

Numérisation des Signaux audio-vidéo, Compression et stockage ¹

**DUT SRC – IUT d'Arles
2010-2011**

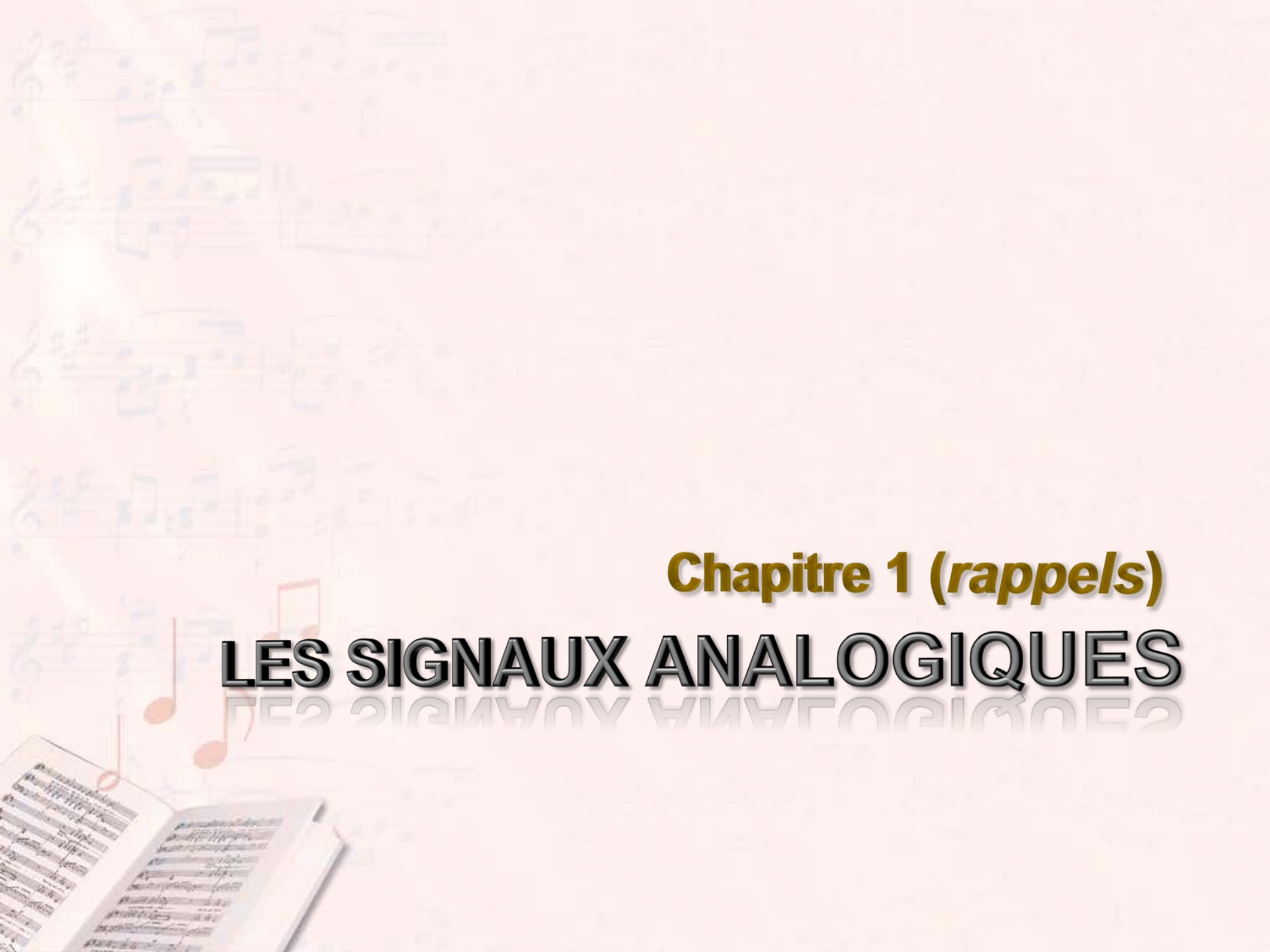
xavier.heurtebise@univ-provence.fr
<http://x.heurtebise.free.fr>

Objectifs de ce cours

- Comprendre les principales étapes de la numérisation d'un signal analogique
- Comprendre ce qu'est un signal audio
- Comprendre l'intérêt de compresser un signal audio
- Introduire le rôle d'un codec audio
- Connaître les standards de signaux audio numériques

Plan

1. Les signaux analogiques
2. Perception d'un signal audio par l'être humain
3. Numérisation d'un signal audio
4. Calculs de poids et de débits
5. Les standards de signaux audio numérique

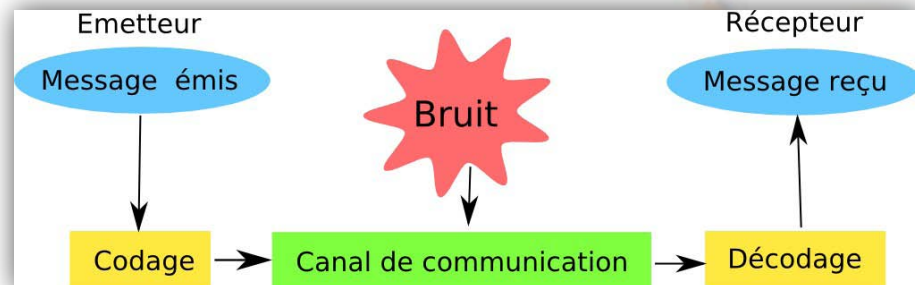
The background features a light beige color with faint, scattered musical notes and staves. In the bottom-left corner, there is a stack of books with sheet music visible on the top page.

Chapitre 1 (*rappels*)

LES SIGNAUX ANALOGIQUES

Signaux et transmission

- Les médias (son, image ou vidéo)
 1. analogiques à l'origine
 - *information naturelle*
 2. convertis en signaux numériques/informatiques
 - *suite de bits : 0 et 1*
 3. codés en signaux à transmettre
 - *fonction du support de transmission*
 4. recodés en signaux numériques/informatiques à la réception
 5. convertis en signaux analogiques
 - *pour être écoutés et/ou visualisés*



Signaux analogiques

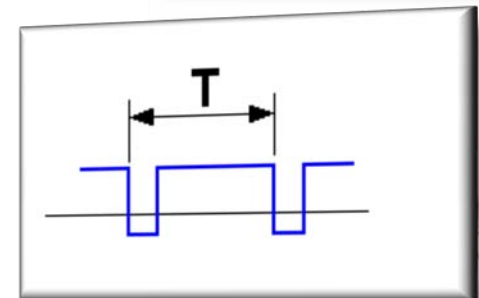
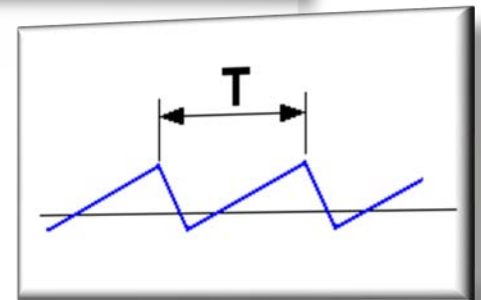
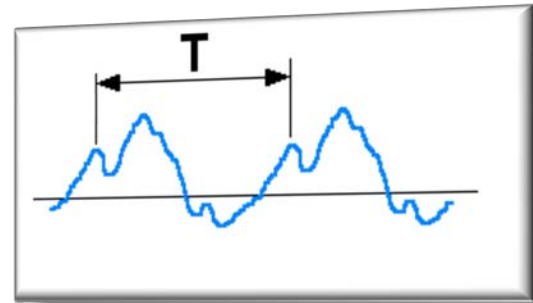
- Période et fréquence

- La période d'un signal périodique est l'intervalle de temps minimum qui sépare deux répétitions identiques du signal.

On la note **T** (en **secondes** : s)

- La fréquence d'un signal périodique est l'inverse de la période.

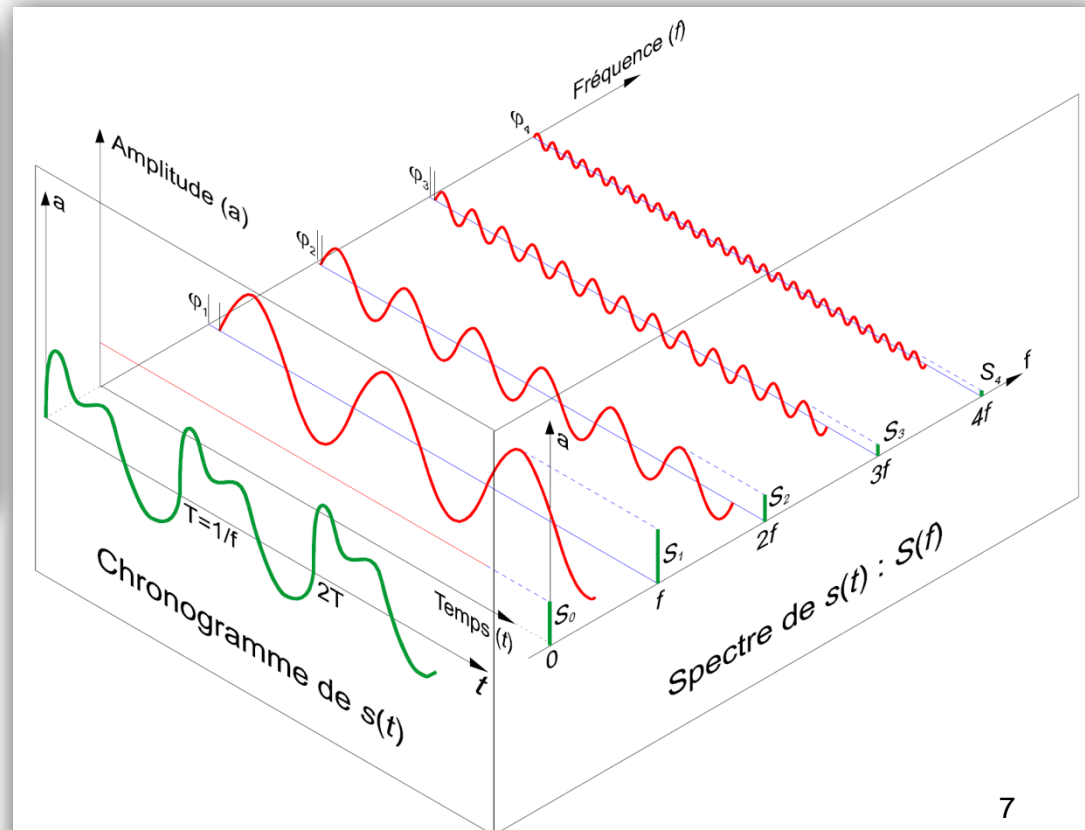
On la note **F**(en **Hertz** : Hz),
avec $F = 1 / T$



Signaux analogiques

- Signaux périodiques

Un signal périodique peut être représenté comme une combinaison de plusieurs signaux sinusoïdaux à des fréquences et amplitudes différentes.

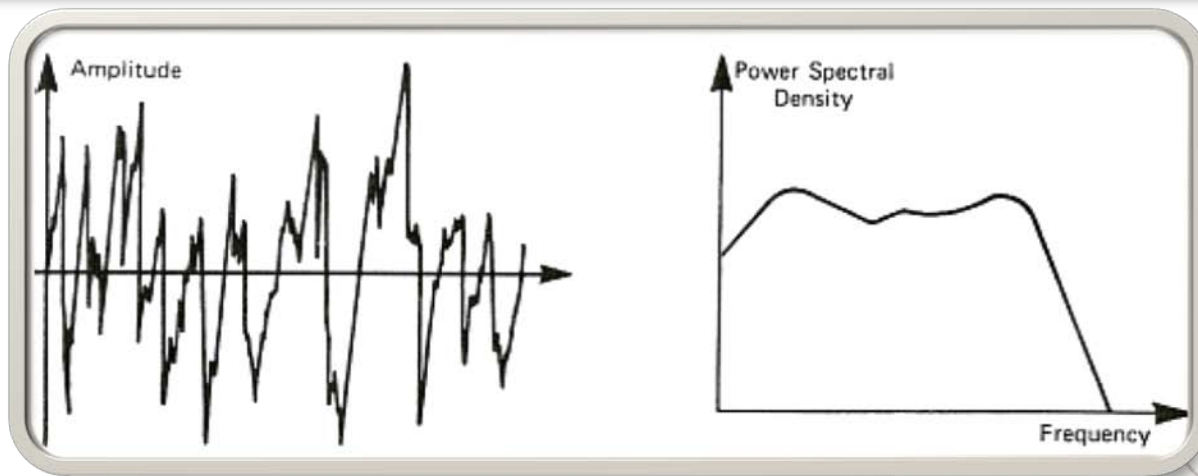


Signaux analogiques

- Signaux non périodiques

Un signal quelconque peut être représenté à l'aide d'un **spectre en fréquence** représentant toutes les fréquences contenues dans le signal (*utilisation de la transformée de Fourier*)

$$F(\nu) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-i2\pi\nu t} dt \quad e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta$$



The background of the slide is a light, warm-toned gradient. It is decorated with several faint, semi-transparent musical staves and notes. In the bottom-left corner, there is a more prominent image of an open book of sheet music, showing several pages with musical notation. The overall aesthetic is clean and professional, related to music and audio.

