

CODEC

Codage / Décodage
(Compression / Décompression)

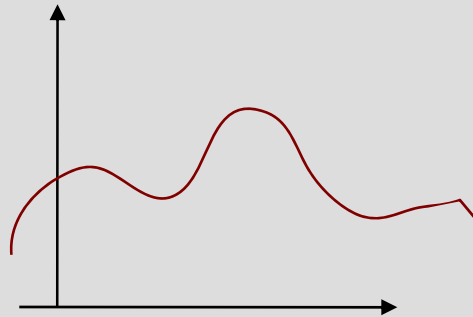
Introduction

Transmission analogique : le procédé reproduit la forme même du signal que l'on veut transmettre.

Transmission numérique : on traduit le signal en une suite de bits.

Transmission numérique

signal analogique



signal numérique

1100100011

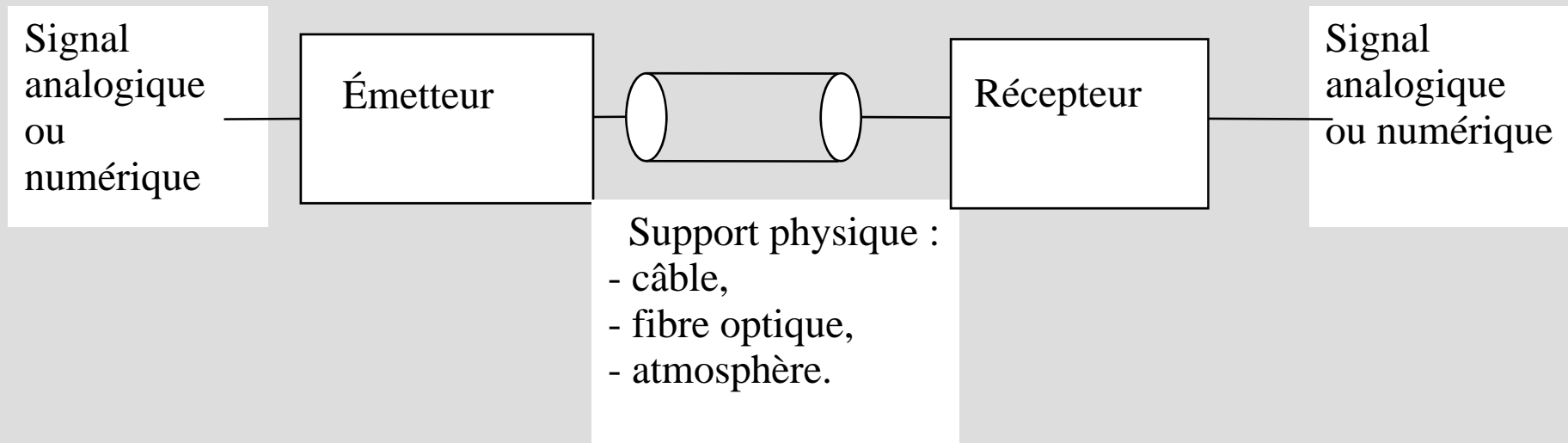
- **avantages :**

- transmission de 0 et de 1
- multiplexage simplifié
- possibilité de rajouter des informations

- **remarque :**

- le signal transmis est parfois transformé à nouveau en un signal analogique

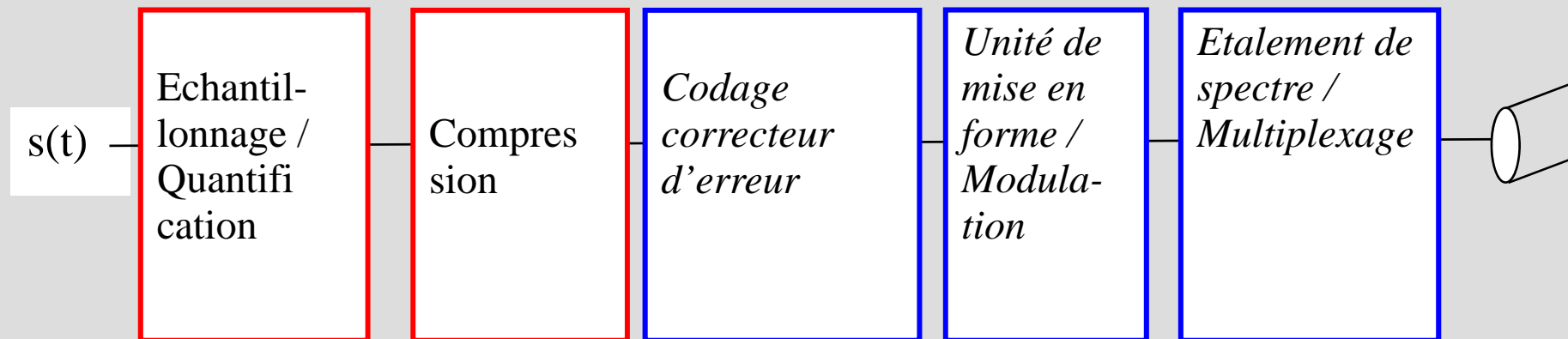
Chaîne de transmission



Chaîne de transmission

- échantillonnage
- quantification
- compression
- cryptage
- codage canal (contre les erreurs)
- unité de mise en forme (bande de base ou modulation)

Synoptique d'une chaîne de transmission



Qualité d'un système de transmission

- Occupation spectrale du signal émis
- Débit de transmission
- Complexité du codec
- *Probabilité d'erreur transmis par bit transmis faible*

Exemple d'une transmission numérique

- **Codage MIC 30 voies** : signal téléphonique entre 2 CAA
 - Signal analogique [300 ; 3400 Hz]
 - Fréquence d'échantillonnage $f_e = 8$ kHz
 - Quantification non linéaire sur 256 niveaux
 - Codage sur 8 bits
 - Débit d'une voie $D = 64$ kbits/s
 - Multiplexage temporel

Numérisation

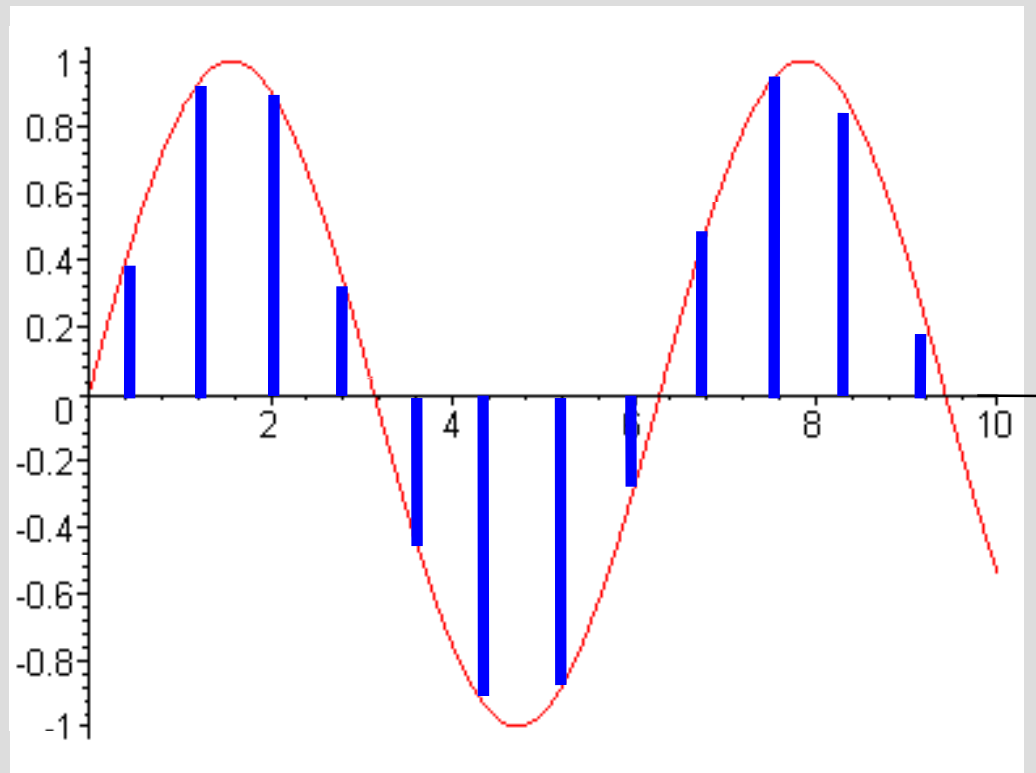
- Elle consiste à transformer un signal analogique en signal numérique.
- Elle se décompose en deux étapes :
 - l'échantillonnage,
 - la quantification.

Échantillonnage

- Cette opération consiste à transformer un signal analogique (continu en temps et en amplitude) en signal discret (discontinu en temps et continu en amplitude) ; en capturant des valeurs (échantillons) du signal de façon périodique, à la période T_e .

