

(Durée : 2 h de cours)

Introduction : Aujourd'hui, écouter un morceau de musique, le stocker ou le partager ne nécessite plus de supports matériels tels que les CD, cassette ou disque vinyle. Les techniques de numérisations, associés au développement d'algorithmes de plus en plus performant (type MP3) ont permis de dématérialiser les fichiers audio. Comment cette dématérialisation est-elle possible ?



1°) Numérisation d'un son :

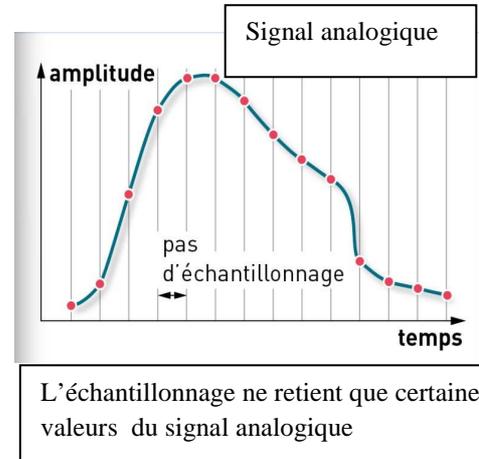
1°) Principe : <https://www.youtube.com/watch?v=u4bXfVthGvE>

Un signal **analogique** varie de façon continue donc contient un nombre **infini** d'informations au cours du temps, par exemple le signal électrique issu d'un microphone obtenu à partir des vibrations de la membrane du micro. Un signal numérique est un ensemble discontinu donc **fini** d'informations. Numériser consiste à retranscrire un signal analogique constitué d'un nombre infini de valeurs, en un signal numérique constitué d'un nombre fini de valeurs. Le son issu d'un smartphone, d'un téléviseur... est alors représenté par des nombres constitués de deux chiffres « 0 » et « 1 » que l'on appelle des **bits** (Binary digiT, C. Shannon 1938)

2°) L'échantillonnage :

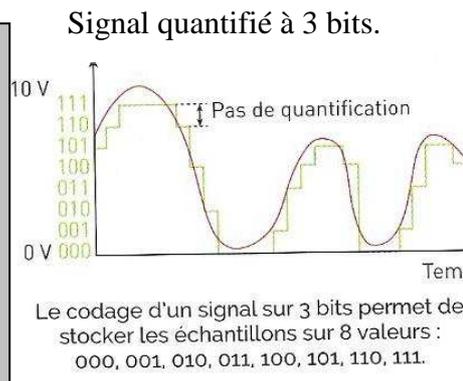
L'échantillonnage consiste à traiter les valeurs du signal analogique de départ à intervalle de temps fixe. La fréquence d'échantillonnage f_e (en Hz) avec $f_e=1/T_e$ (T_e période d'échantillonnage) est le nombre de **fois** par seconde que le signal analogique est traité.

Critère de Shannon : pour qu'un signal numérique soit suffisamment fidèle au signal analogique de départ, la **fréquence d'échantillonnage f_e doit être supérieure au double de la fréquence maximale contenue dans le signal analogique : $f_e > 2 \times f_{max}$**
Exemple : la fréquence d'échantillonnage généralement retenue pour le son est 44,1 KHz. Elle est adaptée car le domaine audible s'étend jusqu'à **20 kHz**



3°) Quantification : http://physique.ostralo.net/CAN/index_v2n.htm

La quantification consiste à représenter le signal sonore par un nombre fini de valeurs possibles, codés en bits. Le nombre de bits de la conversion analogique-numérique traduit le nombre de valeurs quantifiées du signal. Ainsi un codage du signal numérique sur n bits donnent accès à **2^n valeurs** possibles pour quantifier son signal analogique en numérique. **Exemple :** un signal quantifié à 3 bits (figure ci-contre) sera représenté avec **$2^3=8$** valeurs possibles, on pourra découper le signal analogique en 8 combinaisons possibles, on appelle « pas de quantification » l'écart minimal entre deux valeurs ou codage successifs.



