

ACTIVITE :

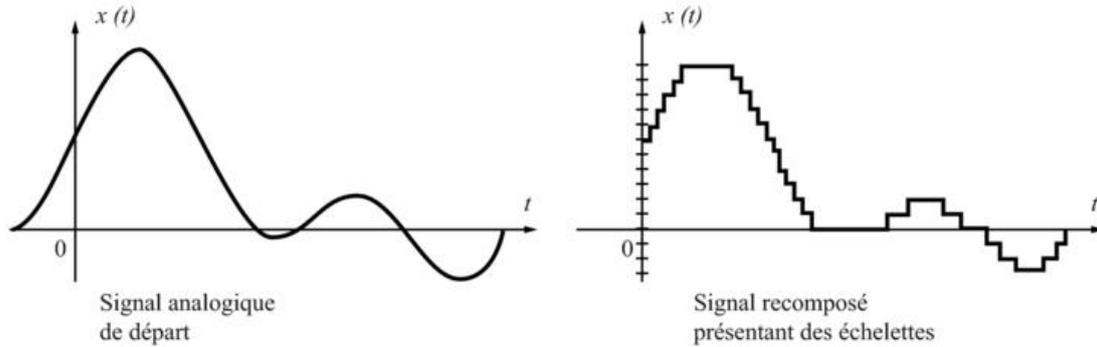
SON NUMERIQUE

Contexte de l'étude :

A chaque fois que l'on écoute de la musique à partir d'un ordinateur ou d'un smartphone, c'est qu'elle a été au préalable numérisée, c'est-à-dire que le signal sonore a été transformé en une suite de nombres.

I. Numériser un son

L'objectif de la numérisation est de transformer un signal analogique c'est-à-dire continu au cours du temps et contenant donc une infinité d'amplitudes, en un signal numérique contenant une quantité finie de valeurs.

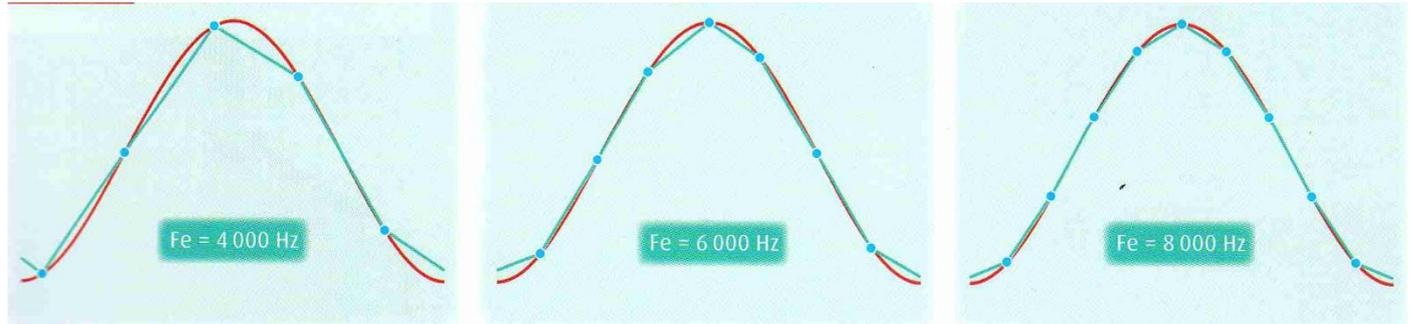


Deux opérations sont nécessaires pour cela, nous allons donc les étudier par la suite.

Document 1 : Principe d'échantillonnage

L'échantillonnage consiste à prélever des valeurs du signal analogique, nommées échantillons, à intervalle réguliers (noté T_e). La fréquence d'échantillonnage est le nombre d'échantillons enregistrés par seconde. $f_e = \frac{1}{T_e}$.

