binaire 0000 étant attribué à la tension 0V, le premier bit étant utilisé pour le signe. Graduer l'axe des ordonnées avec ces nombres binaires. Dans un tableau, donnez les représentations binaire, décimale, et la tension correspondante à chaque valeur.
4. Représenter le signal numérisé $u//$.
5. Donner la suite de nombres binaires constituant le signal numérique.

Influence du nombre de bits sur la qualité de la numérisation Un signal analogique $u_0(t)$ sinusoïdal de fréquence $f_0 = 0.20\text{kHz}$ créé par un GBF est numérisé en faisant varier le nombre de bits du convertisseur. Les signaux obtenus avec un convertisseur 8 bits puis 4 bits sont donnés ci-dessous.

1. Calculer le nombre de niveaux de quantification permettant de coder le signal à numériser dans les deux cas.
2. Associer à chaque courbe expérimentale une légende figure 19.8.
3. Dans quel cas, la numérisation du signal est-elle meilleure ?

CONCLUSION :

Lors de la quantification, pour un calibre donné, plus le codage s'effectue avec un nombre important de bits, plus le pas de quantification sera petit,

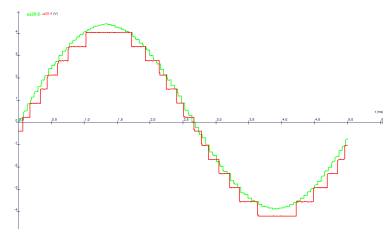


FIGURE 19.8: Influence du nombre de bits de codage.

Type de support de sons	Quantification
CD audio	16 bits
DVD	24 bits
Téléphonie	8 bits
Radio numérique	8 bits

TABLE 19.2: Nombres de bits de quantification pour encoder le son dans des dispositifs audio du quotidien.

REMARQUE : Le nombre de bits qui vont être nécessaires pour stocker le signal numérisé sur un support (disque dur, clé USB, DVD...) n'est pas illimité, ce qui explique les quantifications choisies.

plus le nombre de niveaux de quantification sera grand, plus l'amplitude du signal numérique sera proche de celle du signal analogique et donc meilleure sera la numérisation.

Influence du nombre de bits sur la numérisation d'un son - Écoute des enregistrements audio

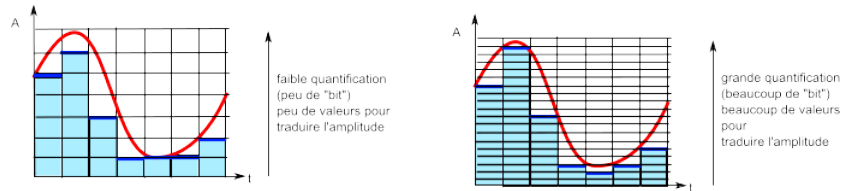


FIGURE 19.9: Perte d'information lors du codage des échantillons

2 images numériques (Voir TP n°22)

À la fin de ce chapitre, je sais faire (extrait du B.O.) :

- Associer un tableau de nombres à une image numérique;
- Mettre en œuvre un protocole expérimental utilisant un capteur (caméra ou appareil photo numériques par exemple) pour étudier un phénomène optique.
- Reconnaître des signaux de nature analogique et des signaux de nature numérique;
- Mettre en œuvre un protocole expérimental utilisant un échantillonneur-bloqueur et/ou un convertisseur analogique numérique (CAN) pour étudier l'influence des différents paramètres sur la numérisation d'un signal (d'origine sonore par exemple);

Prochain chapitre :

- Identifier les éléments d'une chaîne de transmission d'informations
- Recueillir et exploiter des informations concernant des éléments de chaînes de transmission d'informations et leur évolution récente.
- Exploiter des informations pour comparer les différents types de transmission : transmission par câble, par fibre optique, transmission hertzienne
- Caractériser une transmission numérique par son débit binaire
- Évaluer l'affaiblissement d'un signal à l'aide du coefficient d'atténuation
- (en TP) Mettre en œuvre un dispositif de transmission de données (câble, fibre optique)
- Expliquer le principe de la lecture par une approche interférentielle
- Relier la capacité de stockage et son évolution au phénomène de diffraction