Chapitre 2

PERCEPTION D'UN SIGNAL AUDIO PAR L'ÊTRE HUMAIN

Perception d'un signal audio

- Acoustique :

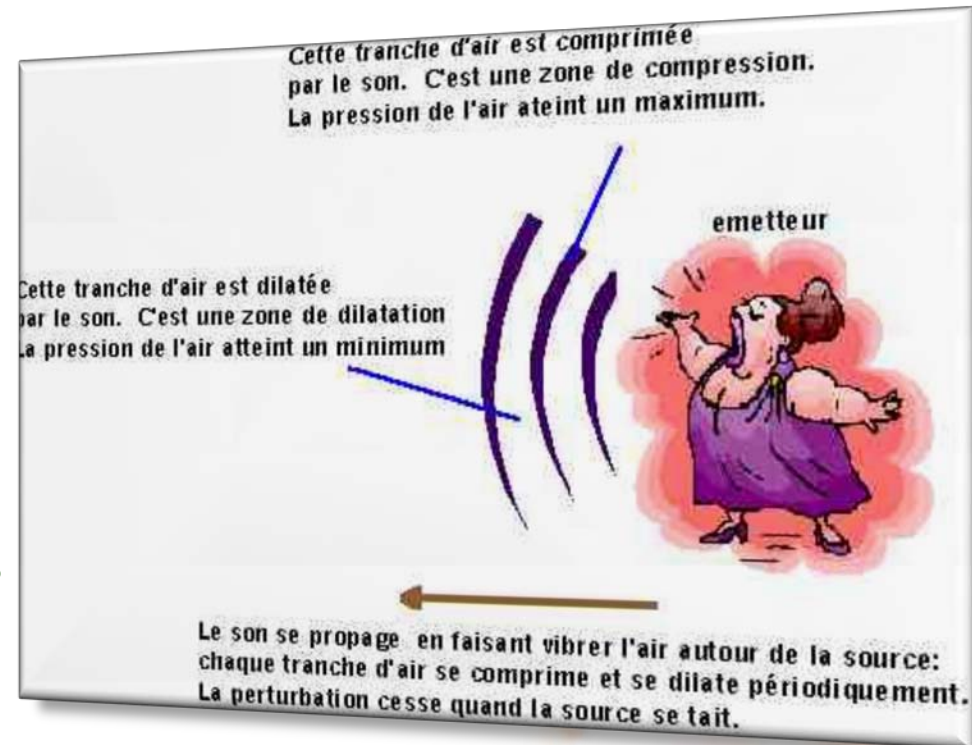
- Branche de la physique dont l'objet est l'étude des sons et des ondes mécaniques.

- Elle fait appel aux

- phénomènes ondulatoires
- mécanique vibratoire.

- Les ondes sonores nécessitent la présence d'un milieu matériel pour se propager

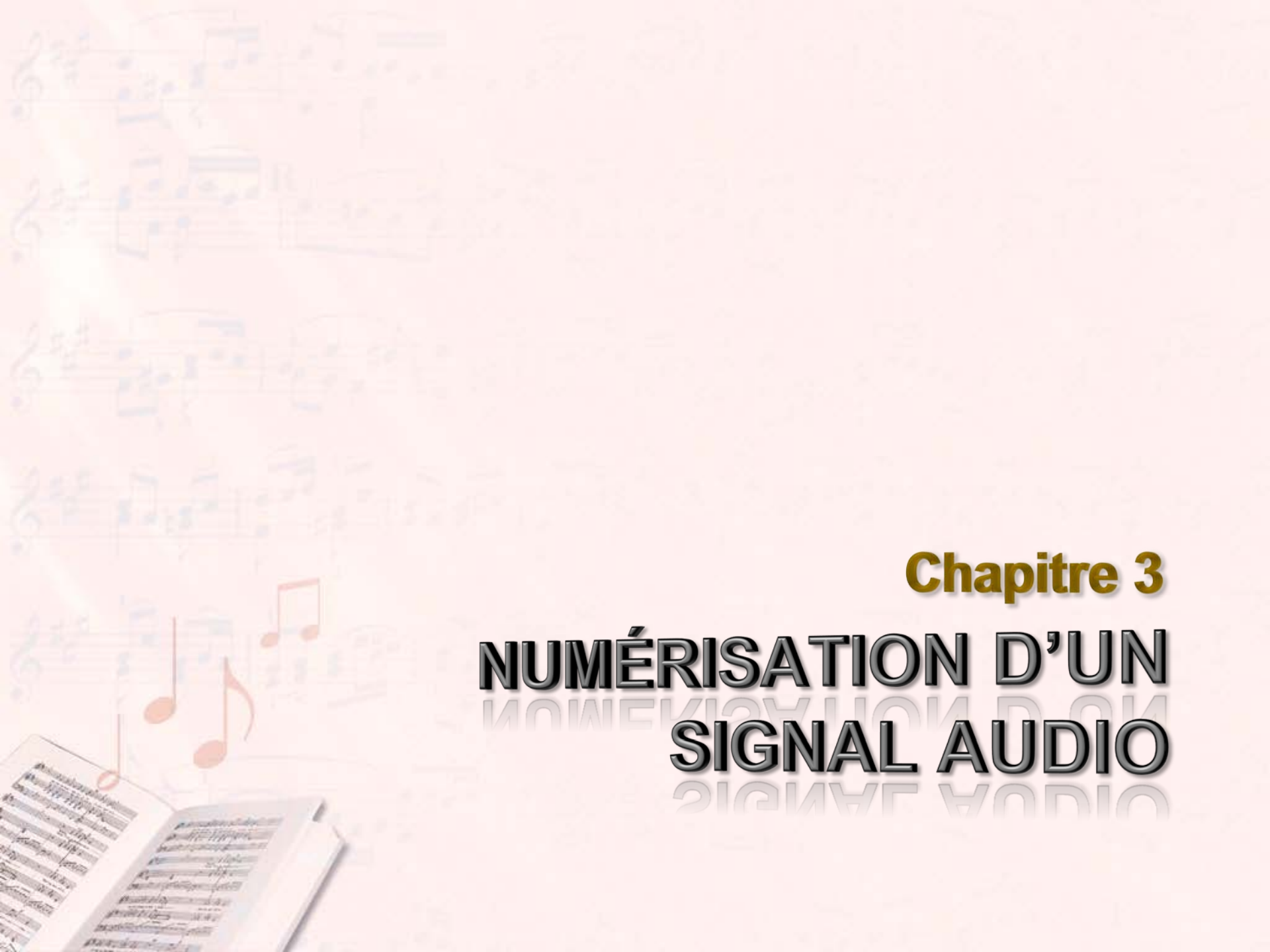
- aucun son ne peut se propager dans le vide



Sensibilité de l'oreille

- La fréquence d'un son est liée à la hauteur d'un son perçu
 - Fréquence faible = son grave
 - Fréquence élevée = son aigu
- Tout être vivant doté d'une ouïe ne peut percevoir qu'une partie du spectre sonore :
 - l'oreille humaine moyenne ne perçoit les sons **qu'entre 20 Hz** (*en dessous les sons sont qualifiés d'infrasons*) **et 20 kHz** (*au-delà les sons sont qualifiés d'ultrasons*);
 - le chien perçoit les sons jusqu'à 35 kHz;
 - la chauve-souris peut percevoir les sons jusqu'à 100 kHz.





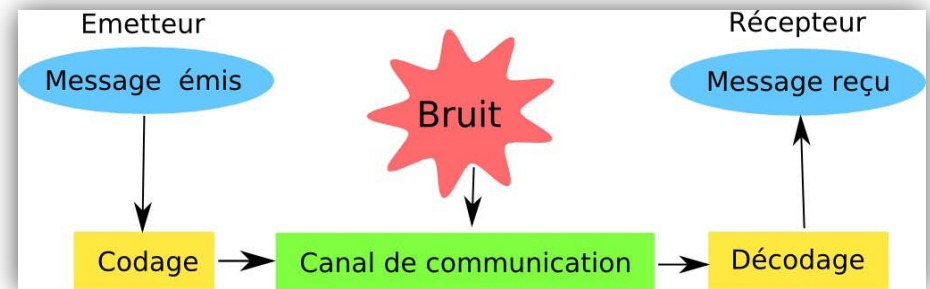
Chapitre 3

NUMÉRISATION D'UN SIGNAL AUDIO

Chaîne de transmission

- Chaîne de transmission

1. analogiques à l'origine



2. convertis en signaux binaires

- *Échantillonnage + quantification + codage*

3. brassage des signaux binaires

- *Multiplexage*

codage

4. séparation des signaux binaires

- *Démultiplexage*

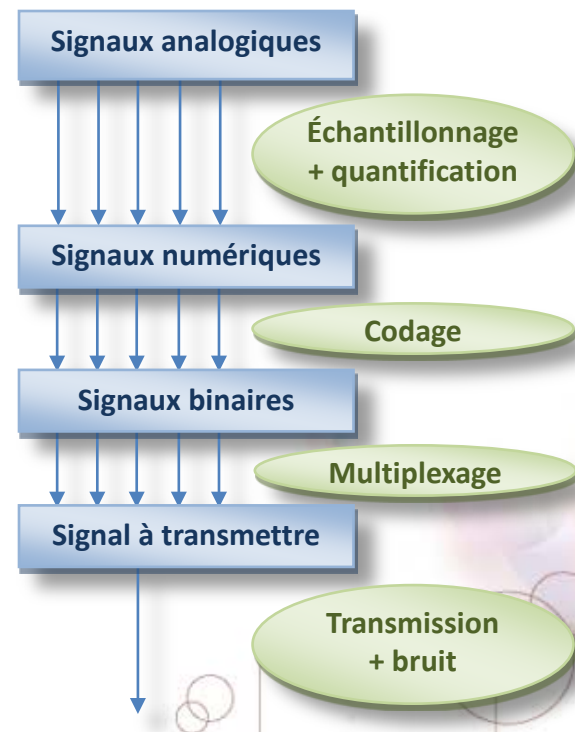
5. convertis en signaux analogiques

- *Décodage + Blocage + filtrage*

décodage

Principe de numérisation

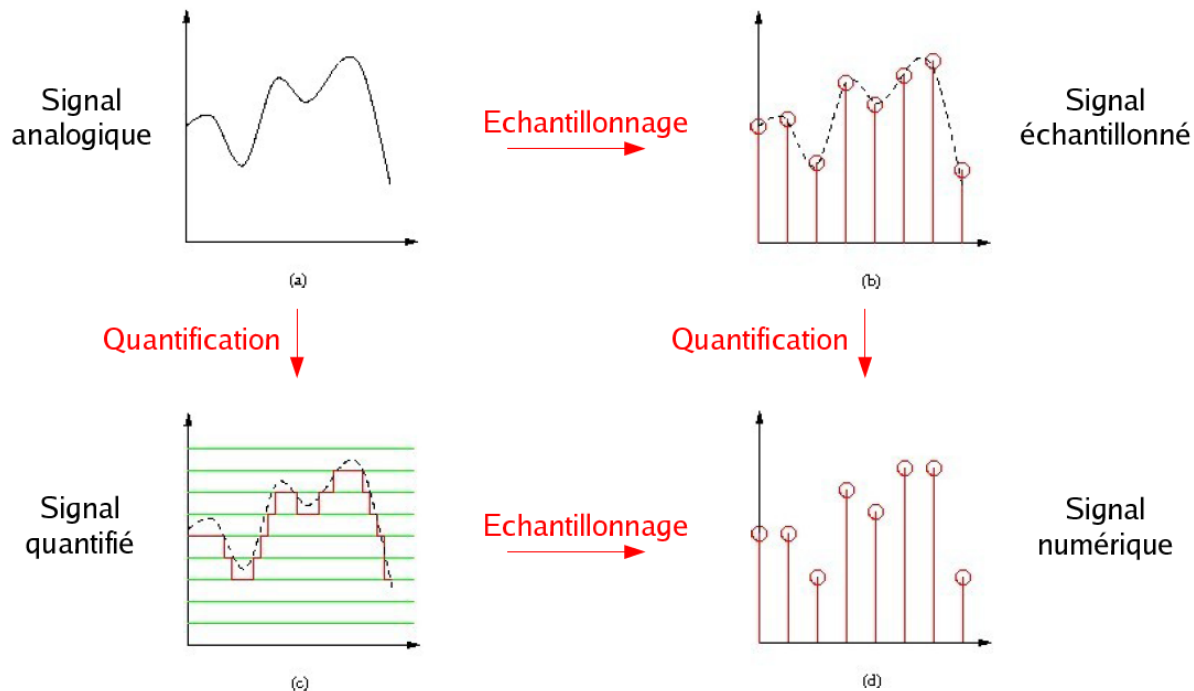
- La transformation d'un signal analogique en signal numérique binaire est appelée **numérisation**.
- La numérisation comporte plusieurs activités :
 1. l'**échantillonnage**
 2. la **quantification**
 3. le **codage** du signal numérique
 4. le **multiplexage** pour la transmission numérique



Conversion analog. / numér.