000	001	010	011	100	101	110	111	Monde binaire
$2^0=0$	$1 \times 2^0=1$	$1 \times 2^1=2$	$1 \times 2^1 + 1 \times 2^0=3$	$1 \times 2^2=4$	$1 \times 2^0 + 1 \times 2^1=3$	$1 \times 2^1 + 1 \times 2^2=6$	$1 \times 2^0 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^2=7$	Monde décimal

4°) Fidélité et taille d'un fichier :

Plus la fréquence d'échantillonnage est grande, plus le format du fichier est **important**, plus la numérisation est proche du signal **analogique** mais plus la taille du fichier audio est **importante**. La taille d'un fichier son est exprimée en bit ou en octet. 1 octet = 8 bits (succession de huit 0 et 1)

Le débit binaire nécessaire à la bonne diffusion du son noté D (en bits /s) est lié à la fréquence d'échantillonnage f_e (en Hz) et au nombre N de bits de quantification (en bits) mais aussi du nombre de canaux c (1 en mono ou 2 en stéréo) : **Débit binaire (bits/s) = f_e (en Hz) × N (en bits) × c**

Exemple : les sons sont généralement numérisés avec une fréquence d'échantillonnage $f_e = 44,1$ KHz sous un format de 16 bits (ou 2 octet) et souvent le son est en stéréo, dans ce cas le débit nécessaire à la bonne diffusion de ce son est : **$D = 2 \times 16 \times 44,1 = 1410 \text{ kbits.s}^{-1}$ (soit 176 ko.s^{-1} , on divise par un octet = 8 bits)**

Par conséquent la taille du fichier audio (en bits) s'obtient grâce au débit binaire ci-dessus (en bits /s) et à la durée du son (en s) : Taille du fichier = **Débit binaire (bits/s) × durée du son (s)**

Exemple : l'enregistrement d'une minute de musique à une fréquence d'échantillonnage de 44,1 KHz en 16 bits en stéréo nécessite **$2 \times 16 \times 44,1 \times 10^3 \times 60 = 8,46 \times 10^7 \text{ bits}$ soit $1,06 \times 10^7 \text{ octets}$ soit **10,6 Mo** (rappel $1 \text{ Ko} = 2^{10} = 1024 \text{ bit}$ on prend souvent 10^3 bits et $1 \text{ Mo} = 2^{20} = 1,048 \times 10^6 \text{ bits}$ on prend environ 10^6 bits)**

II° Compression d'un fichier son :

1° **Nécessité** : Plus la numérisation est fidèle au son d'origine (signal analogique) plus le fichier audio numérique est élevée. Il est donc nécessaire de compresser le fichier numérique obtenu pour diminuer encore plus sa taille et faciliter son stockage et sa transmission.

2° **Taux de compression** : L'efficacité d'une compression s'estime à partir du taux de compression noté τ

$$\text{Taux de compression (sans unité ou en \%)} \rightarrow \tau = 1 - \frac{N_f}{N_i}$$

← Nombre de bits après compression
← Nombre de bits avant compression

Le taux de compression traduit le niveau de compression d'un fichier au regard du fichier initial. Ainsi un taux de compression de 50 % signifie que les données ont été divisées **par deux** pour traduire l'information. Plus le taux est élevé, meilleure est la compression et plus la taille du fichier audio résultant est réduite, cependant il sera de moins bonne qualité sonore. Les techniques de compression « avec perte d'information » comme dans le format MP3, éliminent les informations sonores auxquelles l'oreille est peu sensible (infra et ultra-sons par exemple). On évitera de compresser un fichier son à un taux de compression supérieur à 90 % pour l'écouter sur une chaîne hi-fi.

Tableau comparatif de différents formats audio

Remarque si $\tau = 1 - \frac{N_f}{N_i}$ alors $N_f = (1 - \tau) \times N_i$

Format	Wave	MP3 (128 kbits/s en mono)	wma (128 kbits/s en mono)
Type de compression	Non destructive	Destructive	Destructive
Taux de compression	0%	91% ou 0,91	93% ou 0,93
Taille d'un fichier (pour une durée d'une minute)	10,56 Mo (fichier d'origine)	$N_f = (1 - 0,91) \times 10,56 = 0,95 \text{ Mo}$	$N_f = (1 - 0,93) \times 10,56 = 0,74 \text{ Mo}$
Qualité	☆☆☆☆☆	☆☆	☆
Utilisation	CD	Baladeur /streaming	Baladeur/radio FM

<https://www.youtube.com/watch?v=Dvh8ge3uPxQ>