Échantillonnage

- $u^*(t)$ est un signal échantillonné : discontinu en temps mais continu en amplitude



Problème lié à l'échantillonnage

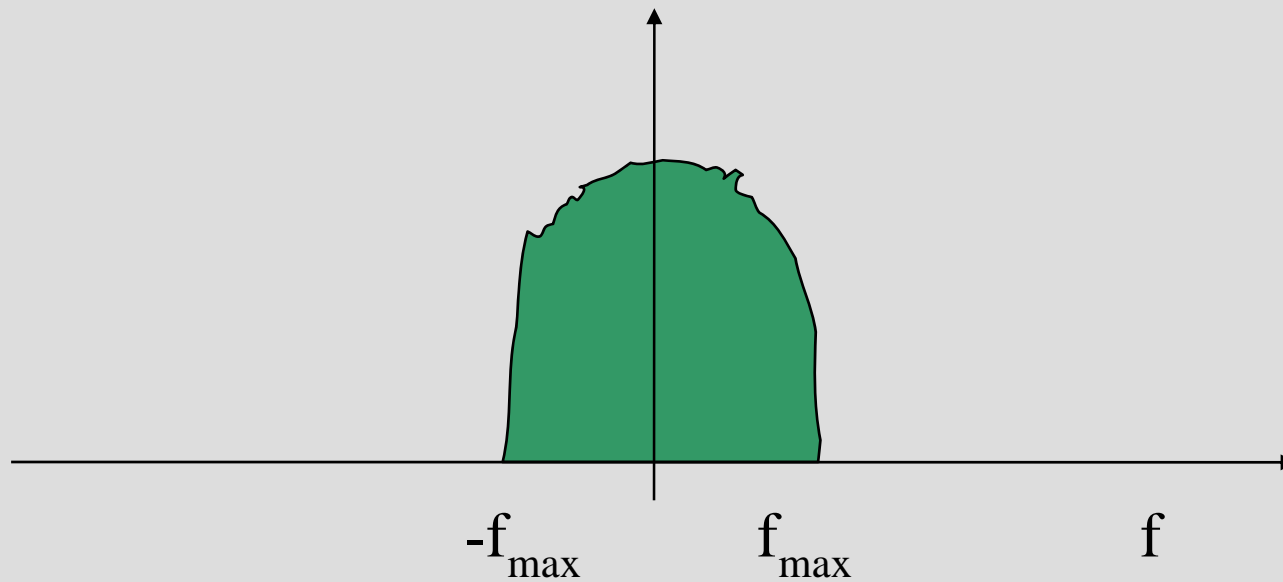
- **Théorème de Shannon :**

Un signal analogique échantillonné à bande passante limitée $[0 ; f_{\max}]$ peut être reconstruit correctement à partir de ses échantillons si $f_e > 2 f_{\max}$

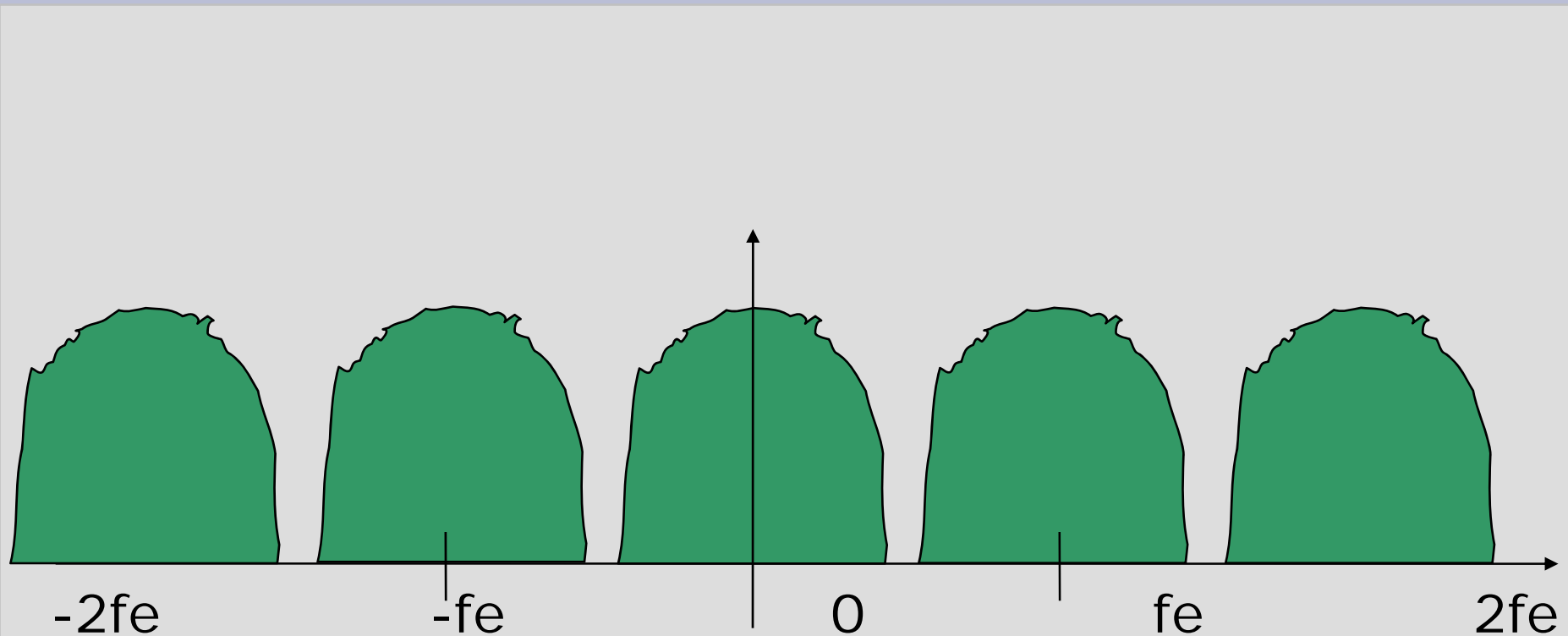
- Filtre anti-repliement (anti-aliasing)

Étude spectrale

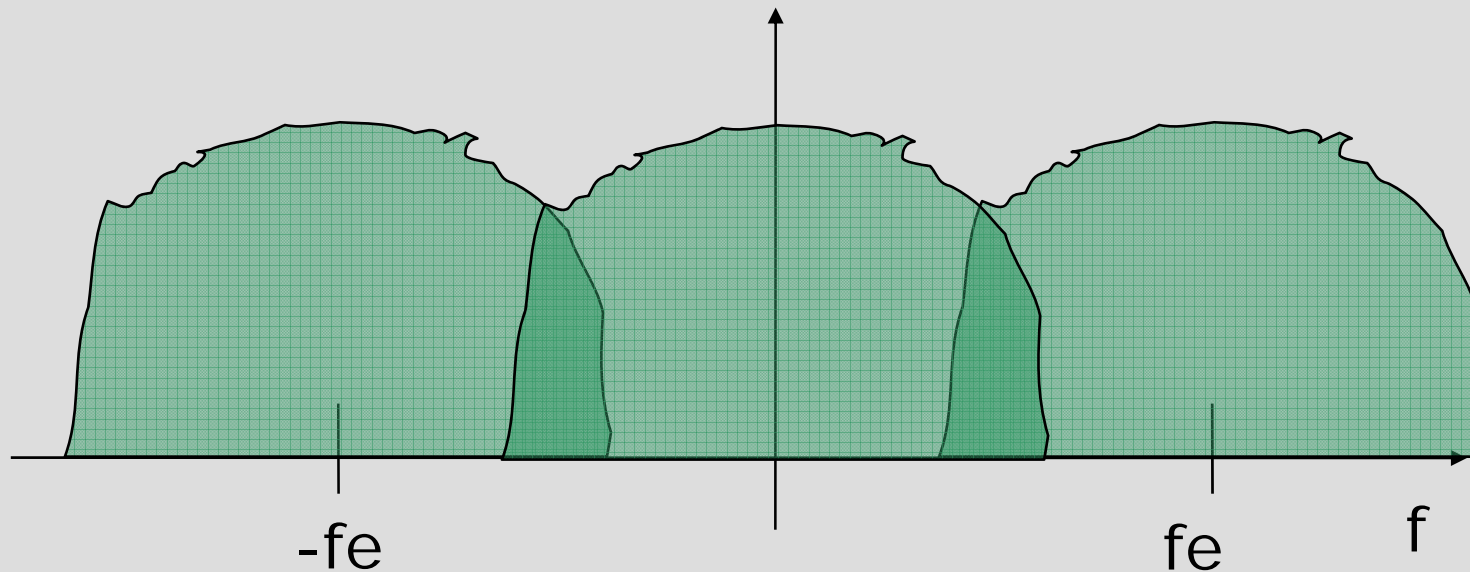
- Spectre du signal à échantillonner :



Étude spectrale du signal échantillonné



Si Shannon n'est pas vérifié !

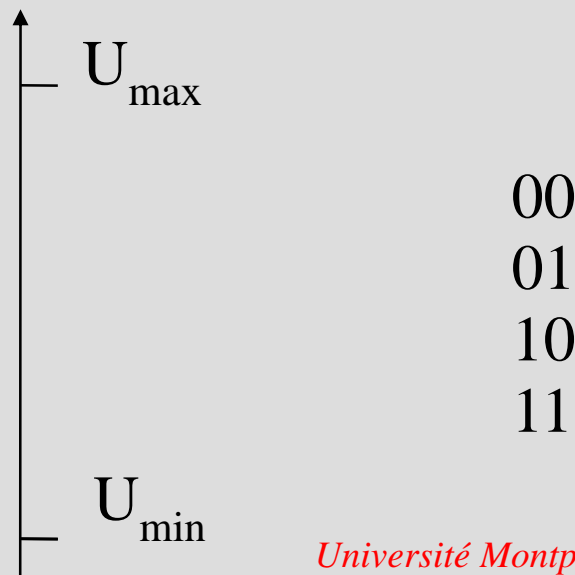


Réception d'un signal échantillonné

- Il faut « re-fabriquer » un signal analogique à partir des échantillons :
 - idéalement, il faut relier les échantillons entre eux ;
- D'après l'étude spectrale :
 - filtre passe-bas idéal de fréquence de coupure $f_e/2$
- En réalité, on utilise un bloqueur d'ordre 0 (+ filtre passe-bas).

