

LE SON

Le son est une onde produite par la vibration mécanique d'un support fluide ou solide et propagée grâce à l'élasticité du milieu environnant sous forme d'*ondes longitudinales*.

Un son est la sensation provoquée sur nos oreilles par de l'air en déplacement, c'est-à-dire des vibrations d'air. Pour que l'air vibre il faut que quelque chose l'agite, c'est le rôle joué par la source sonore.

I. caractéristiques du son

Un son est caractérisé essentiellement par quatre paramètres : la fréquence, le timbre, l'intensité et la vitesse.

a. Fréquence

La fréquence est le paramètre qui permet de différencier un son aigu d'un son grave. La caractéristique d'un son aigu est qu'il fera vibrer l'air plus souvent qu'un son grave. On dit qu'un son aigu a une fréquence élevée alors qu'un son grave a une fréquence basse.

La fréquence d'un son s'exprime en hertz, c'est-à-dire le nombre de vibrations par seconde. Un son qui vibre à une fréquence de 1000 vibrations seconde à une fréquence de 1000 Hz.

L'oreille humaine répond aux fréquences allant de 20 Hz à 20 KHz.

On parle d'infrasons quand les fréquences sont inférieures à 20 Hz et d'ultrasons quand les fréquences sont supérieures à 20 KHz.

Infrasons < plage audible (20HZ-20 KHZ) < Ultrasons.

b. Timbre

Le timbre est le paramètre qui permet de différencier un son d'un autre son.

Un piano a un timbre différent de celui d'un violon, peu importe la fréquence. Ceci nous permet d'introduire la notion d'onde. L'onde est en quelque sorte la représentation graphique des mouvements que fait notre tympan lorsqu'il est actionné par des vibrations d'air. La hauteur d'un son a une influence directe sur la forme de son onde.

Toute onde, aussi complexe soit-elle, peut être décomposée en une somme d'ondes sinusoïdales élémentaire qu'on appelle harmoniques. Toutes ces harmoniques additionnées donnent le timbre d'un instrument. L'harmonique la plus grave se nomme fondamentale ou harmonique 1 et c'est celle que retient l'oreille pour identifier la note jouée, les autres harmoniques servent à l'habillage du son et à la personnalisation du timbre.

c. Intensité

L'intensité est la force avec laquelle l'air frappe le tympan. Sur une forme d'onde, il se traduit par une amplitude plus grande :

L'amplitude (le volume) des différentes harmoniques constituant un son change au cours du temps : le son peut être fort ou doux. Dans l'air, l'amplitude correspond aux variations de pression de l'onde.

En acoustique l'intensité se mesure en décibels (dB).

d. Vitesse de son

La vitesse (vitesse) du son varie suivant le milieu dans lequel il se propage. Le principal facteur de la variation est la densité de ce milieu : dans un gaz, sa vitesse est plus faible que dans un liquide. Par exemple, le son se propage approximativement à 343 m.s⁻¹ dans l'air et à 1500 m.s⁻¹ dans l'eau.

II. LE TRAITEMENT DIGITAL DU SON

Pour être traité par un ordinateur, un son doit être sous forme digitale, il faut procéder alors à une conversion analogique – numérique : c'est l'acquisition ou numérisation. La conversion est obtenue grâce à un circuit électronique intégré appelé Convertisseur Analogique-Numérique(CAN).

Trois étapes permettent la numérisation : *l'échantillonnage*, la *quantification* et le codage.