- Signal numérique

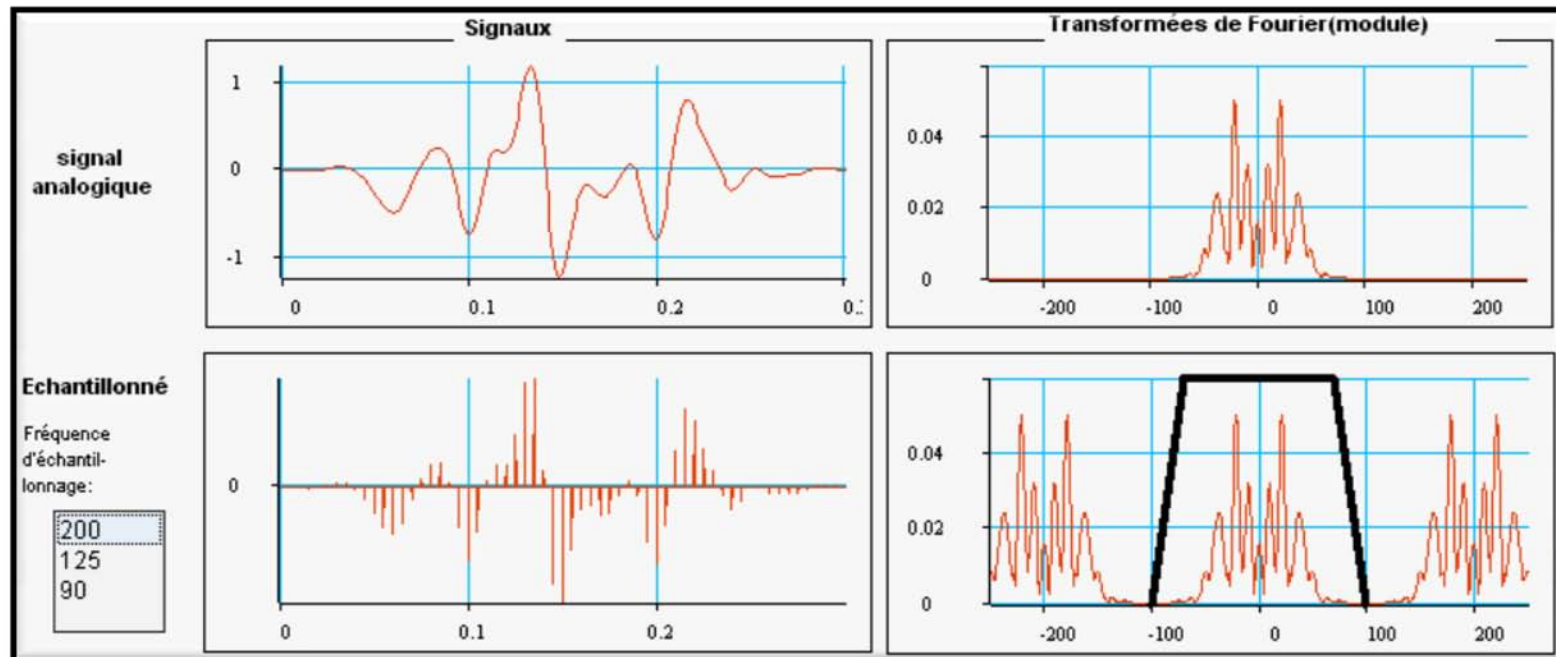
- Signal analogique échantillonné puis quantifié (ou quantifié puis échantillonné)



Échantillonnage

- Choix de la fréquence d'échantillonnage

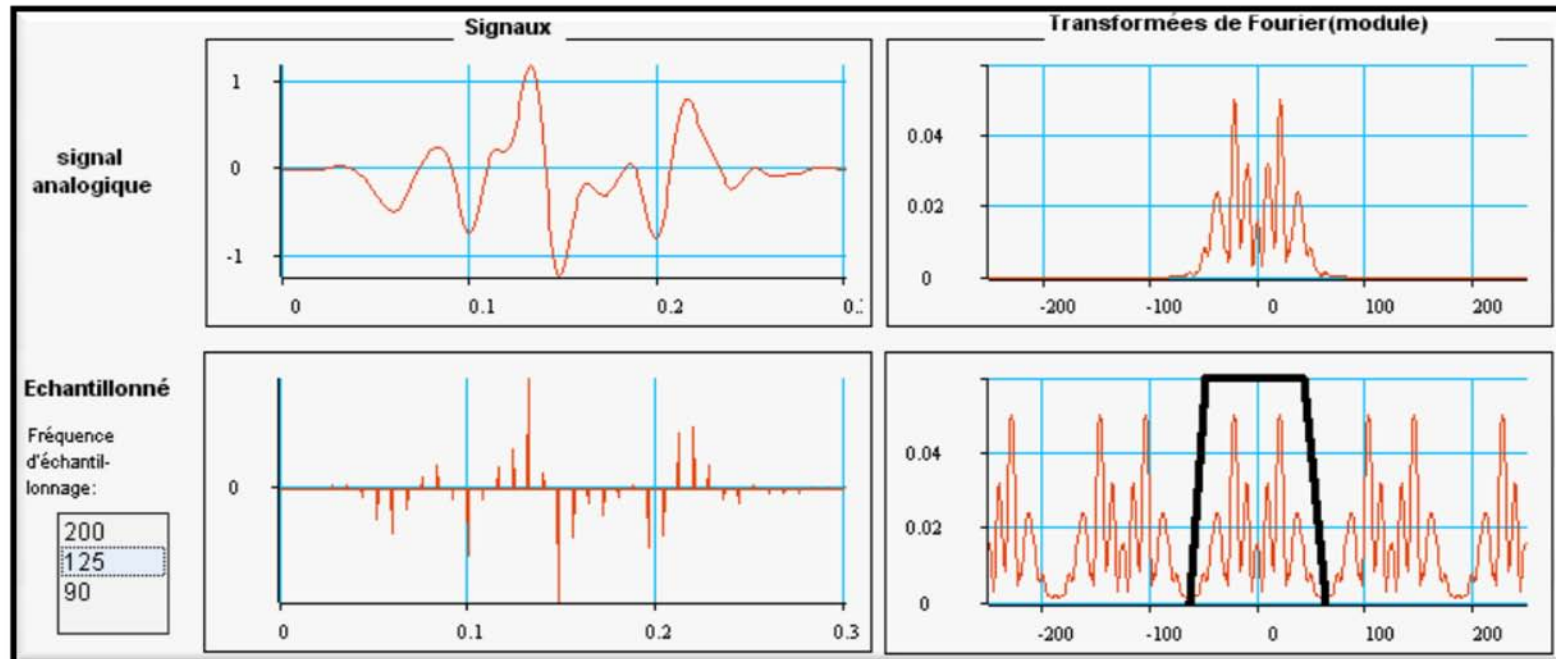
- Fréquence maximale du signal : $F_{\max} = 60 \text{ Hz}$
- Fréquence d'échantillonnage : $F_e = 200 \text{ Hz}$
- $F_e > 2 \times F_{\max}$: le signal peut être RECUPERE



Échantillonnage

- Choix de la fréquence d'échantillonnage

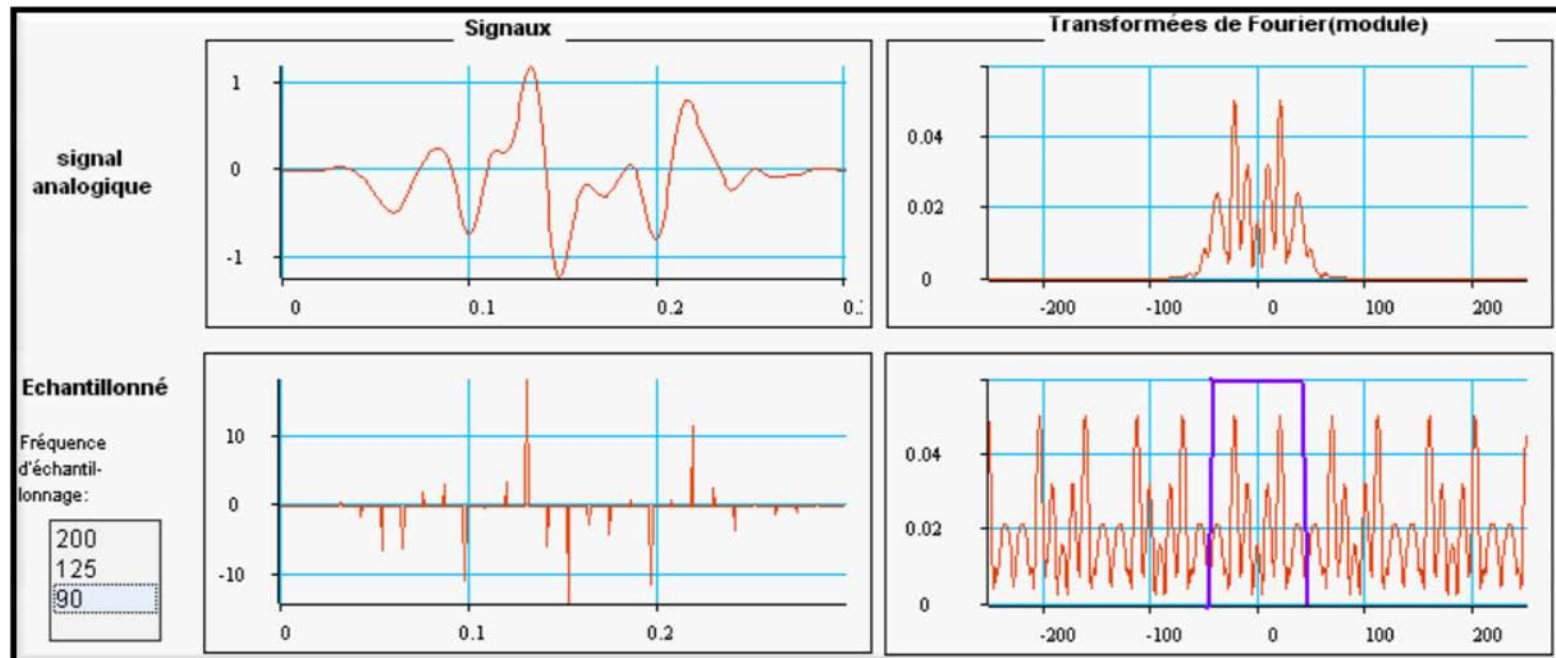
- Fréquence maximale du signal : $F_{\max} = 60 \text{ Hz}$
- Fréquence d'échantillonnage : $F_e = 125 \text{ Hz}$
- $F_e \approx 2 \times F_{\max}$: le signal peut être DIFFICILEMENT RECUPERE



Échantillonnage

- Choix de la fréquence d'échantillonnage

- Fréquence maximale du signal : $F_{\max} = 60 \text{ Hz}$
- Fréquence d'échantillonnage : $F_e = 90 \text{ Hz}$
- $F_e < 2 \times F_{\max}$: le signal est **IRRECUPERABLE** par filtrage



Échantillonnage

- Lors de la phase d'échantillonnage, il y a risque de perte d'information. Claude E. Shannon a donné une condition pour ne pas perdre d'information dans un signal (**théorème de Shannon**) :
 - La fréquence d'échantillonnage doit être au moins égale au double de la fréquence maximale du signal analogique :

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

- La distance entre deux échantillons se traduit par :

$$T_e \leq 1 / (2 \times F_{\max})$$

Quantification

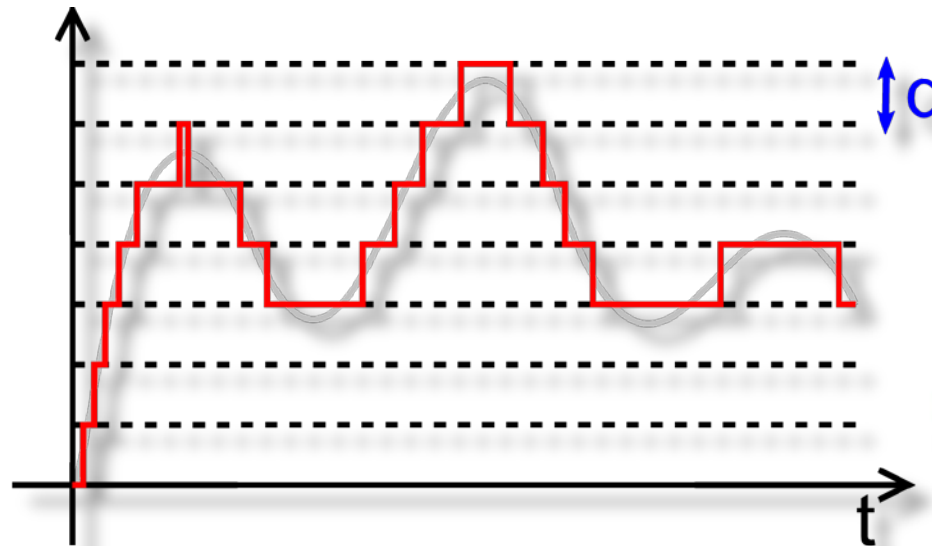
- Plusieurs types de quantification
 - Quantification uniforme (*linéaire*)
 - Simple
 - Avec zone morte
 - Quantification variable (*non linéaire*)
 - Logarithmique
 - Adaptative

Quantification

Quantification

- **Uniforme**
 - simple
 - avec zone morte
- **Variable**
 - logarithmique
 - adaptative

- Ceci consiste à choisir les niveaux de quantification avec un **pas de quantification q constant**

