

1

Numérisation d'un son

► Principe

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 est alors représenté par des nombres constitués de deux chiffres « 0 » et « 1 » (**Fig. 1**).

Ces nombres contiennent des informations appelées données numériques.

► Échantillonnage

L'échantillonnage consiste à traiter les valeurs du signal analogique de départ à intervalle de temps fixe (Fig. 2).

La fréquence d'échantillonnage est le nombre de fois par seconde que le signal analogique est traité.

La reproduction la plus fidèle d'un signal analogique nécessite un choix de fréquence d'échantillonnage adapté à ce signal.

Une fréquence d'échantillonnage adaptée est celle dont la valeur est au moins le double de celle du signal sonore.

Remarque : La fréquence d'échantillonnage généralement retenue pour le son est 44,1 Hz. Elle est adaptée car le domaine audible s'étend jusqu'à 20 kHz.

► Quantification

La **quantification** consiste à attribuer une valeur, prise parmi un ensemble de valeurs possibles, à un point du signal analogique.

La quantification consiste à représenter le signal sonore par un nombre fini de valeurs possibles.

Le nombre de **bits** traduit ce nombre possible de valeurs. Ainsi N bits permettent 2^N valeurs possibles.

Exemple : Un signal quantifié à **3** bits (Fig. 3) sera représenté avec $2^3 = 8$ valeurs possibles représenté par les combinaisons possibles d'écrire un nombre à **3** chiffres avec des 0 et des 1 : 000 / 001 / 010 / 011 / 100 / 101 / 110 / 111.

► Fidélité et taille d'un fichier

Plus la fréquence d'échantillonnage est grande, plus le format du fichier est important, plus la numérisation est fidèle, mais plus la **taille du fichier** audio est importante.

La taille d'un fichier son est exprimée en bit ou en octet.

1 octet est égal à 8 bits

Le **débit** (D) nécessaire à la bonne diffusion du son est lié à la fréquence d'échantillonnage f_s et au nombre N de bits (ou d'octets) :

$$D = f_+ \cdot N$$

Exemple : Les sons sont généralement numérisés avec une fréquence d'échantillonnage $f_s = 44.1$ Hz sous un format de 16 Mbits (2 Mo).

Si le son est en stéréo, le débit nécessaire est :

$$D = 2 \times 16 \times 44.1 \text{ kHz} = 1410 \text{ kbits} \cdot \text{s}^{-1} (= 176 \text{ kbytes} \cdot \text{s}^{-1})$$

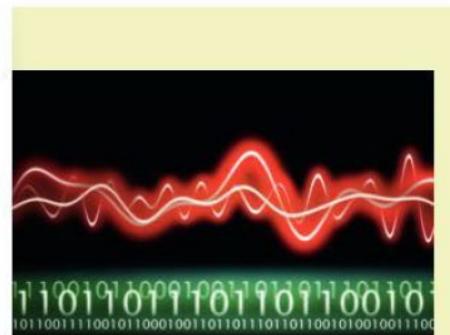


Fig. 1: La numérisation du son consiste à le traduire sous forme de 0 et de 1.

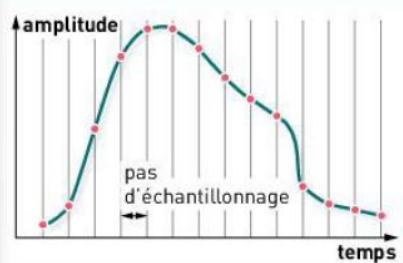


Fig. 2 : L'échantillonnage ne retient que certaines valeurs du signal analogique.

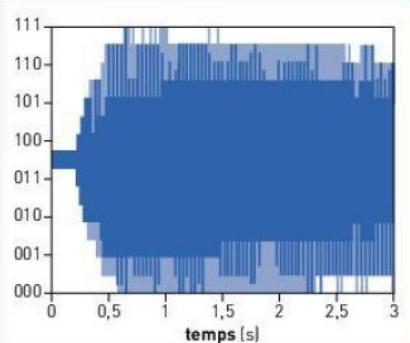


Fig. 3: Signal quantifié à 3 bits.