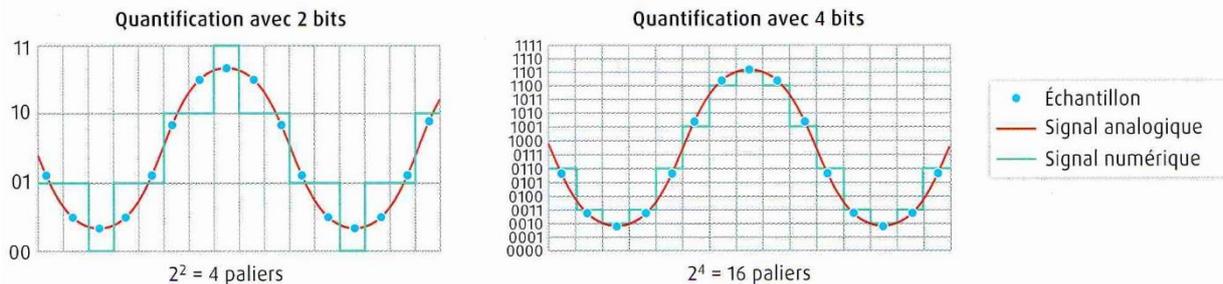
Document 2 : Echantillonnage à différentes fréquences



Le mathématicien Claude Elwood Shannon (1916-2001) a démontré qu'un signal était correctement numérisé si sa fréquence d'échantillonnage f_e est telle que $f_e > 2f_{\max\text{signal}}$. Si la fréquence est trop petite, le son est sous échantillonné et à l'oreille on pourra percevoir une différence.

Document 3 : La quantification

Après avoir échantillonné le signal, il faut mesurer la valeur de chaque échantillon et lui attribuer une valeur entière en base binaire. C'est l'étape de quantification. Puis on attribue à chaque échantillon le palier dont il se rapproche le plus.



II. Taille et stockage d'un son numérique

Document 4 : Point d'histoire

Le CD-audio, abréviation de « compact disc », a été mis sur le marché en 1982 par Philips et Sony Corporation. Ce disque de 12 cm de diamètre est le premier support audio numérique de l'histoire. Pourquoi 12 cm ? La légende veut que Norio Oga, le président de Sony de l'époque, ait exigé que sa symphonie préférée, la Neuvième de Beethoven (74 minutes dans sa version la plus lente), puisse être enregistrée sur un seul CD. Il était prévu au départ, comme on le voit sur la publicité, que le CD ne puisse stocker que 60 minutes de musique. Contrairement au disque vinyle et à la cassette audio qui sont lus par lecture mécanique, le CD est lu par lecture optique (faisceau laser), limitant ainsi son usure.

Document 5 : Débit binaire

Le débit binaire, exprimé en bits/s représente la quantité de données échangée par unité de temps. Il dépend de la fréquence d'échantillonnage f_e du nombre de bits N utilisés pour la quantification, et du nombre de canaux c .

$$\text{Débit binaire} = f_e \times N \times c$$

Les canaux sont les signaux sonores qui coexistent dans le son. En mono, il y a un seul signal, en stéréo il y a deux signaux (un pour chaque oreille), en dolby sur-round 5.1 il y en a 6, et il peut même y en avoir plus.

Document 6 : Taille d'un fichier audio

On calcule la taille d'un fichier audio son grâce à la formule suivante : **Taille (bits) = Débit binaire (bits/s) X Durée(s)**
Elle est généralement exprimée, non pas en bits, mais en octets (0). Un octet correspond à 8 bits donc :

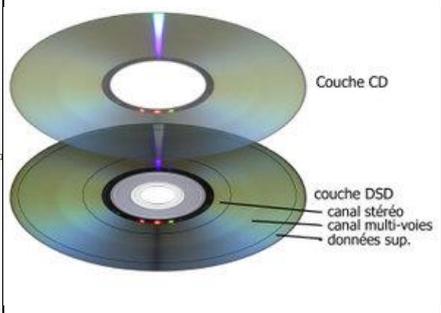
$$\text{Taille en octets} = \frac{\text{Taille en bits}}{8}$$

Les facteurs multiplicatifs (kilo, méga, giga etc.) permettent d'écrire la taille de façon plus lisible.

Par exemple, 1 000000 octets = 1 Mo (méga octet).

