



Cours Réseaux Multimédias



Fatiha El Hatmi & Mayssa Trabelsi

2^{ème} Licence Informatique et multimédia (IM)

2024-2025



Plan du cours

- ☐ Chapitre 1 : Généralités sur le son
- ☐ Chapitre 2 : L'image
- ☐ Chapitre 3 : Internet et les applications temps réel
- ☐ Chapitre 4 : QoS
- ☐ Chapitre 5 : Voix sur IP
- ☐ Chapitre 6 : Insuffisance de l'IP
- ☐ Chapitre 7 : Routage multicast
- ☐ Chapitre 8 : Protocoles de transports multimédia
- ☐ Chapitre 9 : Diffusion de la vidéo : la vidéo à la demande VoD



Plan du chapitre I

- Introduction
- Le son
 - ▶ Caractéristiques
 - ▶ Traitement digital du son
 - ▶ Son multicanal
- Annexes
 - ▶ Formats audio

FE & MT , 2ème IM, ISAMM 2024/2025

3



C'est quoi le multimédia?



- **Multi** : signifie plusieurs.
- **Média** : Moyen/support de diffusion, de distribution ou de transmission de signaux porteurs de messages écrits, sonore, visuels (presse, cinéma, radio, TV...)

FE & MT , 2ème IM, ISAMM 2024/2025

4



C'est quoi le multimédia?

- Le multimédia est apparu à la fin des années 1980, avec les vidéodisques analogiques pour stocker des images, vidéo et son.
- A l'origine, le mot multimédia était un adjectif utilisé pour qualifier une communication.
- Le terme « Multimédia » combine « multi » et « média » (où média signifie milieu de diffusion de l'information).
- C'est la coexistence de différents types de contenus (texte, image, son, vidéo, animation, etc.) sur un même support.
- La « communication multimédia » est une communication faisant appel simultanément à plusieurs «moyens» ou « média » pour faire passer un message.
- Aujourd'hui, le multimédia est utilisé pour faire référence « aux techniques de communication multimédia ».

FE & MT , 2ème IM, ISAMM 2024/2025

5



Multimédia

Média :

texte, image fixe, son, vidéo, ...

