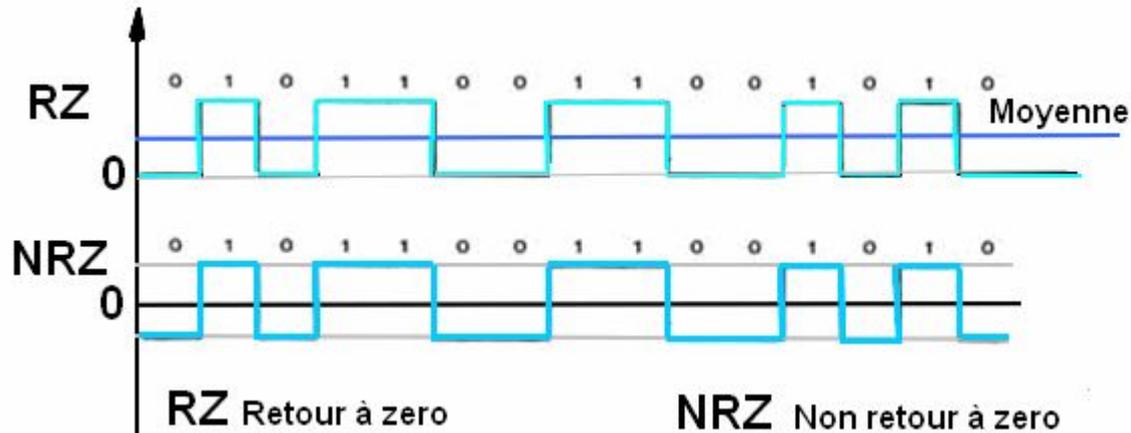


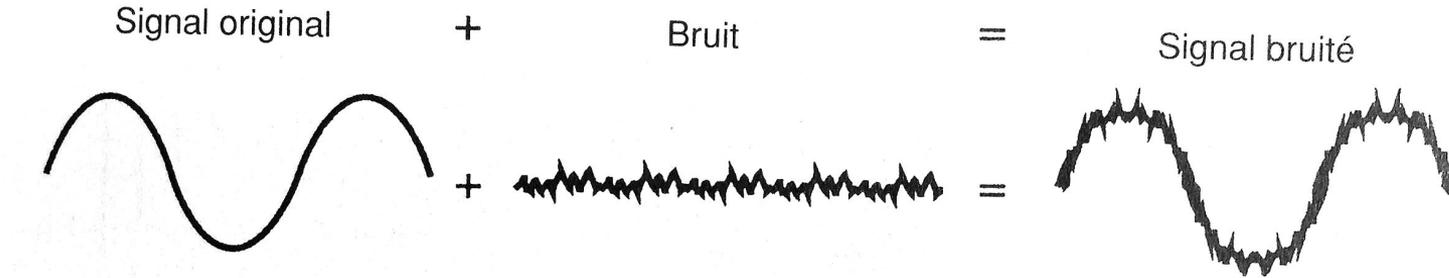
Les principaux signaux numériques utilisés en audiovisuel sont l'[AES3](#), [AES10](#), l'[AES 50](#) et [DANTE](#) pour le son, et le SDI et le HDMI pour l'image.



Rappels sur les signaux analogique audio

avantage: splitter utilisable, bande passante réduite 20-20kHz,

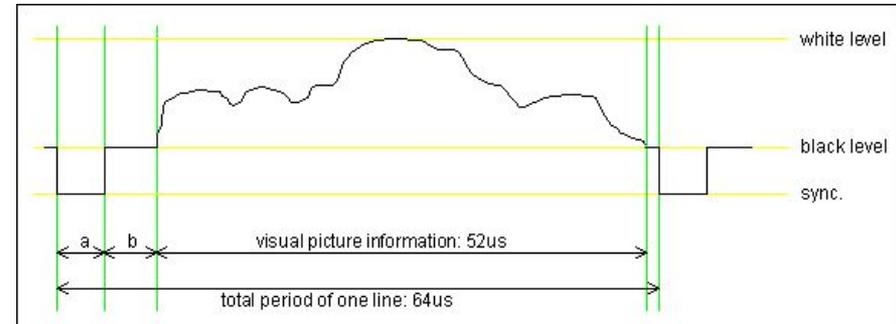
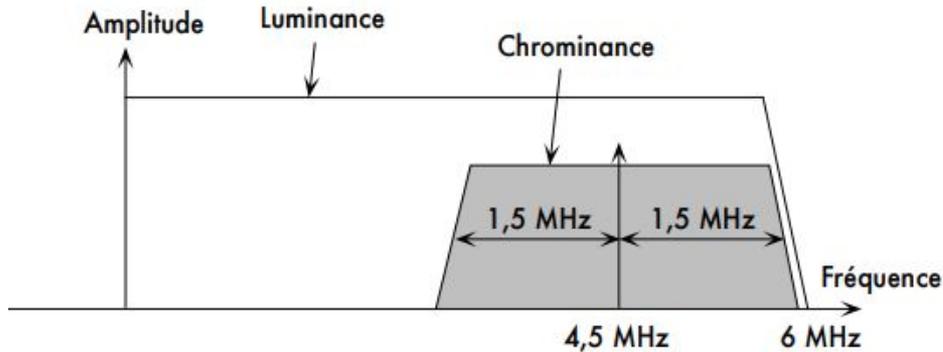
inconvenient: nécessite un bon rapport S/B 40dB mini, se dégrade à chaque copie



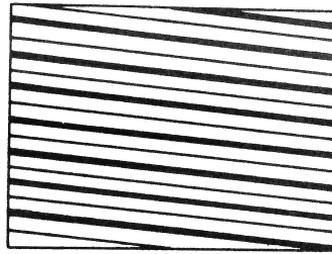
Rappels sur les signaux analogique video

vidéo: PAL 625 lignes 576 lignes utiles 50Hz, BP 5MHz, sous porteuse chroma BP 1,5MHz 4,433618 MHz, sous porteuse son 5,5MHz

NTSC 525 lignes 487 lignes utiles 60Hz, BP 4,2MHz, sous porteuse chroma 1,4MHz 3,579545MHz, sous porteuse son 4,5MHz

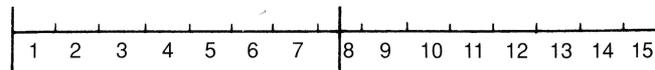


Rappels sur les signaux analogique video
l'entrelacement permet de doubler la cadence de rafraichissement



La première trame commence
par une ligne entière et s'achève
par une demi-ligne

La seconde trame commence
par une demi-ligne et s'achève
par une ligne entière



Une image comporte un nombre impair de lignes

Pourquoi les signaux numérique?