Document 7 : Comparatifs pour différents supports audios

En 1999, apparaît le super audio CD (SA-CD), un disque de même diamètre que le CD-audio mais pouvant stocker plus de données. Comme sa fréquence d'échantillonnage est très grande, et ses échantillons donc très rapprochés les uns des autres, sa quantification peut se faire sur un seul bit. Ainsi, un bit 1 signifie que le signal augmente, et un bit 0 signifie que le signal diminue. Le SA-CD n'atteint pas le succès commercial attendu, en grande partie à cause de l'apparition des plateformes de musique sur Internet.

			
Durée stockée	40 à 60 minutes	74 minutes	256 minutes
Fréquence échantillonnage	NA (Analogique)	44100 Hz	2822400 Hz
Nombre de bits de quantification	NA (Analogique)	16	1
Débit binaire	NA (Analogique)	1411200 bits/s	5 644 800 blts/s
Nombre de canaux	1 ou 2	2	2

3. Calculez la taille, en bits puis en Mo, d'une chanson de 3 minutes sur un CD et sur un SA-CD, et en déduire quel support permet une meilleure qualité audio.

III. Réduire la taille d'un fichier son : la compression

1. Pourquoi est-il devenu nécessaire de compresser les fichiers numériques ?

2. Vérifiez qu'il est possible de reconstruire sur la figure du document 9, le signal original à partir de signal compressé.

3. Déterminez les différences entre la compression sans perte et avec pertes.

4. Montrez qu'on chanson de 3min, enregistrée en stéréo et échantillonnée à une fréquence de 44,1kHz avec une quantification de 16 bits représente un fichier audio d'environ 32Mo. Combien pourrait-on en stocker sur une micro carte SD de 128Go. Même question si on compressé le fichier au format mp3 avec un taux de compression 3 : 1.

Questions

I. Numériser un son

1. Déterminez la fréquence d'échantillonnage permettant de numériser le signal sonore du document 2. Déduisez-en le lien entre la fréquence d'échantillonnage et la qualité de la numérisation.

Pour numériser le plus fidèlement, on doit choisir la fréquence d'échantillonnage de 8000HZ. Plus la fréquence d'échantillonnage est élevée, meilleure est la numérisation.

2. Déterminez le nombre de bits de quantification permettant de numériser le signal sonore du document 3 le plus fidèlement possible. Déduisez-en le lien entre le nombre de bits de quantification et la qualité de la numérisation

Pour obtenir la meilleure numérisation, il faut choisir une numérisation sur 8 bits. Plus le nombre de bits de quantification est élevé, meilleure est la numérisation.

II. Taille et stockage d'un son numérique

1. Déterminer l'influence des paramètres de numérisation sur la taille d'un fichier puis en déduire le lien entre taille et qualité audio d'un fichier.

Plus la fréquence d'échantillonnage est grande et plus le débit binaire est grand. De même on voit que plus le nombre de bits utilisé pour la quantification est grand et plus le débit binaire est grand. La taille d'un fichier audio est directement proportionnelle au débit binaire donc plus la fréquence d'échantillonnage est grande et plus la quantification est réalisée sur un grand nombre de bits et plus le fichier sera volumineux. Ainsi, plus un fichier est qualitatif et plus il est volumineux.

2. Identifiez deux avantages du CD par rapport au vinyle

Le CD audio est numérique, il va donc reproduire le son à l'identique à chaque lecture, ce qui n'est pas le cas d'un vinyle soumis à l'usure ou aux poussières par exemple. Il ne s'use pas car il est lu par laser et pas par contact. La durée du son stockée sur un CD est aussi supérieure à celle stockée sur un disque vinyle.

3. Calculez la taille, en bits puis en Mo, d'une chanson de 3 minutes sur un CD et sur un SA-CD, et en déduire quel support permet une meilleure qualité audio.

Tout d'abord pour un CD :

Débit binaire = $f_e \times N \times c = 44\,100 \times 16 \times 2 = 1\,411\,200$ bits/s = 1,4112 Mbits/s

Taille = Débit binaire \times Durée = $1\,411\,200 \times 180 = 254\,016\,000$ bits = 31,752 Mo

Pour un SA-CD :

Débit binaire = $f_e \times N \times c = 2\,822\,400 \times 1 \times 2 = 5\,644\,800$ bits/s = 5,6448 Mbits/s

Taille = Débit binaire \times Durée = $5\,644\,800 \times 180 = 1\,016\,064\,000$ bits = 127,008 Mo

La taille du fichier sur un SA-CD est 4 fois plus grande d'où une qualité supérieure.

