

Chapitre 10 : Le son, une information à coder

Sommaire		
Activités	Page(s)	Autoévaluation
Activité documentaire 1: De l'analogique au numérique	1-5	
Activité documentaire 2: L'économie du numérique : des pratiques durables ?	6-7	
Cours	8	

Activité documentaire 1 : De l'analogique au numérique

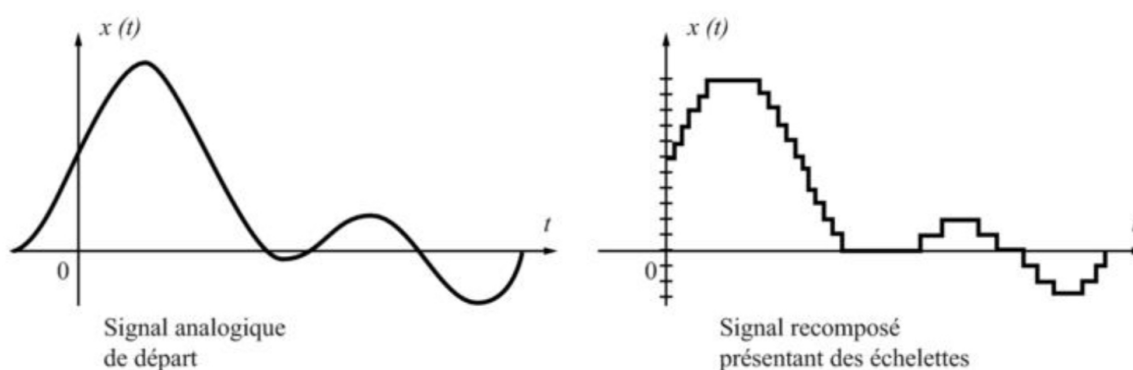
Introduction : A chaque fois que l'on écoute de la musique à partir d'un ordinateur ou d'un smartphone, c'est qu'elle a été au préalable numérisée, c'est-à-dire que le signal sonore a été transformé en une suite de nombres.

Problématique : Comment réaliser la numérisation d'un signal sonore sans perdre en qualité ?

Objectifs : Comprendre que pour numériser un son, on procède à la discrétisation du signal analogique sonore (échantillonnage et quantification). Comprendre 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. Justifier le choix des paramètres de numérisation d'un son. Estimer la taille d'un fichier audio. Comprendre que la compression consiste à diminuer la taille d'un fichier afin de faciliter son stockage et sa transmission, que les techniques de compression spécifiques au son, dites « avec perte d'information », éliminent les informations sonores auxquelles l'oreille est peu sensible. Calculer un taux de compression. Comparer des caractéristiques de fichiers audio compressés.

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.

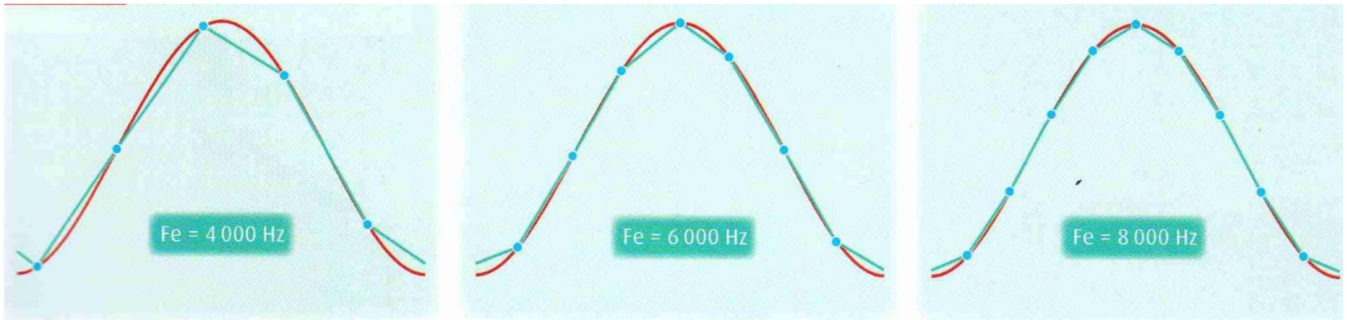


Deux opérations sont nécessaires pour cela, nous allons donc les étudier par la suite.