2 Compression d'un fichier son

Nécessité

L'information est aujourd'hui essentiellement stockée et diffusée sous forme numérique. La place non infinie de **stockage** de toutes les données produites (Fig. 4) et la limitation de la **transmission** conduisent à une nécessaire **compression** des données.



Fig. 4 : Le stockage des données est exponentiel : il est un enjeu pour le numérique.

Principe

La compression consiste à réduire la taille d'un fichier numérique.

Il existe deux types de compression :

- la compression sans perte d'information, les données se retrouvent à l'identique après décompression ;
- la compression avec perte d'information, elle élimine les informations sonores dont les oreilles sont peu sensibles.

Taux de 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.

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

← nombre de bits après compression
← nombre de bits avant compression



Fig. 5 : La compression d'un fichier facilite son écoute en mobilité.

Qualité d'un fichier compressé

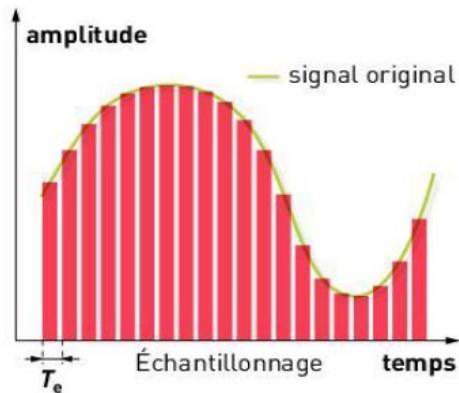
Plus un fichier est compressé, plus il est aisément stocké et transmis mais moins il sera de **qualité**. Il y a donc un compromis à faire. L'exigence en qualité d'un son ne sera pas la même si l'enregistrement est écouté sur une tour ou avec son smartphone (Fig. 5).

On évitera de compresser un fichier son à un taux de compression supérieur à 90 % pour l'écouter sur une chaîne hi-fi.

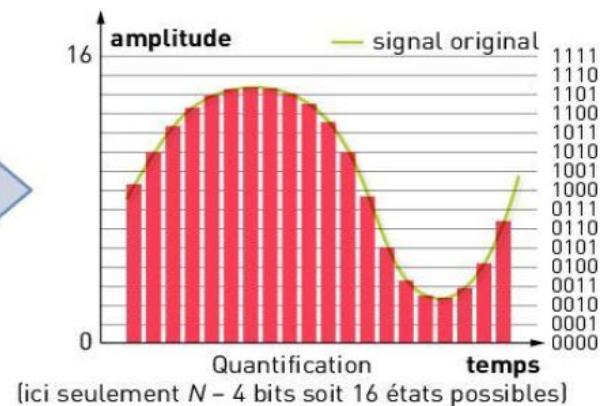
Le vocabulaire à retenir

- **Compression** : réduction de la taille du fichier par la diminution des données.
- **Débit (D)** : nombre de valeurs transmises (exprimé en bits par unité de temps).
- **Échantillonnage** : découpage du signal analogique.
- **Numériser** : retranscrire une information avec des 0 et des 1.
- **Qualité** : fidélité au signal initial.
- **Quantification** : représentation du signal par un nombre fini de valeurs.
- **Signal analogique** : signal constitué d'un nombre infini de valeurs.
- **Signal numérique** : signal constitué d'un nombre fini de valeurs.
- **Stockage** : enregistrement des données sur un support (disque dur, CD, etc.).
- **Taille d'un fichier** : nombre de valeurs (exprimé en bits) qui ont été nécessaires à la numérisation du son.