III. Réduire la taille d'un fichier son : la compression

1. Pourquoi est-il devenu nécessaire de compresser les fichiers numériques ?

Compresser les fichiers numériques est indispensable pour pouvoir en stocker davantage et les transférer plus facilement

2. Vérifiez qu'il est possible de reconstruire sur la fig. 1 le signal original à partir de signal compressé.

2R, 4B, 2V, R, 3V, 4G, 3R donne : R R B B B V V R V V G G G R R R c'est-à-dire le message initial. C'est le principe de la compression sans pertes, le message compressé est plus court que le message original mais il permet de conserver la totalité de l'information et donc de reproduire à l'identique le message initial. C'est le cas de la compression .flac pour le son ou de la compression .zip.

3. Déterminez les différences entre la compression sans perte et avec pertes.

La compression avec pertes élimine une partie des informations durant la compression pour diminuer la taille du fichier compressé, au contraire de la compression sans pertes qui conserve la totalité de l'information. La compression avec perte permet des taux de compression supérieurs à ceux de la compression sans perte.

4. Montrez qu'une chanson de 3min, enregistrée en stéréo et échantillonnée à une fréquence de 44,1kHz avec une quantification de 16 bits représente un fichier audio d'environ 32Mo. Combien pourrait-on en stocker sur une micro carte SD de 128Go. Même question si on compresse le fichier au format mp3 avec un taux de compression 3 : 1.

L'application de la formule conduit au résultat attendu : $N = 44\,100 \times 16\,800 \times 2 \times (3 \times 60) = 31\,752\,000$ o, soit environ 32 Mo. $128\text{ Go} = 128\,000\text{ Mo}$ $128\,000 / 32 = 4\,000$ morceaux

Le nouveau fichier aurait pour taille 10667 Mo

Chapitre 3 : Le son, une information à coder

1. Restituer ses connaissances (ce que je dois savoir)

- ◆ Savoir que pour numériser un son, on procède à la discrétisation du signal analogique sonore (échantillonnage et quantification)
- ◆ Savoir que plus la fréquence d'échantillonnage est élevée et la quantification est fine, plus la numérisation est fidèle, mais plus la taille du fichier audio est grande.
- ◆ Savoir que la reproduction fidèle du signal analogique nécessite une fréquence d'échantillonnage au moins double de celle du son.
- ◆ Savoir que la compression consiste à diminuer la taille d'un fichier afin de faciliter son stockage et sa transmission.
- ◆ Savoir que les techniques de compression spécifiques au son, dites « avec perte d'information », éliminent les informations sonores auxquelles l'oreille est peu sensible.

2. Réaliser (ce que je dois savoir-faire)

- ◆ Justifier le choix des paramètres de numérisation d'un son.
- ◆ Savoir estimer la taille d'un fichier audio.
- ◆ Calculer le taux de compression.
- ◆ Comparer des caractéristiques et des qualités de fichiers audio compressés.

Travail à effectuer:

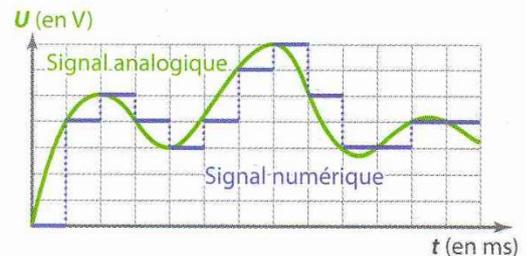
- ◆ 1 p 225
- ◆ 3 p 225
- ◆ 4 p 226
- ◆ 5 p 226

