

1 - Présentation et objectifs

Le monde qui nous entoure est décrit par des grandeurs analogiques (propagation d'un son par exemple).

Convertir un signal analogique en un signal numérique nécessite l'utilisation d'un convertisseur analogique numérique (CAN).

Cette opération consiste à réaliser successivement les étapes suivantes :

- découper le signal en abscisse. On appellera cette opération l'échantillonnage
- découper le signal en ordonnées. On appellera cette opération la quantification
- coder chaque valeur en langage binaire

L'objectif est d'étudier l'influence de l'échantillonnage et de la quantification sur la numérisation d'un signal sonore.

2 - Numérisation et qualité sonore

2.1 Documents mis à disposition

Document 1 : échantillonnage

Le son produit par la voix ou un instrument de musique est analogique. Il est numérisé pour le stocker sur le disque dur d'un ordinateur. Cette opération consiste à le mesurer à des intervalles de temps réguliers séparée par une durée T_e .

Le nombre de mesures réalisées par seconde est appelé fréquence d'échantillonnage, exprimé en Hz. $F_e = 1/T_e$

Exemple : qualité CD 44 100 Hz (44100 échantillons par seconde)

Document 2 : Quantification

L'axe des ordonnées est découpé en valeurs numériques séparées par une valeur appelée pas du convertisseur. Il s'agit d'attribuer à chaque échantillon la valeur numérique la plus proche de la valeur réelle.

Document 3 : Codage et taille d'un fichier

Les valeurs numériques de chaque échantillon sont codés en langage binaire.

La grandeur de base est le bit. Un bit ne peut prendre que deux valeurs 0 ou 1. Un ensemble de 8 bits s'appelle un octet. Le nombre de valeurs numériques que l'on peut coder sur n bits est 2^n .

Quelques multiples de l'octet : 1 ko = 2^{10} octets proche de 10^3 octets

1 Mo = 2^{20} octets proche de 10^6 octets

Pour connaître la taille d'un fichier, il suffit de faire un clic-droit sur ce fichier et de choisir « propriétés ».

Matériel :

- un casque audio relié à l'ordinateur
- le logiciel Audacity et sa fiche d'aide
- 3 fichiers audio :
 - surmonvelo-44kHz-16bits.mp3, numérisé en 44 100 Hz et 16 bits en stéréo
 - surmonvelo-44kHz-4bits.mp3 numérisé en 44 100 Hz et 4 bits en stéréo
 - surmonvelo-44kHz-2bits.mp3 numérisé en 44 100 Hz et 2 bits en stéréo

2.2 Travail à faire

Influence de la fréquence d'échantillonnage

- Ouvrir le fichier, surmonvelo-44kHz-16bits.mp3, depuis Audacity
- modifier la fréquence d'échantillonnage : choisir 8 kHz et sauvegarder le fichier
- *Écouter les deux fichiers pour comparer la qualité du son produit.*

Influence de la quantification

On a modifié le nombre de bits de quantification du fichier : surmonvelo-44kHz-16bits.mp3 pour obtenir :

- un fichier sur 4 bits (surmonvelo-44kHz-4bits.mp3)
- un fichier sur 2 bits (surmonvelo-44kHz-2bits.mp3)
- *Écouter les trois fichiers pour comparer la qualité du son produit.*
- Ouvrir les trois fichiers dans la même fenêtre d'audacity
 - ouvrir le premier fichier ;
 - sélectionner Fichier/Importer/Audio ;
 - choisir les fichiers suivants
- Zoomer sur une partie identique des trois fichiers.
- *Quel est l'effet de la quantification sur la forme du signal ?*

Taille des fichiers

- *Noter la taille des 4 fichiers (bouton droit avec la souris, Propriétés).*

Bilan Quels liens existent-ils entre la qualité sonore, la taille du fichier, la fréquence d'échantillonnage et la quantification (nombre de bits)?

3 - Conversion analogique -numérique

Pour comprendre la signification de la fréquence d'échantillonnage et la quantification (liée au nombre de bits), nous allons numériser le signal électrique analogique représenté sur la courbe en annexe (extrait d'un fichier audio).

3.1 - Échantillonnage

On désire échantillonner le signal analogique à la fréquence, f_e , de 10 kHz, c'est à dire 10 000 échantillons par seconde.

Calculer la durée T_e entre deux échantillons.

Graduer l'échelle des abscisses (numéro d'échantillon) en attribuant le nombre 1 au premier échantillon pris à $t = 0$, le nombre 2 au deuxième, ...

Reporter, dans le cadre « valeur analogique », la valeur de la tension lue sur la courbe pour chaque échantillon

3.2 - Quantification

Les valeurs que pourra prendre la tension sont déterminées par le pas du convertisseur. Dans le cas considéré, on choisira un pas : $p = 0,25$ V.

Graduer l'échelle des ordonnées (niveau numérique) en attribuant 0 à 0 V, 1 à 0,25 V, 2 à 0,5 V, ...

Afin de limiter l'erreur due à la quantification, le convertisseur choisit le niveau numérique le plus proche de la valeur analogique réelle.

Pour chaque échantillon, tracer un point rouge correspondant au niveau numérique retenu par le convertisseur.

Reporter les niveaux numériques de chacun des points dans le cadre niveau numérique.

3.3 - Codage binaire

Les niveaux numériques précédents sont convertis en langage binaire.

Méthode pour convertir un nombre en langage binaire

principe de la base 10 (on dispose de 10 chiffres pour coder tous les nombres)

exemple $236 = 2 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 6 \times 10^0$

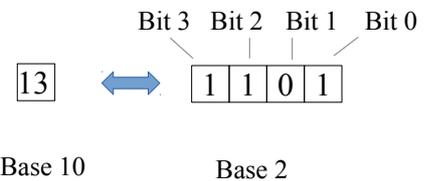
principe de la base deux (langage binaire)

(on dispose de 2 chiffres pour coder tous les nombres : 0 et 1)

exemple : coder le nombre décimal 13 en base 2

$13 = 1 \times 8 + 1 \times 4 + 0 \times 2 + 1 \times 1 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$ est donc codé par 1101 en base 2 (en binaire)

Le codage en langage binaire de 13 s'effectue sur 4 bits.



Convertir les niveaux numériques dans le cadre Code binaire associé.

Combien de niveaux numériques peut-on coder sur $n = 4$ bits ?

Si la plage de mesure de la tension est de 0 à 4 V, vérifier que le pas p est donné par : $p = \frac{\text{plage de mesure}}{2^n}$ avec $n = 4$ bits

3.4 - Influence des paramètres

On suppose que le convertisseur numérique – analogique utilisé pour rétablir le signal analogique possède un système qui relie chaque point de façon linéaire.

Relier chaque point de l'échantillon par un trait rouge. La courbe obtenue est-elle proche de l'original ?

On modifie la fréquence d'échantillonnage. Elle passe à 2 kHz. Tracer en bleu la nouvelle courbe.

Comment choisir la fréquence d'échantillonnage pour que le signal soit le plus fidèle possible ?

On revient à 10 kHz. On quantifie sur 3 bits. Le pas du convertisseur passe à 0,5 V. Tracer en vert la nouvelle courbe.

Comment choisir la quantification pour que le signal soit le plus fidèle possible ?

<http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/numerisation-acoustique-Chareyron1.xml>