

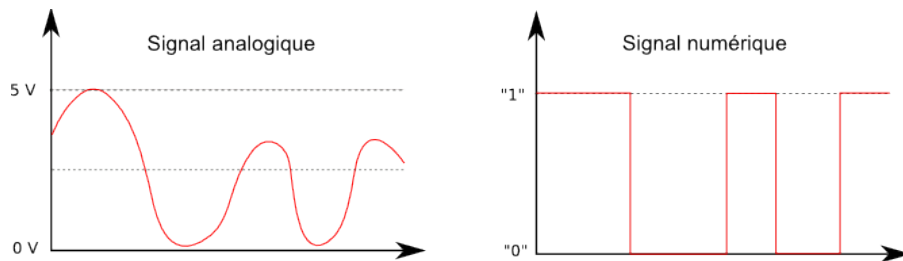
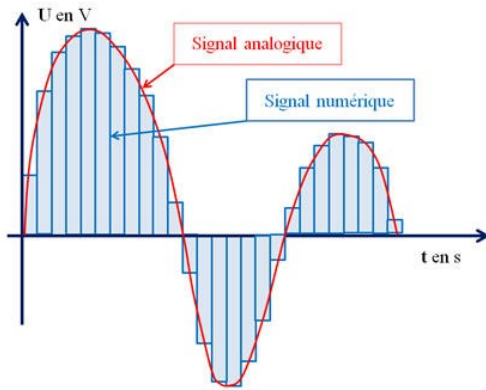
# Le son une information à coder – Fiche de cours

## 1. Numériser un son

### a. Signal analogique / signal numérique

Signal analogique : signal continu au cours du temps

Signal numérique : signal représenté par un nombre fini de valeurs discrètes au cours du temps



### b. Code binaire

Un bit (de l'anglais binary digit) est une information ; il s'agit d'un chiffre binaire (0 ou 1).

On définit un multiple du bit : l'octet (8 bits)

Pour un codage sur 8 bits (un octet), il y a  $2^8=256$  codes différents :

Code binaire								Code décimal
0	0	0	0	0	0	0	0	0
.	.	.	.	.	.	.	.	...
1	1	1	1	1	1	1	1	255

Pour un codage sur  $n$  bits il y a  $2^n$  codes différents

#### Préfixes SI

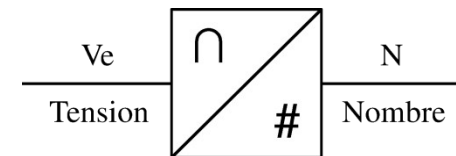
Nom	Symbole	Valeur
kilooctet	ko	$10^3$
mégaoctet	Mo	$10^6$
gigaoctet	Go	$10^9$
téraoctet	To	$10^{12}$

#### Préfixes binaires

Nom	Symbole	Valeur
kibioctet	kio	$2^{10}$
mébioctet	Mio	$2^{20}$
gibioctet	Gio	$2^{30}$
tébioctet	Tio	$2^{40}$

### c. Conversion analogique / numérique

Le signal analogique peut être numérisé avec un convertisseur analogique numérique (CAN).



La conversion analogique numérique comprend 3 étapes :

- échantillonnage : prélever des échantillons de signal analogique à intervalle de temps régulier
- quantification : associer les échantillons analogiques à une valeur numérique
- codage : regrouper et transformer les échantillons quantifiés (en binaire sous forme d'octets ou de multiples ou avec un code spécifique)

- Résolution du CAN

La résolution d'un CAN est le nombre de bits avec lequel est codé un signal analogique

- « pas p » du convertisseur

Le « pas p » d'un convertisseur analogique numérique de n bits est défini par :

$$p = \frac{\text{plage}}{2^n} \quad \text{unité en V}$$

**d. Notion de débit binaire**

Le débit binaire mesure la quantité de données numériques transmises par unité de temps.

Le débit est défini par :

$$\text{débit} = \frac{\text{nombre de bit}}{\Delta t} \quad \text{unité bits} \cdot \text{s}^{-1}$$

## **2. Taille des fichiers et fidélité du signal**

**a. Taille d'un fichier numérique**

$\text{taille}(\text{bits}) = \text{fréquence} \times \text{résolution} \times \text{durée de la séquence} \times \text{nombre voies}$

$\text{taille}(\text{bits}) = \text{débit} \times \text{durée de la séquence}$

**b. Critère de Shannon et échantillonnage**

Pour numériser un signal, la fréquence d'échantillonnage doit être supérieure au double de la fréquence maximale présente dans ce signal :

$$f_e \geq 2 \cdot f_{max}$$

La qualité du signal restitué sera d'autant plus importante que la fréquence d'échantillonnage sera élevée ; cependant la taille du fichier augmentera

## **3. La compression**

**a. Techniques de compression**

Il existe plusieurs techniques de compression (diminution du poids du fichier audio) :

- non destructive (exemple : monkey audio)
- destructive avec perte d'information (mpeg, MP3, wma)

**b. Taux de compression**

On définit le taux de compression par :

$$\tau = \frac{\text{taille du fichier compressé}}{\text{taille du fichier initial}}$$

# Le son une information à coder – Exercices – Devoirs

## Exercice 1 corrigé disponible

Cet exercice s'intéresse à différents aspects de la numérisation d'un son et du stockage du fichier obtenu.