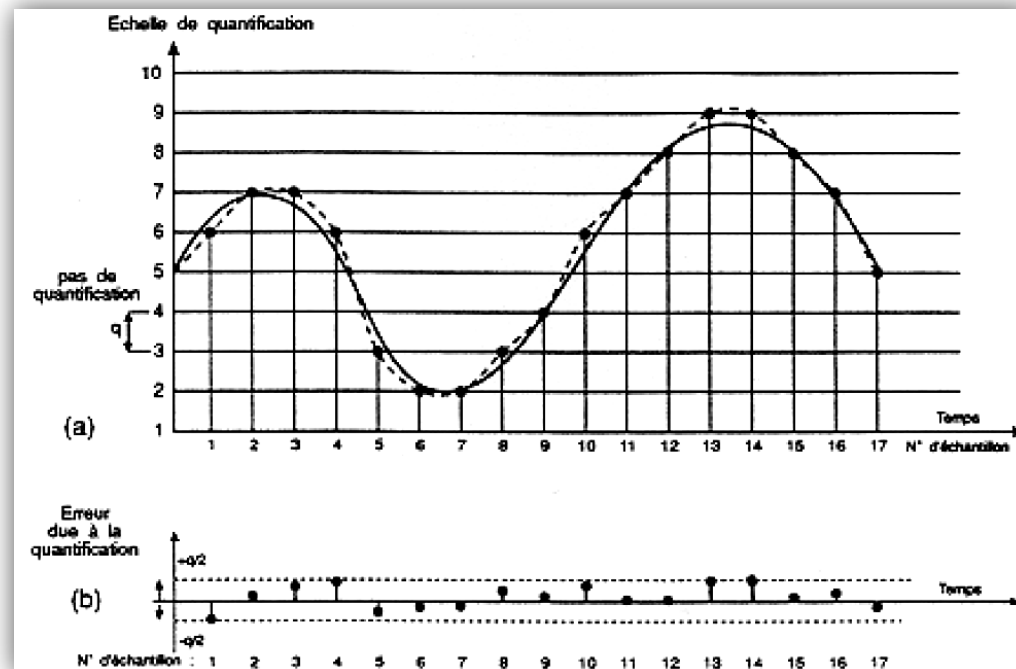


Quantification

Quantification

- **Uniforme**
 - simple
 - avec zone morte
- **Variable**
 - logarithmique
 - adaptative

- Il y a perte d'information lors de la quantification
 - Perte maximale égale à $q/2$ (par échantillon)



Quantification

Quantification

- **Uniforme**

- simple
- avec zone morte

- **Variable**

- logarithmique
- adaptative

- Sensibilité au bruit :
 - Erreur moyenne $\varepsilon_{\text{moy}} = q / 2$
 - Erreur quadratique $\varepsilon_{\text{quad}} = q / 3.464$
- La sensibilité au bruit (bruit de quantification) augmente avec le pas de quantification q
- Rapport signal à bruit RSB
 - rapport entre la valeur efficace du signal S_{eff} et la valeur efficace du bruit $\varepsilon_{\text{quad}}$
 - Si l'amplitude du signal analogique est faible, pour un pas de quantification donné
 - RSB très faible
 - Bruit de quantification très important

Quantification

Quantification

- **Uniforme**

- simple
- avec zone morte

- **Variable**

- logarithmique
- adaptative

- **Débit d'information**

- Quantité d'information d'un échantillon du signal numérique, définie :
 - sur une N_{quant} bits de quantification
 - sur N_{canaux} canaux (mono : 1, stéréo : 2, ...)
 - avec une fréquence d'échantillonnage F_e :

$$D = N_{\text{quant}} \times N_{\text{canaux}} \times F_e$$

- **Volume d'information**

- quantité d'information transmise pendant un durée d

$$V = D \times d = N_{\text{quant}} \times N_{\text{canaux}} \times F_e \times d$$

Quantification

Quantification

- **Uniforme**
 - simple
 - avec zone morte
- **Variable**
 - logarithmique
 - adaptative

- **Format audio PCM / MIC**
 - Procédé de numérisation des données audio sans compression (mono ou stéréo)
 - « *Pulse Code Modulation* » PCM
 - « *Modulation d'Impulsions Codés* » MIC
- **Utilisation du format PCM**
 - **CD-Audio**
 - stéréo : $N_{\text{canaux}} = 2$
 - profondeur de codage de $N = 16$ bits
 - fréquence d'échantillonnage $F_e = 44.1\text{kHz}$
 - débit binaire $D = 1378 \text{ kbps (kbits/s)} = 172.3 \text{ ko/s}$

Quantification

Quantification

- **Uniforme**
 - simple
 - avec zone morte
- **Variable**
 - logarithmique
 - adaptative

- **Format PCM / MIC**
 - Procédé de numérisation des données audio sans compression
 - « *Pulse Code Modulation* » PCM
 - « *Modulation d'Impulsions Codés* » MIC
- **Utilisation du format PCM**
 - Implantée sur les cartes son d'ordinateurs
 - Quantification sur 8 ou 16 bits (256 à 65536 niveaux)
 - Numérisation brute, très fidèle au signal analogique, sans compression
 - Réseau Téléphonique Commuté (RTC)
 - Numérisation de communications téléphoniques sur 8 bits (256 niveaux)

Quantification

Quantification

- **Uniforme**
 - simple
 - avec zone morte
- **Variable**
 - logarithmique
 - adaptative

- Format LPCM « *Linear Pulse Code Modulation* »
 - Évolution et amélioration du format PCM
 - PCM
 - format sonore non compressé, à 1 (mono) ou 2 (stéréo) canaux
 - fréquence d'échantillonnage de 44.1 kHz
 - profondeur de codage de 8 ou 16 bits
 - débit binaire $D = 345$ à 1378 kbps = 43.1 à 172.3 ko/s
 - LPCM
 - Format sonore non compressé, jusqu'à 8 canaux
 - Fréquence d'échantillonnage de 48 ou 96 kHz
 - Profondeur de codage de 16, 20 ou 24 bits
 - débit binaire D jusqu'à 17.6 Mbps = 2.2 Mo/s
 - Utilisation du format LPCM
 - DVD-audio
 - certains DVD-vidéo

Quantification

Quantification

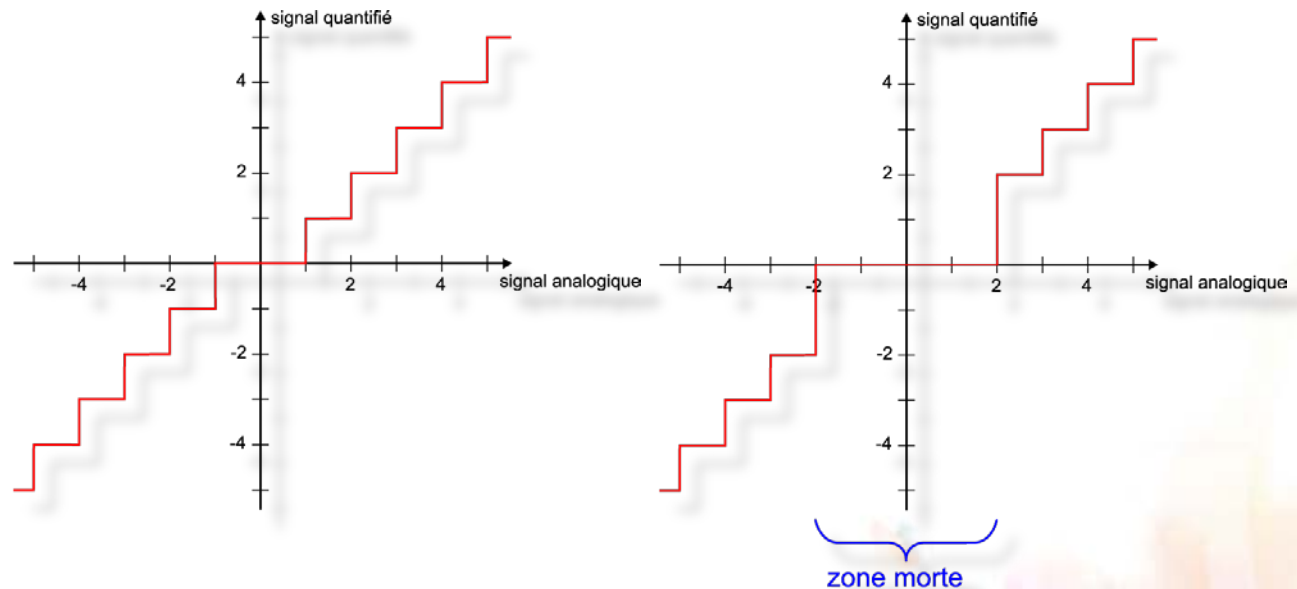
- **Uniforme**

- simple
- avec zone morte

- **Variable**

- logarithmique
- adaptative

- Quantification uniforme à zone morte
 - Variante de la quantification uniforme simple



- **Utilisation**

- Élimination des sons inaudibles de très faibles amplitudes ou cachés par des sons beaucoup plus forts

Quantification

Quantification

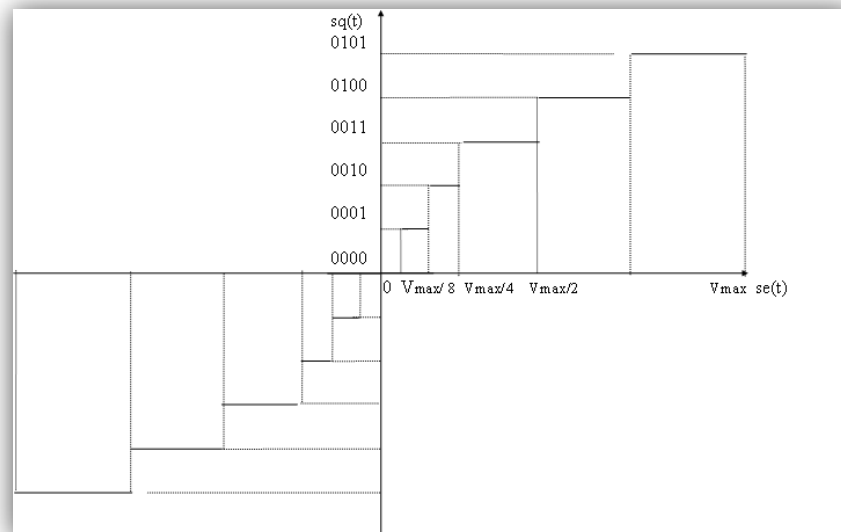
• Uniforme

- simple
- avec zone morte

• Variable

- logarithmique
- adaptative

- Afin de réduire la sensibilité au bruit
 - Utilisation d'un pas de quantification p variable
 - But : obtenir un rapport signal à bruit (RSB) constant
 - Conséquences :
 - p faible pour les petites amplitudes du signal
 - p important pour les grandes amplitudes

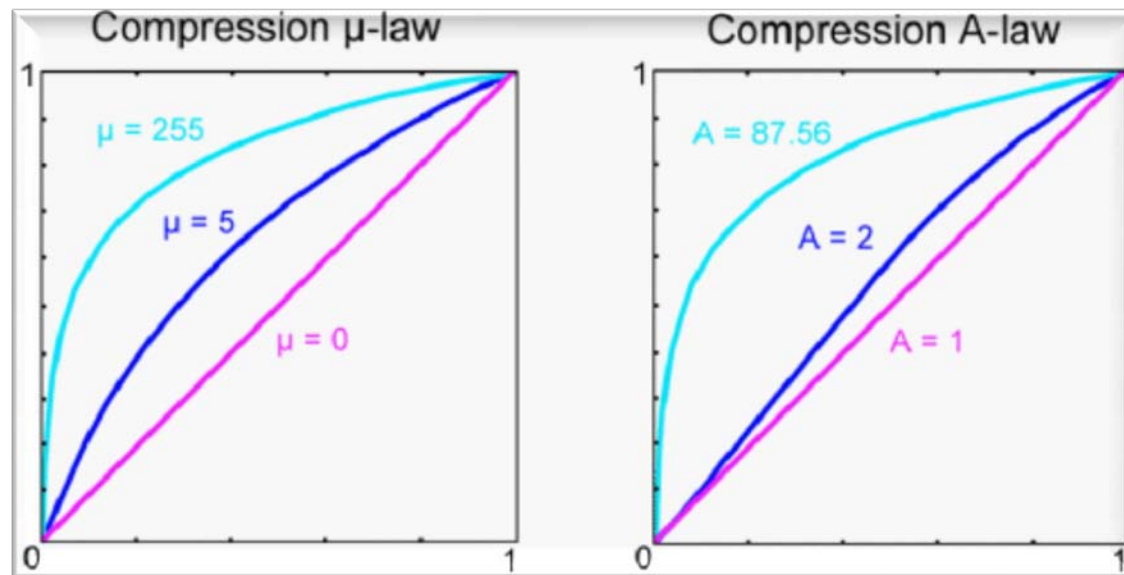


Quantification

Quantification

- **Uniforme**
 - simple
 - avec zone morte
- **Variable**
 - logarithmique
 - adaptative

- En pratique
 - Utilisation d'une quantification dite **semi-logarithmique**
 - Loi μ (USA et Japon)
 - Loi A (Europe et reste du monde)



Quantification

Quantification

- **Uniforme**

- simple
- avec zone morte

- **Variable**

- logarithmique
- adaptative

- **Format CCITT / UIT**
 - Procédé de numérisation des données audio avec compression
 - « *Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique* » (CCITT)
 - « *Union internationale des télécommunications* » (UIT)
- **Utilisation du format CCITT A-law / CCITT μ -law**
 - applications téléphoniques sur le Web
 - initialement développé comme standard de communication téléphonique.