Multimédia

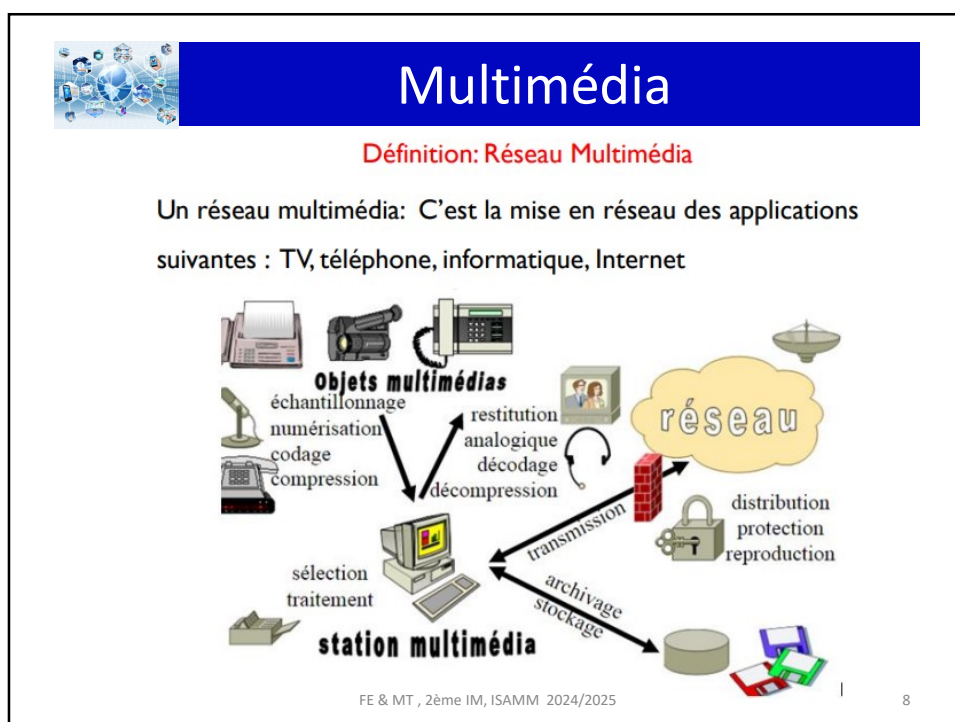
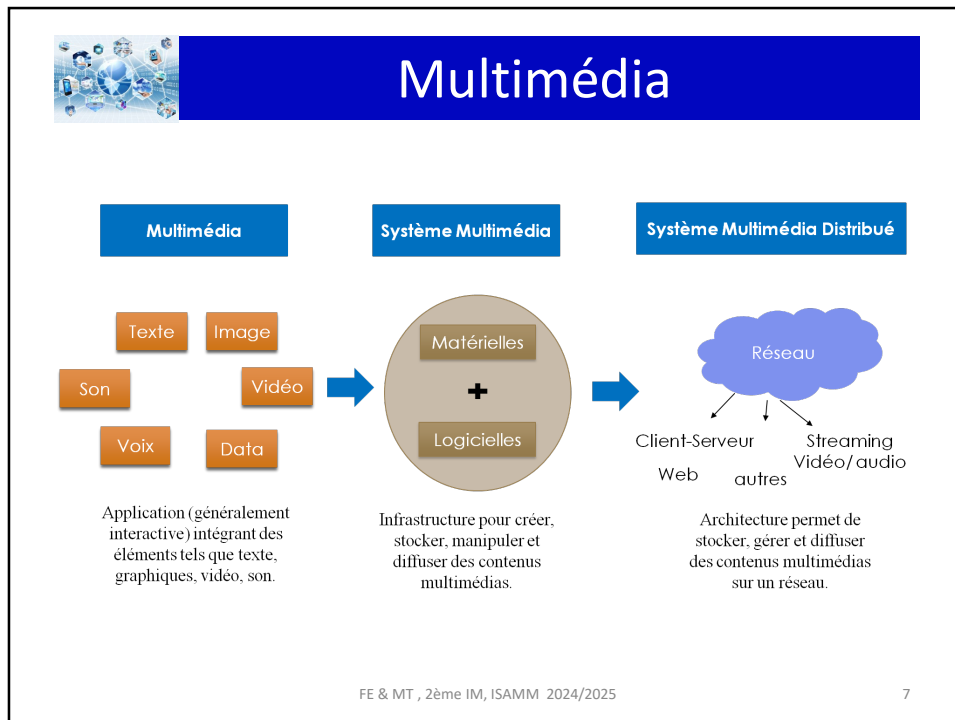
- présence de plusieurs média
 - Données, texte : Numérique
 - Vidéo, image, son, audio : Analogique
 - C'est la combinaison de plusieurs types de données sur un même support ou dans une même application.
- ❖ problèmes de codage, synchronisation, ...

Ici on s'intéresse aux:

- média continus (audio, vidéo)
- interaction avec le réseau

FE & MT , 2ème IM, ISAMM 2024/2025

6





Multimédia

Nature des informations à transférer

Les différents flux de données diffèrent par leur besoin en bande passante, leur sensibilité aux erreurs et au temps de transfert.

Type de transfert	Type de débit	Bande passante	Sensibilité au temps de transfert	Sensibilité aux erreurs
Voix	Constant	Faible	Elevée	Faible
Vidéo non compressée	Constant	Elevée	Elevée	Faible
MPEG: Vidéo compressée	Variable	Elevée	Elevée	Faible
Transfert de fichiers	En rafale	Moyenne à élevée	Elevée	Elevée
Interconnexion de LAN	En rafale	Elevée	Elevée	Elevée

FE & MT, 2ème IM, ISAMM 2024/2025

9



Le son : C'est quoi le son?