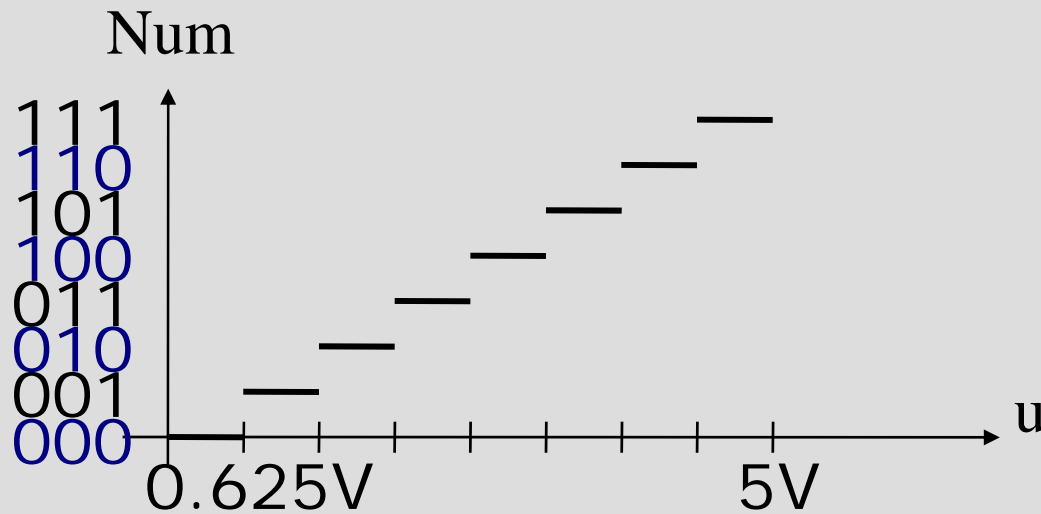
Quantification

- On cherche à convertir un signal échantillonné (dont l'amplitude peut prendre une infinité de valeurs) en une séquence de caractères discrets, issus d'un alphabet fini de N caractères.



Exemple de quantification

- Numérisation sur $n = 3$ bits,
 - d'où $N = 2^3 = 8$ niveaux,
 - pas de quantification $q = \Delta U / N$



Définitions

- La **résolution** du convertisseur est le nombre n de bits sur lequel sont codés les niveaux de tension ;
- Le pas de quantification est appelé **quantum**. C'est la plus petite variation de tension que le convertisseur peut coder.
- A une tension u correspond un nombre numérique Num .

Retour à l'exemple

- Résolution : n
- Nombre de niveaux (valence) : $N = 2^n$
- Quantum : $q = \Delta U / N = \Delta U / 2^n$
- Valeur de Num :
 - $\text{Num } q < u < (\text{Num} + 1) q$
 - $\text{Num} = \text{Partie entière } (u/q)$

Débit de transmission

- Débit : nombre de bits transmis par seconde.
 - $D = n f_e$

Exemple de transmission

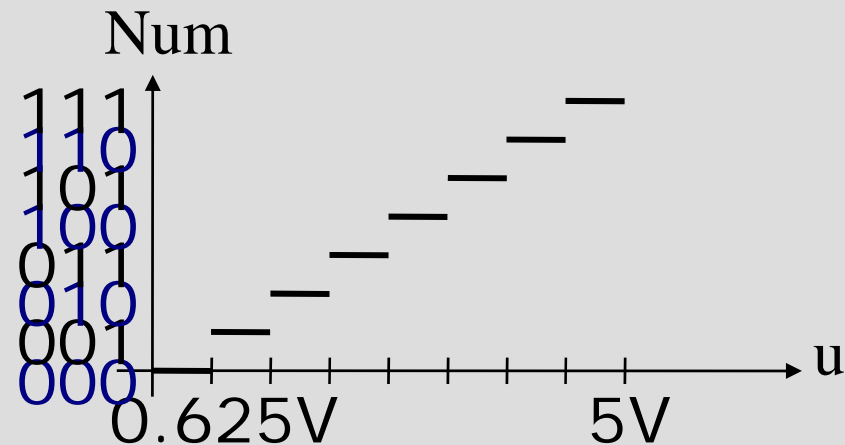
- $u(t) = 1 \text{ V}$
- valeur transmise 001

• en réception

$$0.625 \text{ V} < u_q < 1.25 \text{ V}$$

- on choisit la valeur centrale

$$\text{soit } u_q = 0.9375 \text{ V}$$



Reconstitution du signal quantifié

- L'émetteur transmet l'identité de l'intervalle dans lequel se trouve la valeur instantanée du signal.
- Le récepteur reconstitue de son mieux la valeur du signal correspondante ; il admet qu'elle se trouve au milieu de l'intervalle.
- $y = \text{Num} * q + q/2$

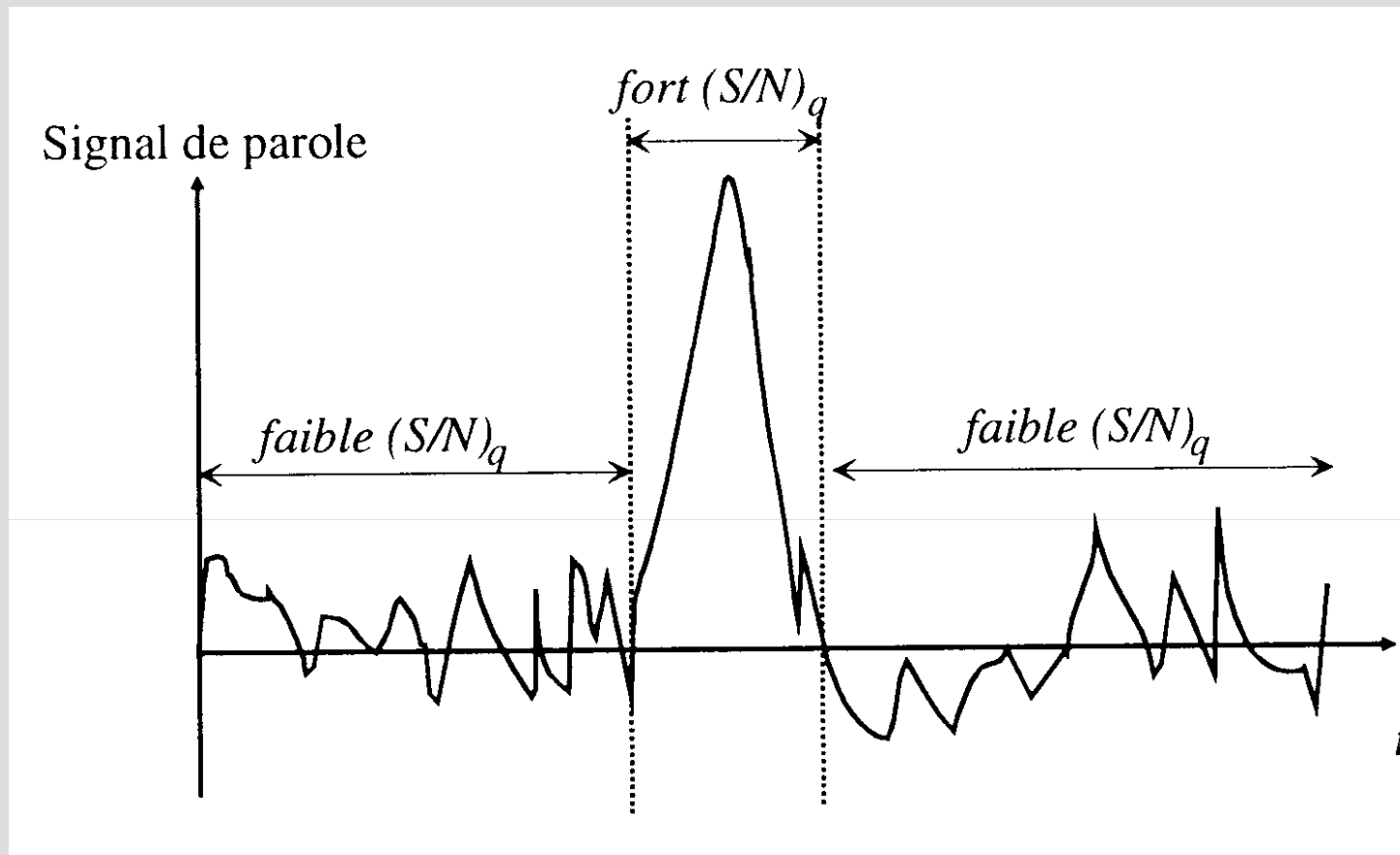
Erreur de quantification

- C'est la différence qu'il existe entre le signal source et le signal régénéré.
- $\varepsilon_q(t) = u(t) - u_q(t)$
- $|\varepsilon_q(t)| < q / 2$