Quantification

Quantification

• Uniforme

- simple
- avec zone morte

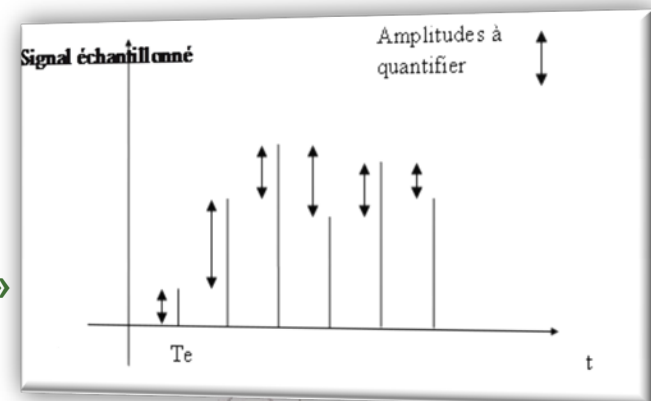
• Variable

- logarithmique
- adaptative

- Pour réduire le débit binaire sans perte de qualité
 - Quantifier la différence Δ entre 2 échantillons successifs
 - différence Δ plus faible que la valeur d'un échantillon
 - moins de bits nécessaires pour la quantification
 - en pratique pas de gain important
 - Pour l'audio, réduction du nombre de bits de 25 % environ par rapport au PCM

• Exemple :

- format DPCM
« *Differential PCM* »

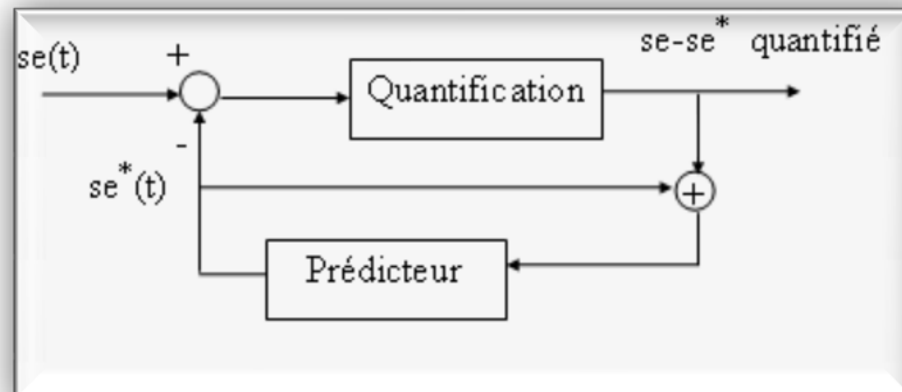


Quantification

Quantification

- **Uniforme**
 - simple
 - avec zone morte
- **Variable**
 - logarithmique
 - adaptative

- Quantification adaptative
 - Utiliser un prédicteur
 - $se(t)$ = signal à numériser
 - $se^*(t)$ = signal généré par le prédicteur, capable de reconstruire une approximation du signal en fonction des caractéristiques statistiques du signal
 - Quantifier la différence $\Delta = se(t) - se^*(t)$ entre un échantillon et la valeur estimée par le prédicteur



Quantification

Quantification

• Uniforme

- simple
- avec zone morte

• Variable

- logarithmique
- adaptative

- Format ADPCM « *Adaptive Differential PCM* »
 - Évolution et amélioration du format PCM
 - Le format ADPCM implanté sous Windows effectue un codage sur 4 bits.
 - Il permet donc d'obtenir un rapport de compression de 4:1 par rapport à un codage en PCM sur 16 bits, stéréo, à $F_e = 44.1$ kHz.
 - Débit binaire ADPCM : $D = 352.8$ kbps = 44.1 ko/s
 - Débit binaire PCM : $D = 1411.2$ kbps = 176.4 ko/s
 - Format très utilisé, en particulier par le système de téléphonie numérique sans fil à usage domestique DECT (*Digital Enhanced Cordless Telephone*).
 - Il est possible ainsi d'obtenir une qualité excellente pour des débits inférieurs à PCM.

Quantification

Quantification

- **Uniforme**

- simple
- avec zone morte

- **Variable**

- logarithmique
- adaptative

- Format ADPCM « *Adaptive Differential PCM* »
 - Avantages
 - Réduction du débit binaire à qualité constante
 - augmentation de la capacité du support de transmission
 - Amélioration de la qualité à débit constant
 - Exemple : téléphonie améliorée sur le RNIS
 - Inconvénients
 - traitement plus complexe
 - moins bonne réponse aux transitions brusques
 - plus grande sensibilité aux erreurs de transmission
 - exige une bonne connaissance à priori du signal
 - signal parfaitement aléatoire ne pourra être extrapolé, donc le format ADPCM sera inefficace

Quantification

Quantification

• Uniforme

- simple
- avec zone morte

• Variable

- logarithmique
- adaptative

- Encodeurs adaptatifs
 - « *Code Excited Linear Prediction* » (CELP)
 - Algorithme de codage de la parole
 - « *Global System Mobile* » (GSM)
 - norme numérique de 2nde génération pour la téléphonie mobile
- Principe
 - Utilisation de prédicteurs linéaires (filtres linéaires)
 - Transmission des caractéristiques statistiques du signal afin de faire fonctionner le prédicteur.
 - Le codage d'un signal vocal (fréquences comprises entre 0 et 4 kHz) peut être échantillonné à 8 kHz.
 - Une quantification PCM mono sur 8 bits nous donne un débit de 64 Kb/s.
 - Avec un codec GSM on obtient un débit de 13 kbps.
 - Rapport de compression d'environ 5:1.

Quantification

- La qualité du signal numérique dépend de :
 - Résolution N : nombre de bits / échantillon
 - Profondeur P : nombre de valeurs différentes / échantillon
 - Plus N est grand, plus P est grand, meilleure est la qualité.
 - Fréquence d'échantillonnage F_e
 - Condition de Shannon : $F_e \geq 2 \times F_{\max}$
- Le type de quantification
 - Linéaire PCM :
 - sensible au bruit
 - Non linéaire CCITT :
 - peu sensible au bruit, mais débit important
 - Adaptative ADPCM (avec prédicteur) :
 - réduction du débit selon les caractéristiques statistiques du signal

Quantification

- Récapitulatif

Codecs audio	Échantillonnage (kHz)	Résolution (bits)	Débit (ko/s)	Mono - Stéréo
PCM	8 à 48	8 ou 16	7.8 à 187.5	mono / stéréo
LPCM	8 à 96	8 à 24	7.8 à 2250	1 à 8 canaux
CITT A-Law	8 à 44.1	8	7.8 à 86.1	mono / stéréo
CITT μ -Law	8 à 44.1	8	7.8 à 86.1	mono / stéréo
IMA ADPCM	8 à 44.1	4	3.9 à 21.5	mono
Microsoft ADPCM	8 à 44.1	4	3.9 à 21.5	mono / stéréo
Lernout&Hauspie CELP	5 à 16	8 ou 16	4.9 à 31.3	mono
GSM 6.10	8 à 44.1		1 à 8	mono

PCM (*Pulse Code Modulation*)

LPCM (*Linear PCM*)

ADPCM (*Adaptive Differential PCM*)

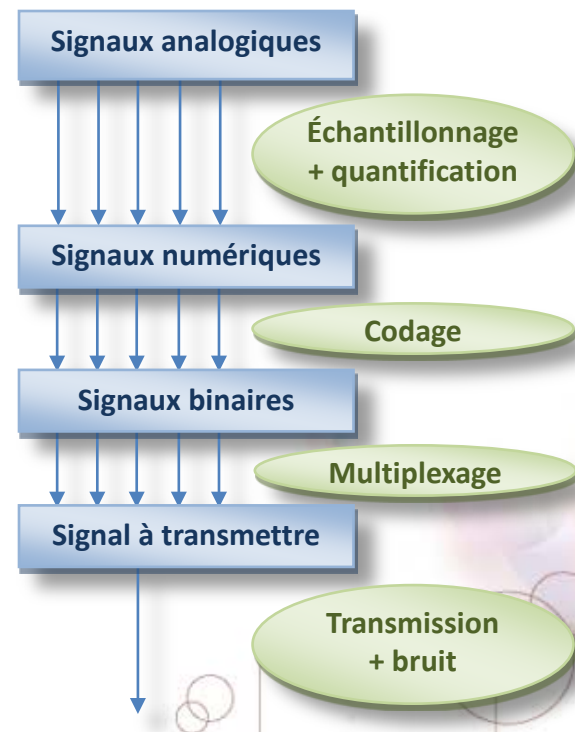
CCITT (*Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique*)

CELP (*Code Excited Linear Production*)

GSM (*Global System Mobile*)

Principe de numérisation


- La transformation d'un signal analogique en signal numérique binaire est appelée **numérisation**.
- La numérisation comporte plusieurs activités :
 1. l'**échantillonnage**
 2. la **quantification**
 3. le **codage** du signal numérique
 4. le **multiplexage** pour la transmission numérique

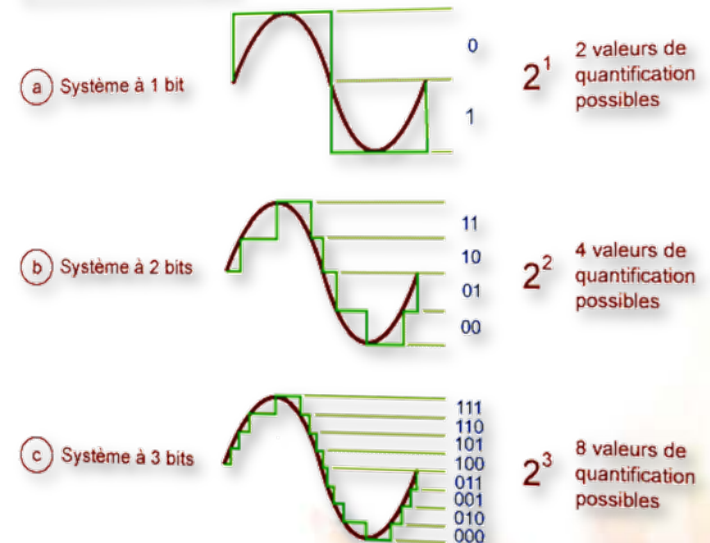


Codage

- En numérique :
 - chaque niveau est codé sur N bits (appelé **nombre de bits de quantification**)
 - soit 2^N combinaisons pour quantifier des échantillons
- Exemples :
 - 1 bit : 2 combinaisons
 - 8 bits : 256 combinaisons
 - 16 bits : 65536 combinaisons
 - 24 bits : 16 millions de combinaisons
 - 32 bits : 4 milliards de combinaisons

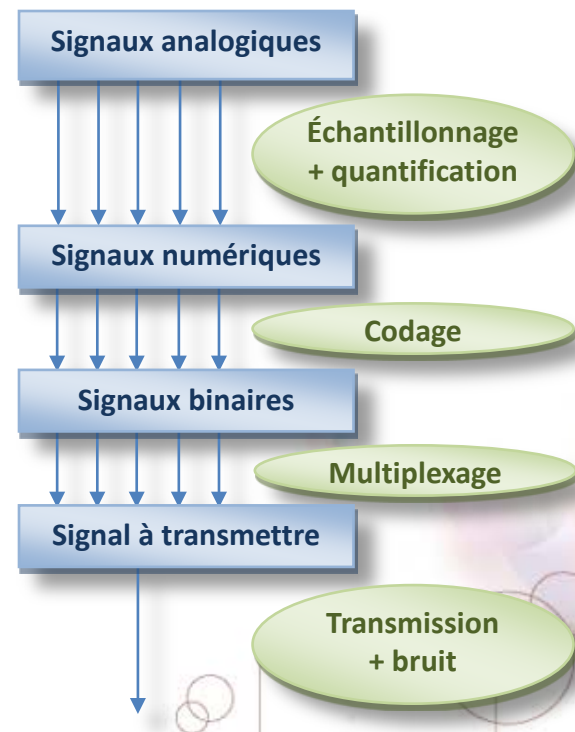
Valeurs de quantification

Signal d'origine 



Principe de numérisation

- La transformation d'un signal analogique en signal numérique binaire est appelée **numérisation**.
- La numérisation comporte plusieurs activités :
 1. l'**échantillonnage**
 2. la **quantification**
 3. le **codage** du signal numérique
 4. le **multiplexage** pour la transmission numérique



Multiplexage

- Définition

On appelle **multiplexage**, la capacité à transmettre **sur un seul support physique** (appelé *voie haute vitesse*), des données provenant de plusieurs émetteurs et allant vers plusieurs émetteurs (on parle alors de *voies basse vitesse*).



Multiplexage

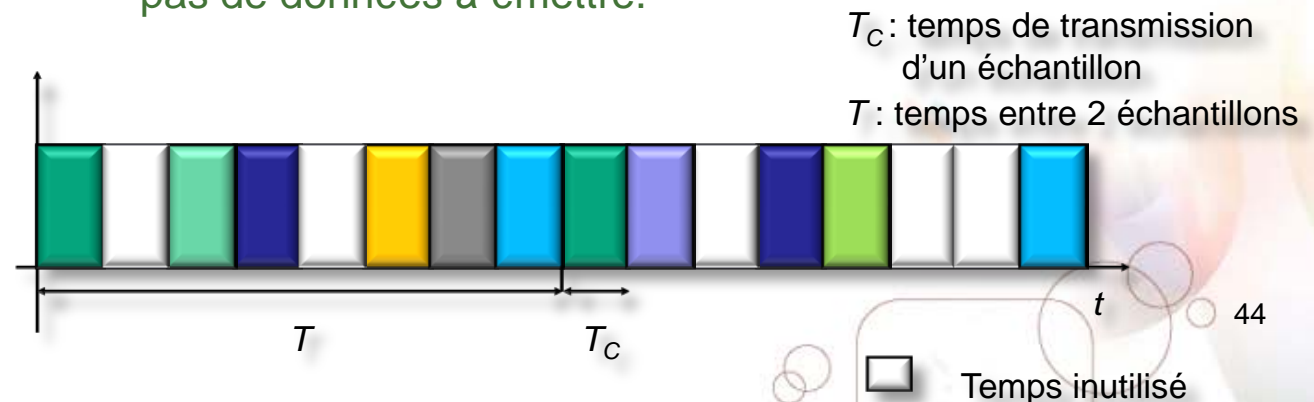
- Types de codage
 1. Multiplexage **temporel**
 2. Multiplexage **fréquentiel**
 3. Multiplexage **temporel statistique**

Multiplexage

Multiplexage

- **Temporel**
- Fréquentiel
- Temporel statistique

- Multiplexage temporel
 - appelé aussi *MRT* (*Multiplexage par répartition dans le temps*)
 - Intérêt
 - permet d'échantillonner les signaux des différentes voies « basse vitesse » et de les transmettre successivement sur la voie « haute vitesse » en leur allouant la totalité de la bande passante, et ce, même si celles-ci ne possèdent pas de données à émettre.