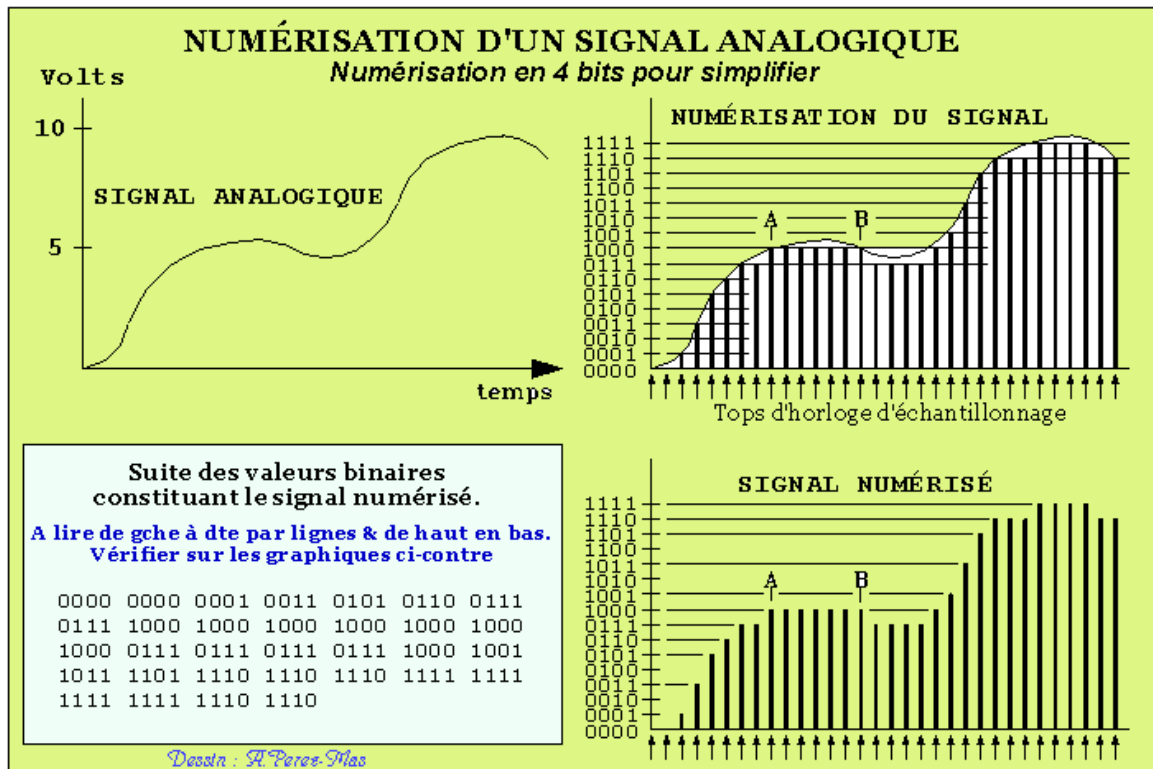


Figure 1. Etapes de numérisation du son

a. Echantillonnage

La conversion s'effectue par échantillonnage : on prélève à des intervalles de temps réguliers des échantillons du son et on les traduit en chiffres.

Un microphone convertit les variations de pressions de l'air en signaux électriques qui, reliées à un convertisseur analogique-numérique (CAN) qui va numériser ce signal à pas régulier, le transformer en une suite de nombres.

Deux paramètres caractérisent un son échantillonné : la qualité et la résolution.

La qualité est déterminée par la fréquence d'échantillonnage F_e ; plus la fréquence est élevée, plus on prélève d'échantillons et par conséquent meilleure est la qualité.

Il faut respecter le théorème de Shannon qui stipule que : $F_e \geq F_{\max}$.

Exemple

- Pour la musique, la fréquence maximale audible est de 20 kHz, en comptant très large. La fréquence d'échantillonnage des CD-audio, de 44,1 kHz, respecte bien ce théorème.
- Application à la voix en téléphonie : fréquence maximale : 3700 Hz. Quelle fréquence d'échantillonnage minimale choisir ?

Type de support de sons	F _E choisie
CD audio	44,1 kHz
DVD	48 kHz
Téléphonie	8 kHz
Radio numérique	22,5 kHz

Tableau 3. Fréquences d'échantillonnage usuelles.

b. Quantification

Le rôle de la quantification est de donner une image binaire d'un signal analogique ; Le signal échantillonné peut être converti sous forme binaire (numérique) pour être stocké. Ce codage s'appelle la quantification. A Chaque valeur mesurée est associée une valeur binaire codée sur n bits (nombre de bits de quantification) (sachant que N bits permettent de distinguer 2ⁿ niveaux de tension entre -V_m et +V_m).

$$q = \frac{2 V_m}{2^n}$$

Le pas de quantification est obtenu par la formule :

c. Le codage

Le codage désigne le type de correspondance que l'on souhaite établir entre chaque valeur du signal analogique et le nombre binaire qui représentera cette valeur. Il existe différents types de codage : PCM - Différentiel (delta) - Prédicatif - Adaptatif - etc.

- **Codage PCM (Pulse Coded Modulation) :** En français, MIC : Modulation par Impulsions Codées. Il s'agit de coder chaque échantillon à sa valeur réelle (contrairement à ce qui se fait dans le codage différentiel).
- **Codage différentiel ou codage "delta" :** Ce codage consiste à évaluer (coder) la différence entre le niveau du signal à l'instant de l'échantillonnage et le niveau qu'il avait lors de l'échantillonnage précédent.