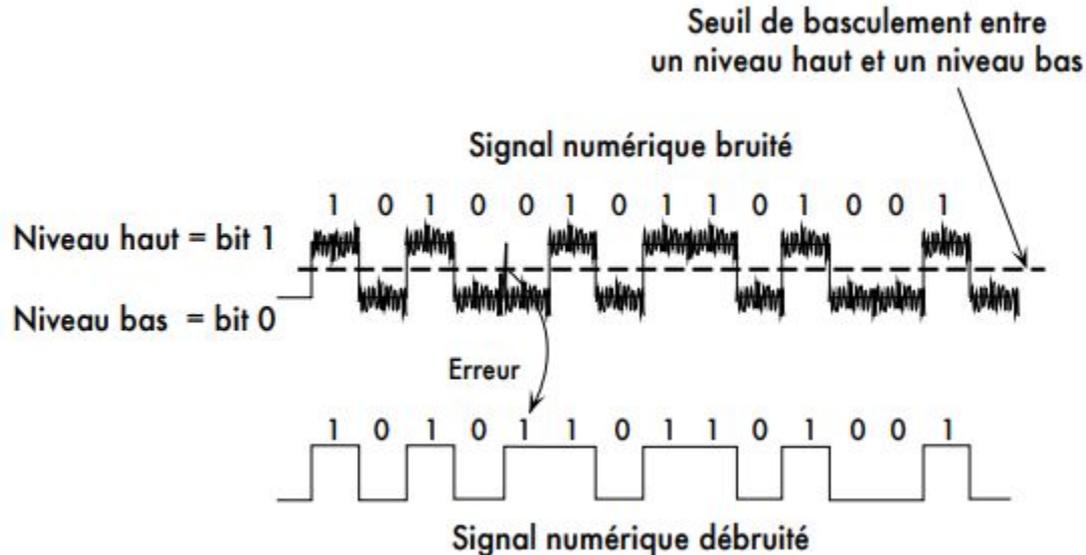
liaison transparente

copie conforme

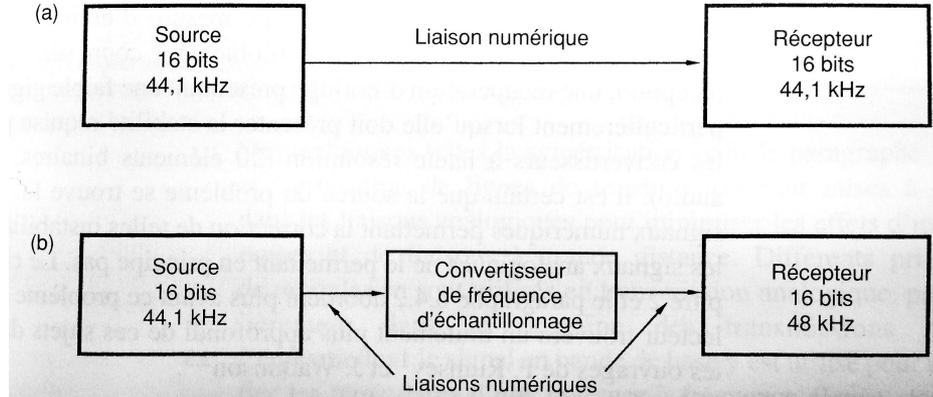
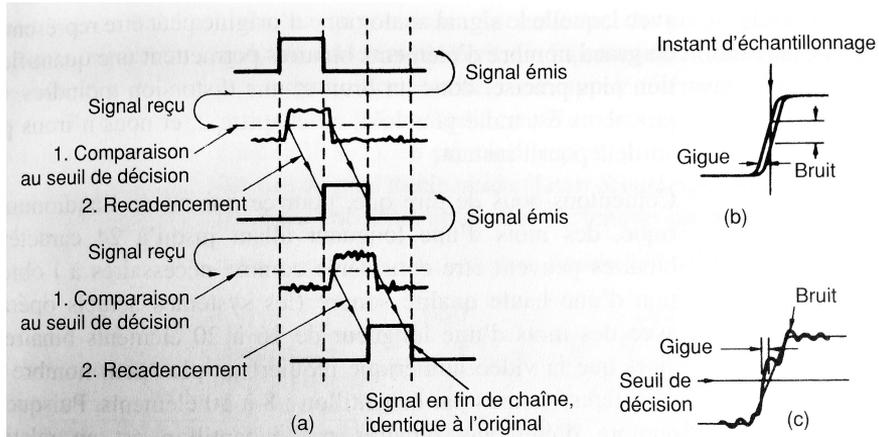
correction d'erreur

signal analogique > bande passante faible/ rapport signal à bruit élevé

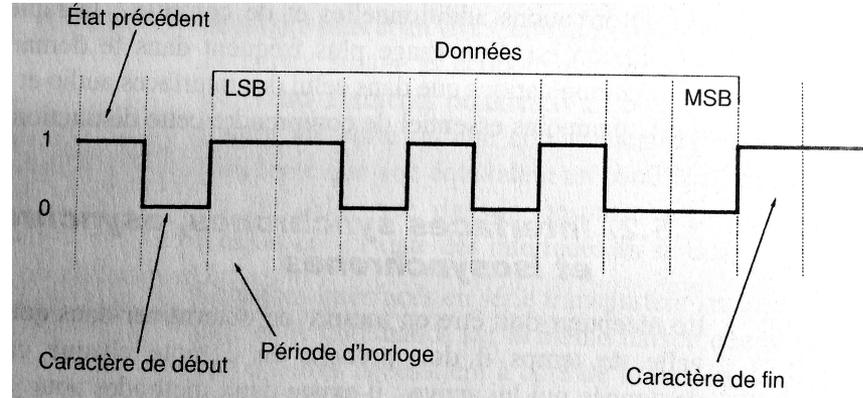
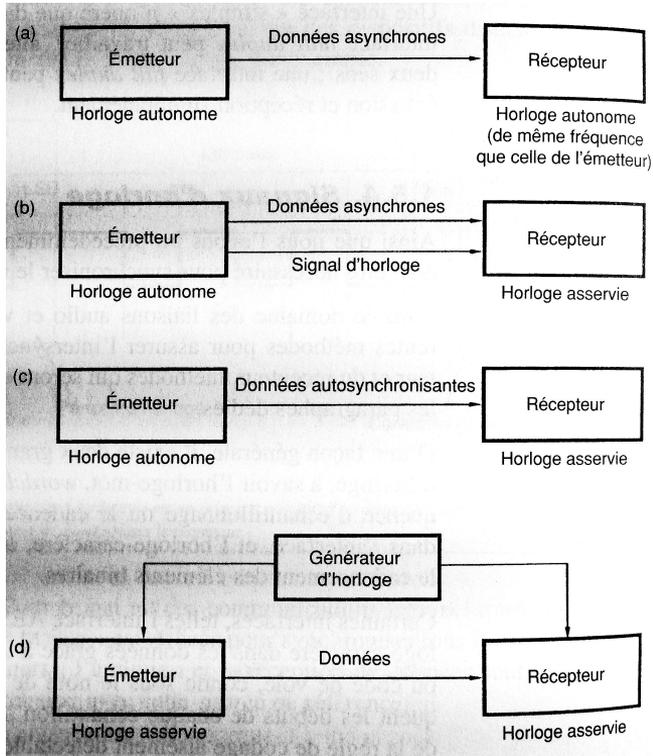
signal numérique > bande passante large, rapport signal à bruit faible