Multiplexage

Multiplexage

- **Temporel**
- **Fréquentiel**
- **Temporel statistique**

- **Multiplexage temporel**
 - **Avantages**
 - Multiplexage le plus simple et le plus rapide
 - Facilité pour déterminer la position d'une donnée dans la trame
 - Le changement de fréquences (basses ↔ hautes vitesses) est identique pour toutes les données
 - **Inconvénients**
 - Non optimisation de la bande passante
 - La trame peut posséder des trous s'il y a aucune donnée à transmettre entre un émetteur et un récepteur
 - Très peu efficace en cas de liaisons à débit variable
 - Peu souple

Multiplexage

Multiplexage

- Temporel
- **Fréquentiel**
- Temporel
statistique

- Multiplexage fréquentiel
 - appelé aussi *MRF* (*Multiplexage par répartition de fréquences*)
 - Intérêt
 - permet de partager la bande de fréquence disponible sur la voie « haute vitesse » en une série de canaux de plus faible largeur afin de faire circuler en permanence sur la voie « haute vitesse » les signaux provenant des différentes voies « basse vitesse ».
 - Ce procédé est notamment utilisé sur les lignes téléphoniques et les liaisons physiques en paires torsadées afin d'en accroître le débit.

Multiplexage

Multiplexage

- Temporel
- **Fréquentiel**
- Temporel statistique

- Multiplexage fréquentiel

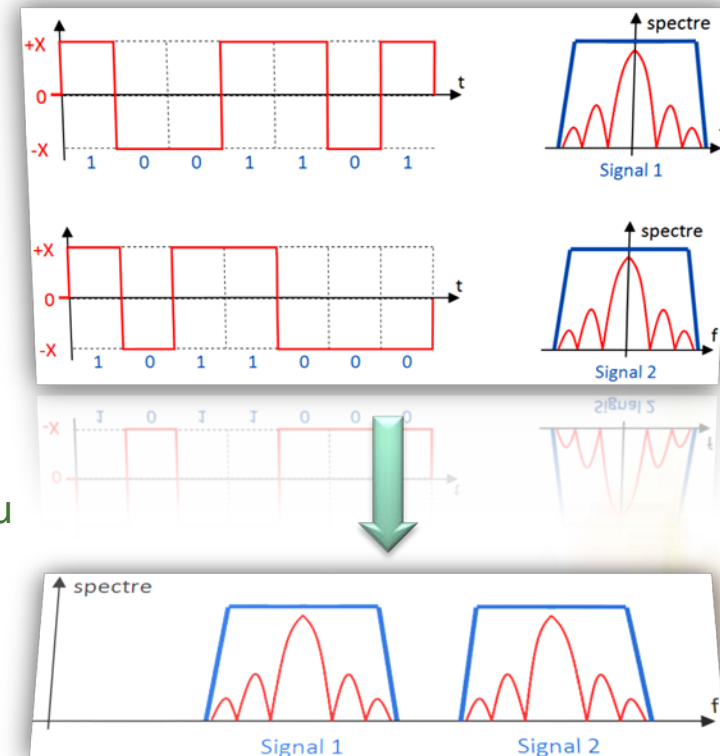
- Principe

- Multiplexage

- Décalage du spectre en fréquence de chaque signal autour d'une fréquence F_C , par une modulation en fréquences

- Démultiplexage

- Filtrage du signal reçu autour de la fréquence F_C , à l'aide d'un filtre passe-bande de largeur ΔF
 - Décalage du spectre en fréquence résultant autour de 0.



Multiplexage

Multiplexage

- Temporel
- **Fréquentiel**
- Temporel
statistique

- Multiplexage fréquentiel
 - Avantages
 - Peu de pertes induites par le multiplexage
 - Garantie de débit si tous les spectres ont des fréquences inférieures à la fréquence maximale admissible pour le support de transmission
 - Inconvénients
 - Problèmes de recouvrement de spectre si les spectres des différents signaux se recourent
 - Gaspillage de la bande passante lorsqu'elle possède des trous s'il n'y a aucune donnée à transmettre entre un émetteur et un récepteur

Multiplexage

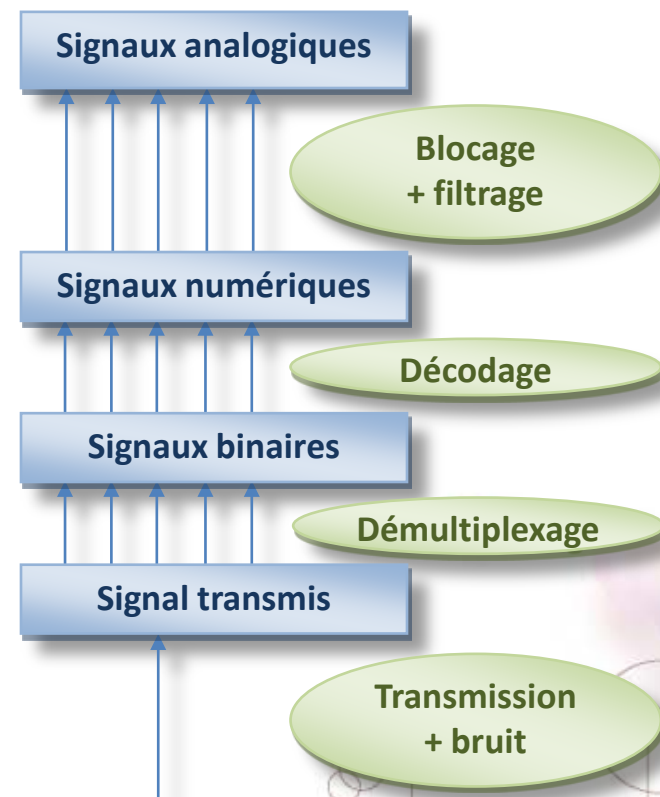
Multiplexage

- Temporel
- Fréquentiel
- Temporel statistique

- Multiplexage temporel statistique
 - Intérêt
 - reprend les caractéristiques du multiplexage temporel, à la différence près qu'il ne transmet sur la voie haute vitesse uniquement les voies basse vitesse comportant des données.
 - Le multiplexage se base sur des statistiques concernant le débit de chaque ligne basse vitesse.
 - Conséquence
 - la ligne haute vitesse ne transmet pas les *blancs*
 - les performances sont meilleures qu'avec un multiplexage temporel

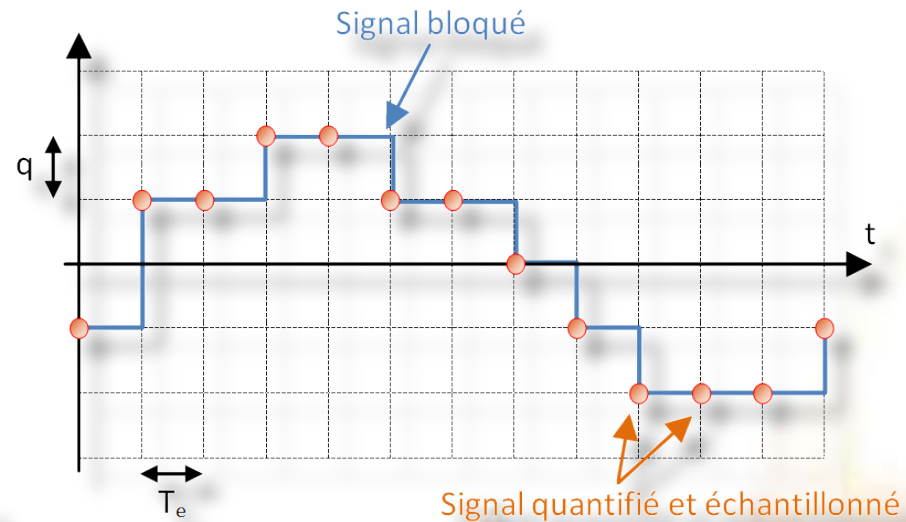
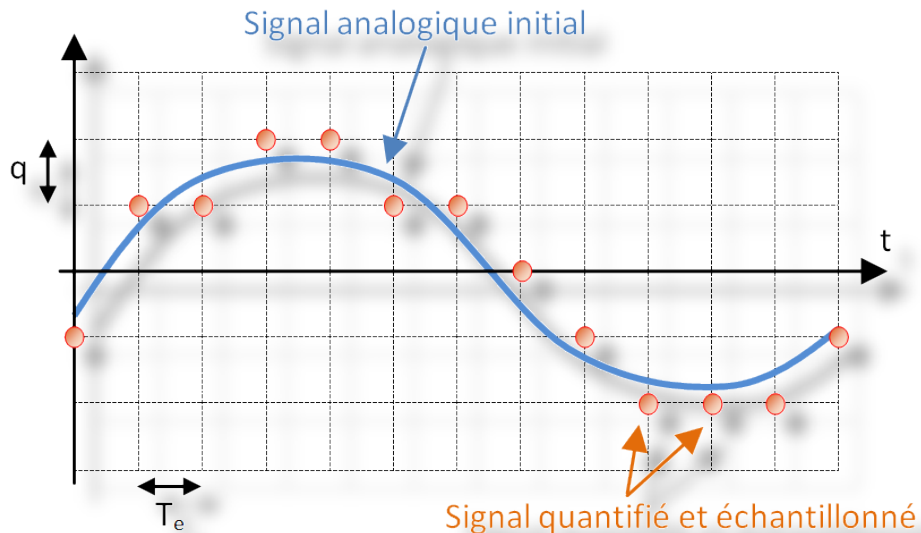
Conversion numér. / analog.

- Conversion numérique / analogique
 - pour être écoutés et/ou visualisés
- La conversion comporte plusieurs activités :
 1. Le **démultiplexage**
 2. Le **décodage** en signal informatique
 3. Le **blocage** et le **filtrage**



Conversion numér. / analog.

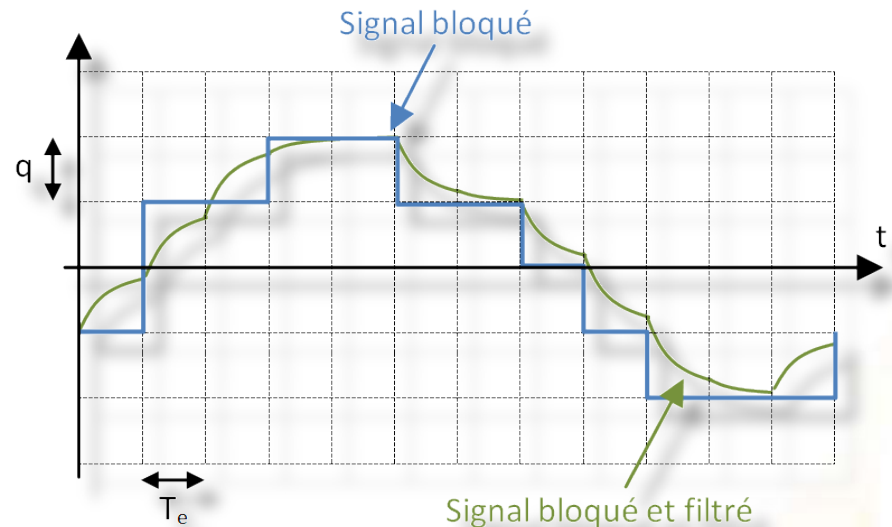
- 1^{ère} étape : blocage
 - On utilise un bloqueur