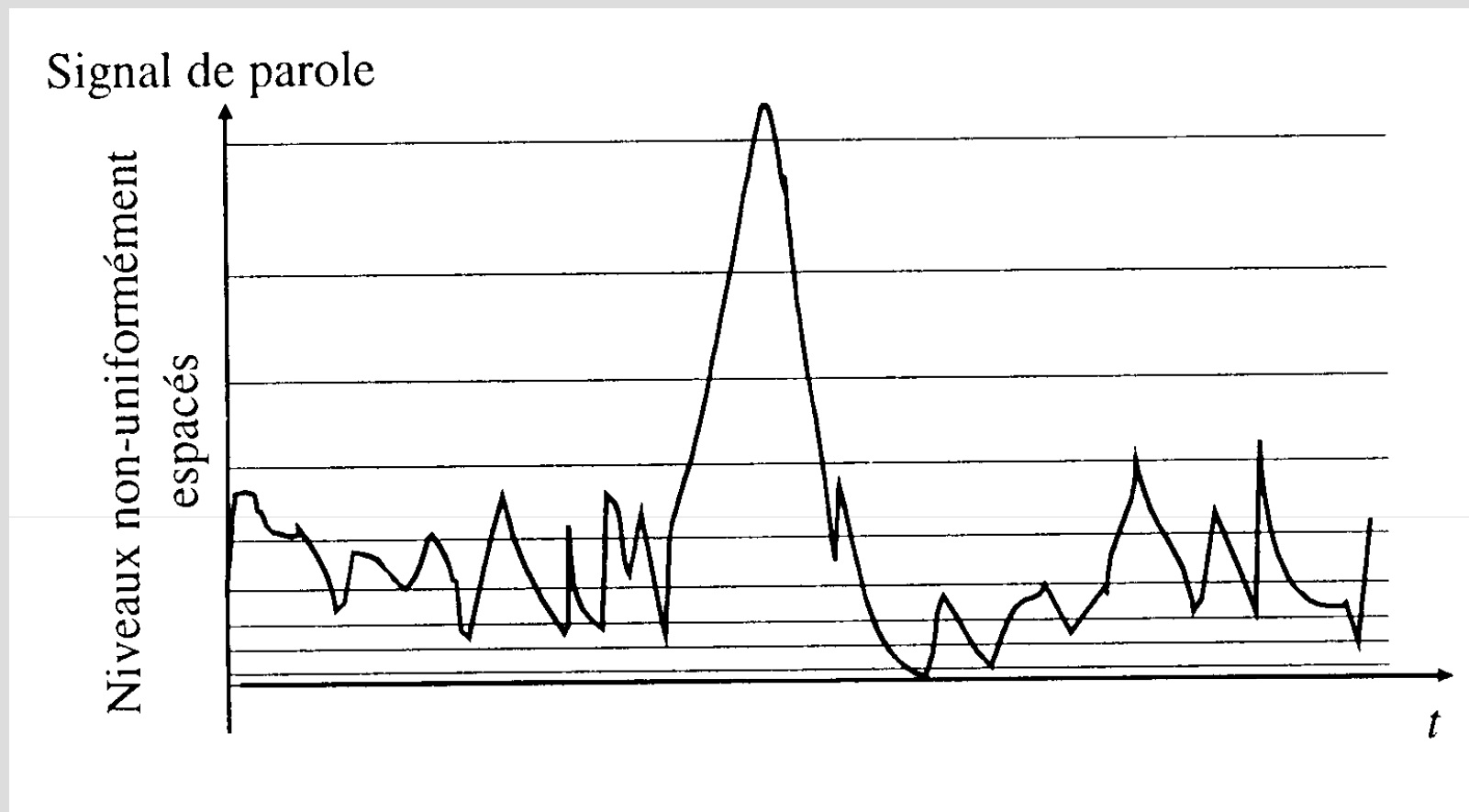
Rapport signal à bruit (SNR) de quantification

- $SNR = 10 \log (p_u(t) / P_q)$
 - $p_u(t)$ puissance instantanée du signal analogique
 - P_q puissance moyenne de l'erreur de quantification.
- Plus SNR est grand moins le bruit est important.
- $SNR = 6n + 20\log(u(t)/U_{max}) + 4,7$