copie parfaite sauf si conversion

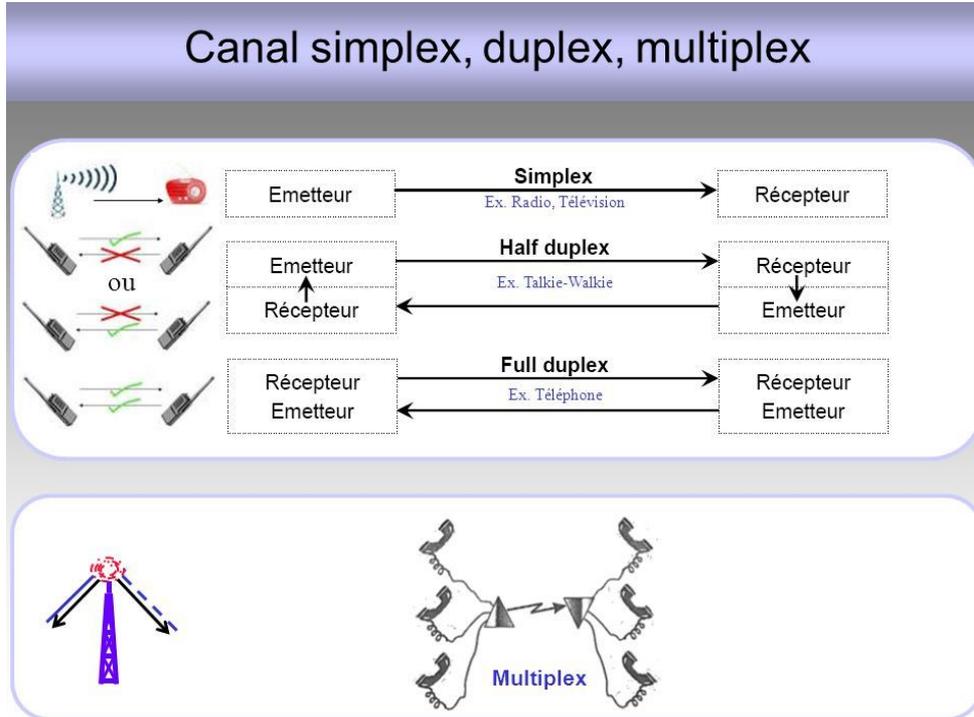


interface asynchrone, synchrone et isochrone

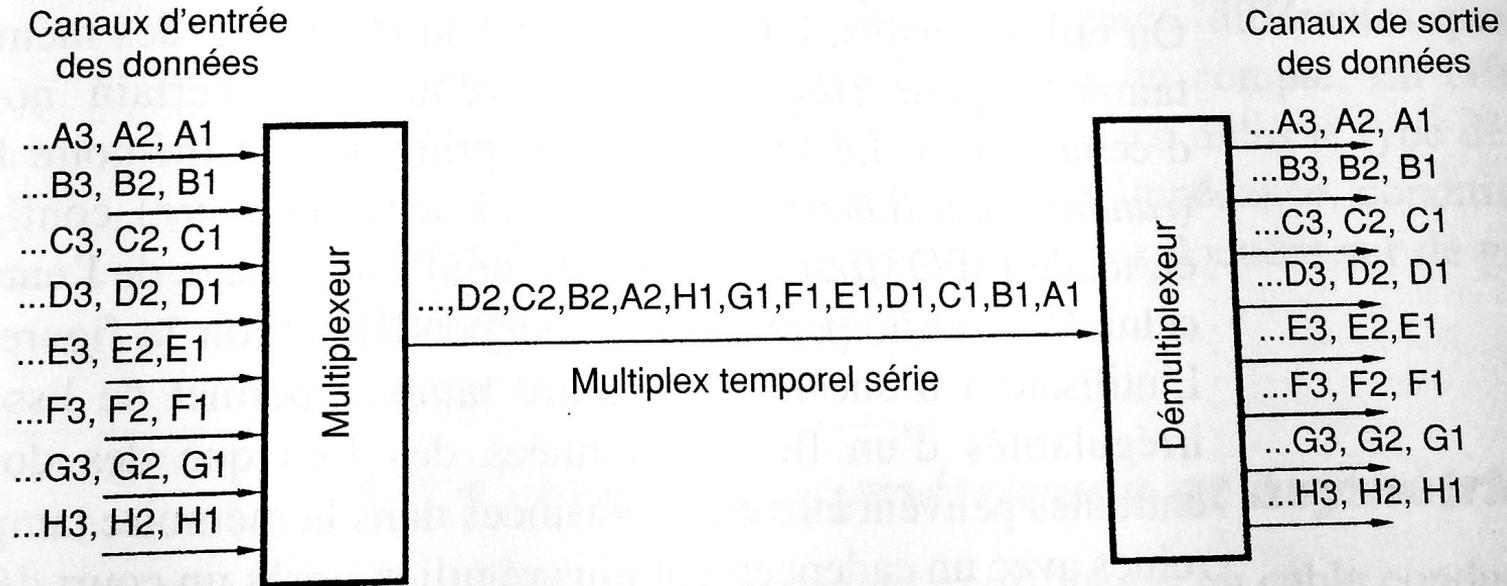


interface simplex, half duplex, full duplex

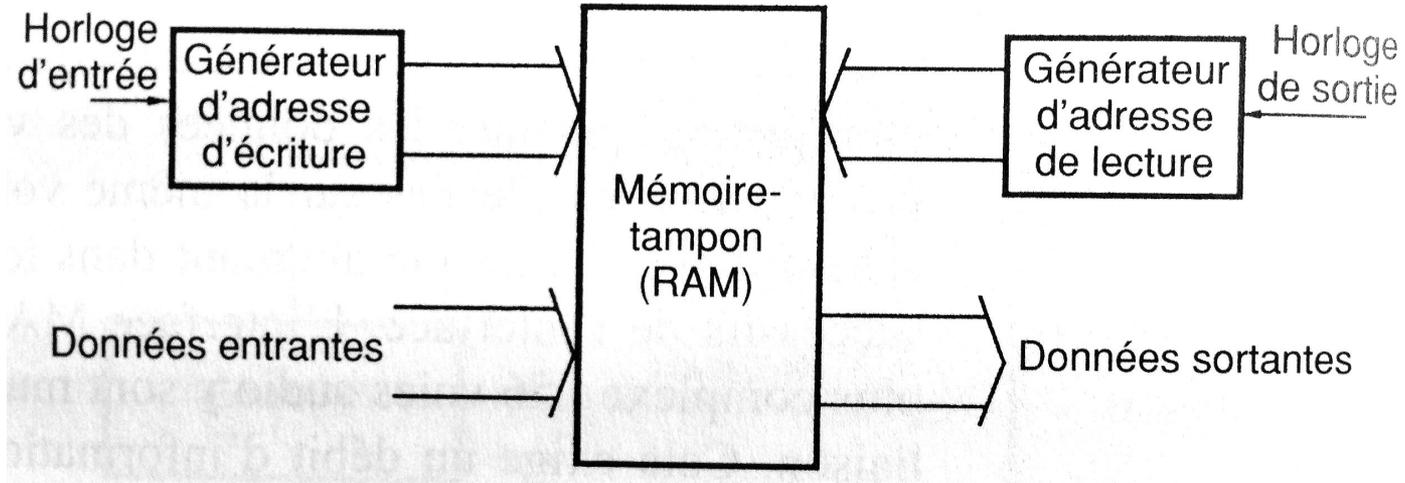
Canal simplex, duplex, multiplex



Multiplexage temporel

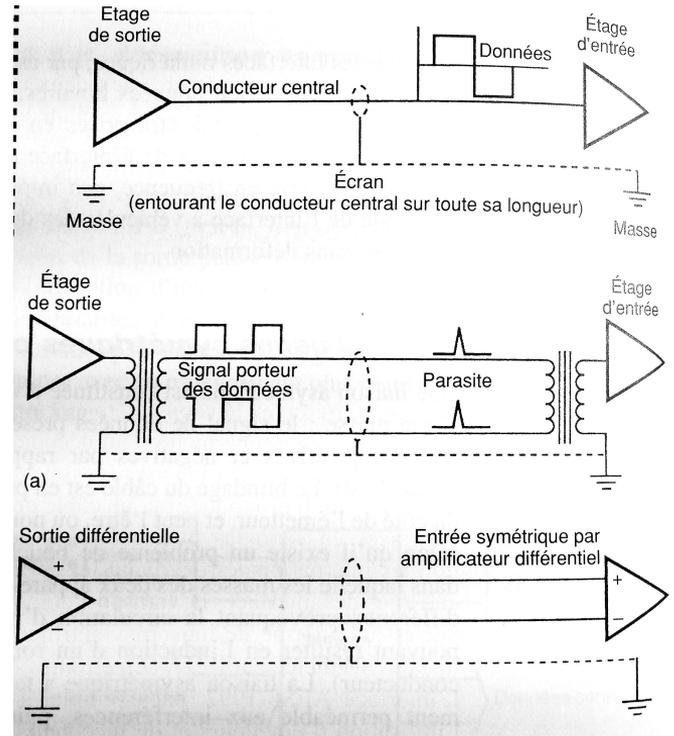


mémoire tampon, FIFO



liaison symétrique, asymétrique en numérique

les liaisons numériques utilisent soit des paires blindées soit des câbles coaxiaux.

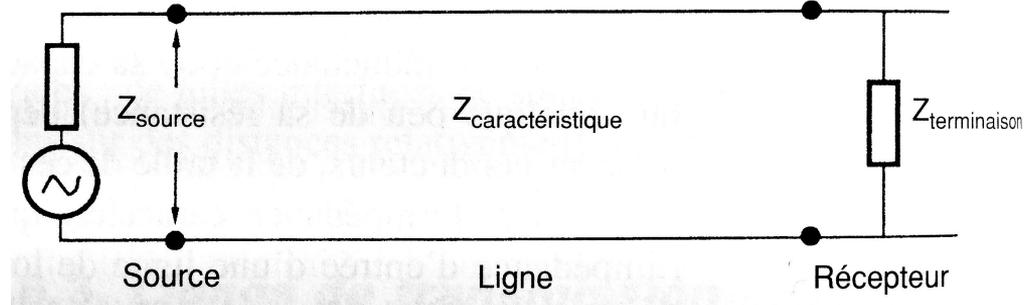
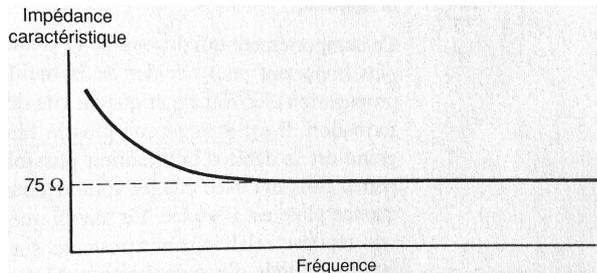
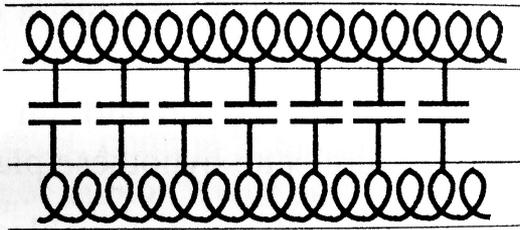


impédance caractéristique d'un câble

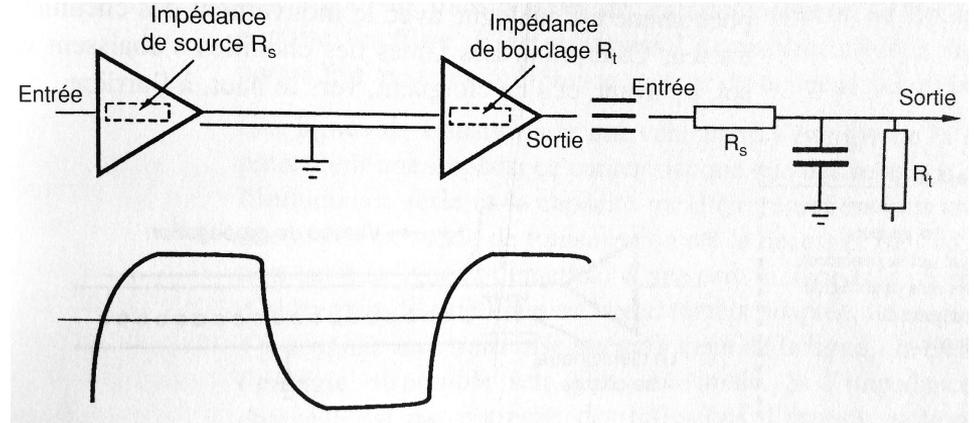
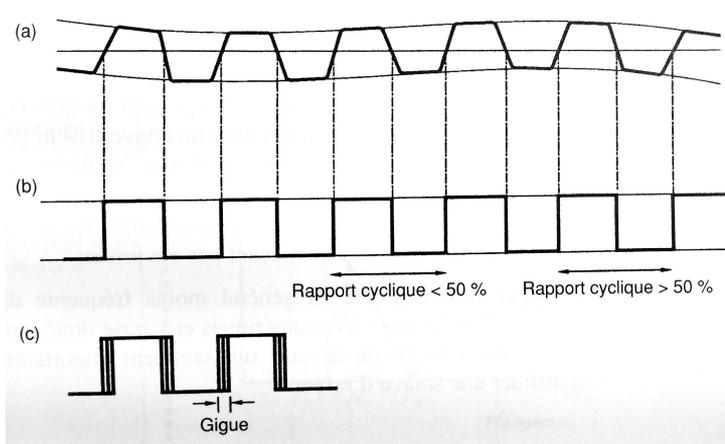
A basse fréquence les électrons circulent dans le conducteur protégé par l'isolant.

A haute fréquence, les ondes électromagnétiques circulent dans l'isolant autour du conducteur.