Chapitre 3 : Le son, une information à coder

BILAN

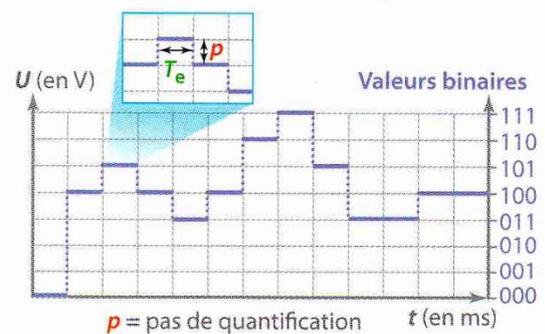
I. Les signaux analogiques et numériques

- ▶ Les signaux sonores produits par la voix ou la musique, par exemple, sont des signaux **continus**, c'est-à-dire **analogiques**.
- ▶ Pour être stockés ou transmis dans un environnement informatisé, ces signaux doivent être numérisés, c'est-à-dire convertis en **signaux numériques**. C'est le rôle du convertisseur analogique-numérique (ou **CAN**).
- ▶ Les signaux numériques sont **discontinus**.



II. Les paramètres de numérisation

- ▶ Une numérisation de bonne qualité doit permettre d'obtenir un signal numérique aussi fidèle que possible au signal analogique initial.
- ▶ Pour cela, les paramètres de numérisation sont à prendre en compte : la **fréquence d'échantillonnage** f_e (en Hz) et la **quantification** Q liée au nombre de bits utilisés. Chaque valeur échantillonnée est quantifiée puis **codée en nombre binaire**.
- ▶ **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 : $f_e > 2 \times f_{\max}$.



$$\text{en s } T_e = \frac{1}{f_e} \text{ en Hz}$$

Le pas de quantification détermine l'écart entre deux valeurs permises.

LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✔ Justifier le choix des paramètres de numérisation d'un son.

III. La compression des données

- ▶ Plus la numérisation est fidèle, plus la taille d'un fichier audio est élevée. Il est donc nécessaire de **compresser** le fichier numérique obtenu pour **diminuer sa taille** et faciliter son **stockage** et sa **transmission**.
- ▶ Le **taux de compression**, noté τ , est une grandeur sans unité, souvent exprimée en pourcentage :

$$\tau = \left(1 - \frac{\text{Taille du fichier compressé}}{\text{Taille du fichier initial}}\right)$$

- ▶ Dans le cas des fichiers audio, la compression « **avec perte d'informations** » élimine les informations sonores auxquelles l'oreille est peu sensible et supprime la répétition des informations redondantes (comme le refrain). Le fichier compressé a donc une taille moindre en affectant plus ou moins la qualité sonore du fichier numérique initial.

LES SAVOIR-FAIRE À MAÎTRISER

- ✔ Estimer la taille d'un fichier audio.
- ✔ Comparer des caractéristiques et des qualités de fichiers audio compressés.

Taille N d'un fichier : grandeur exprimée en octets et se calculant selon la formule :

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

Avec Δt , la taille du fichier (en s) et n le nombre de voies (et prenant la valeur « 1 » si le son est en mono ou « 2 » s'il est en stéréo).

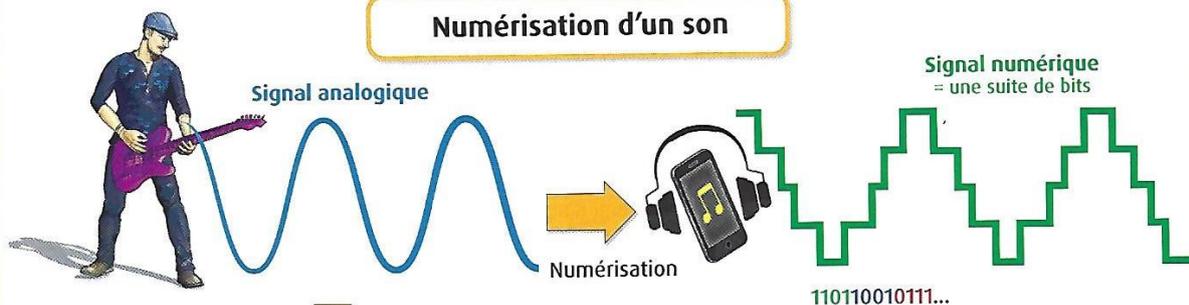
Nom	Type	Taille
01 Angel.mp3	Audio MP3	8,3 Mo
01 Angel.wav	Audio Waveform	67,8 Mo
02 Space maker.mp3	Audio MP3	7 Mo
03 Lullaby.aac	Audio file	10,2 Mo
04 Honeywav	Audio Waveform	69 Mo
05 Bird Of Prey.flac	Audio FLAC	6,9 Mo

Le format de compression le plus courant des fichiers sonores est le format MP3.