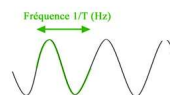
- Le son est une onde produite par la vibration mécanique d'un support fluide ou solide et propagée grâce à l'élasticité du milieu environnant sous forme d'*ondes longitudinales*.
- Un son est la sensation provoquée sur nos oreilles par de l'air en déplacement, c'est-à-dire des **vibrations d'air**.
- Pour que l'air vibre il faut que quelque chose l'agite, c'est le rôle joué par la source sonore.
- Un son est caractérisé essentiellement par quatre paramètres : **la fréquence, le timbre, l'intensité et la vitesse**.



Source sonore



Propagation de l'onde sonore



Réception de l'onde sonore



FE & MT, 2ème IM, ISAMM 2024/2025

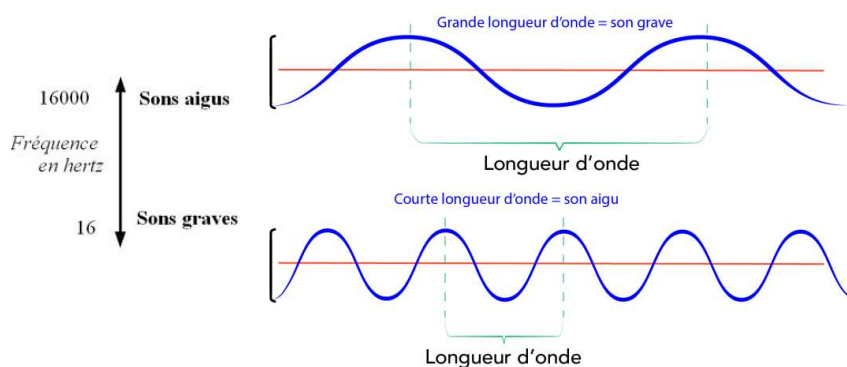
10



Le son

1. La fréquence :

- Plus un son est grave, plus sa fréquence est basse (exemple : 100 Hz),
- Plus il est aigu, plus sa fréquence est élevée (exemple : 10 000 Hz) ;



FE & MT, 2ème IM, ISAMM 2024/2025

11



Le son

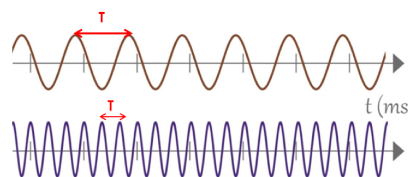
1. La fréquence :

- 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.

- Le nombre de motifs visibles pour la même durée est supérieur pour le second signal, ce qui signifie que la fréquence est plus élevée

- 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 par seconde a une fréquence de 1000 Hz.
- L'oreille humaine répond aux fréquences allant de 20 Hz à 20 KHz.



FE & MT, 2ème IM, ISAMM 2024/2025

12



Le son

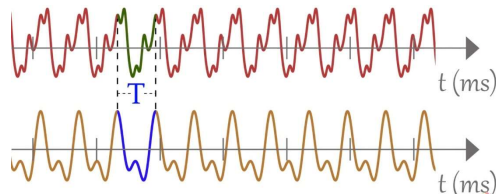
1. La fréquence :

- 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



- On remarque que la durée est identique pour les 2 signaux
- La période T des signaux est égale, alors ces 2 signaux ont la même fréquence
- Ces 2 sons ont la même hauteur



FE & MT, 2ème IM, ISAMM 2024/2025

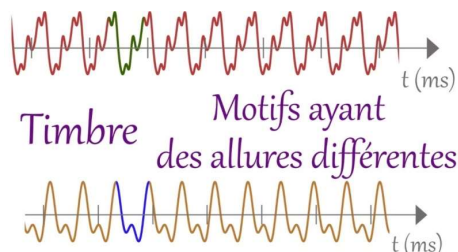
13



Le son

2. Le timbre :

- Le timbre est le paramètre qui permet de différencier un son d'un autre son (couleur du son).
- Le timbre est lié à la forme de la représentation temporelle du signal considéré.
- 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.