### Partie A. Échantillonnage et quantification

1- Une plateforme de service de musique en ligne propose de la musique en qualité « 16-Bit/44.1 kHz ». Expliquer ce que cela signifie.

2- Pour chacune des propositions suivantes, recopier sur la copie la réponse qui convient :

2-a- Pour échantillonner à 20 000 Hz un signal audio analogique, quelle est la durée de l'intervalle de temps entre deux mesures de la tension du signal audio ?

$5 \times 10^{-5} \text{ s}$  ;  $5 \times 10^{-4} \text{ s}$  ;  $5 \times 10^{-3} \text{ s}$  ;  $2 \times 10^{-4} \text{ s}$

2-b- Lorsqu'on quantifie un échantillon sur 24 bits, combien de niveaux de tension différents a-t-on la possibilité de coder ?

$2 \times 24 = 48$  ;  $24^2 = 576$  ;  $2^{24} = 16\,777\,216$  ; 24

2-c- Dans cette question, on s'appuie sur le document 1 fourni en annexe. Parmi les choix ci-dessous, quelle est la fréquence d'échantillonnage choisie pour le signal audio représenté ?

2 000 Hz ; 12 500 Hz ; 26 000 Hz ; 44 100 Hz

3- Cette question s'appuie également sur le document 1 fourni en annexe. On procède à la quantification, par codage sur 3 bits, des valeurs de la tension obtenues après l'échantillonnage du signal audio. Après quantification, la tension (exprimée en volt), peut prendre pour valeurs les 8 nombres entiers relatifs compris entre -3 et +4, la valeur quantifiée d'une tension étant l'entier le plus proche de cette tension.

Sur le document 1, à rendre avec la copie, représenter la courbe des tensions après échantillonnage et quantification

### Partie B. Taille de fichier

La taille  $T$  (en bit) d'un fichier audio numérique s'exprime en fonction de la fréquence d'échantillonnage  $f_e$  (en Hertz), du nombre  $n$  de bits utilisés pour la quantification, de la durée  $\Delta t$  de l'enregistrement et du nombre  $k$  de voies d'enregistrement (une en mono, deux en stéréo) selon la relation :

$$T = f_e \times n \times \Delta t \times k$$

Dans un studio d'enregistrement, on enregistre un morceau de musique en stéréo en choisissant un encodage sur 24 bits et une fréquence d'échantillonnage de 192 kHz.

4- Vérifier que l'espace de stockage nécessaire pour enregistrer une seconde de musique avec cette qualité est de 1,152 Mo.

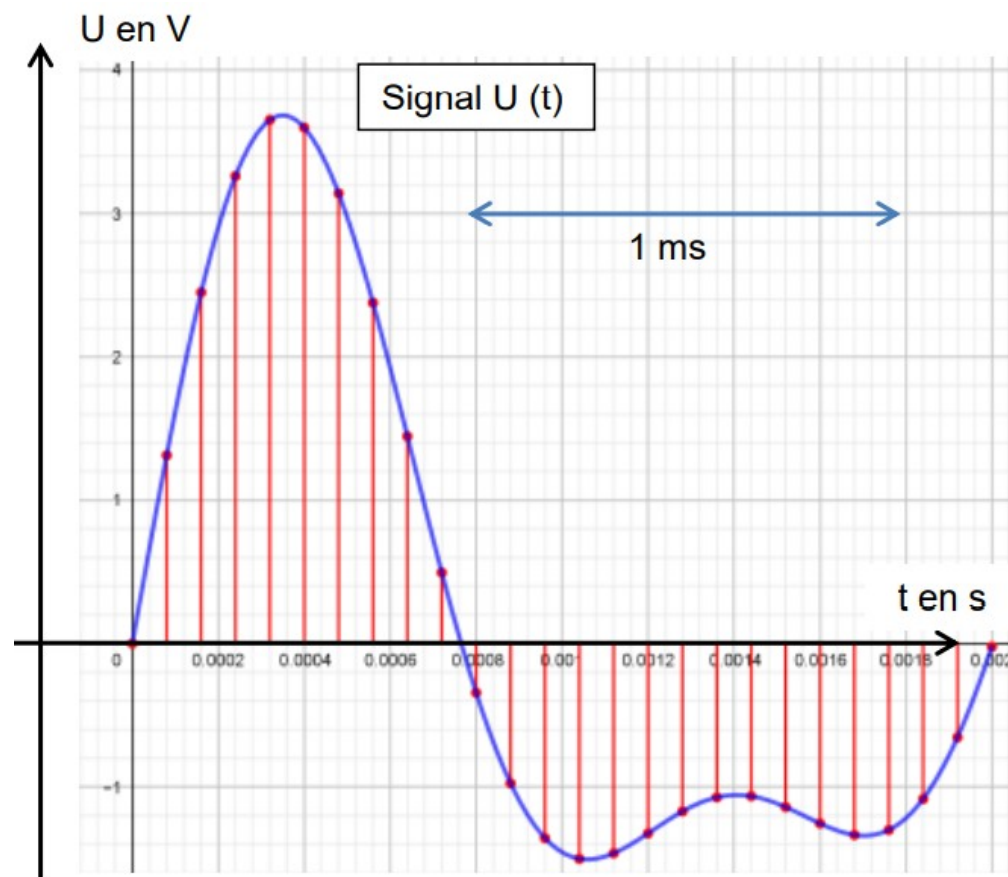
5- Un espace de stockage de 200 Mo est-il suffisant pour enregistrer un fichier contenant un morceau de musique de cinq minutes dans cette qualité ?