1 Numérisation du son



$$f_e > 2 \times f$$



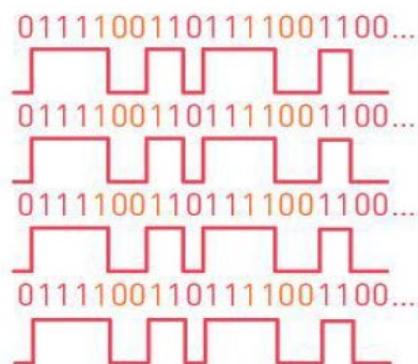
2^N valeurs possibles

Pour visualiser



Convertisseur analogique-numérique

Une animation pour comprendre la conversion d'un signal sonore en signal numérique.



44,1 kHz
16 bits stéréo

$$44\,100 \times 16 \times 2 = 1,4 \text{ Mb} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$44\,100 \times 2 \times 2 = 180 \text{ ko} \cdot \text{s}^{-1}$$

1,5 heure de musique
8 Gb

1,5 heure de musique
1 Go

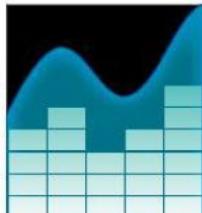
2 Compression d'un fichier son



1,4 Mb · s⁻¹
180 ko · s⁻¹



120 kb · s⁻¹
15 ko · s⁻¹



taux de compression (sans unité ou en %)

$$\tau = 1 - \frac{N_f}{N_i}$$

nombre de bits après compression
nombre de bits avant compression

2 Questions à choix multiples

Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses.

	1	2	3
A - L'échantillonnage consiste à :	représenter le signal sonore par un nombre fini de valeurs possibles.	traiter les valeurs du signal sonore à intervalle de temps fixe.	diminuer la taille du fichier son.
B - Une fréquence d'échantillonnage adaptée :	peut être de 44,1 kHz pour de la musique.	doit être la même que celle du son qu'on veut numériser.	doit être le double que celle du son qu'on veut numériser.
C - La quantification consiste à :	représenter le signal sonore par un nombre fini de valeurs possibles.	traiter les valeurs du signal sonore à intervalle de temps fixe.	diminuer la taille du fichier son.
D - La taille d'un fichier s'exprime en :	octet.	bit.	Hz.
E - Pour une qualité CD, 1 410 kb/s représente :	$350 \text{ ko} \cdot \text{s}^{-1}$.	le débit nécessaire pour lire le fichier.	la taille du fichier pour 1 s de musique.
F - La compression des fichiers numériques est un enjeu pour :	la qualité de l'information.	la transmission de l'information.	le stockage des informations.
G - Un fichier compressé :	est de moins bonne qualité.	est de taille plus petite.	peut être transmis ou stocké plus facilement.
H - Le taux de compression :	est le rapport de la taille du fichier après compression sur celui du fichier après compression.	s'exprime en pourcentage.	s'exprime sans unité.

3 Connaître des ordres de grandeurs

On souhaite procéder à un enregistrement numérique de son en choisissant la fréquence d'échantillonnage la plus adaptée. Associer pour chaque situation la fréquence d'échantillonnage adaptée.

Situations :

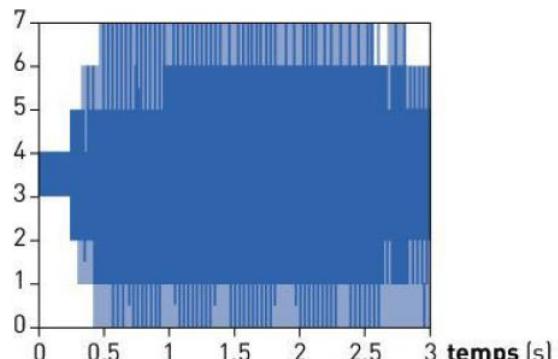
1. Musique pour diffusion sur une tour ou sur une chaîne hi-fi.
2. Conférencier qui s'exprime sur un sujet (domaine de 300 Hz à 3 kHz).
3. Musique pour écoute sur smartphone.
4. Une sonnerie à 440 Hz.