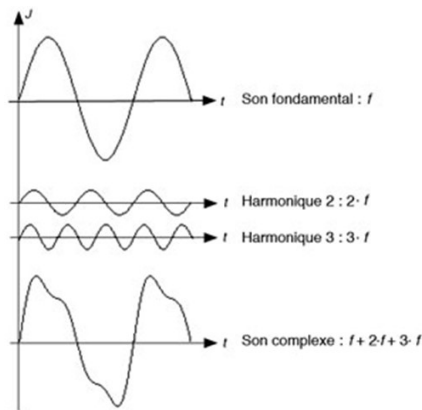
14



Le son

2. Le timbre :

- 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.
- Toutes les harmoniques additionnées donnent le timbre d'un instrument.
- L'harmonique la plus grave se nomme **fondamentale** ou **harmonique 1**.



FE & MT, 2ème IM, ISAMM 2024/2025

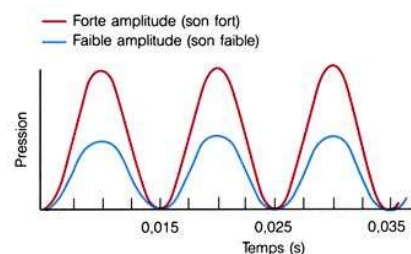
15



Le son

3. L'intensité (amplitude):

- L'intensité est la force (la puissance) 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).
- L'intensité dépend de l'amplitude de la vibration :
 - plus elle est importante, plus le son est fort ;
 - plus l'amplitude est faible, plus le son est faible.



FE & MT, 2ème IM, ISAMM 2024/2025

16



Le son

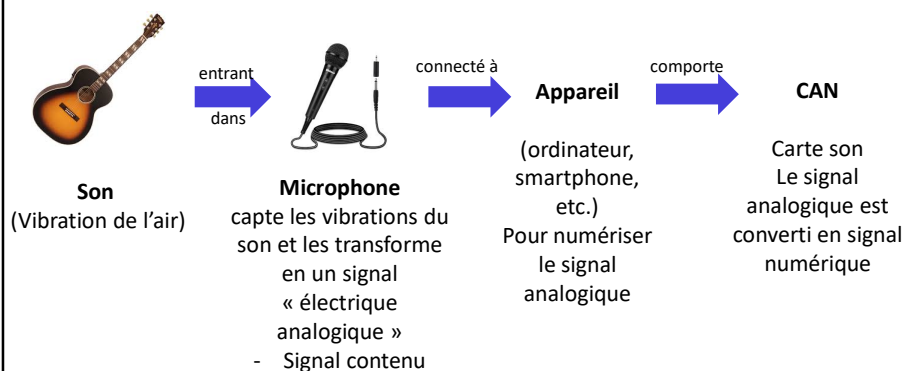
4. La vitesse :

- La vitesse (vitesse) du son (onde sonore) 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.
- Un milieu solide est plus dense qu'un milieu liquide et qu'un milieu gazeux, le son se propagera donc plus vite.

$$\text{Vitesse}_{\text{gaz}} < \text{Vitesse}_{\text{liquide}} < \text{Vitesse}_{\text{solide}}$$



Traitement digital du son: numérisation





Traitement digital du son: numérisation

CAN : Convertisseur Analogique Numérique



- La numérisation permet de convertir un signal sonore (analogique) en fichiers pouvant être enregistré sur le disque dur d'un ordinateur.
- Pour stocker le son d'une musique sur un ordinateur, on utilise: un CAN.
- **Le signal analogique est transformé en un signal numérique lorsqu'il passe par le CAN**, permettant ainsi de l'enregistrer sous forme de données numériques.