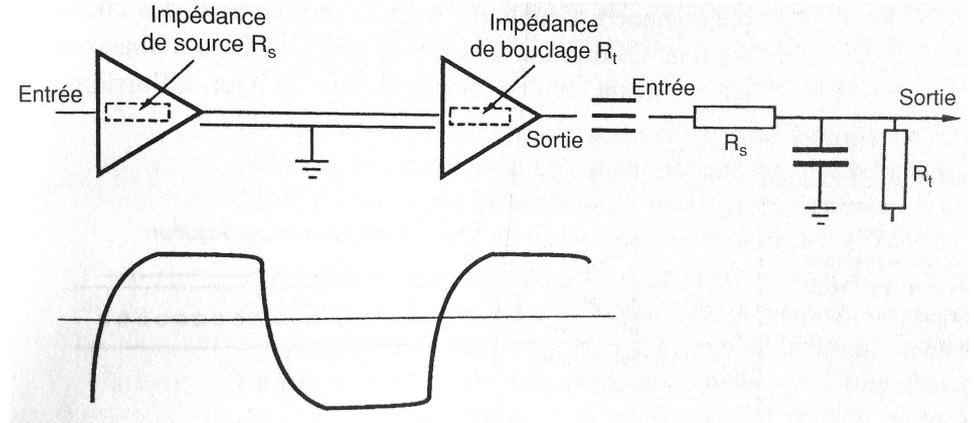
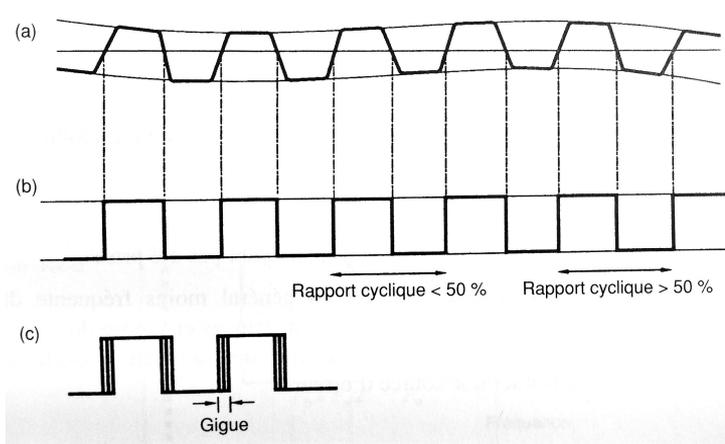
Entre les deux l'effet de peau fait circuler les électrons à la périphérie des conducteurs et diminue la section utile. L'impédance augmente.



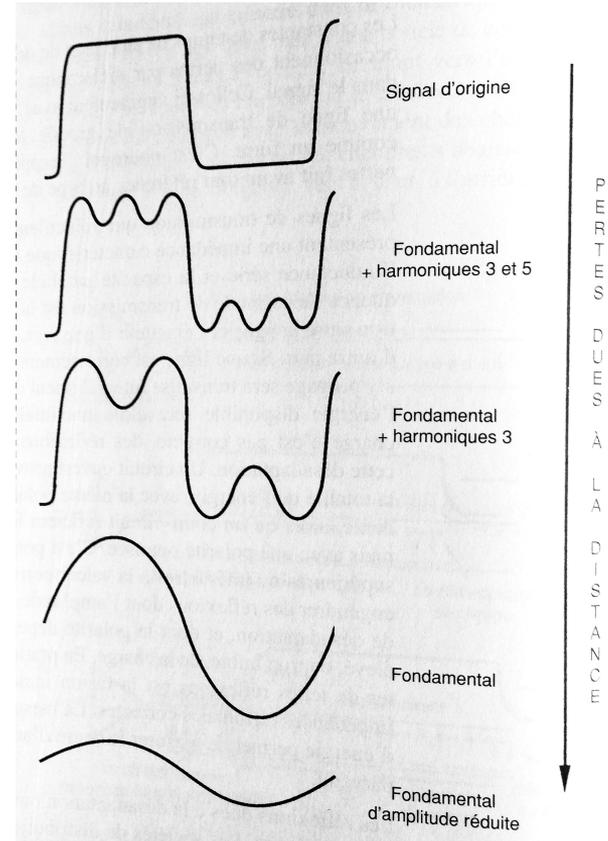
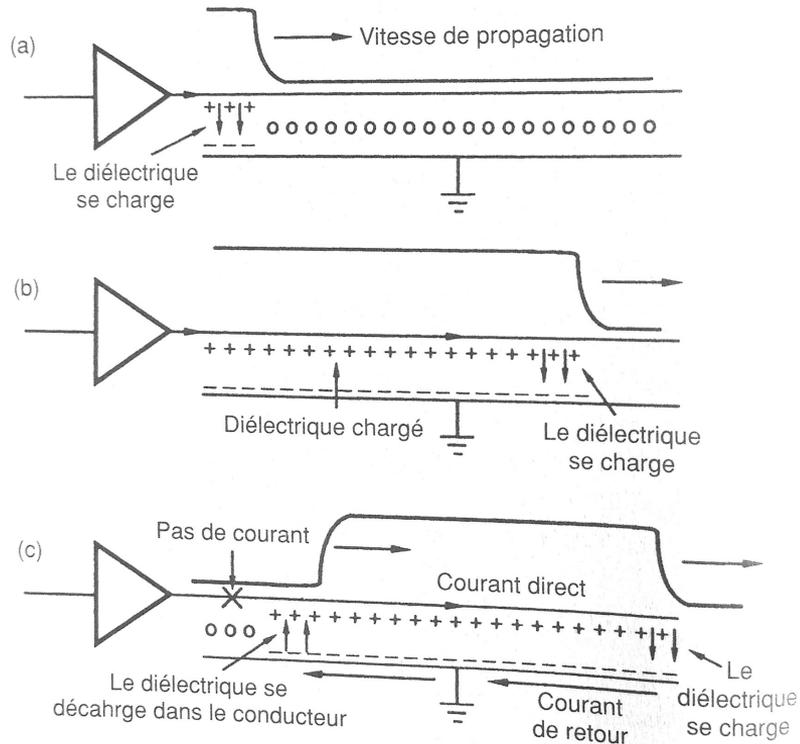
dégradation du signal numérique



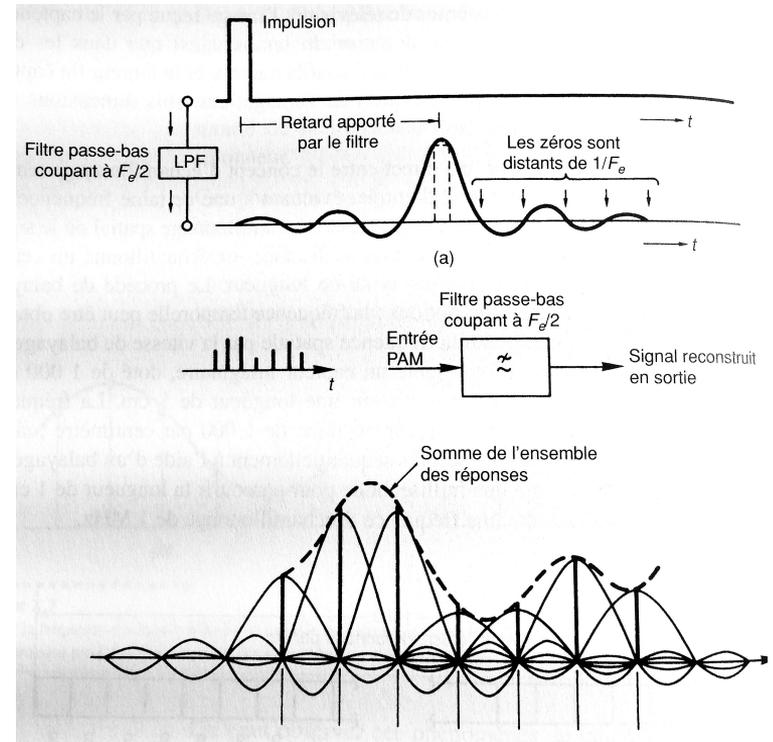
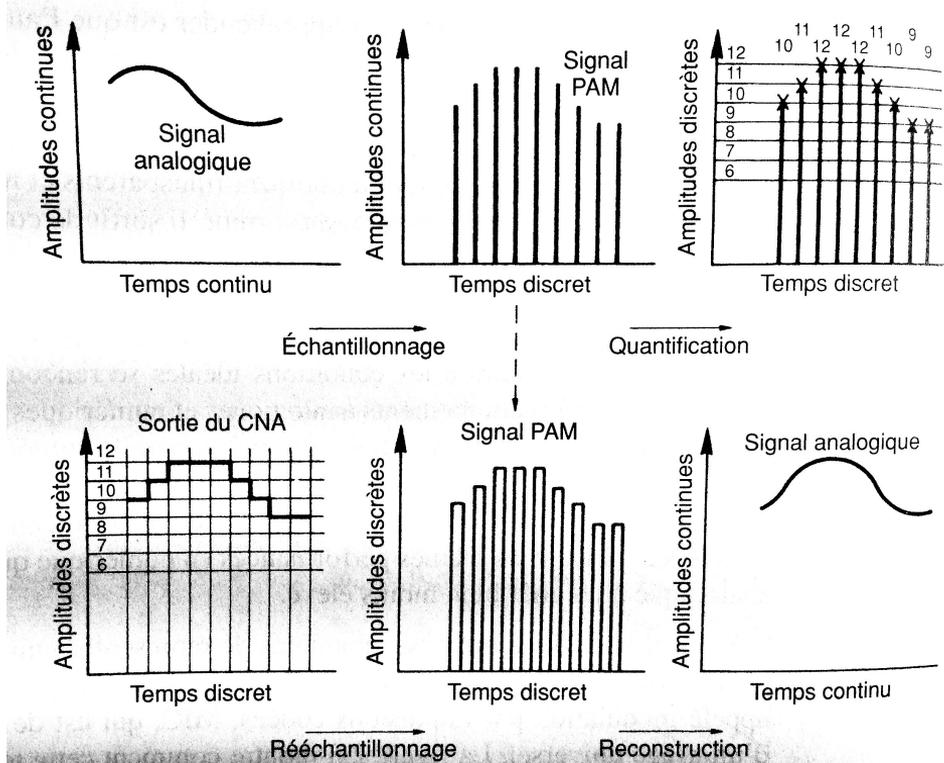
dégradation du signal numérique