III. Compression de son

a. Introduction

La compression consiste à trouver une séquence d'octets plus courte dont l'effet sonore soit semblable à celui de la séquence initiale.

La compression permet :

- Gain de place dans le cas d'un enregistrement,
- Économie de bande passante dans le cas d'une transmission,
- Gain de temps dans le cas d'un transfert de fichier (Internet)

Dans un format donné, les fichiers peuvent être déclinés en plusieurs taux de compression qui induisent des niveaux de qualité sonore et des poids de fichier très différents. En théorie, plus le taux de compression est haut, moins le fichier est comprimé. La qualité de ce fichier comprimé s'approche de celle du fichier non comprimé. Par contre, plus le taux de compression est bas, plus le rendu sonore perd de sa qualité.

b. Taux de compression

On calcule le taux de compression par la formule:

Taux de compression (%) = Taille compressé / Taille originale

Exemple : $C = 25/100 = 0,25$ soit 25 %

Exemple le CD audio est une succession d'échantillons à raison de 44100 échantillons par seconde sur 16 bits de résolution.

IV. Son multi-canal

On peut utiliser plusieurs pistes audio en vue de la restitution sur un système comportant plusieurs enceintes (baffles) horizontalement (restitution 3D). on parle alors de sons multi-canal.

Il existe une terminologie associée : deux chiffres séparés par un point (2.1, 5.1).

- Le 1^{er} chiffre: désigne le nombre de canaux principaux destinés à être restitués sur une enceinte.
- Le 2^{ème} chiffre: désigne la présence d'effets basse fréquence destinés à être restitué sur une enceinte (caisson de basse).

Exemple : 1.0 : monocal / 2.0 : source sonore stéréo.

V. Taille d'un fichier Son

On peut calculer la taille d'un fichier par la formule suivante:

$$\text{Taille(en bits)} = F_e * N * D * V$$

Avec :

- F_e : Fréquence d'échantillonnage (8 KHz, 44,1 KHz, ...etc)
- N : nombre de bits de quantification (8 bits, 16 bits)

- D : Durée(en s)
- V : Nombre de voies (mono : 1 voie, stéréo : 2 voies, quadri, etc)

On peut aussi calculer le débit :

$$\text{Débit (en bps)} = F_e * N * V$$

VI. Algorithmes de Compression

On distingue les algorithmes de compression avec et sans perte.

a. Algorithmes de compression sans perte

La suite de bits obtenue après les opérations de compression et de décompression est strictement identique à l'originale, cet algorithme est utilisé pour nombreux types de données (documents, fichiers exécutables, fichiers textes).

On peut citer plusieurs exemples :

- RLE (Run Length Encoding): Toute suite de bits ou de caractères identiques est remplacé par un couple :(nombre d'occurrence, bit ou caractère répété)
 - Exemple: AAAAAAAAAZZZEEEE devient 7A3Z4E.
- LZW : Codage par dictionnaire (une table de données contenant des chaînes de caractères), peu efficace pour les images et donne de bons résultats pour les textes et les données informatiques en général (plus de 50 %).
- FLAC: Le format FLAC (Free Lossless Audio Codec), est un format libre de compression audio sans perte. Maintenu par la fondation Xiph.org, il est apprécié pour conserver la qualité des fichiers sonores originaux en alternative aux formats de compression avec perte type MP3. (Fichiers .oga, .flac).
- ALAC: L'ALAC (Apple Lossless Audio Codec), est un format de codage sans perte (lossless) créé en 2004 par Apple.

b. Algorithme de compression avec perte

La suite de bits obtenue après les opérations de compression et de décompression est différente de l'originale mais l'information reste sensiblement la même, utilisé pour les types de données : images, sons et vidéos.

Les algorithmes utilisés pour le son sont principalement le **MPEG** (pour le format MP3), l'**AAC** (MP3Pro), l'**ATRAC** (Sony Minidisc), le **PASC** (Philips DCC), et enfin les **Dolby AC-1, AC-2 et AC-3**.

c. Etude d'un algorithme : MP3

Le MPEG-1/2 Audio Layer 3, plus connu sous son abréviation de MP3, est la spécification sonore du standard MPEG-1/MPEG-2, du Moving Picture Experts Group (MPEG). C'est un algorithme de compression audio capable de réduire sensiblement la quantité de données nécessaire pour restituer de l'audio, mais qui, pour l'auditeur, ressemble à une reproduction du son original non compressé : avec une bonne compression la différence de qualité devenant difficilement perceptible.