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. $f_e = \frac{1}{T_e}$

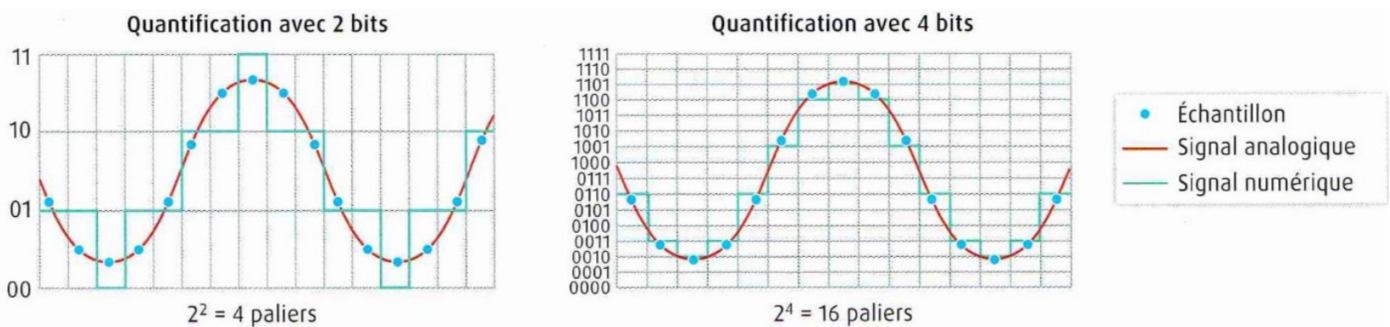
Document 2 : Echantillonnage à différentes fréquences



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 $f_e > 2 \times f_{max.signal}$. 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 :

$$\text{Taille (bits)} = \text{Débit binaire (bits/s)} \times \text{Durée(s)}$$

Elle est généralement exprimée, non pas en bits, mais en octets (O). Un octet correspond à 8 bits donc :

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

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

Par exemple, 1 000 000 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	2 822 400 Hz
Nombre de bits de quantification	NA (Analogique)	16	1
Débit binaire	NA (Analogique)	1 411 200 bits/s	5 644 800 bits/s
Nombre de canaux	1 ou 2	2	2

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

Document 8 : Point d'histoire

A la fin des années 1990, les premiers baladeurs mp3 et les plateformes de téléchargement de musique sur internet apparaissent. Cette évolution dans le stockage du son est rendue possible par l'utilisation de technique de compression imaginées dans les années 1920 : mp1, mp2 et mp3.

Document 9 : Compression avec ou sans perte ?

Une compression de fichiers permet de réduire sa taille.

Elle est dite sans perte lorsqu'il est possible à partir du fichier compressé, de reconstruire le fichier original. Pour cela, il suffit de supprimer le maximum de répétitions présentes dans le fichier original et donc d'écrire les mêmes données de manière plus concise. C'est ce type de compressions qu'appliquent les formats ZIP ou FLAC par exemple.



Elle est dite avec perte s'il est impossible de revenir au fichier original. Dans ce cas la taille du fichier peut être largement réduite car on enlève dans un premier temps les fréquences pour lesquelles l'oreille humaine est peu sensible (en deçà de 20Hz et au-delà de 20kHz) puis dans un deuxième temps, on enlève les fréquences masquées par des fréquences plus puissantes.

Document 10 : Le taux de compression

Le taux de compression (τ) d'un fichier correspond à la taille du fichier compressé comparée à celle du fichier original.

Il s'exprime sous la forme $T = 1 : Q$ et se lit : « le taux de compression est de 1 pour Q », avec Q le quotient de compression égal au rapport de la taille du fichier sur la taille finale.

Ainsi un taux $T = 3 : 1$ signifie que le fichier compressé est trois fois plus petit que le fichier original. La plupart des ingénieurs du son considèrent qu'à partir d'un taux $10 : 1$, on perd en qualité sonore.

Questions

I. Numériser un son

I.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.

I.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.

II. Taille et stockage d'un son numérique

II.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.

II. 2. **Identifiez** deux avantages du CD par rapport au vinyle.

II.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

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

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

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

III.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.

Activité documentaire 2 : L'économie du numérique : des pratiques durables ?

Introduction : « Le tout numérique », « la dématérialisation », voilà quelques termes qui laissent penser à un avenir écologiquement meilleur. Finies les factures ou fiches de paye papier, moins d'arbres coupés ; des démarches en ligne, moins de carburant consommé pour se déplacer à la poste...



Problématique : Quels impacts le numérique a-t-il sur l'environnement ?

Objectifs : Savoir qu'une quantité énorme d'informations audio (et vidéo) est échangée, ce qui entraîne un développement important des capacités de stockage. Discuter de la problématique des échanges de fichiers numériques audio, mais aussi vidéo d'un point de vue énergétique. ↔

Grandeurs et mesures. ↔ Proportions, pourcentages.