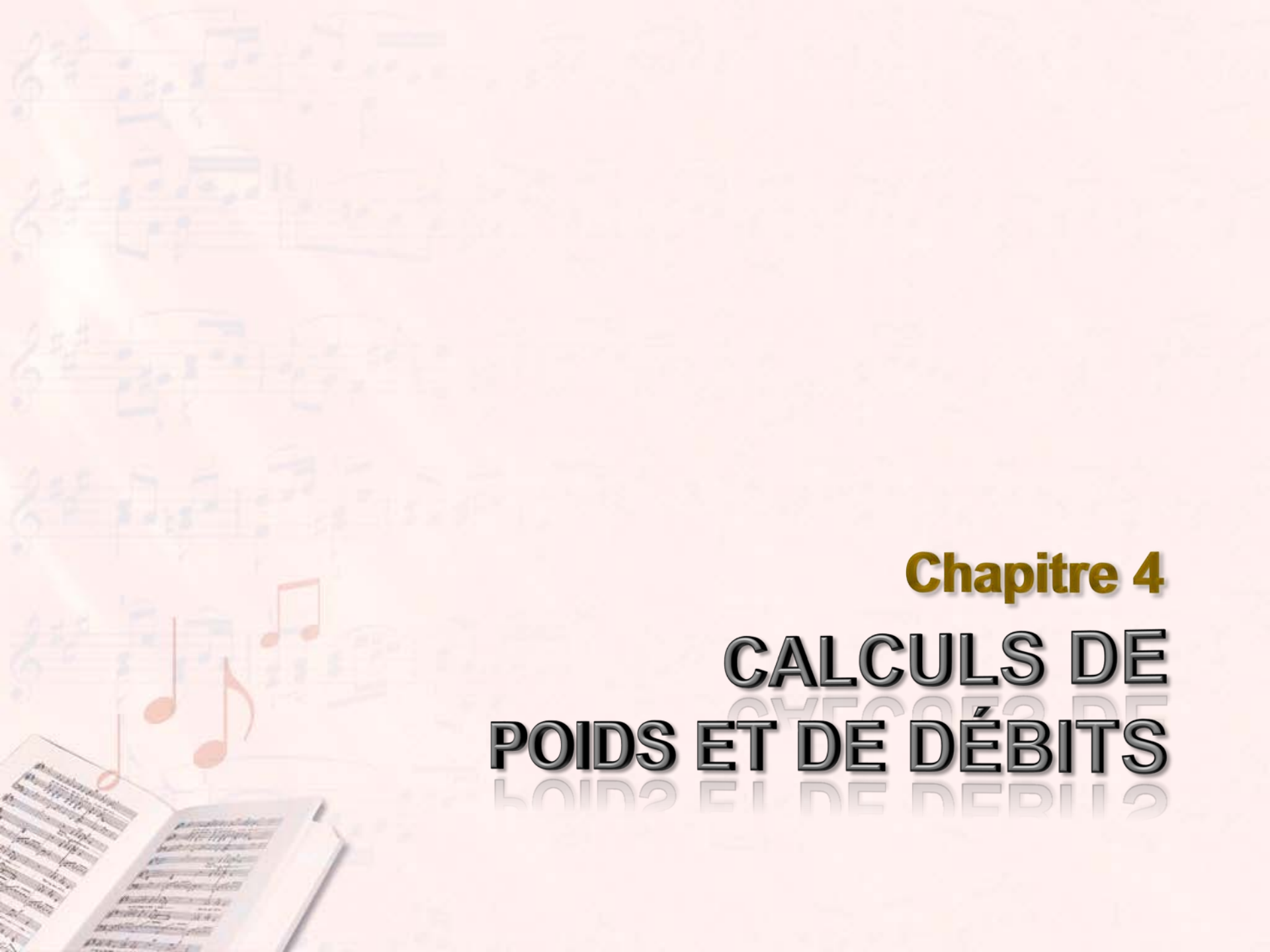


- Celui-ci doit maintenir la valeur de l'échantillon pendant toute la durée T_e .
- On obtient alors un signal en marches d'escalier.

Conversion numér. / analog.

- 2^{nde} étape : filtrage
 - Utilisation d'un filtre passe-bas
 - filtre moyenneur car temporellement il conserve la valeur moyenne entre deux échantillons
 - Lissage du signal
 - suppression des harmoniques parasites (hautes fréquences) dus à l'échantillonnage





Chapitre 4

CALCULS DE POIDS ET DE DÉBITS

Pour un son non compressé

- Un signal audio (non compressé) est défini par :
 - Fréquence d'échantillonnage F_e (en Hz)
 - Nombre de bits de quantification N_{quant} (en bits)
 - Nombre de canaux N_{canaux} (1 : mono, 2 : stéréo, 5 : DTS 5.1, ...)
 - Durée d

- Poids du signal audio (ou volume d'information) :

$$\text{Poids (ou } V) = d \times F_e \times N_{\text{quant}} \times N_{\text{canaux}}$$

- Débit d'information du signal audio :

$$D = F_e \times N_{\text{quant}} \times N_{\text{canaux}}$$

Pour un son compressé

- Un signal audio (compressé) est défini par :
 - Débit binaire de compression **Nbps** (en bits / s)
 - Durée **d**
- Poids du signal audio (ou volume d'information) :

$$\text{Poids (ou } V) = d \times \text{Nbps}$$

- Débit d'information du signal audio :

$$D = \text{Nbps}$$

The background of the slide is a light, warm-toned gradient. It is decorated with several faint, semi-transparent musical staves and notes. Some notes are colored in shades of blue and orange. In the bottom-left corner, there is a partial view of an open book or sheet music, showing handwritten musical notation on its pages.

Chapitre 5

LES STANDARDS DE SIGNAUX AUDIO NUMÉRIQUES

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Types de fichiers

- Deux types formats de fichiers audio
 - Les formats conteneurs
 - Les formats spécifiques

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Types de fichiers

Formats

- **Conteneur**
- **Spécifique**

- Définition d'un format conteneur :
 - Format de fichier pouvant contenir divers types de données, celles-ci pouvant être compressées à l'aide de codecs normalisés.
- Intérêt du format conteneur :
 - Identifier et classer les différents types de données
- Formats conteneurs :
 - Simples :
 - capables de gérer différents types de codec audio.
 - Avancés :
 - capables de gérer audio / vidéo / sous-titres / chapitres / métadonnées ...

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Types de fichiers

Formats

- **Conteneur**
- **Spécifique**

- Exemples de formats conteneurs :
 - Compression audio
 - Wave Audio Format .wav
 - Compression audio-vidéo
 - 3G Mobile Phone .3gp
 - Advanced Streaming Format .asf
 - Audio Video Interleave .avi
 - Flash Video .flv
 - Matroska .mkv
 - MPEG-4 .mp4
 - OGG Media .ogg
 - QuickTime .mov
 - RealMedia .rm
 - Video Object .vob

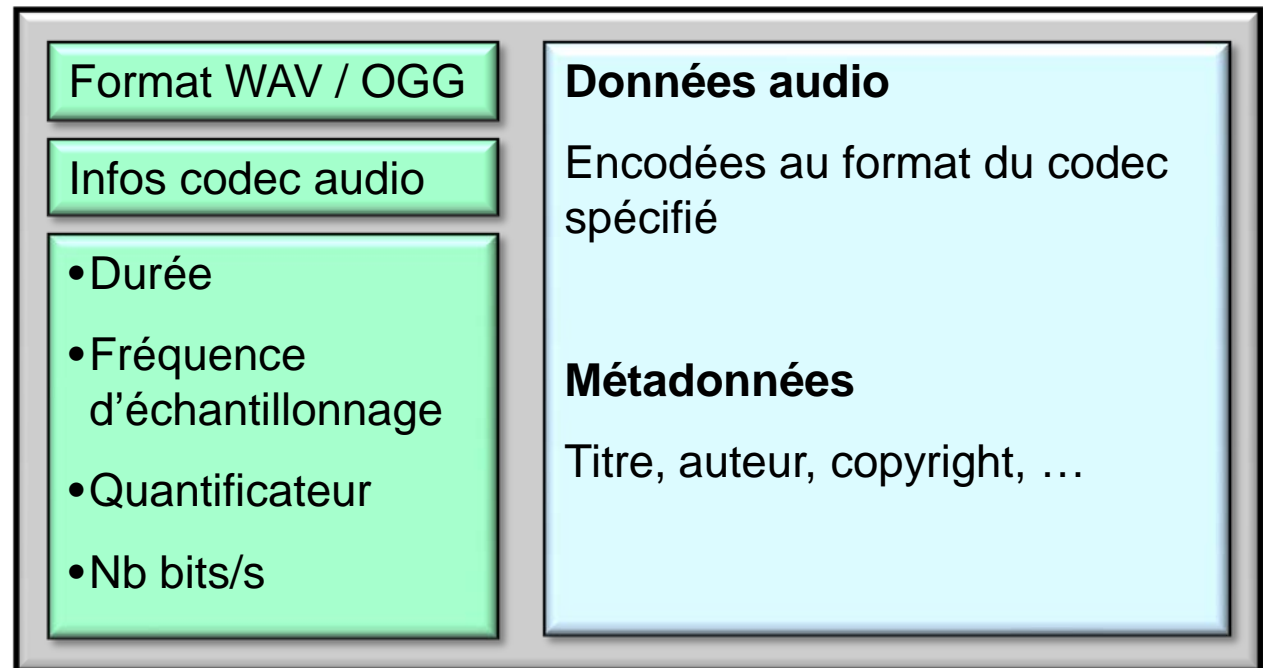
1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Types de fichiers

Formats

- Conteneur
- Spécifique

- Structure d'un fichier conteneur



1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Types de fichiers

Formats

- **Conteneur**
- **Spécifique**

- **Avantages d'un format conteneur :**
 - **Format transparent**
 - L'utilisateur du format n'a plus à se préoccuper de la manière dont les informations sont stockés.
 - Diverses informations sont incluses dans le format conteneur pour indiquer comment les données sont stockées, et surtout quels codecs ou méthodes de compression/décompression doivent être utilisés pour lire les données
 - **Format flexible**
 - Possibilité de stocker des données de n'importe quel format (audio, vidéo, ...)
 - **Format évolutif**
 - Possibilité de rajouter de nouveaux formats et codecs au fur et à mesure de leur création ou évolution

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Types de fichiers

Formats

- Conteneur
- **Spécifique**

- Définition d'un format spécifique :
 - Format de fichier consacré à une fonctionnalité précise : son seul, séquence d'images seules, texte seul,
- Comparaison avec format conteneur
 - Contrairement aux formats conteneurs ils ne sont pas ou peu évolutifs car leur champ d'action est figé lors de la création du format.

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Types de fichiers

Formats

- Conteneur
- **Spécifique**

- Exemples de formats spécifiques :
 - Compression d'images
 - JPEG , JPEG2000, PNG, BMP, PCX, GIF, TIFF, TGA, ...
 - Compression audio
 - MP3, CCITT A-Law, CCITT μ -Law, ADPCM, RA, WMA, ...
 - Compression vidéo
 - MJPEG, M-JPEG 2000, MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 Part 10 (ou h264), WMV...

voir liens wikipedia :

- http://fr.wikipedia.org/wiki/Format_conteneur
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Compression_vidéo
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Compression_audio
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Compression_d'image

Signaux audio : codecs

- Qu'est ce qu'un codec ?
 - Un codec (**CO**mpression/**DE**Compression) est un programme permettant de :
 - **Compresser** des données audio ou vidéo pour créer un fichier.
 - **Décompresser** des données audio ou vidéo contenues dans un fichier pour les lire.

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Codecs audio

- Familles de codec
 - **Codecs Sans perte (lossless)** : non destructeurs
 - Avantage :
 - Qualité de son parfaite.
 - Inconvénient :
 - Compression peu efficace.
 - **Codecs Avec pertes (lossy)** : destructeurs
 - Méthode : on tire parti des caractéristiques psychosensorielles de l'oreille humaine pour se débarrasser des informations non perçues ou redondantes
 - Avantages :
 - Compression très efficace
 - Qualité variable en fonction du taux de compression
 - Inconvénient :
 - La qualité décroît lorsque la compression augmente

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Codecs audio

Formats

- **WAV**
- **RAW**
- **PCM**
- **ADPCM**
- **CDA**
- **MP3**
- **WMA**
- **OGG**

- **Format WAV (ou WAVE)**
 - Contraction de **WAVE**forme audio format
 - Standard de Microsoft et IBM
 - Format conteneur le plus courant
 - Capable de contenir des sons compressés avec les codecs suivants :
 - MP3, WMA, ATRAC3, ADPCM, PCM, OGG, CCITT, ...
- **Nombreux logiciels d'édition de fichiers WAV**
 - Logiciels gratuits : audacity, wavepad, magnétophone de Windows
 - But : éditer, amplifier, normaliser, modifier la vitesse ou la hauteur du son, appliquer des effets (écho, fondu,...), ...

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Codecs audio

Formats

- **WAV**
- **RAW**
- **PCM**
- **ADPCM**
- **CDA**
- **MP3**
- **WMA**
- **OGG**

• Structure d'un fichier WAV

- (4 octets) : Constante « RIFF »
- (4 octets) : Taille du fichier moins 8 octets
- (4 octets) : Format = « WAVE »
- (4 octets) : Identifiant « fmt »
- (4 octets) : Nombre d'octets utilisés pour définir en détail le contenu
- (2 octets) : Format de fichier (1: PCM, ...)
- (2 octets) : Nombre de canaux
- (4 octets) : Fréquence d'échantillonnage (en Hertz)
- (4 octets) : Nombre de bits par seconde de musique
- (2 octets) : Nombre de bits par échantillon
- (2 octets) : Nombre de bits par donnée
- (4 octets) : Constante « data »
- (4 octets) : Taille du fichier moins 44 octets
- (octets suivants) : les données audio proprement dite

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Codecs audio

Formats

- WAV
- **RAW**
- PCM
- ADPCM
- CDA
- MP3
- WMA
- OGG

- Format RAW
 - Contraction de **Real Audio Wrapper**
 - Format audio utilisé pour représenter les données de son au format PCM, mais sans en-tête ni métadonnée.