L'extension de nom de fichier est .mp3 et le type MIME (Internet media type) est *audio/mpeg*, *audio/MPA*, *audio/mpa-robust*, ou *audio/mp3* (dans les navigateurs Chrome/Chromium). Ce type de fichier est appelé « fichier MP3 ».

Le codage MP3 s'effectue en trois phases :

- Au début de la conversion le programme découpe le fichier audio en petit «paquets» de durée égale, les chunks. La taille des chunks peut influencer sur la qualité de conversion.
- Puis le programme analyse chaque chunk dans le domaine audible (analyse spectrométrique par transformée de Fourier), cette opération ne produit pas de perte de qualité.
- Ensuite, le programme utilise un profil psycho*acoustique pour supprimer les sons que l'oreille humaine ne peut pas entendre, le choix du type de profil est déterminant pour la qualité finale.
- Pour finir, les informations restantes sont codées dans le fichier MP3 en appliquant un algorithme de Huffman, (algorithme de codage de type ZIP) cela permet de gagner encore presque 20% sur la taille du fichier sans perte de qualité

A la fin des années 1990, les utilisateurs encodaient leurs CD audio en MP3 le plus souvent avec un taux de 128 Kps . Aujourd'hui, il est considéré que pour des fichiers de qualité acceptable, on peut choisir de les compresser selon un taux de 192 kbit/s voire 320 kbits/s

On peut améliorer la qualité de la compression MP3 en utilisant un débit binaire variable (VBR ou *Variable Bit Rate* par opposition à un débit constant *Constant bit rate*, CBR). Ainsi, les instants peu complexes (contenant peu de fréquences), comme les silences par exemple, seront codés avec un débit d'information plus faible (Par exemple 64 kbit/s au lieu de 128), réduisant ainsi la taille totale du fichier tout en gardant une très bonne qualité lors des passages riches en harmoniques.

VII. LES FORMATS AUDIO

Il existe sur le marché plusieurs formats audio. Le tableau suivant en répertorie les plus connus.

Nom	Caractéristiques	Compression	Avantages	Inconvénients	Extension
CDA (Compact Disc Audio)	CD audio	Non compressé	qualité CD	Volumineux	.cda
WAV (Waveform Audio Vector)	Mis au point par Microsoft et IBM, ce format mono ou stéréo est l'un des plus répandus.	Non compressé	Non comprimé (pour la version PCM)	limité à 2 Go	.wav
AIFF (Audio Interchange Format File)	Equivalent du format Wav dans le monde Macintosh.	Non comprimé,	-	volumineux, une variante l'AIFF-C permet de compresser la taille jusqu'à 6x.	.aif
MP3 (MPEG-1 Layer III)	Abréviation de Mpeg- 1 Audio Layer 3.	Compression avec pertes	<ul style="list-style-type: none"> - Très rapide à l'encodage. - Dédié à des applications nécessitant des débits faibles - Grande compatibilité, 	Compression destructive avec problèmes dans les aiguës, lors d'un ré-encodage on passe par un fichier .wav	.mp3
AAC (Advanced Audio Coding) ou MPEG-2 AAC	Un des successeurs de MP3. C'est une extension du MPEG-2 et a été amélioré en MPEG-4, MPEG-4 Version 2 et MPEG-4 Version 3. AAC est le standard du format audio par défaut pour YouTube ,	oui	Très bon codec destructif (mieux que MP3 et WMA),	Durée d'encodage importante	.aac, .mp4, .m4a

	<u>iPhone</u> , <u>iPod</u> , <u>iPad</u> , <u>Nintendo</u> <u>DSi</u> , <u>Nintendo</u> <u>3DS</u> , <u>iTunes</u> , <u>DivX Plus Web</u> <u>Player</u> and <u>PlayStation 3</u> .				
WMA (Windows Media Audio)	utilisé par le logiciel Windows Media Player. Ce format est lié à une gestion pointue des droits d'auteurs (DRM ou Digital Right Management)	oui	bonne compatibilité, meilleure compression que le MP3.	Souvent illisible sur lecteurs portables, à cause de la gestion des droits et des restrictions dans le format wma.	.wma
OGG	Format Open source (libre et gratuit)	Compression selon Vorbis (algorithme différent de MP3, WMA et AAC)		Amélioration du MP3 (Compression et qualité)	.ogg
FLAC: (Free Lossless Audio Codec)	format libre de compression audio sans perte.	Oui, sans perte.	conserve la qualité des fichiers sonores originaux	-	.oga, .flac

Tableau 4. Formats des fichiers sons.