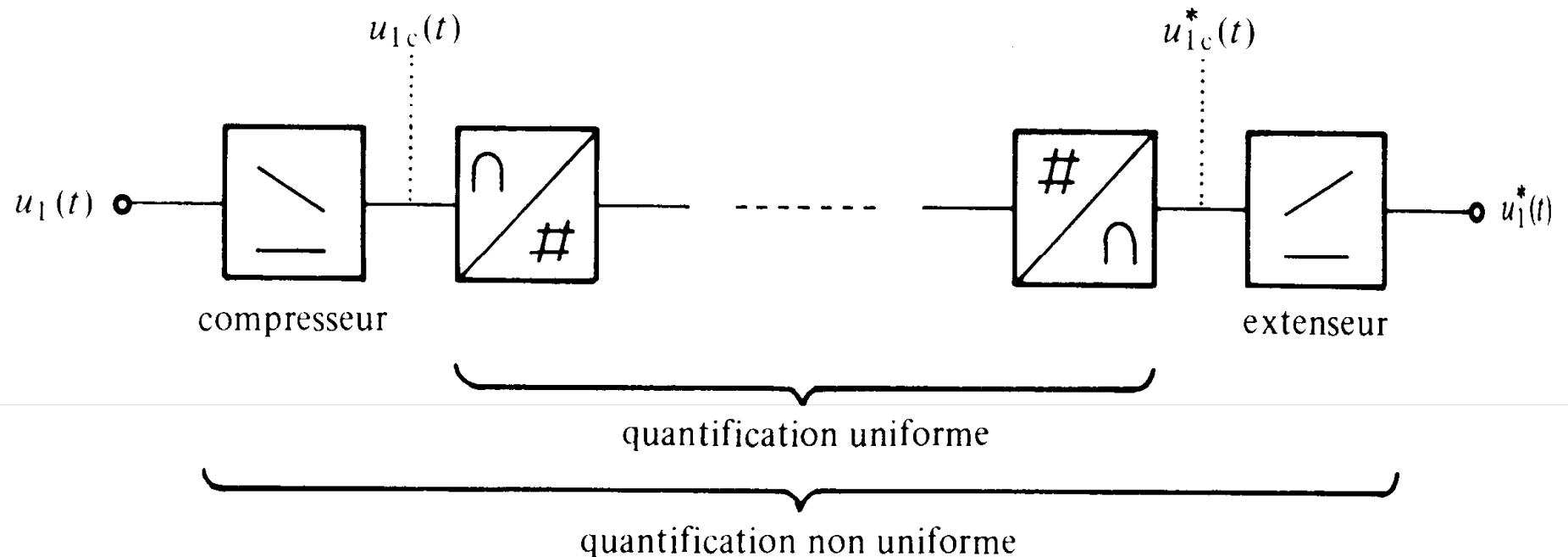
Limite de la quantification linéaire



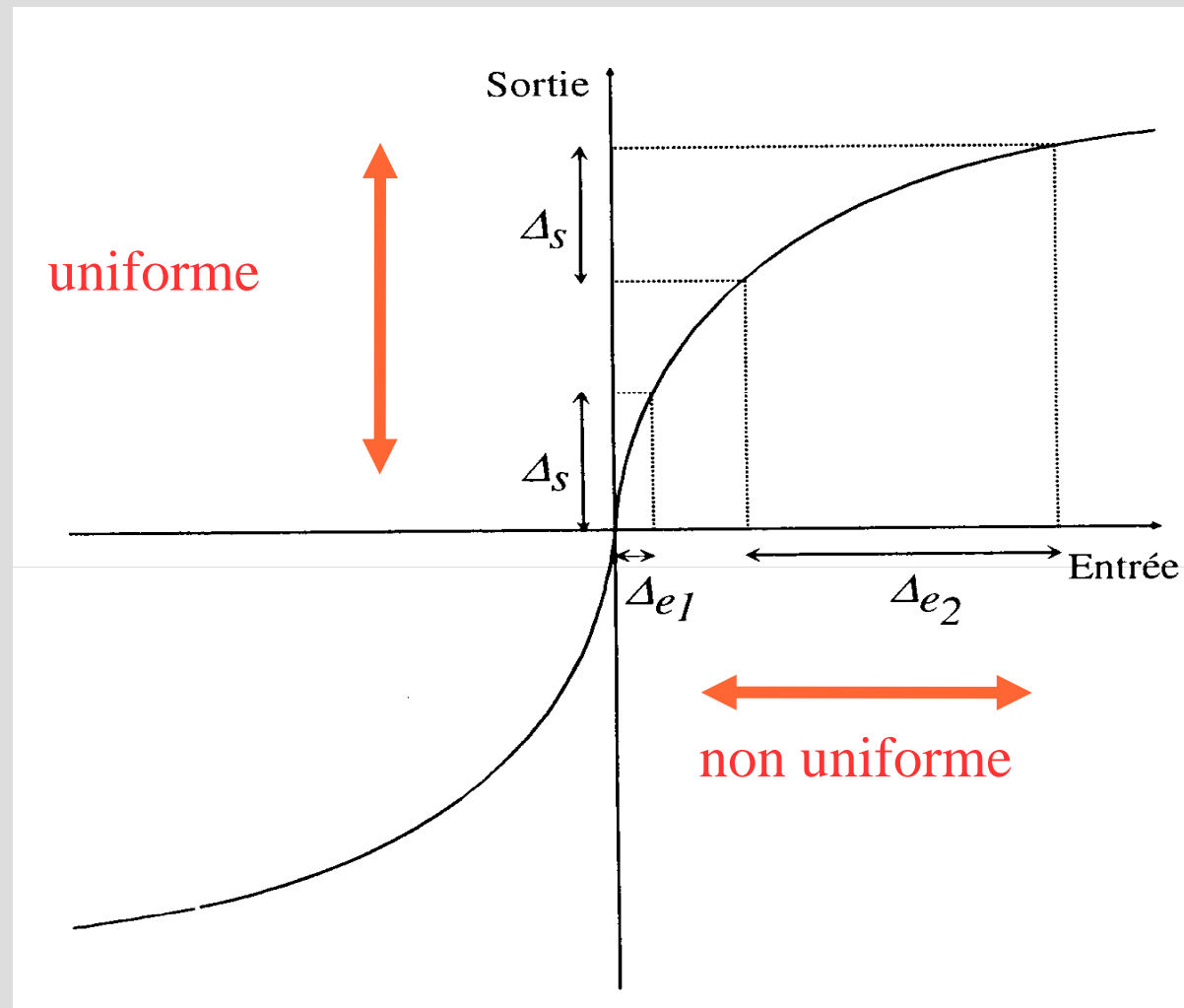
Améliorations



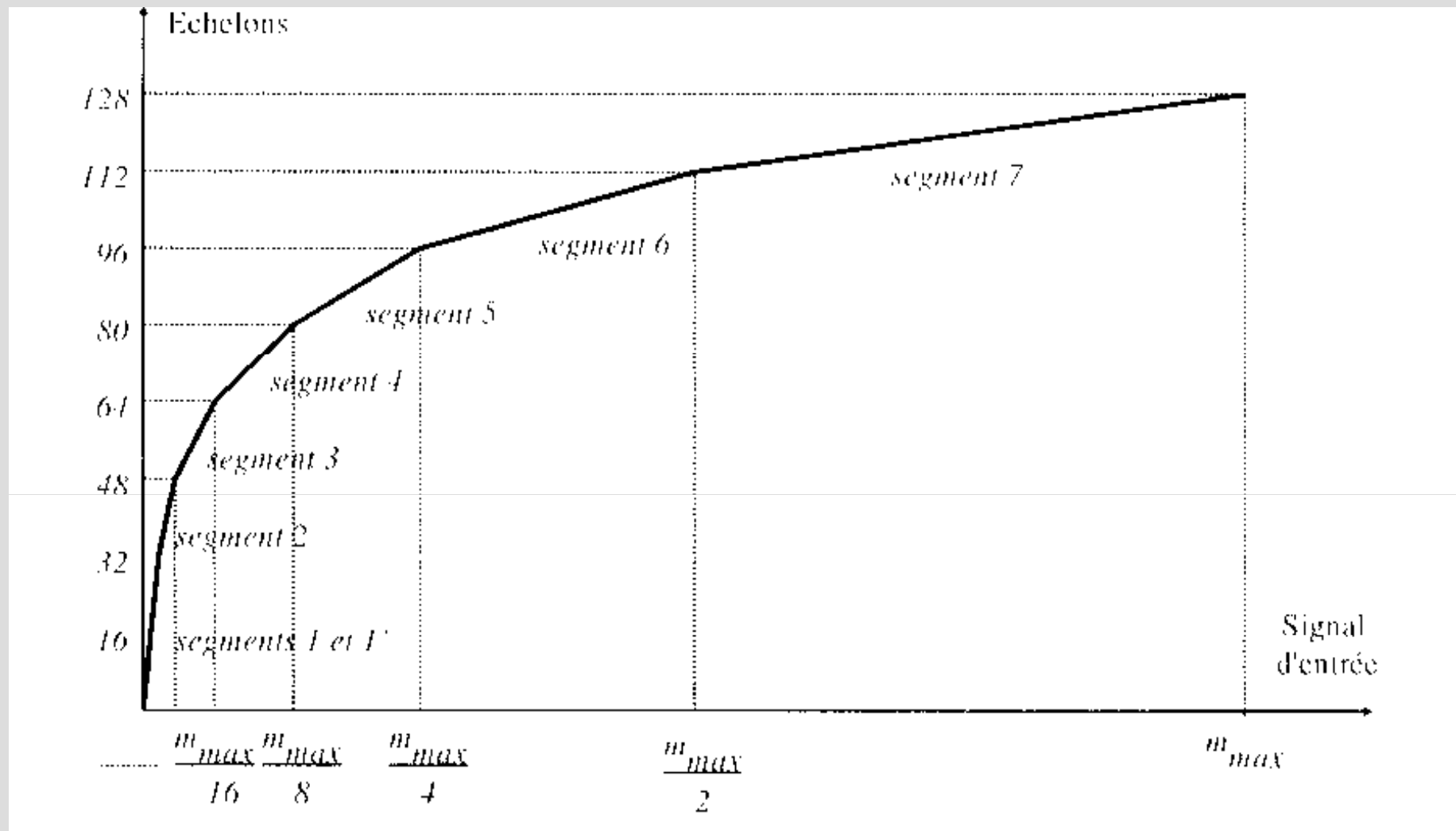
Principe de la quantification non uniforme



Compression linéaire



Compression par segments



MIC par segments

P 1 2 3 4 5 6 7

bit de
polarité

3 bits codent
les 8 segments

4 bits codent
16 niveaux par segment

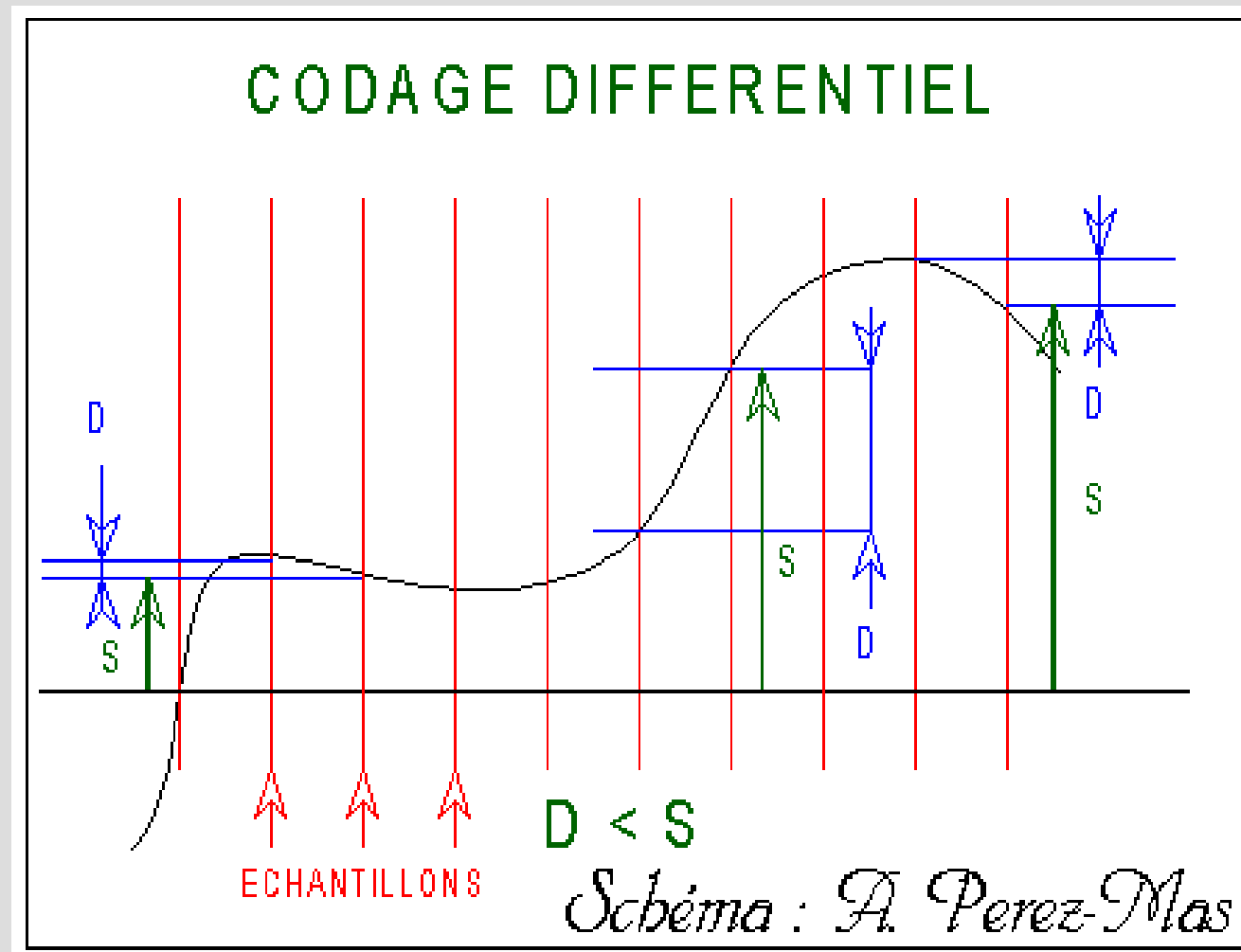
Problème

- $D = n f_e = 8 \cdot 8 \cdot 10^3 = 64 \text{ kbits/s}$
- Débit trop grand pour système GSM ou voix sur IP.
 - **GSM** : nécessité de rajouter des bits de correction d'erreurs car « lignes » de transmission très peu sûres,
 - **voix sur IP** : partage de la bande passante disponible entre voix et données.

Modulations différentielles

- **Principe** : les modulations numériques différentielles quantifient non pas la valeur instantanée du signal mais **la différence** entre l'échantillon à l'instant t et l'échantillon précédent.

Modulations différentielles



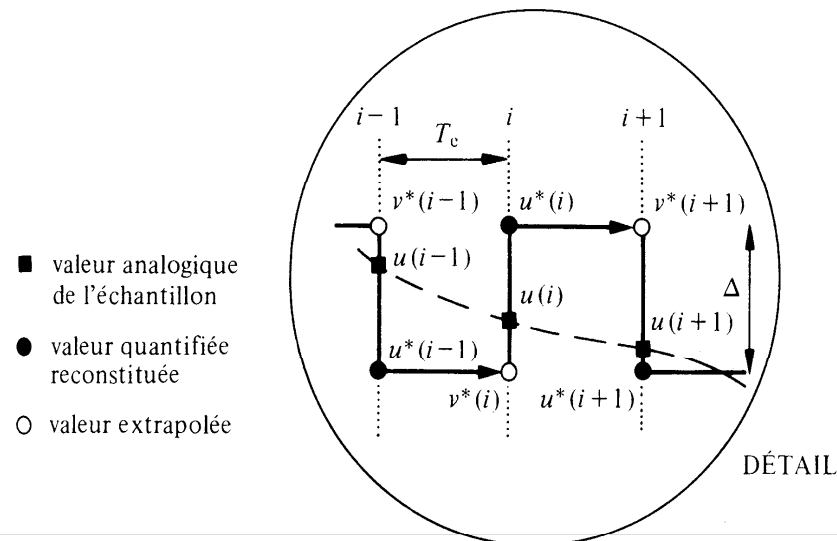
Modulation Delta

- C'est une modulation numérique différentielle caractérisée par :
 - une quantification à **un seul bit**
- Ses paramètres sont :
 - la fréquence d'échantillonnage,
 - le pas de quantification,
 - le débit $D = f_e$.