Document 1 : L'internet mondial en chiffres

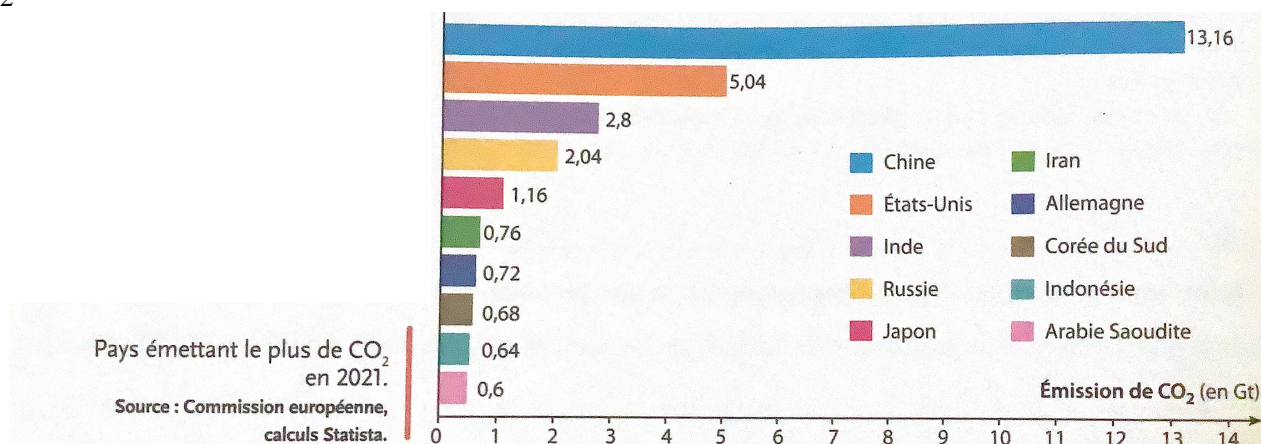
Il y a 5 milliards d'internautes dans le monde. Un internaute passe chaque jour en moyenne 3 h 35 min à regarder des vidéos et 2 h 25 min à écouter de l'audio (musique ou podcasts). 1 h de streaming audio ou vidéo émet au minimum 30 g de CO_2 du fait de l'énergie consommée pour le fonctionnement des ordinateurs.

Des centaines de millions de recherches web sont faites par jour. Une recherche sur un moteur de recherche émet 7 g de CO_2 .

13 milliards de mails, hors spams, sont envoyés par heure et 80% des mails stockés dans les boîtes mais ne seront pas lus par le destinataire. Un mail avec une pièce jointe de 1 Mo (10^6 octets) émet 10 g de CO_2 .

Document 2: Classement des pays par quantité d'émission de CO_2

En 2021, à l'échelle mondiale, 36 Gt ($3,6 \times 10^9$ t) de dioxyde de carbone ont été émises dans l'atmosphère. En 2020, on estimait que le numérique était responsable de 4 % des émissions de CO_2 .



- 1) Environ 1 % du CO_2 , émis dans le monde est dû au streaming audio et vidéo. **Vérifier** par un calcul cette affirmation.
- 2) Si le numérique était un pays, **déterminer** à quel rang mondial des émetteurs il se trouverait.

Document 3: Le cloud, un nuage immatériel ou des machines solides ?

On imagine souvent le cloud comme un endroit un peu immatériel dans lequel naviguent et sont stockées toutes nos données. Le cloud est en réalité constitué de machines bien réelles, des serveurs, disséminés un peu partout sur la Terre. Un serveur n'est rien d'autre qu'un ordinateur, sans clavier ni écran, dans lequel sont stockées nos données...

Ces serveurs sont regroupés dans des data centers (centres de données) et sont allumés en permanence afin que l'on puisse y accéder à n'importe quel instant.

Afin de pallier toute défaillance, les mêmes données sont stockées dans différents data centers en même temps.

Chaque jour, un internaute est en relation avec une centaine de serveurs parmi les 18 millions mondiaux.

Les data centers doivent être refroidis en permanence pour éviter la surchauffe des serveurs et ainsi la perte de données. Cela correspond environ à 5 MWh consommés par m^2 et par an. Un site de 10 000 m^2 consomme autant qu'une ville de 50 000 habitants.



- 3) Certaines piscines municipales écoconçues souhaitent réduire jusqu'à 30% leurs dépenses en énergie grâce à des data centers. **Proposer** une explication.