Fréquences d'échantillonnage :

- a. 1 kHz.
- b. 8 kHz.
- c. 30 kHz.
- d. 44,1 kHz.

4 Appliquer une relation

On considère le signal numérique suivant. Il représente un enregistrement sonore qui a été numérisé.



1. Dire combien de valeurs sont utilisées pour représenter le signal numérique suivant.
2. En déduire le nombre de bits sur lequel le signal a été numérisé.

5 Compression d'un fichier son



Afin de pouvoir transférer un morceau musical de **5 min** sur son smartphone, on souhaite compresser le fichier son correspondant. Initialement le fichier est de qualité CD (**44,1 kHz, 16 bits, stéréo**). On choisit de convertir ce fichier au format MP3. Cette conversion permet de diviser la taille du fichier par **12**.

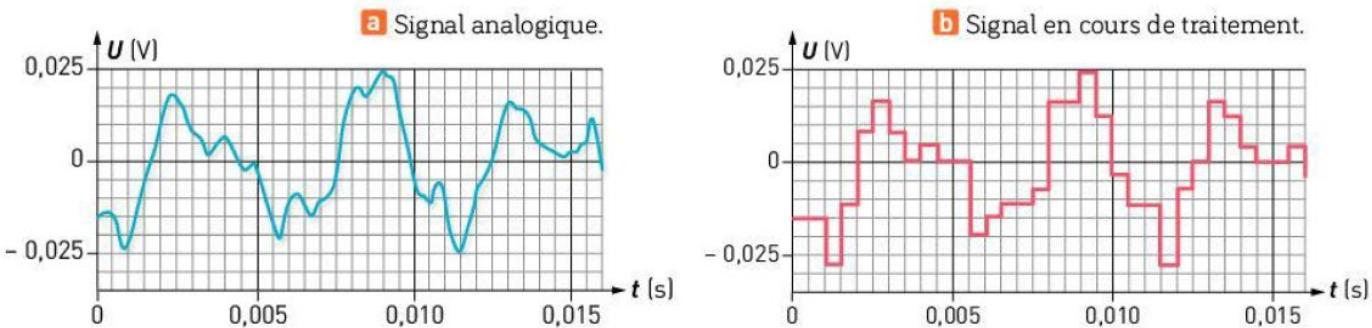
les clés de l'énoncé

- La durée de l'enregistrement du son a un impact sur la **taille du fichier**.
- La fréquence d'échantillonnage, le nombre de bits et le mode d'enregistrement (mono/stéréo) impactent la **taille du fichier**.
- Le fait que la taille du fichier est divisé par 12 nous renseigne sur la taille relative des fichiers son.

- Donner l'avantage et l'inconvénient de cette compression.
- a. Déterminer la taille du fichier son initial.
b. En déduire la taille du fichier son après compression.
- Déterminer le taux de compression.

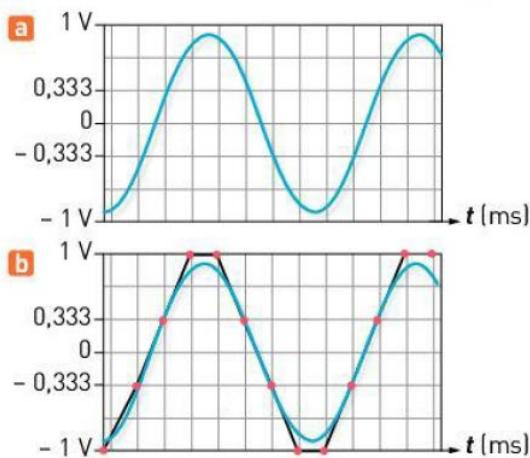
8 Processus de traitement d'un signal sonore

Les graphiques ci-dessous illustrent le début d'un processus de traitement d'un signal sonore :



- Donner le nom du processus en cours et expliquer les deux étapes qui le constituent.
- À l'aide des graphiques donnés, calculer la fréquence d'échantillonnage f_e et estimer la valeur du pas p de la quantification.
- Si la tension peut aller de -1 V à $+1 \text{ V}$, peut-on envisager un codage sur 8 ou sur 16 bits ?