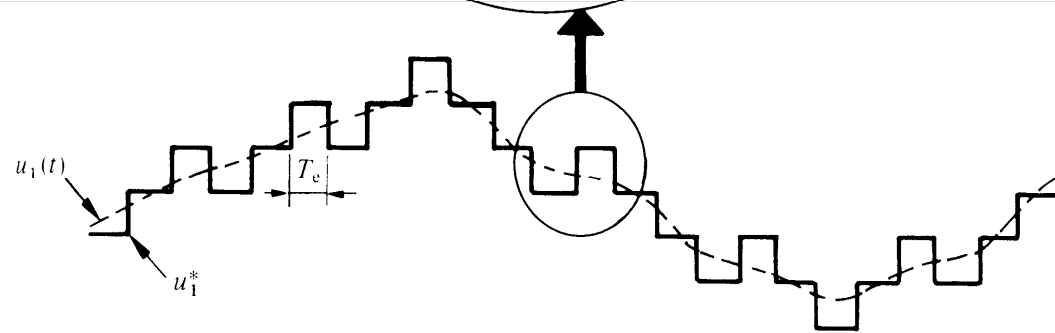
Principe du MIC Δ

MODULATIONS NUMÉRIQUES

233



- valeur analogique de l'échantillon
- valeur quantifiée reconstituée
- valeur extrapolée

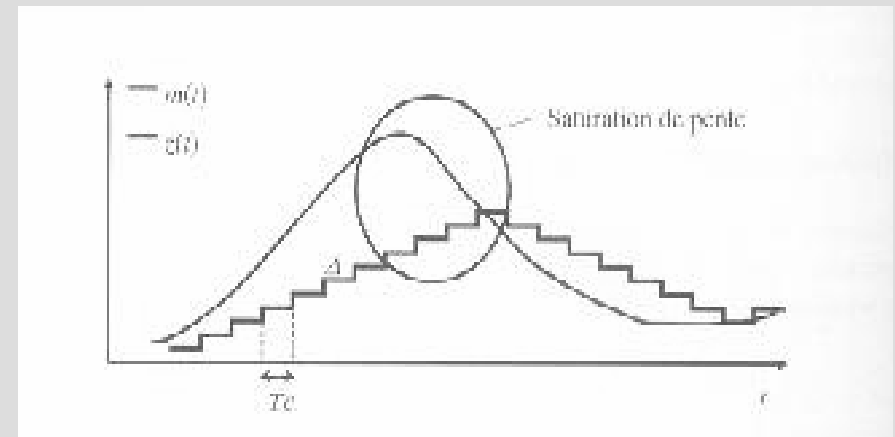


Information
binaire
transmise

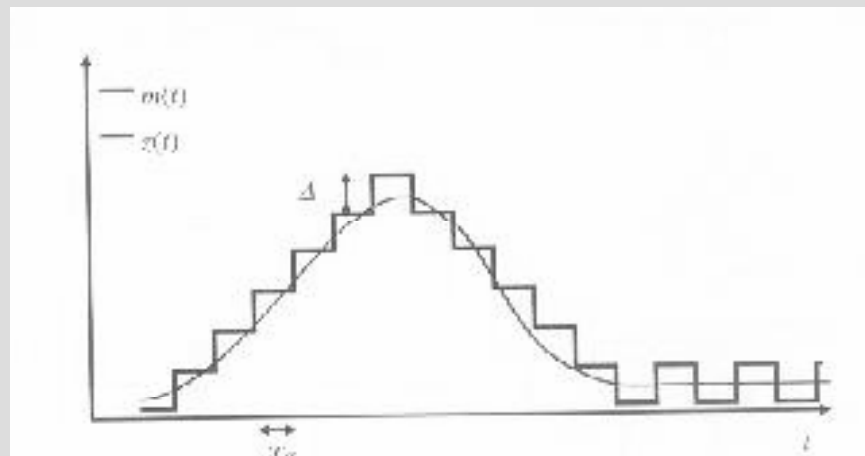
1 1 0 1 1 0 1 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 1 1 0 1 1 1

Limites du MIC Δ

Saturation de pente



Granularité



Autres modulations différentielles

- Modulation PCM différentielle (DPCM)
 - Modulation Delta avec $n \neq 1$
- Modulation Delta-Adaptative
 - Le pas de quantification est « adaptable »
- Modulation DPCM Adaptative (ADPCM)
 - même qualité que PCM à 32 kbits/s, acceptable jusqu'à 16 kbits/s.

Application à la vidéo

- Compression MPEG

se base sur le fait que dans une séquence vidéo, la majorité des scènes sont fixes ou bien changent très peu ; il suffit alors de décrire seulement **le changement** d'une image à l'autre.

- Succession des Frames :

– I B B P B B P B B P B B I ...

Autres techniques de codage de la voix

- **Quantification vectorielle** : regrouper les échantillons pour les transmettre, fabrication d'un « dictionnaire ».
- **Codage par prédiction** : on reconstruit la parole à partir d'un filtre et d'une suite d'impulsions (sons voisés).

Principe codage GSM

- Echantillonnage à 8 kHz sur 20 ms :
 - 160 échantillons codés sur 13 bits.
- On transmet en fait seulement 260 bits :
 - 36 bits : coefficients du premier filtre LPC,
 - $4 * 9$ bits : coefficients du deuxième filtre LTP,
 - $4*(3*13+6)$: amplitudes des impulsions du signal d'excitation RPE.
- Débit = 13 kbits/s

Compression

- Cette opération consiste à réduire la taille d'un fichier numérique (texte, image, son, vidéo ...)
- **Quotient de compression**
 - $Q = \text{nbre bits image compressée} / \text{nbre bits image originale}$

Exemple de compression

- Nous sommes jeudi. J'arriverai à la gare demain soir : le vendredi 6 novembre à 20h30.
- Serai à la gare le 6-11 à 20h30.

Diminution de la robustesse aux erreurs

- Nous sommes **jeudi 5**. J'arriverai à la **gar** demain soir : le vendredi **6** novembre à 20h30.
- Serai à la gare le **8-11** à 20h30

2 types de compression

- Compression sans perte :
 - Codage RLE (Run Length Encoding),
 - Codage Huffman,
 - Codage LZW.
- Compression avec pertes :
 - MP3, Ogg Vorbis,
 - JPEG,
 - MPEG.

Compression sans pertes

- Codage RLE :
 - Toute suite de bits identiques est remplacée par un couple (nbre occurrence, bit).
- Codage Huffman :
 - Coder ce qui est fréquent sur peu de place et coder sur des séquences plus longues ce qui revient rarement.

Codage LZW

(code zip et format gif)

- Des successions de caractères se retrouvent plus souvent que d'autres ; on les remplace par un nouveau caractère, en construisant au fur et à mesure un dictionnaire.

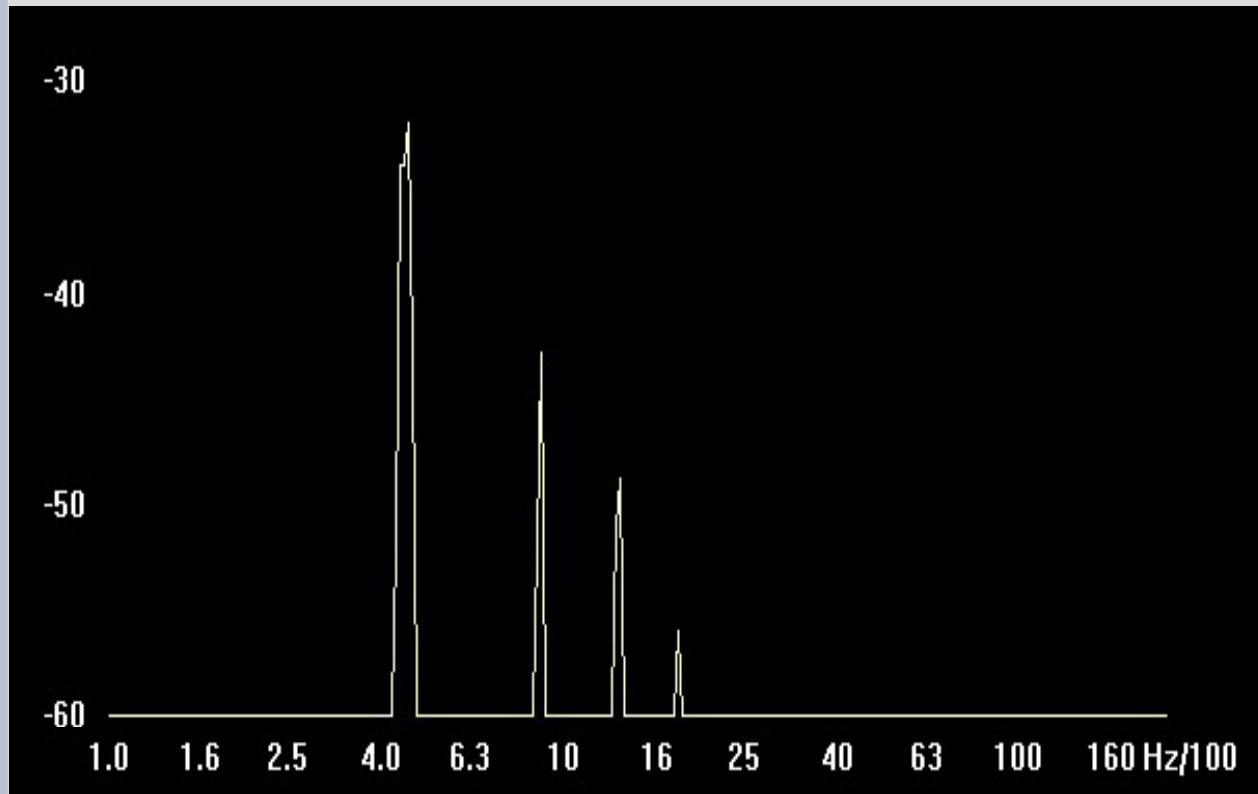
Compression avec pertes

- Pour les fichiers multi-média car le récepteur (Système auditif, SVH) n'est pas sensible à toutes les variations (fréquences) du signal.
- MP3, Ogg Vorbis, JPEG, MPEG...
- Ces compressions se basent sur une autre représentation du signal (représentation fréquentielle et non temporelle)