dégradation du signal numérique

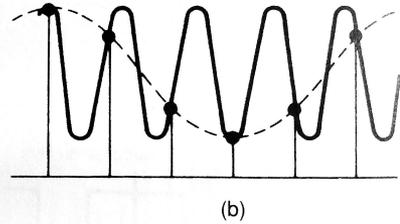
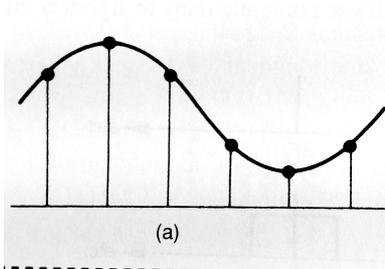


problèmes liés à la numérisation



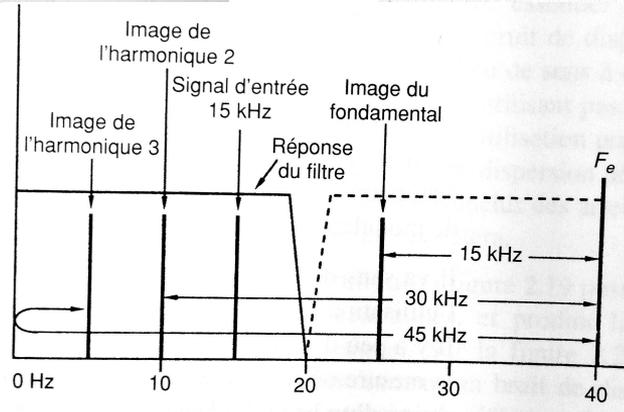
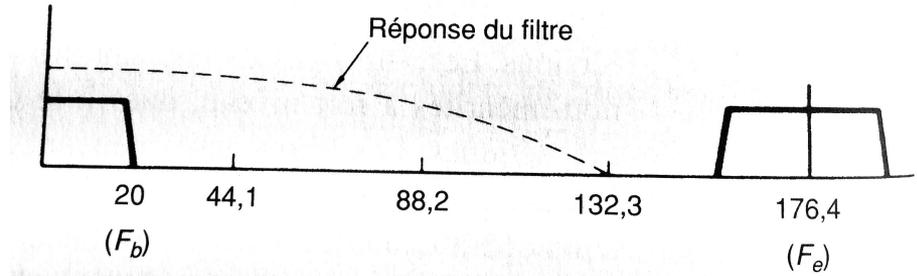
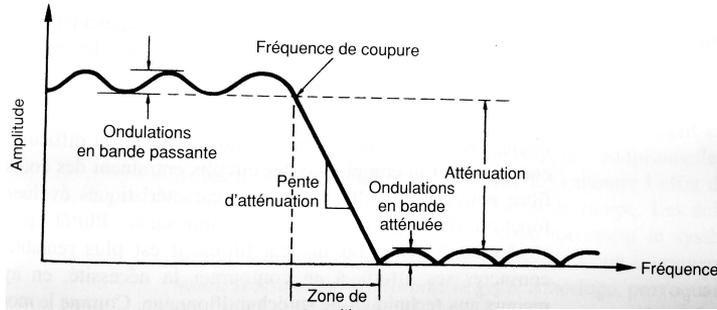
problèmes liés à la numérisation

repliement spectral > filtrage à $F_e/2$



problèmes liés à la numérisation

erreur dus au filtres anti repliement et de reconstruction > suréchantillonnage



problèmes liés à la numérisation

le dithering et le noise shaping sont utilisés en image en an audio pour éviter les distorsions lors de conversion de quantification.

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Dither_\(audio\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Dither_(audio)) exemple sonore



8 bit



1 bit
(truncated)



1 bit
(dithered)



1 bit
(noise-shaped
dither)

problèmes liés à la numérisation

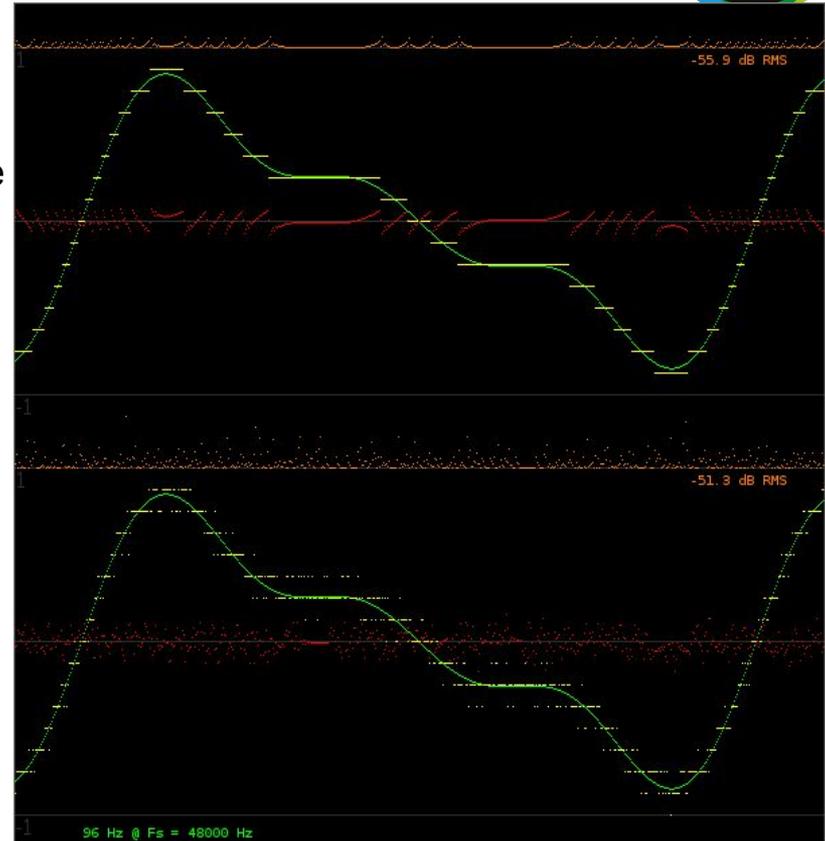
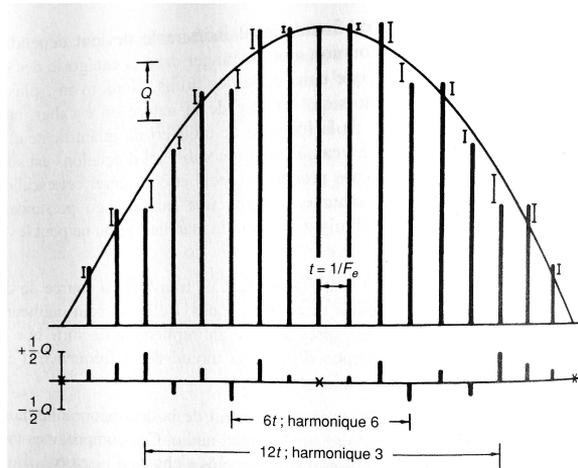
dither et noise shaping (image)

distorsion faible niveau > bruit de dispersion (dither)