6- Le dispositif d'encodage et de compression FLAC (Free Lossless Audio Codec) permet de compresser le fichier obtenu à la question précédente avec un taux de compression de 45 %. Avec 200 Mo de stockage, dispose-t-on de suffisamment d'espace pour enregistrer ce fichier compressé ?

On rappelle que le taux de compression est le quotient de la taille du fichier compressé par la taille du fichier initial.

### Document 1 : Signal audio en fonction du temps

En ordonnée, la tension  $U$  est exprimée en volt, en abscisse le temps  $t$  est exprimé en seconde. Lors de l'échantillonnage du signal, les mesures sont réalisées aux instants repérés par des lignes verticales.



## Exercice 2 corrigé disponible

L'industrie de la musique a connu au cours des dernières décennies de nombreuses évolutions (disque vinyle, CD, MP3, plateformes de musique en ligne). Ces évolutions sont dues au développement de la numérisation du son qui permet un stockage, une transmission et un accès plus aisés.

L'objectif de l'exercice est de comprendre l'influence de certains paramètres sur la qualité du son numérisé.

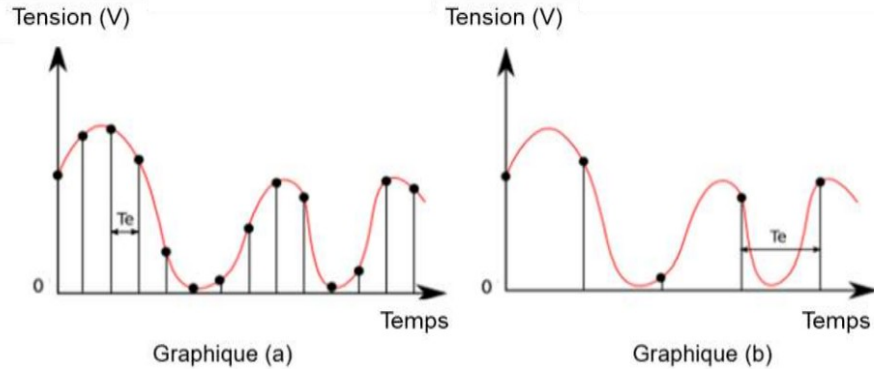
### Document 1. Discrétisation du signal analogique d'un même son.

Pour numériser un son, on procède à la discrétisation du signal analogique sonore (échantillonnage et quantification), comme l'illustrent les graphiques ci-après.

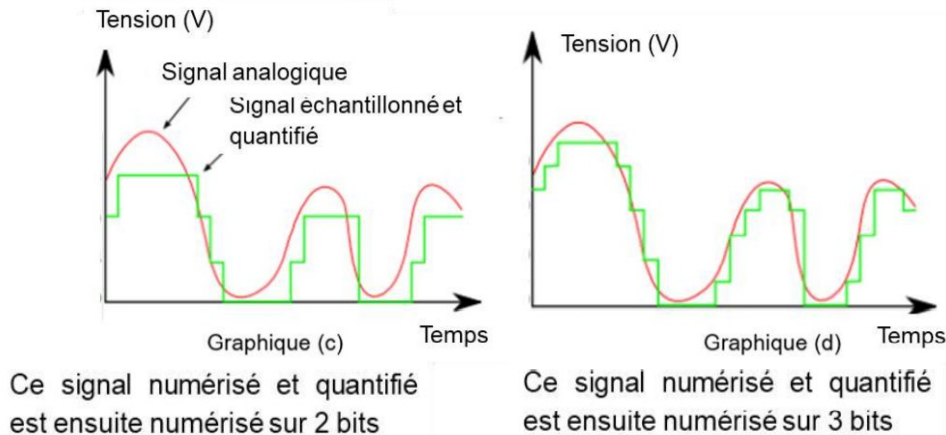
Les échelles de tension et de temps sont les mêmes pour tous les graphiques.