Représentations d'un même signal

- **Représentation temporelle** : évolution du signal avec le temps.
- **Représentation fréquentielle** (spectre) : amplitude des fréquences présentes dans le signal

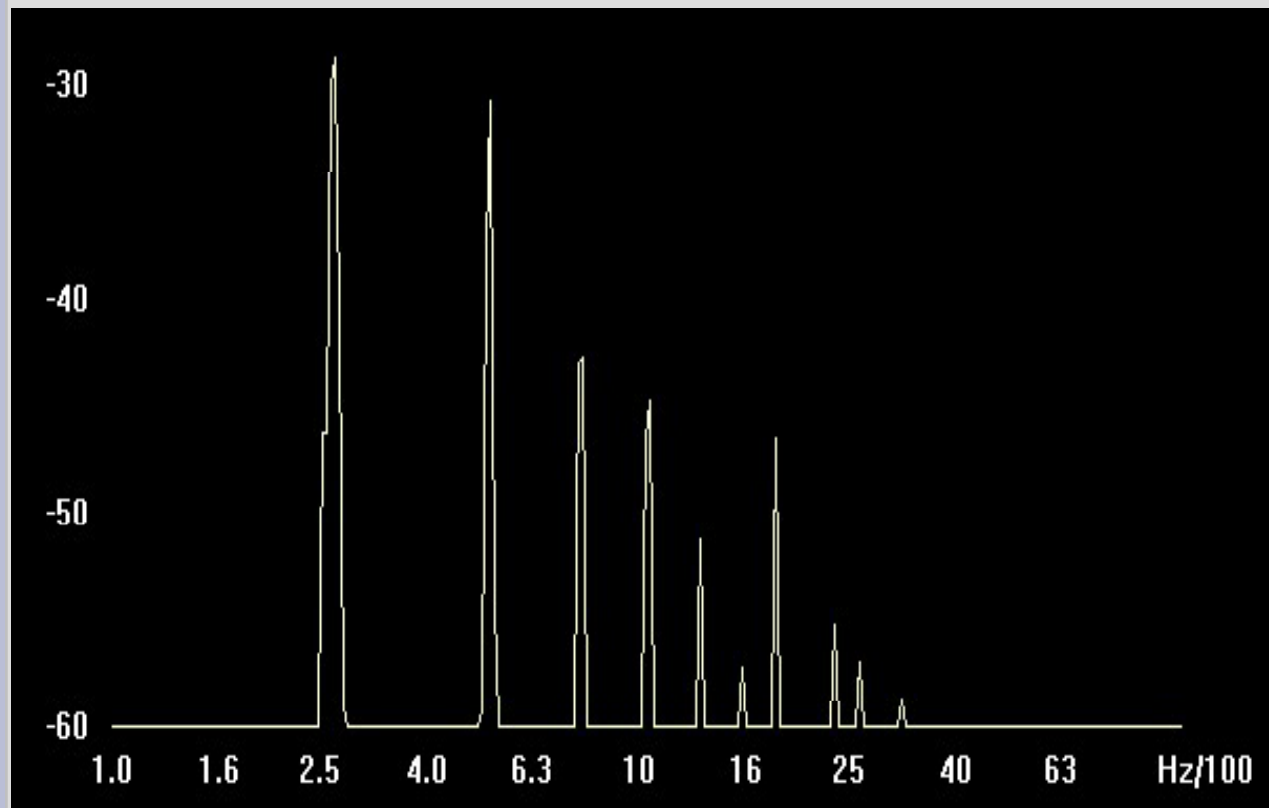
Cas particulier : le « la »



Flûte

fondamental : 440 Hz
3 harmoniques

Un autre « la »



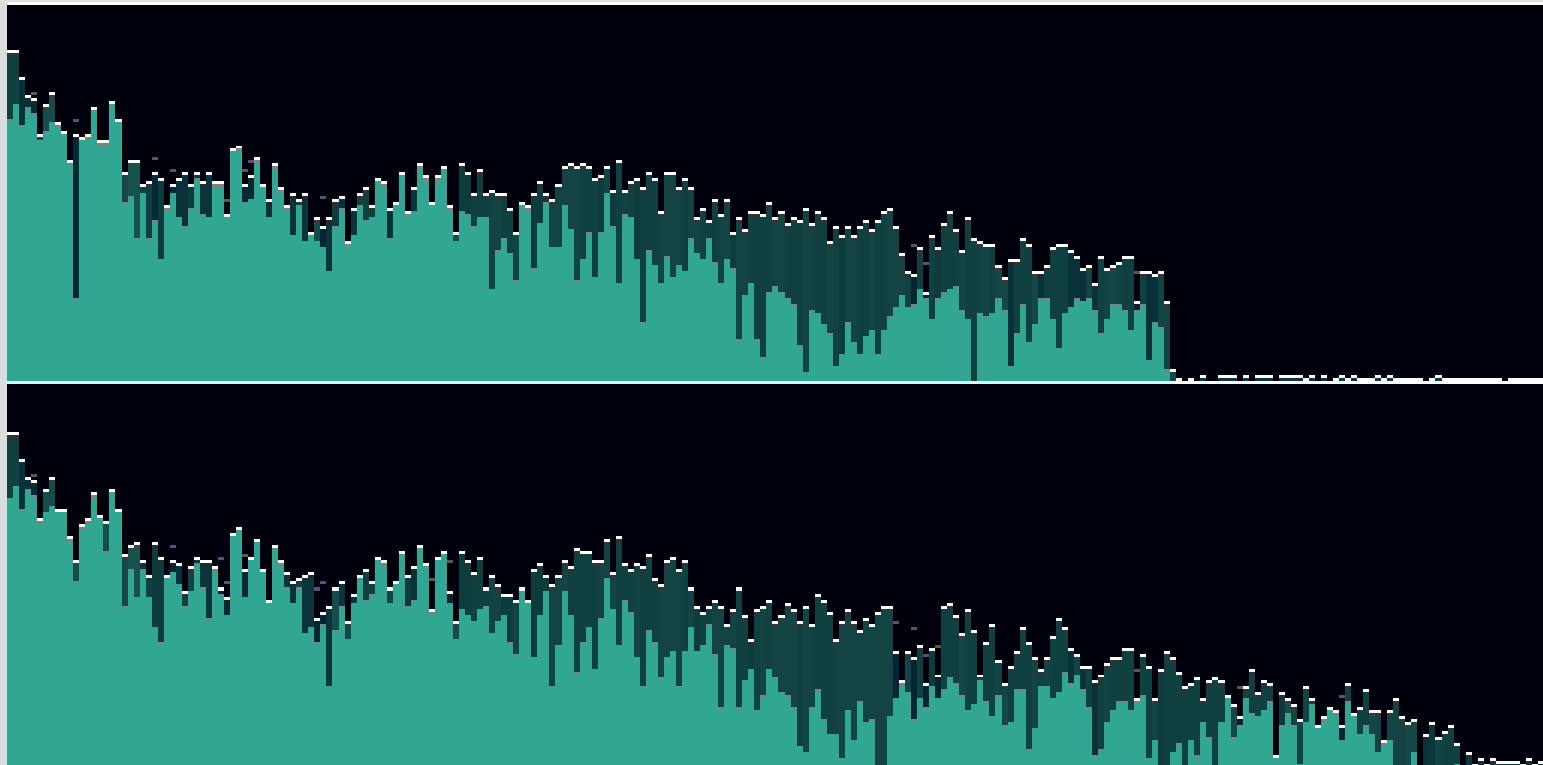
Piano

fondamental : 440 Hz
beaucoup plus d'harmoniques

Principe de la compression MP3

- Traduction des échantillons temporels en représentation fréquentielle (TFD : Transformée de Fourier Discrète),
- Suppression des fréquences hautes,
- Suppression des fréquences masquées,
- Codage Huffman pour traduire les données.

Exemple de compression MP3



Comparaison avec la compression Ogg Vorbis

- Débit variable : le débit s'adapte à la musique pour conserver une qualité sonore constante.
- Bitrate : débit instantané.
- **CBR** (Constant Bit Rate) / **VBR** (Variable Bit Rate)

Retour sur la compression JPEG

- Transformation du format RGB en Luminance / Chrominance,
- Ré-échantillonnage de la chrominance,
- Découpage de l'image en bloc 8*8,
- Application de la fonction DCT (Discrete Cosinus Transform)
- Quantification de chaque bloc,
- Lecture Zig-Zag,
- Encodage de l'image avec Huffman.