distorsion faible niveau lors de la CAN > bruit analogique

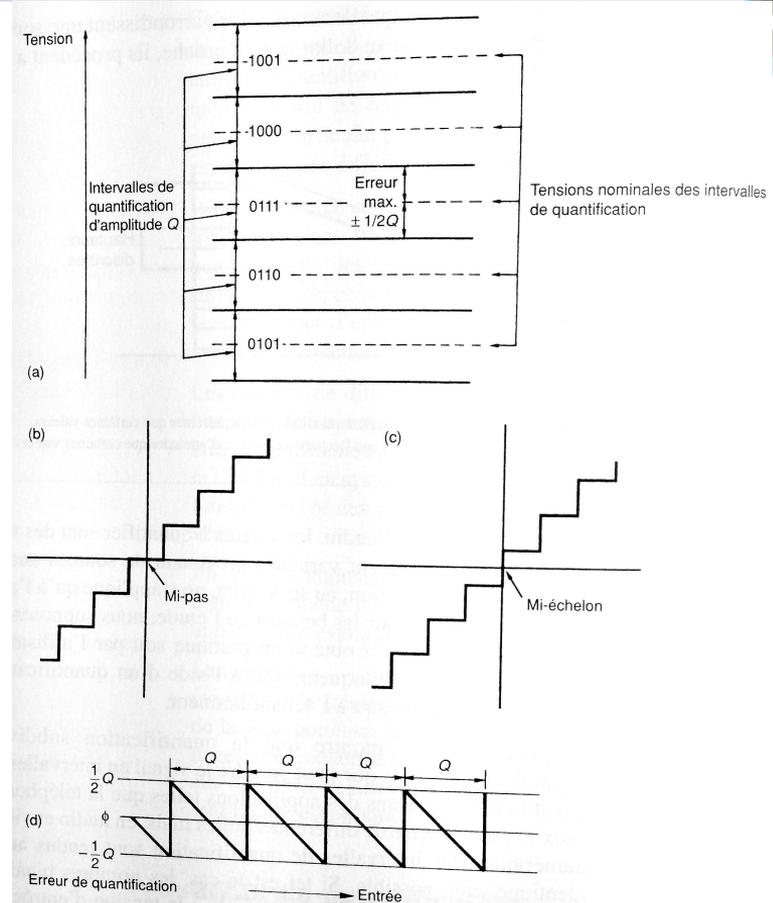
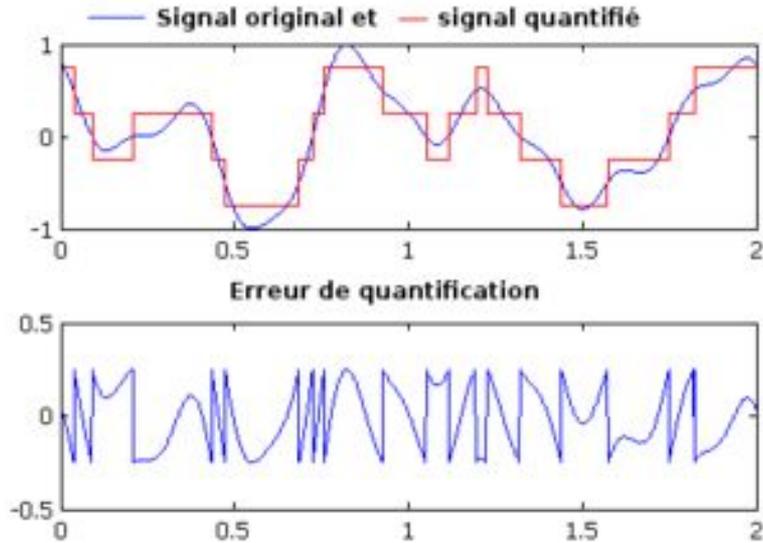
et bruit de troncature lors de la conversion de pas d'échantillonnage > ajout bruit numérique

noise shaping



problèmes liés à la numérisation

distorsion faible niveau lors de la CAN

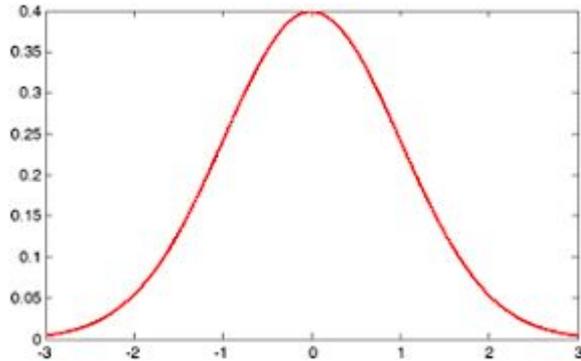


problèmes liés à la numérisation

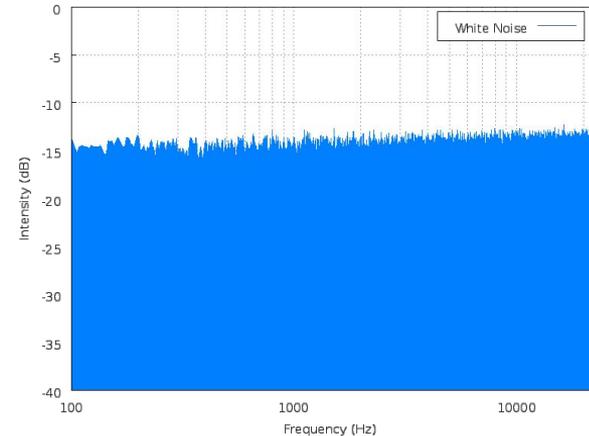
[dither](#) et [noise shaping](#) (image)

distorsion faible niveaux > bruit de dispersion (dither)

Normalement, pour 16 bits minimum, le bruit de fond gaussien suffit pour éviter la distorsion de quantification.



distribution gaussienne (bruit blanc)



Densité spectrale de puissance

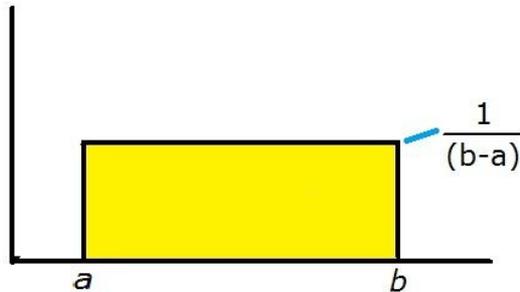
problèmes liés à la numérisation

[dither](#) et [noise shaping](#) (image)

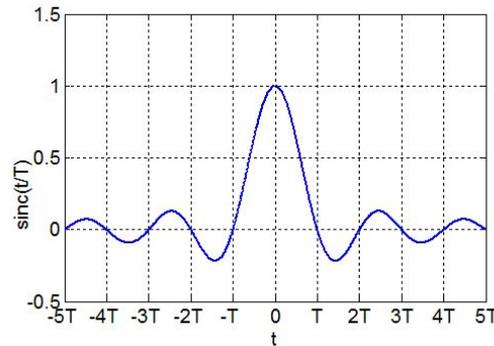
distorsion faible niveaux > bruit de dispersion (dither)

Normalement, pour 16 bits minimum, le bruit de fond gaussien suffit pour éviter la distorsion de quantification.

Lors de traitements intermédiaires, la **TPDF** (*Triangular Probability Density Function*) est utilisée (double fonction **RPDF** (*Rectangular Probability Density Function*))



Distribution rectangulaire



Densité spectrale de puissance $\text{sinc}(x) = \sin(x) / x$

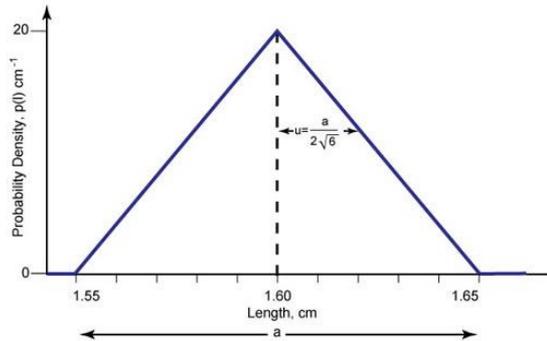
problèmes liés à la numérisation

[dither](#) et [noise shaping](#) (image)

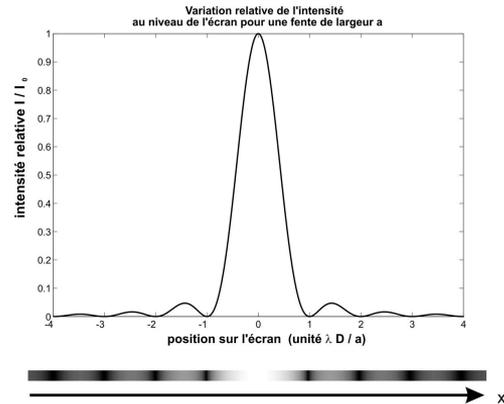
distortion faible niveaux > bruit de dispersion (dither)

Normalement, pour 16 bits minimum, le bruit de fond gaussien suffit pour éviter la distorsion de quantification.

Lors de traitements intermédiaires, la **TPDF** (*Triangular Probability Density Function*) est utilisée (double fonction **RPDF** (*Rectangular Probability Density Function*))



Distribution triangulaire



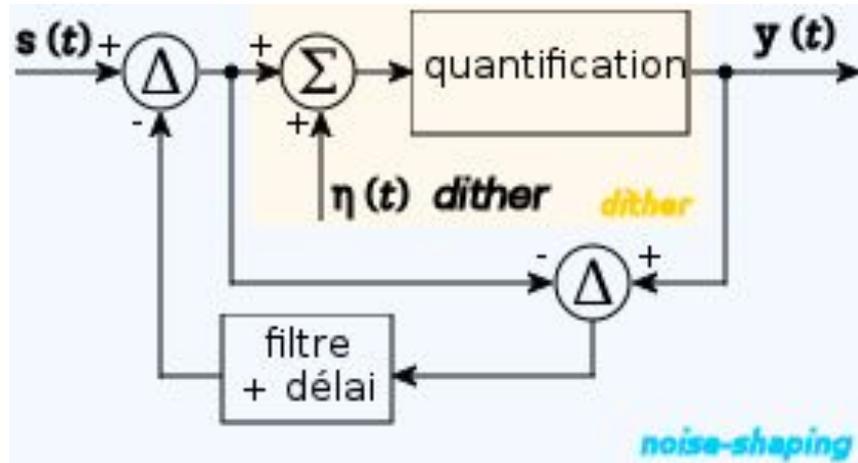
Densité spectrale de puissance $\text{sinc}^2(x)$

problèmes liés à la numérisation:

Pour la diffusion ou le traitement final avant diffusion, le noise shaping est utilisé.

Le noise shaping, en déplaçant l'énergie du bruit dans des zones moins sensible (haut et bas du spectre), permet de repousser la limite théorique de la dynamique d'un code numérique.