FE & MT , 2ème IM, ISAMM 2024/2025

19



Traitement digital du son: numérisation

- 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.***

Signaux et données

- La transmission d'un message nécessite un encodage en signaux de type électrique ou électromagnétique



- Les **signaux** peuvent être **analogiques** ou **numériques**

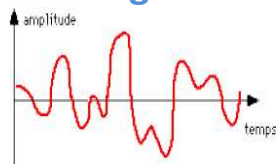
FE & MT , 2ème IM, ISAMM 2024/2025

20

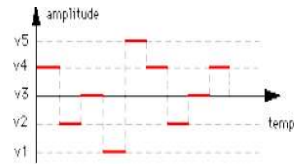


Le son : Numérisation

Traitement digital du son: numérisation



signaux analogiques : représentés par une grandeur physique variant de manière continue



signaux numériques : représentés par une grandeur physique ne prenant qu'un certain nombre de valeurs discrètes

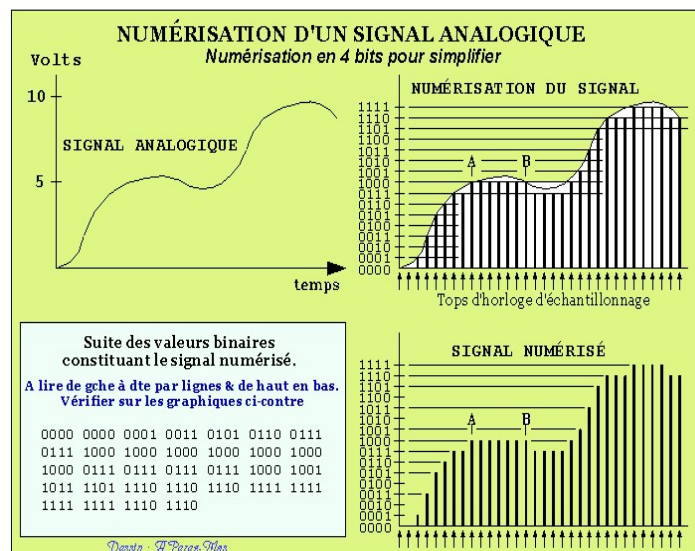
- Un signal dont l'amplitude varie dans le temps de manière continue est un signal **analogique**
- La conversion d'un signal analogique en numérique est réalisée par un **encodeur** de signal
- Tout signal peut être décomposé en une somme de signaux sinusoïdaux de fréquences multiples par une transformation de **Fourier**. Le spectre des fréquences des composantes sinusoïdales forme la **bande passante** du signal.

FE & MT, 2ème IM, ISAMM 2024/2025

21



Le son : Numérisation



FE & MT, 2ème IM, ISAMM 2024/2025

22



Le son : Numérisation

Traitement digital du son: échantillonnage

- 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 :

$$F_e \geq 2F_{\max}.$$

FE & MT, 2ème IM, ISAMM 2024/2025

23

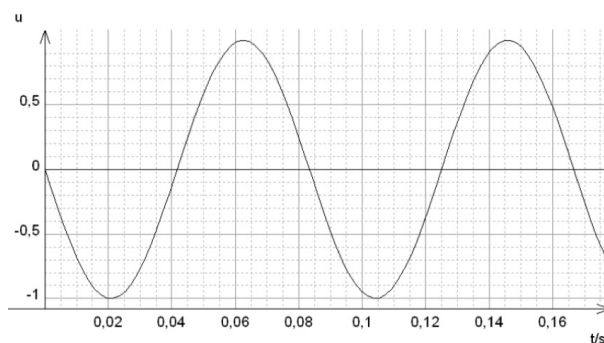


Le son : Numérisation

Traitement digital du son: échantillonnage

Numérisation d'un signal analogique

La première étape est l'échantillonnage du signal.