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Codecs audio

Formats

- WAV
- RAW
- **PCM**
- ADPCM
- CDA
- MP3
- WMA
- OGG

- Format PCM
 - Contraction de **P**ulse **C**ode **M**odulation
 - En français : Modulation d'Impulsion Codée = MIC
 - Procédé de numérisation des données audio sans compression
 - Format offrant la meilleure qualité sonore
 - Format audio utilisé par les scientifiques ou les professionnels du son, pour un son non détérioré

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Codecs audio

Formats

- WAV
- RAW
- **PCM**
- ADPCM
- CDA
- MP3
- WMA
- OGG

- Utilisation du format PCM
 - CD audio (au format PCM)
 - format sonore non compressé
 - 1 (mono) ou 2 (stéréo) canaux
 - fréquence d'échantillonnage de 44.1 kHz
 - profondeur de codage de 8 ou 16 bits
 - DVD audio (au format LPCM)
 - Format sonore non compressé
 - Jusqu'à 8 canaux
 - Fréquence d'échantillonnage de 48 ou 96 kHz
 - Profondeur de codage de 16, 20 ou 24 bits

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

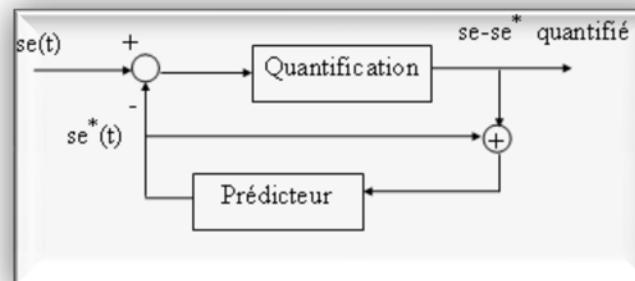
Codecs audio

Formats

- WAV
- RAW
- PCM
- **ADPCM**
- CDA
- MP3
- WMA
- OGG

- Format ADPCM

- Contraction de **Adaptive Differential PCM**
- Algorithme non standardisé de compression de données avec perte
- Utilisation d'un schéma de prédiction et d'un codage des erreurs entre la prédiction et le signal original
 - $se(t)$ = signal original à numériser
 - $se^*(t)$ = signal prédit
 - Quantifier la différence $\Delta = se(t) - se^*(t)$



1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Codecs audio

Formats

- WAV
- RAW
- PCM
- **ADPCM**
- CDA
- MP3
- WMA
- OGG

- Format ADPCM
 - Format de compression très utilisé pour les fichiers audio, en particulier les échantillons vocaux.
 - téléphonie numérique sans fil à usage domestique DECT (*Digital Enhanced Cordless Telephone*)
 - Comparaison avec le format PCM
 - Avantages :
 - Compression très fidèle au signal d'origine
 - Réduction du débit à qualité constante
 - Augmentation de la capacité du support de transmission
 - Inconvénients :
 - Traitements plus complexes
 - Exige une bonne connaissance à priori du signal
 - Un signal parfaitement aléatoire ne sera pas compressé

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Codecs audio

Formats

- WAV
- RAW
- PCM
- ADPCM
- **CDA**
- MP3
- WMA
- OGG

- **Format CDA**
 - Contraction de **C**ompact **D**isc **A**udio
 - Fichier d'indirection permettant d'accéder à une piste audio sur un CD/DVD audio.
 - Chaque titre du CD/DVD audio est alors vu comme un fichier de 44 octets, et d'extension .cda
 - Les fichiers CDA n'existent pas en tant que tels sur le CD/DVD audio. Ils sont une sorte de raccourci créé par le système d'exploitation pointant vers la zone du CD/DVD (appelée piste) contenant les échantillons audio.

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Codecs audio

Formats

- WAV
- RAW
- PCM
- ADPCM
- CDA
- **MP3**
- WMA
- OGG

- Format MP3
 - Contraction de **MPEG-1/2 Layer 3**
 - Spécification sonore du standard MPEG-1, du *Moving Picture Experts Group (MPEG)*
 - MP3 : codec capable de réduire drastiquement la quantité de données nécessaire pour restituer de l'audio avec perte de qualité sonore significative mais acceptable pour l'oreille humaine

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Codecs audio

Formats

- WAV
- RAW
- PCM
- ADPCM
- CDA
- **MP3**
- WMA
- OGG

- Format MP3
 - Avantages
 - Permet de stocker des métadonnées (ID3) :
 - titre, interprète, album, paroles...
 - Compression approximative de 1:4 à 1:12
 - Inconvénients
 - Détérioration de la qualité sonore
 - Aucune mesure technique de protection
 - Utilisé pour :
 - le téléchargement
 - le stockage de données musicales sur un support numérique, tel qu'un disque dur ou une mémoire flash.

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Codecs audio

Formats

- WAV
- RAW
- PCM
- ADPCM
- CDA
- **MP3**
- WMA
- OGG

- Format MP3
 - Principe de codage
 - Le taux de compression peut être augmenté en choisissant un débit binaire (en anglais *bitrate*) plus faible.
 - On considère en général qu'il faut au moins 128 ou 192 kbit/s pour bénéficier d'une qualité audio acceptable pour un morceau de musique.
 - À 8 kbit/s, le son devient fortement altéré (bruits parasites non attendus, spectre "sourd", ...).
 - Ce format de données utilise un système de compression partiellement *destructif*.

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Codecs audio

Formats

- WAV
- RAW
- PCM
- ADPCM
- CDA
- **MP3**
- WMA
- OGG

- Format MP3
 - Principe de codage
 - Il ne retransmet pas intégralement le spectre des fréquences audio.
 - En revanche il tente d'annuler d'abord les sons les moins perçus de façon à ce que les dégradations se fassent le moins remarquer possible.
 - Ce n'est pas une compression à proprement parler, mais plutôt une suppression d'informations.

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Codecs audio

Formats

- WAV
- RAW
- PCM
- ADPCM
- CDA
- **MP3**
- WMA
- OGG

- Format MP3
 - Amélioration 1 : débit variable
 - On peut améliorer la qualité à débit moyen égal en utilisant un débit binaire variable (*VBR* ou *Variable Bit Rate* par opposition à un débit constant : *Constant Bit Rate*, *CBR*).
 - Dans ce cas, les instants contenant peu de fréquences (ex : silences) seront codés avec un débit d'information plus faible tout en gardant une très bonne qualité lors des passages riches en harmoniques. L'amélioration apportée est variable selon le morceau codé.

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Codecs audio

Formats

- WAV
- RAW
- PCM
- ADPCM
- CDA
- **MP3**
- WMA
- OGG

- Format MP3
 - Amélioration 2 : MP3Pro
 - La compression mp3Pro se présente comme un successeur avantageux au mp3.
 - système de compression offrant de meilleurs résultats sonores que ceux d'un simple mp3 standard :
 - L'utilisation du débit binaire variable qui adapte en temps réel le débit en fonction de la densité et de la complexité sonore ;
 - La préservation de la bande passante aiguë normalement sacrifiée par le mp3 standard ;
 - A qualité égale un fichier mp3Pro permet un gain de place substantiel par rapport à un fichier mp3 standard (entre 25% et 50% de gain) en réduisant le débit.

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Codecs audio

Formats

- WAV
- RAW
- PCM
- ADPCM
- CDA
- **MP3**
- WMA
- OGG

- Format MP3
 - Amélioration 2 : MP3Pro

mp3Pro	Équivalent mp3 standard	Qualité
VBR	320 kbit/s	Maximale
96 kbit/s	224 kbit/s	Haute
64 kbit/s	192 kbit/s	Acceptable
48 kbit/s	128 kbit/s	Moyenne
32 kbit/s	64 kbit/s	Basse

Tableau valable uniquement pour

$$F_e = 44100 \text{ Hz et } N_{quant} = 16 \text{ bits et } N_{canaux} = 2 \text{ (stéréo)}$$

Conséquence : à adapter pour des valeurs différentes

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Codecs audio

Formats

- WAV
- RAW
- PCM
- ADPCM
- CDA
- MP3
- **WMA**
- OGG

- Format WMA
 - Contraction de **Windows Media Audio**
 - Format de compression audio de type destructeur (perte d'info)
 - Format propriétaire développé par Microsoft
 - Intérêt :
 - possibilité de protéger dès l'encodage les fichiers de sortie contre la copie illégale par une technique nommée gestion numérique des droits (ou GND) ou Digital Rights Management (DRM)

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Codecs audio

Formats

- WAV
- RAW
- PCM
- ADPCM
- CDA
- MP3
- **WMA**
- OGG

- Format WMA
 - Existe sous quatre formes :
 - WMA Standard
 - le premier à être sorti, le plus répandu sur Internet et le seul à être lisible (actuellement) sur de nombreux baladeurs numériques ;
 - WMA Pro :
 - théoriquement de meilleure qualité mais bien moins répandu.
 - WMA Lossless :
 - offre une qualité sonore identique à l'original
 - WMA Voice :
 - spécialement dédié à l'encodage de la voix et ce, à faible débit (inférieurs ou égaux à 20 kbit/s)

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Codecs audio

Formats

- WAV
- RAW
- PCM
- ADPCM
- CDA
- MP3
- WMA
- **OGG**

- Format OGG
 - Contraction de **OGG** Media
 - Format Ogg Vorbis, libre, fruit de la fondation Xiph.org
 - Avantages
 - meilleure qualité que le MP3; et moins bonne que MP3Pro
 - très bon pour le streaming
 - supporte 255 canaux
 - Inconvénient
 - vitesse de compression / décompression plus lente que le MP3

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Codecs audio

Formats

- WAV
- RAW
- PCM
- ADPCM
- CDA
- MP3
- WMA
- **OGG**

- Format OGG
 - Principe
 - Il segmente les sources audio en paquets successifs, l'algorithme de compression agissant dans un premier temps sur chaque paquet indépendamment des autres.
 - Cela lui permet d'avoir très peu de faiblesses sur certaines fréquences et de conserver la même qualité quel que soit le type de musique.
 - Utilisé aussi en tant que format conteneur
 - peut contenir des pistes sonores (Vorbis), audio sans perte (FLAC), audio parlées (Speex) et vidéo (Theora)

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Codecs audio

- Conclusion
 - OGG
 - Défauts : non disponible sur certains lecteurs et compression lente
 - Avantages : meilleure compression et meilleure qualité
 - MP3
 - Avantages : très répandu, très grande compatibilité
 - Inconvénients : codec vieux et dépassé, qualité médiocre
 - MP3Pro
 - Inconvénients : codec payant
 - Avantages : meilleur que MP3
 - WMA
 - Avantages : meilleur que MP3, grande compatibilité, gestion des DRM, streaming audio
 - Inconvénients : limité à Windows, propriétaire, moins bien que OGG et MP3Pro

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Diffusion audio

- Introduction
 - L'internet et les technologies ne cessent d'évoluer. On peut maintenant transmettre des flux audio et vidéo sur le Web sans avoir à les télécharger.
- Deux moyens de lire une vidéo sur Internet :
 - Soit la télécharger sur son ordinateur :
 - Rapide pour les fichiers de petites tailles (quelques ko)
 - Très lent pour des fichiers plus importants (plusieurs minutes)
 - Soit la lire en direct, pendant le téléchargement, sans avoir à effectuer de copies locales : streaming

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Diffusion audio

- Le streaming vient de l'anglais « *stream* » signifiant « *flux* »
 - Il permet d'exploiter l'information, sous forme d'un **flux permanent**, reçu au fur et à mesure de sa réception, c-à-d. quasiment en **temps réel**.
- Que peut-on faire avec du streaming ?
 - Diffuser des flux audio-vidéo sur Internet et réseaux locaux
 - Effectuer de la vidéo ou de l'audio sur demande
 - AoD / VoD : Audio / Video On Demand
 - Effectuer des multi-conférences
 - Diffuser en live : le flux audio ou vidéo est donc encodé directement et transmis :
 - par Internet
 - par voix Hertzienne (RNT et TNT : Radio et Télévision Numérique Terrestre)

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Diffusion audio

- Ne pas confondre le « faux » avec le « vrai » streaming :
 - Le "faux" streaming :
 - Il consiste à encoder les données en plusieurs **fichiers physiques**.
 - Le serveur transmet progressivement ces fichiers au client.
 - Après un temps de latence nécessaire au chargement des premières données, celles-ci sont lues tandis que la suite des fichiers se charge.
 - Le client a ainsi l'impression d'assister à du vrai streaming alors qu'en fait, il fait appel à des **fichiers déjà présents physiquement**.
 - Le « vrai » streaming :
 - Il n'y a **pas de fichiers**.
 - Le serveur reçoit constamment les données encodées sous forme de flux.
 - Quand un client se connecte, il « **se branche** » sur ce flux.

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Diffusion audio

- Principe

1. Le serveur envoie le fichier audio-vidéo **par paquets de données**, qui seront traités par l'ordinateur de l'utilisateur au fur et à mesure de leurs arrivées.
2. A cause des fluctuations réseaux les paquets n'arrivent pas toujours dans le bon ordre. On utilise donc une **mémoire tampon** pour regrouper les paquets dans le bon ordre. Cette mémoire tampon ou buffer est créée par le lecteur média de l'ordinateur de l'utilisateur.
3. Lorsque le buffer de réception possède assez d'informations, la lecture du flux commence et les images ou le son sont retransmis.
4. La mémoire tampon a donc pour rôle de fluidifier le flux. Si la connexion réseau est mauvaise l'arrivée des paquets sera ralentie.
5. Lorsque le buffer de réception est vide, la lecture s'arrête et reprendra lorsqu'elle possèdera assez de données pour continuer. L'image est alors figée.

1. Types de fichiers
2. Codecs audio
3. Diffusion audio

Diffusion audio

• Principe

- Pour que le streaming soit rendu possible, il faut effectuer un traitement sur le fichier avant de le transmettre sur le réseau.
- En effet la taille d'une vidéo étant en général assez importante, il faut la compresser afin de réduire le nombre de paquets à envoyer.