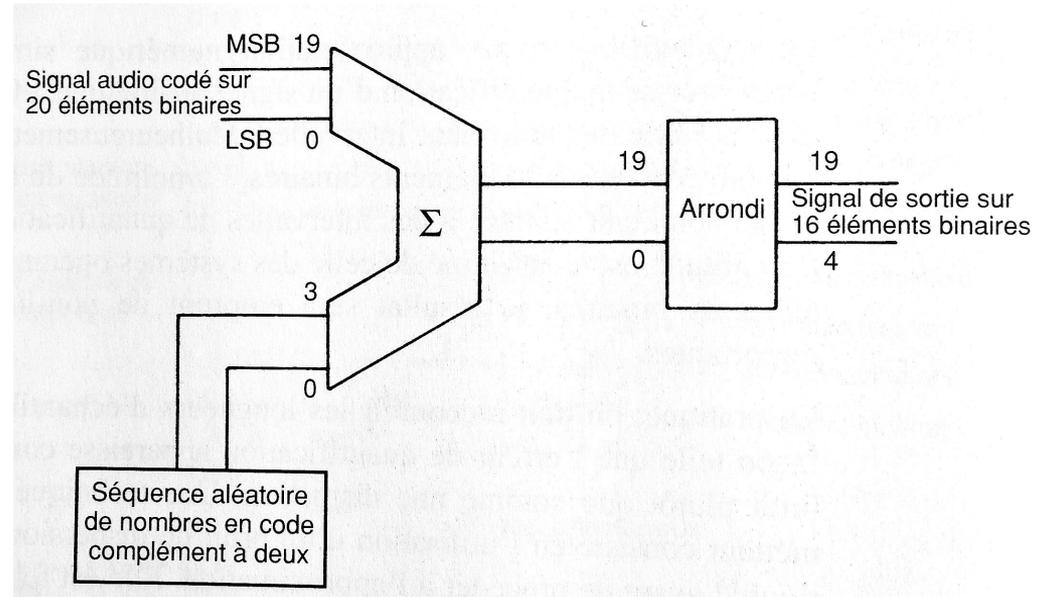
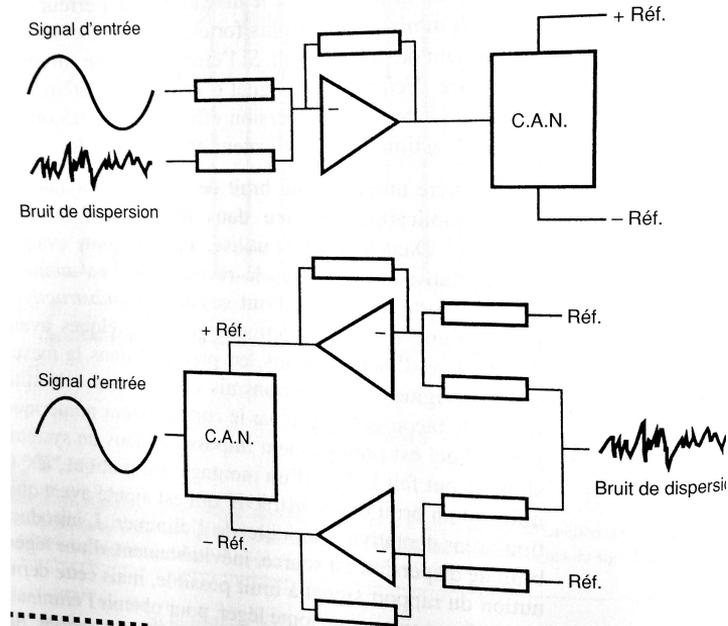
Par exemple, pour un code audio à 16 bits, on peut repousser le bruit de fond de 24dB soit 4 bits, et avoir ainsi 120dB de rapport signal à bruit.



problèmes liés à la numérisation

dither analogique / numérique

<http://darkroommastering.com/blog/dithering-explained>



problèmes liés à la numérisation

non linéarité du convertisseur

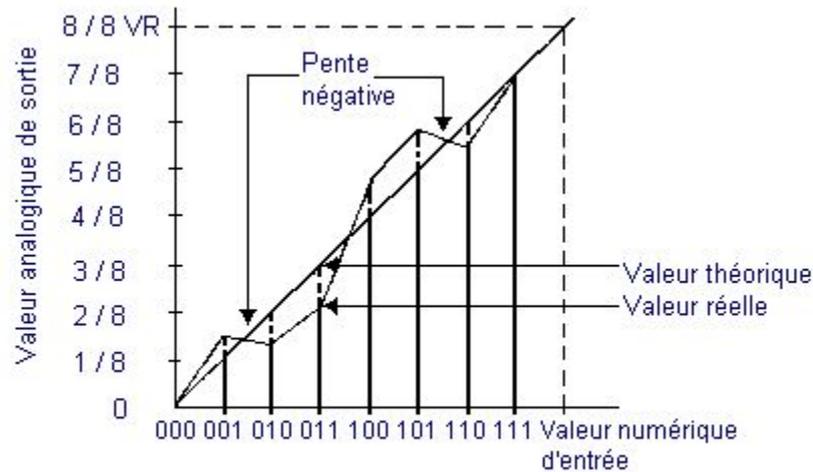
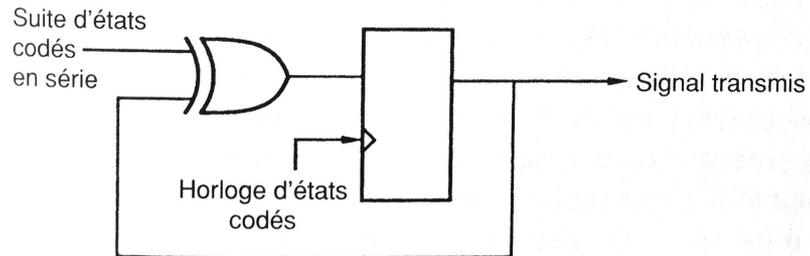
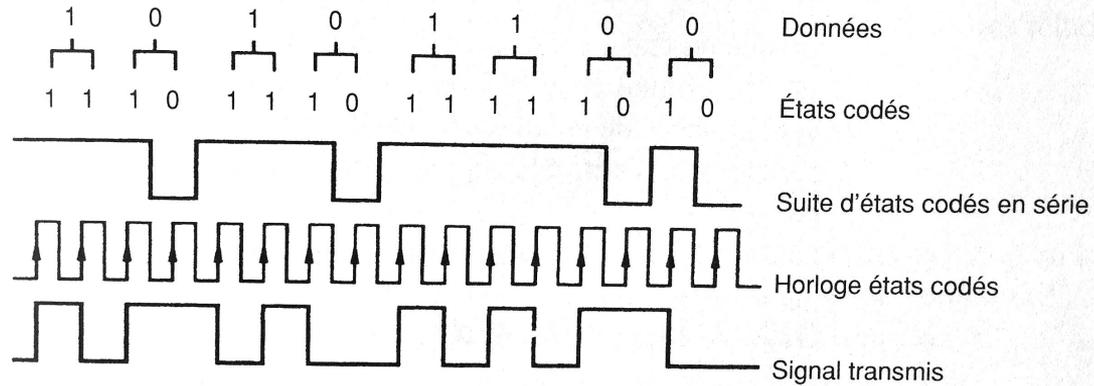


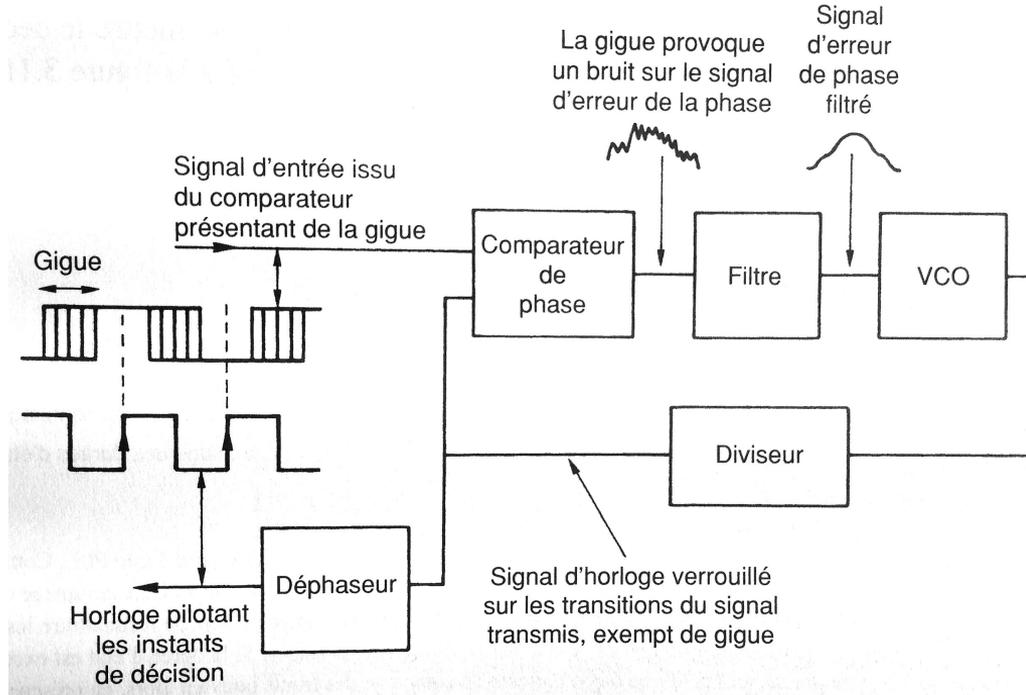
Fig. 26. - Courbe de transfert d'un convertisseur D / A non linéaire.