Exemple compression JPEG



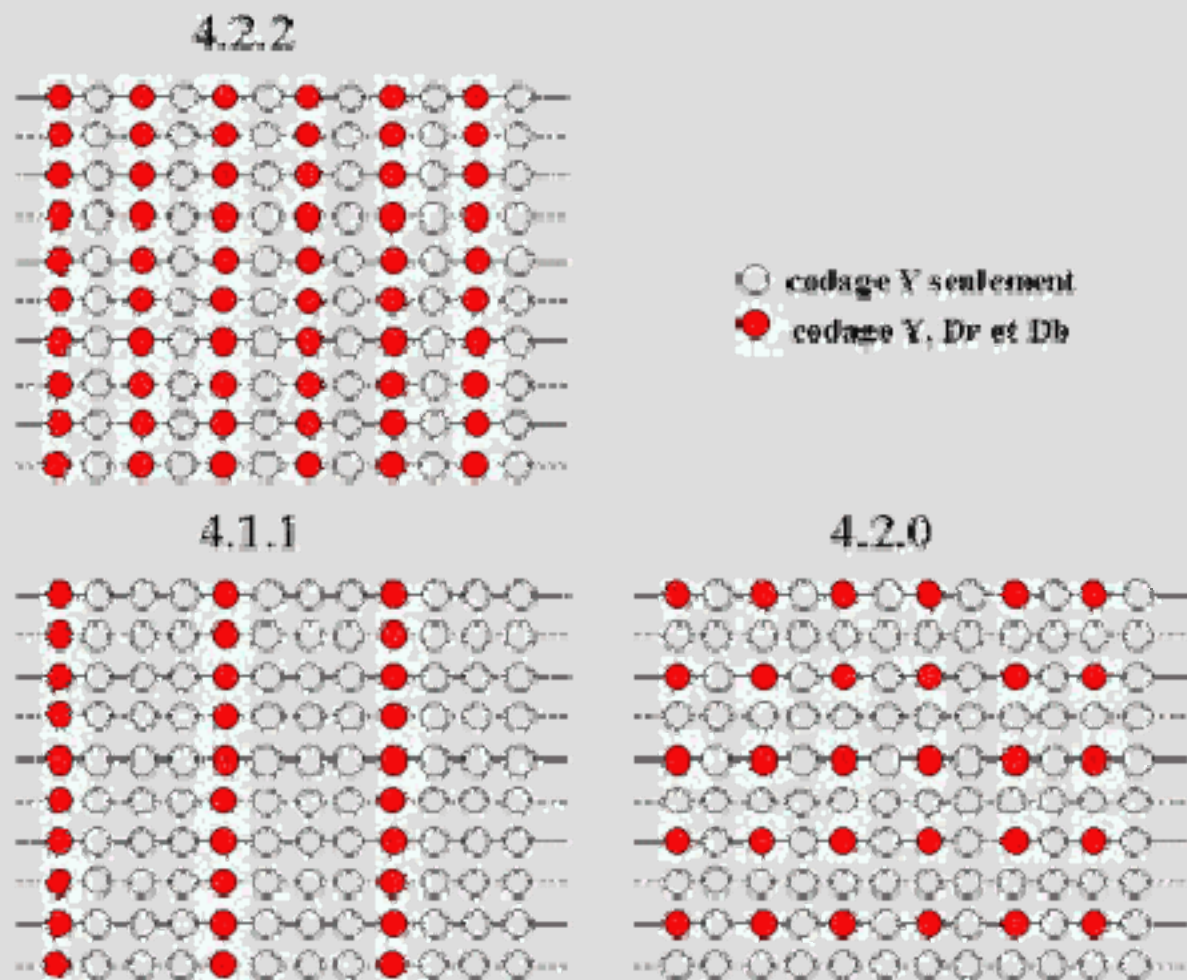
Image Originale

Transformation du format RGB

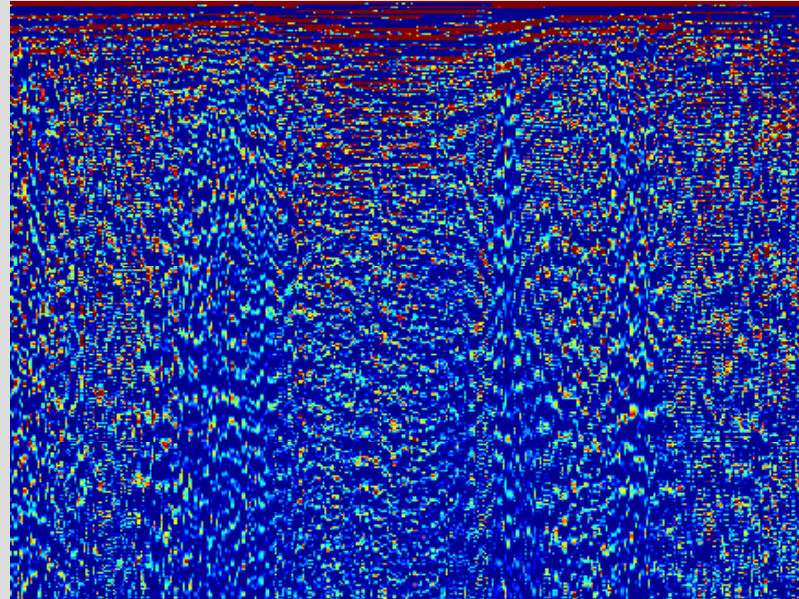


Changement espace couleurs
Y, Cb, Cr

Ré-échantillonnage de la chrominance

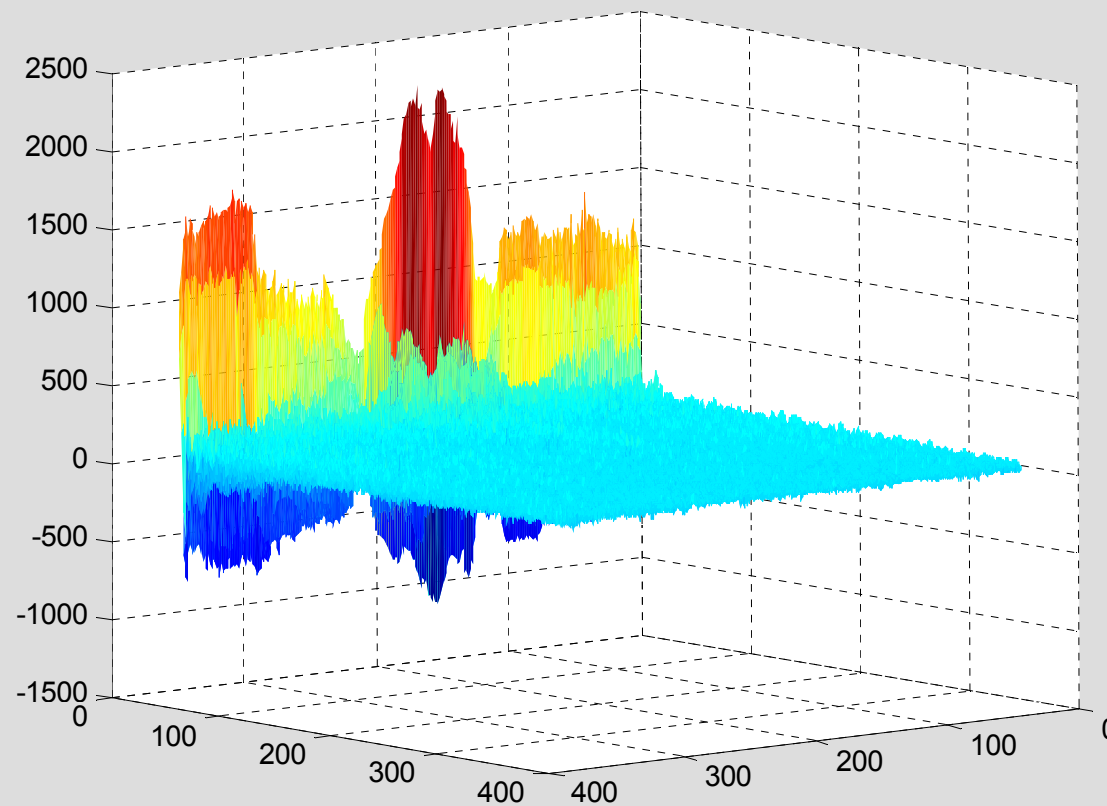


Application de la DCT



DCT de Y
(même taille)

Intérêt de la DCT



Conclusion

- Choix d'un codec :
 - signal source,
 - complexité du codec,
 - débit,
 - retard de reconstruction,
 - tenue aux erreurs de transmission,
 - qualité (différences entre signal reconstitué et signal initial)

D'autres liens

- Codage vidéo, formats CIF, QCIF
- Codage JPEG et JPEG2000

Annexe

Calcul de la DCT

$$F(u, v) = \frac{C_u}{2} \frac{C_v}{2} \sum_{y=0}^7 \sum_{x=0}^7 f(x, y) \cos \left[\frac{(2x+1)u\pi}{16} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)v\pi}{16} \right]$$

$$C_u = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{if } u = 0, \\ 1 & \text{if } u > 0 \end{cases}; C_v = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{if } v = 0, \\ 1 & \text{if } v > 0 \end{cases}$$

Exercice

- Quelle fréquence d'échantillonnage choisiriez-vous pour :
 - le signal téléphonique sachant que le canal entre l'abonné et le CAA a une bande passante égale à [300 Hz ; 3400 Hz] ;
 - un signal audio ?

Exercice

- Un système d'enregistrement de CD échantillonne chacune des deux voies stéréo à la fréquence de 44.1 kHz.
 - Expliquer le choix de la fréquence d'échantillonnage.
 - Donner la valeur du SNR si chaque échantillon est codé sur 8 bits sachant que : $SNR = 1.76 + 6.02n$
 - En fait un SNR de 50 dB est perçu comme un léger souffle par l'oreille humaine ; déterminer le nombre de bits nécessaires pour avoir un SNR supérieur à 80 dB.
 - Pourquoi, d'après vous, les échantillons sont codés sur 16 bits.
 - Quel est le débit du système d'enregistrement ?

Exercice 2

- × On souhaite transmettre une image de télévision de 576 lignes et 720 points par ligne.
- × Calculer le nombre de bits nécessaires pour coder une image sans compression au format RGB, au format luminance / chrominance. On suppose que l'on utilise 1 octet pour chaque « couleur ».
- × Quel est l'intérêt de ce deuxième format ?
- × Calculer alors le nombre de bits nécessaires si on utilise un sous-échantillonnage 4-2-2 (2h1v), puis 4-2-0 (2h2v).
- × Dans chaque cas, calculer la quantité de données pour stocker 1 heure 30 de vidéo.
- × Conclure connaissant la capacité d'un DVD.