Remarque : On note aussi le taux de compression : $T = 1 : Q$ avec $Q = \frac{\text{Taille du fichier initial}}{\text{Taille du fichier final}}$

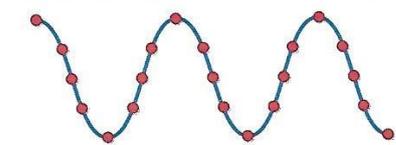
l'essentiel par l'image

Numérisation d'un son

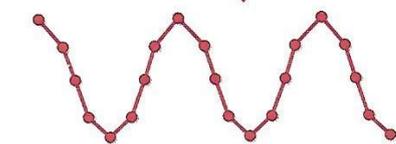


Échantillonnage

● = échantillons pris à une fréquence f_e



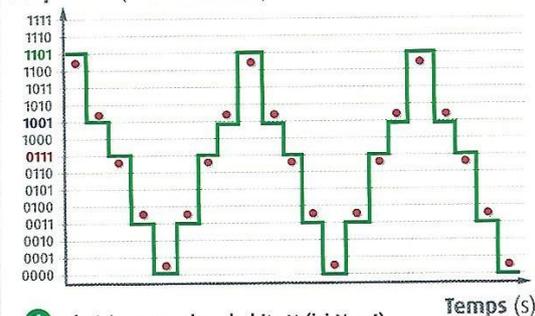
Il faut $f_e > 2f_{max}$



Signal échantillonné

Quantification

Amplitude (unité arbitraire)



- 1 Choisir un nombre de bits N (ici $N = 4$).
- 2 Associer à chaque échantillon le palier qui se rapproche le plus de sa valeur. Chaque palier est codé sur N bits. Il y a 2^N paliers.

Taille d'un fichier audio



$$\text{Taille (bits)} = f_e \times N \times c \times \text{durée (s)}$$

↖ nombre de canaux

$$\text{Taille (octets)} = \frac{\text{Taille (bits)}}{8}$$

Compression d'un fichier audio

Sans compression



Compression sans perte

Taux de compression ≈ 4 : 1



Compression avec pertes

4,4 : 1 < Taux de compression < 178 : 1



Taille WAV

Qualité WAV

Taille FLAC

Qualité FLAC

Taille MP3

Qualité MP3

Correction des exercices

Exercice 1 p 225 : L'échantillonnage

1. Le signal analogique est le signal continu à l'écran. Sa période T est de 6 ms, sa fréquence est donc

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{6 \times 10^{-3}} = 166 \text{ Hz}$$

2. La fréquence d'échantillonnage est le nombre de mesures effectuées par seconde.

3. À l'aide du document, on compte le nombre de valeurs prélevées au cours des 6 ms. Il y a 24 points.

$$\text{On en déduit : } f_e = \frac{24}{6 \times 10^{-3}} = 4 \times 10^3 \text{ Hz}$$

La fréquence d'échantillonnage est donc de 4 000 Hz.

4. Pour rendre la numérisation plus fidèle, il faut soit augmenter le nombre de valeurs prélevées soit augmenter la fréquence d'échantillonnage.

5. La fréquence proposée est deux fois plus petite, il y aurait donc 2 fois moins de points prélevés, soit 12 points prélevés sur une durée de 6 ms.

Exercice 3 p225 : La compression

1. La compression n'intervient pas sur la fréquence d'échantillonnage, ni sur la quantification.

2. Utilité de compresser un fichier : stockage plus faible sur un ordinateur, échange plus simple de données (clé USB, mail).