FE & MT, 2ème IM, ISAMM 2024/2025

24

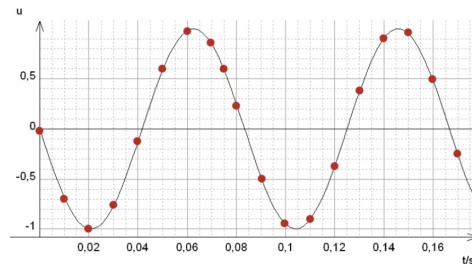


Le son : Numérisation

Traitement digital du son: échantillonnage

Numérisation d'un signal analogique

- Cela consiste à prélever régulièrement des valeurs de tension à **des intervalles de temps fixes**.
- Ici, on prélève une valeur toutes les **0.01 secondes** (à pas régulier)
- On passe **d'une infinité de valeurs** (signal analogique continu) à **quelques valeurs discrètes**.



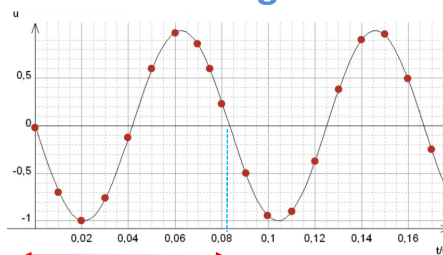
FE & MT, 2ème IM, ISAMM 2024/2025

25



Le son : Numérisation

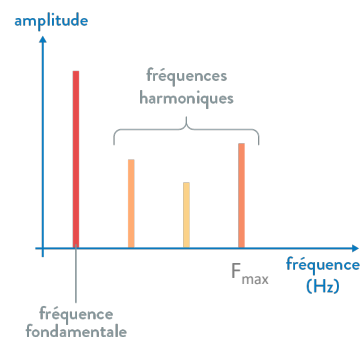
Traitement digital du son: échantillonnage



- **Cr^Tère de Shannon**

$$F_e \geq 2 * F_{\max}$$

Période d'échantillonnage $T_e = 0.01$ s
 Soit une fréquence d'échantillonnage de :
 $F_e = 1/T_e = 1/0.01 = 100$ Hz



FE & MT, 2ème IM, ISAMM 2024/2025

26



Le son Numérisation

Traitement digital du son: échantillonnage

- 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 ?

$$F_e \geq 2F_{\max}$$

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

FE & MT, 2ème IM, ISAMM 2024/2025

27



Le son : Numérisation

Traitement digital du son: 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 2^n niveaux de tension entre $-V_m$ et $+V_m$).
- **Le pas de quantification** est obtenu par la formule :

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

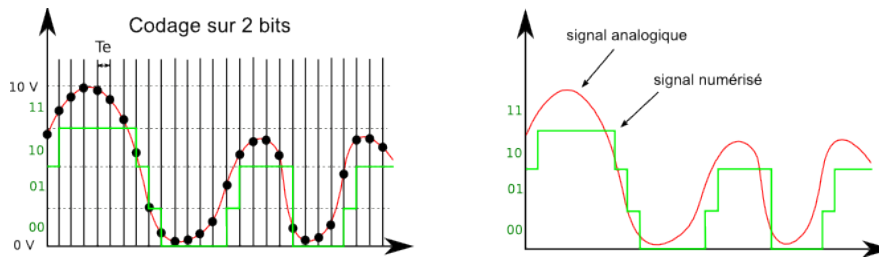
FE & MT, 2ème IM, ISAMM 2024/2025

28



Le son : Numérisation

Traitement digital du son: quantification



Code binaire: 10 11 11 11 11 11 11 10 01 00 00 00 00 00 01 10...