La piscine de la Butte aux Cailles à Paris possède un data center en sous-sol.

Document 4 : Smartphones et ordinateurs

Pour fabriquer une puce électronique de 2g, 32 kg de ressources naturelles sont nécessaires. Dans un smartphone, 50 métaux différents sont présents, dont plus de la moitié ne sont pas recyclables aujourd'hui. 800 kg de matières premières, 1500 L d'eau et 240 kg de combustibles fossiles sont nécessaires pour fabriquer un ordinateur de 2 kg. Chaque année, l'humanité génère près de 60 millions de tonnes de déchets électriques et électroniques.

- 4) **Discuter** de l'impact global de l'économie du numérique, en donnant quelques pistes d'amélioration des pratiques de chacun.

Cours (Synthèse des activités)

I) Numériser un son

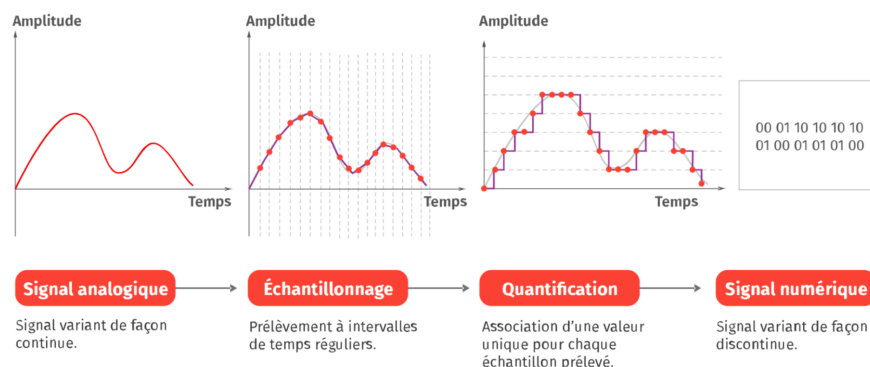
Définitions :

Signal analogique : signal réel, c'est une grandeur continue.

Signal numérique : signal discontinu obtenu et enregistré par l'ordinateur.

Fréquence d'échantillonnage, notée f_e (en Hz) : nombre de points par seconde du signal analogique que l'on choisit d'enregistrer pour créer le signal numérique (subdivision horizontale du signal).

Quantification, notée N_B (en bits) : nombre de valeurs intermédiaires que l'on choisit pour enregistrer l'amplitude du signal analogique en numérique (subdivision verticale du signal).



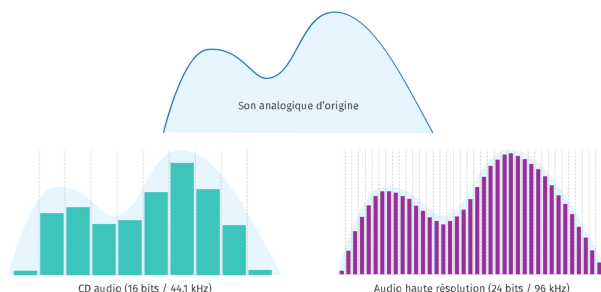
II) Choix des paramètres numériques

Taille d'un fichier numérique : $Taille = f_e \times N_B \times \Delta t \times N_v$

Avec f_e la fréquence d'échantillonnage (en Hz), N_B la quantification (en bits), Δt la durée du signal enregistré (en s) et N_v le nombre de voies (1 en mono, 2 en stéréo)

Fidélité d'un signal numérique : Plus la fréquence d'échantillonnage et la quantification sont grandes, plus la fidélité du signal numérique est grande, et réciproquement.

D'après le théorème de Shannon-Nyquist, pour numériser fidèlement un son de fréquence f , la fréquence d'échantillonnage f_e doit être au minimum 2 fois supérieure à la fréquence maximale du signal. C'est la condition pour éviter l'aliasing (perte d'informations et distorsion du son).



III) Compression d'un fichier

Définitions :

Compression : Réduction de la taille d'un fichier pour diminuer l'espace de stockage. Plus la compression est forte, plus la fidélité du signal numérique est faible.

Taux de compression :

$$T_c = 1:Q = \frac{1}{Q} = \frac{1}{\frac{Taille\ finale}{Taille\ initiale}} = \frac{Taille\ finale}{Taille\ initiale}$$

Données utiles : 1 octet = 8 bits , 1 ko = 10^3 octets , 1 Mo = 10^6 octets et 1 Go = 10^9 octets.