9 Quantification et échantillonnage



On décide de numériser un son continu afin d'en faire une alarme pour un smartphone. Le signal sonore est visible sous sa forme analogique (a). Il est numérisé à l'aide d'un logiciel de traitement du son (b). L'axe des abscisses a pour échelle $0,80 \text{ ms} \cdot \text{div}^{-1}$.

- Déterminer la fréquence du signal sonore analogique.
- En déduire une fréquence d'échantillonnage adaptée.
- Quelle fréquence d'échantillonnage est finalement retenue ?
Est-elle adaptée ?
- Avec combien de bits le signal a-t-il été quantifié ?
Pour chaque valeur possible, donner son écriture en « 0 » et en « 1 ».
- L'enregistrement numérique fera une minute au total. Quelle sera alors la taille du fichier son ?

10 Conversion analogique-numérique

Pour traiter un son à l'aide d'un ordinateur, il faut convertir le signal analogique obtenu à la sortie d'un micro en signal numérique : c'est le rôle d'un convertisseur analogique-numérique (CAN). On peut décomposer la conversion en deux étapes : l'échantillonnage et la numérisation. Dans la pratique, ces deux étapes se font simultanément.

- 1. a.** Que signifie « échantillonner » un signal analogique ?

b. Combien de valeurs peut prendre un échantillon numérisé sur 8 bits ?

2. Dans le cas d'un format CD audio, la numérisation se fait sur 2×16 bits (stéréo) avec une fréquence d'échantillonnage de 44,1 Hz. Quelle est la taille du fichier son, en Mo, pour une minute de musique non compressée ?

3. a. Qu'est-ce que la compression d'un fichier son ? Expliquer son principe.

b. Si on diminue la taille de fichier par 2, quel est le taux de compression ?

Prépa
BAC

CONTRÔLE CONTINU

12 La norme Hi-Res

Dans un descriptif d'un site de vente en ligne, on peut lire une présentation de la norme Hi-Res : « La norme Hi-Res offre une restitution parfaite du son. C'est un format qualitatif sans perte et sans compression. Si vous êtes mélomane et prêt à réduire le nombre de morceaux musicaux sur votre lecteur pour bénéficier de la musique à son maximum alors vous devez impérativement opter pour la norme Hi-Res. Le fichier Hi-Res reproduit toute la dynamique d'un morceau en laissant transparaître la différence de niveau entre les sons les plus forts et les sons les plus faibles. Le format audio utilisé couvre des fréquences sonores plus larges et vous restitue ainsi plus de détails et de profondeur. Une expérience plus réaliste que jamais. Vous retrouverez ainsi vos morceaux musicaux tels qu'ils ont été enregistrés en studio. »

- 1. a.** Quelles différences existe-t-il entre la qualité CD audio et la qualité Hi-Res audio ?
b. Donner un avantage et un inconvénient du format Hi-Res.
c. Proposer une critique quant à la fréquence d'échantillonnage retenue pour le format Hi-Res.
2. Le format Hi-Res est présenté comme un format non compressé.
a. Qu'est-ce qu'un format compressé ?
b. Comment peut-on compresser un fichier son ?

c. Quels sont les avantages et les inconvénients d'un fichier son compressé ?

3. Le format MP3 est un format compressé qui permet de réduire jusqu'à 12 fois la taille d'un fichier en qualité CD audio. Pour les 3 formats évoqués (CD audio, Hi-Res audio et MP3) :

- a.** Déterminer la taille d'un fichier audio pour un morceau musical de 5 min.
b. En déduire le nombre de morceaux musicaux que l'on peut stocker dans un smartphone offrant 8 Go d'espace disponible pour des fichiers son.



Données : Qualité CD audio :
16 bits, 44,1 Hz / Qualité Hi-Res
audio : 24 bits, 96 Hz.