On note  $T_e$ , la période d'échantillonnage.

#### Influence de l'échantillonnage



#### Influence de la quantification



### Document 2. Caractéristiques de numérisation de signaux audio suivant l'application.

	Plage des fréquences transmises	Fréquence d'échantillonnage	Nombre de bits pour la quantification	Applications
Qualité téléphonie	300-3400 Hz	8 kHz	8	Téléphonie
Qualité bande élargie	50-7000 Hz	16 kHz	8	Audioconférence
Haute qualité	50-15000 Hz	32 kHz	14	Radiodiffusion
Qualité « Hi-Fi »	20-20000 Hz	44,1 kHz	16	CD audio

D'après *Des données à l'information* de Florent Chavand (ISTE éditions)

### Document 3. Taille d'un fichier numérique et taux de compression

La taille  $T$  d'un fichier audio numérique (en bit) peut être calculée à partir de la fréquence d'échantillonnage  $f_e$  (en Hertz), du nombre  $n$  de bits utilisés pour la quantification, de la durée  $\Delta t$  (en secondes) de l'enregistrement et du nombre  $k$  de voies ou canaux utilisés (1 en mono, 2 en stéréo...), à l'aide de la formule suivante :

$$T = f_e \times n \times \Delta t \times k$$

Le taux de compression est ici défini comme le rapport de la taille du fichier compressé sur la taille du fichier original.

- À partir de l'exploitation des graphiques du document 1, recopier la ou les bonnes réponses pour chaque situation ci-dessous.
  - La fréquence d'échantillonnage est plus élevée dans le cas du graphique (a) que dans le cas du graphique (b).
  - Le son numérisé est plus fidèle au signal analogique dans la situation correspondant au graphique (b) que dans celle correspondant au graphique (a).
  - Le fichier numérique correspondant à la situation du graphique (c) a une plus petite taille que le cas du graphique (d).
  - Le son numérisé est plus fidèle au signal analogique dans la situation correspondant au graphique (c) que dans celle correspondant au graphique (d).
- À partir de vos connaissances, indiquer la condition que doit vérifier la fréquence d'échantillonnage si on veut numériser fidèlement un son analogique sinusoïdal de fréquence  $f$ .
- Justifier, à partir des informations du document 2, que le choix de la fréquence d'échantillonnage permet une numérisation fidèle des sons sur un CD audio.
- À partir de vos connaissances, donner l'intervalle des fréquences des sons audibles par les humains. Indiquer, en justifiant, si tous les sons correspondant à ces fréquences sont transmis lors d'une audioconférence numérisée.

5. Un morceau de musique de 4 minutes 27 secondes est enregistré en stéréo sur un CD audio. Justifier par un calcul que la taille du fichier enregistré est de 47 Mo.
6. Le format MP3 est un format de compression audio avec perte d'informations. Si on admet que le taux de compression du format CD au format MP3 à 128 kbits/s est égal à 9%, calculer la taille du fichier MP3 à 128 kbits/s correspondant à l'enregistrement précédent. On rappelle que le taux de compression est défini comme le rapport de la taille du fichier compressé sur la taille du fichier initial.
7. Comparer les inconvénients et avantages des formats CD audio et MP3

### **Exercice 3** corrigé disponible

Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques de deux formats de stockage du son : format CD audio et mp3 à 16kHz.

	CD	mp3
Fréquence d'échantillonnage	44,1 kHz	16 kHz
Nombre de bits pour le codage	16	8
Nombre de voies	2 (son stéréo)	1 (son mono)

La taille d'un fichier, en octets, est donnée par la formule suivante :

$$N = f \times \frac{Q}{8} \times \Delta t \times n$$

avec :

$N$  : taille du fichier (en octet)

$f$  : fréquence d'échantillonnage (en Hz)

$Q$  : nombre de bits de codage

$\Delta t$  : durée de l'enregistrement (en s)

$n$  : nombre de voies

- 4- Calculer la taille d'un fichier correspondant au stockage sur un CD audio d'un morceau de musique d'une durée de trente minutes.
- 5- Calculer le taux de la compression du format CD au format mp3 à 16kHz, défini comme le rapport de la taille du fichier compressé par celle du fichier initial. Le résultat sera exprimé en pourcentage.
- 6- Expliquer pourquoi on dit que le format mp3 est un format de compression « avec pertes ». On précisera notamment ce qui est perdu pour un auditeur.