- Plage de tension : (0 V, 10 V) ; Plage totale : $10V - 0$; $V = 10V$
- $n = 2$ bits, nombre de possibilité : $2^n = 2^2 = 4$; 00 01 10 11
- Chaque niveau de quantification sera donc :

$$q = V_m / 2^n = 10 / 2^2 = 10 / 4 = 2.5V$$

FE & MT, 2ème IM, ISAMM 2024/2025

29



Le son : Numérisation

Traitement digital du son: 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.
 - Le signal est d'abord échantillonné, puis chaque échantillon est quantifié indépendamment des autres échantillons, et chacune des valeurs quantifiées est convertie en un code numérique.
 - Le traitement indépendant de chaque échantillon implique qu'il n'y a ni chiffrement, ni compression de données.
- **Codage différentiel ou codage "delta"** : est une techniques de compression de données sans perte consistant à transformer des données par la série des différences entre données successives , 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.

FE & MT, 2ème IM, ISAMM 2024/2025

30



Le son

Compression du 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.

b- Taux de compression

- On calcule le taux de compression par la formule:

$$\text{Taux de compression (\%)} = (\text{Taille compressé} / \text{Taille originale}) * 100$$

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



Le son

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 1er chiffre: désigne le nombre de canaux principaux destinés à être restitués sur une enceinte.
 - ◆ Le 2ème chiffre: désigne la présence d'effets basse fréquence destinés à être restitué sur une enceinte (caisson de basse).
- Exemple : 1.0 : monocanal / 2.0 : source sonore stéréo.



Le son

Signal audio non compressé

- On peut calculer le poids du signal audio (ou volume d'information) par la formule suivante:

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

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 d'information du signal audio:

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

FE & MT, 2ème IM, ISAMM 2024/2025

33



Le son

Numérisation et taille mémoire

- calculons la place occupée par une minute de musique: on prend le cas suivant:
- CD audio un format de stockage du son ayant les données suivantes :
- Fréquence d'échantillonnage = 44,1 kHz
- Données codées sur 16 bits
- Son stéréo
- On a 44100 échantillons en 1 seconde (44,1 kHz). Chaque échantillon est codé sur 16 bits soit 2 octets et le son est stéréo.
- On a donc $((44100*2)*2*60)$ octets pour une minute de musique stéréo soit $10,584 \times 10^6$ octets! **Il faut environ 10 Mo pour stocker une minute de musique sur un CD.** Si on considère qu'un morceau de musique dure en moyenne 3 à 4 mn, il faudra compter 30 à 40 Mo par morceau si on veut le stocker au format CDA (**CD Audio**). On voit qu'un signal audio au format CDA prend beaucoup de place d'où l'idée de chercher à le compresser.

FE & MT, 2ème IM, ISAMM 2024/2025

34



Le son

Algorithmes de compression

On distingue les algorithmes de compression (CODEC) 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
 - ❖ FLAC: Le format FLAC (Free Lossless Audio Codec), est un format libre de compression audio sans perte.
 - ❖ ALAC: L'ALAC (Apple Lossless Audio Codec), est un format de codage sans perte (lossless) créé en 2004 par Apple.

Bouabidi. I & El Hatmi. F, 2ème IM, ISAMM
2023/2024

35



Le son

Algorithmes de compression

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**.

Bouabidi. I & El Hatmi. F, 2ème IM, ISAMM
2023/2024

36



Annexes

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



Annexes

Formats Audio

MP3 (MPEG-1 Layer III)	Abréviation de Mpeg- 1 Audio Layer 3.	Compression avec pertes	- 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
---------------------------	---------------------------------------	-------------------------	---	--	------



Annexes

Formats Audio

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
---	---	-----	---	-----------------------------	------------------



Annexes

Formats Audio

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



Annexes

Formats Audio

FLAC: (Free Lossless Audio Codec	format libre de compression audio sans perte.	Oui, sans perte.	conservé la qualité des fichiers sonores originaux	-	.oga, .flac
----------------------------------	---	------------------	--	---	-------------