3. Quotient de compression = taille initiale / taille finale

Taille non compressée = fréquence d'échantillonnage × quantification × durée en seconde × nombre de voies =
 $44,1 \cdot 10^3 \times 16 \times (3 \times 60) \times 2 = 254 \text{ Mbit} = 31,8 \text{ Mo}$

Quotient de compression : $31,8 / 2 = 16$.

Le taux de compression est donc de 1 pour 16.

Remarque : ce taux de compression élevé peut détériorer sensiblement la qualité audio.

Exercice 4p226 : Utiliser son téléphone portable

Trouvons des arguments scientifiques :

- La fréquence d'échantillonnage doit être au moins deux fois supérieure à la plus grande fréquence du signal pour que le signal soit lisible et fidèle (critère de Shannon).
- La qualité de la numérisation sera d'autant plus grande que la quantification sera grande.

Dans le cas de la téléphonie mobile, la fréquence d'échantillonnage est de 8 kHz (ce qui est faible, mais permet de ne coder qu'une petite quantité de données et donc de faciliter les échanges). Elle sera donc fidèle pour des fréquences jusqu'à 4 kHz car il faut que la fréquence d'échantillonnage soit deux fois supérieure à la fréquence maximale. Cette fréquence sera suffisante pour comprendre un interlocuteur, mais elle est trop faible pour reproduire fidèlement les sons émis par les instruments de musique.

La quantification est également faible : 8 bits, alors qu'elle est, par exemple de 16 bits pour les CD.

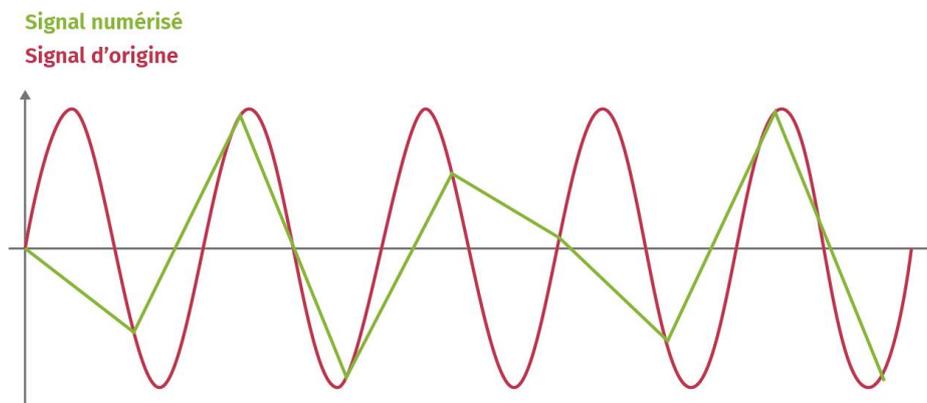
Conclusion : les paramètres de téléphonie mobile (fréquence d'échantillonnage et quantification) ne permettent pas une bonne restitution des sons émis par les instruments de musique.

La qualité du concert était donc peut-être très bonne, mais vous n'avez pas pu partager cet instant musical pleinement avec votre ami. Il peut avoir des regrets de ne pas y être allé !

Exercice 5 p226 : Enregistrer le son d'un piano

1. La fréquence d'échantillonnage doit être au minimum deux fois plus grande que la fréquence du signal. Il faudra donc choisir au moins 8 400 Hz.

2. Si la fréquence d'échantillonnage est trop basse, alors le signal numérisé ne sera pas fidèle au signal du départ.



3. Une fréquence d'échantillonnage de 44,1kHz est plus de 10 fois plus grande que la fréquence initiale : c'est une bonne fréquence d'échantillonnage.

4. On cherche la quantification :

$$\text{Quantification} = \frac{\text{taille du fichier}}{\text{fréquence d'échantillonnage} \times \text{durée en secondes} \times \text{nombre de voies}}$$

Taille du fichier = 3 Mo soit 24 Mbit

$$\text{Quantification} = \frac{24 \cdot 10^6}{44,1 \cdot 10^3 \times 30 \times 2} = 9 \text{ bit}$$

La quantification devra se faire sur 9 bits, c'est à dire $9/8 = 1,125$ octet.

5. Pour réduire la taille du fichier sans modifier le paramétrage des logiciels, il faudra utiliser une technique de compression des données.