la norme [AES/EBU AES3 > RS422](#)
 2 à 7V, symétrique, code biphasé manchester



problèmes liés à la numérisation

correction de la gigue d'horloge



problèmes liés à la numérisation

gigue d'horloge

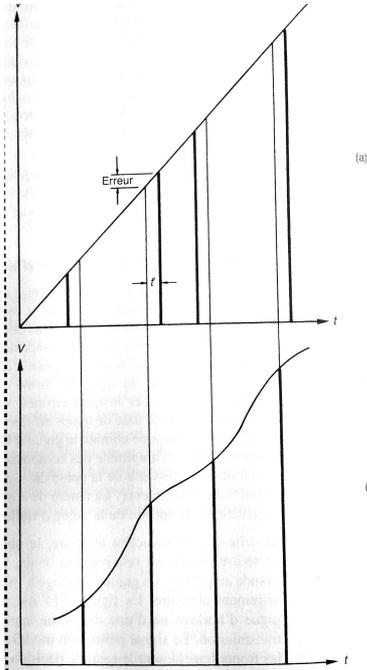


figure 520: the level error generated by a sine wave as a result of noise shaped jitter

figure 520a: the audio signal: a sine wave with frequency f_a

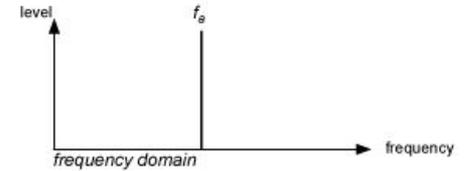
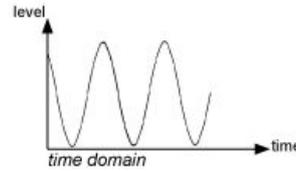


figure 520b: the jitter signal

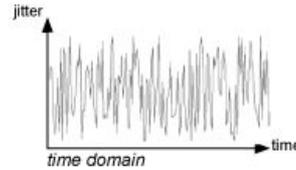
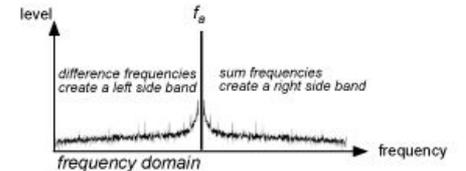


figure 520c: the resulting level error is linear with the frequency of the audio signal, creating left and right side bands around f_a

$$S(t) = s \cdot \cos(\omega_a t)$$

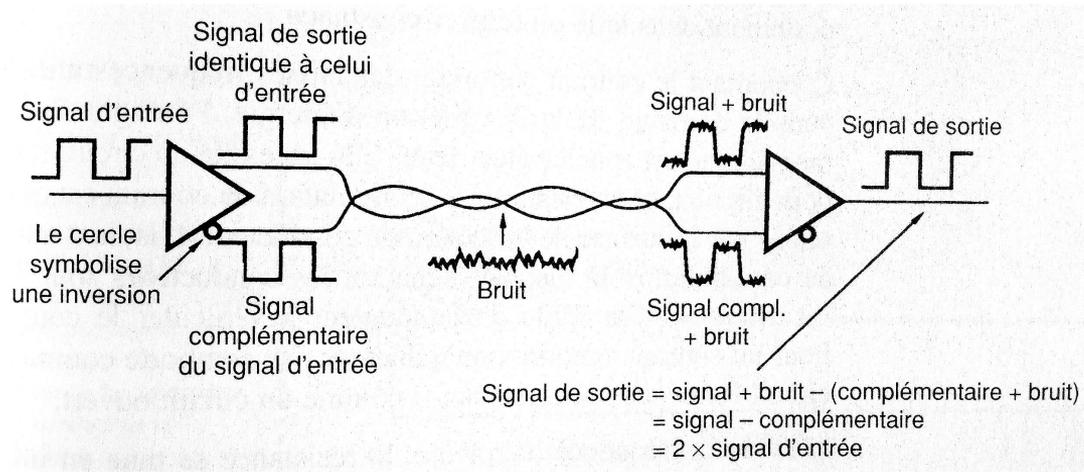
$$E(t) = \sum_{\omega_j=0}^{\omega_j=B} J(t) \cdot S(t) / dt$$

$$J(t) = j \cdot \sum_{\omega_j=0}^{\omega_j=B} i_{\omega_j} \cdot \sin(\omega_j t)$$



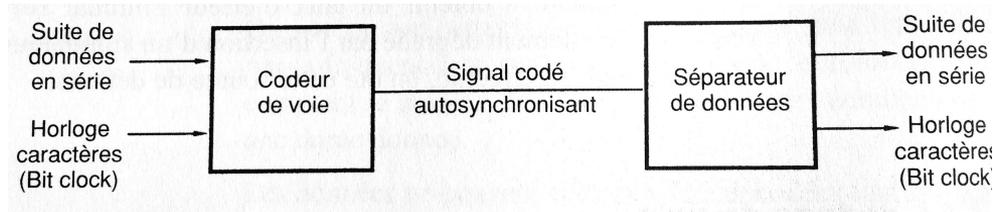
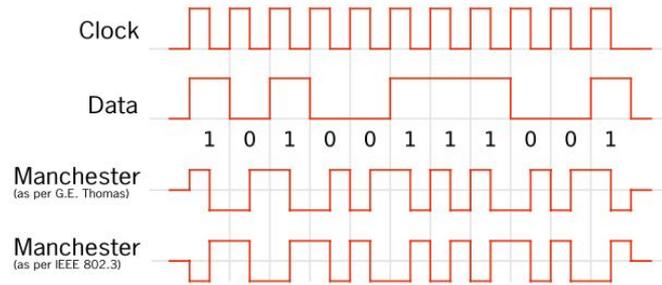
la norme [AES/EBU AES3](#) audionumérique stéréo, 24 bits 48kHz (2 canaux) ou 96kHz (1 canal), est dérivée de l'interface industrielle RS422. Elle a été proposée en 1985.

Sa tension es comprise entre 2 à 7V crête à crête, symétrique, et utilise les couches 1 et 2 du modèle OSI. (couche physique => bits et couche liaison => trame)



transmission:

code FM ou Manchester ou biphase Mark, utilisé pour l'AES-3 ou AES/EBU audionumérique stéréo.
code autosynchronisant, deux états sont codés par deux fréquences $f_1=1,536$ MHz et $f_2=2f_1= 3,072$ MHz @48kHz, la bande passante du câble doit être de 6MHz. Les propriétés du codage biphase font que le signal ne comporte pas de composante continue, insensible à la polarité.



transmission:

Cette interface utilise des connecteurs XLR 3 broches câblés en standard audio. L'impédance du câble est de 110 Ohms. Il y a une version grand public, asymétrique, utilisant des connecteurs Cinch: le format SPDIF, aussi sur fibre optique, (TOSlink et mini digital).

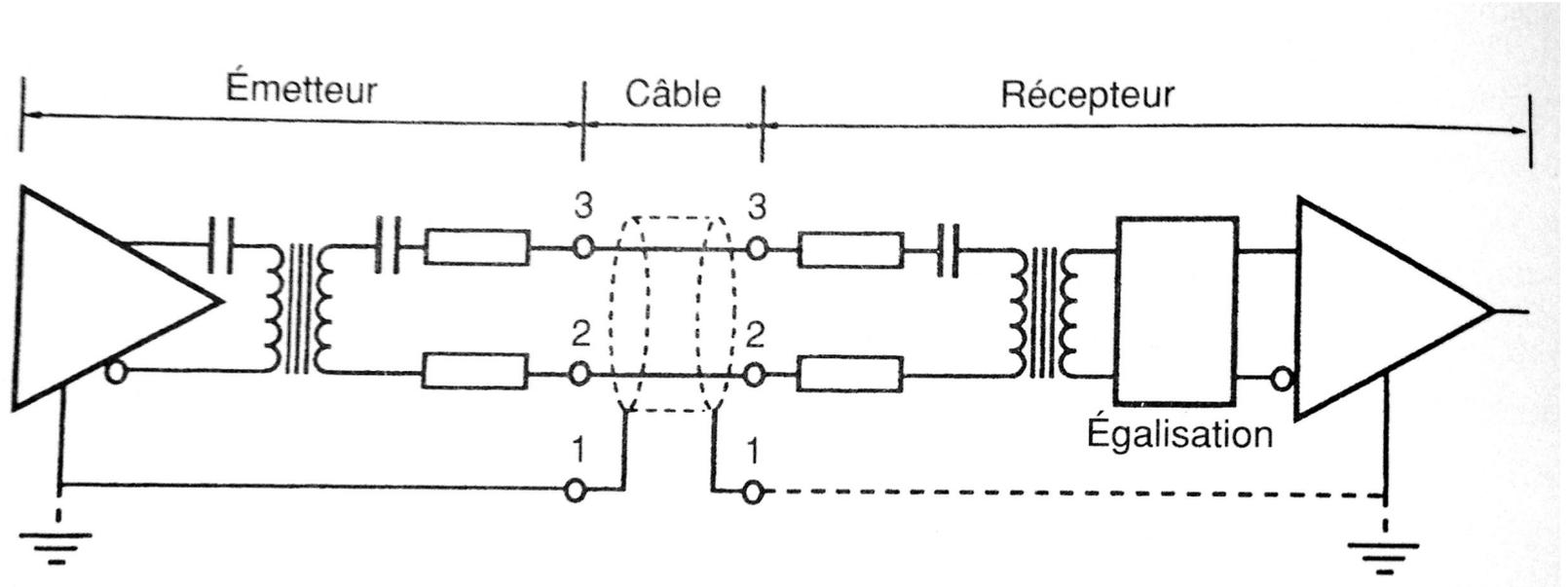


SPDIF connecteurs Cinch

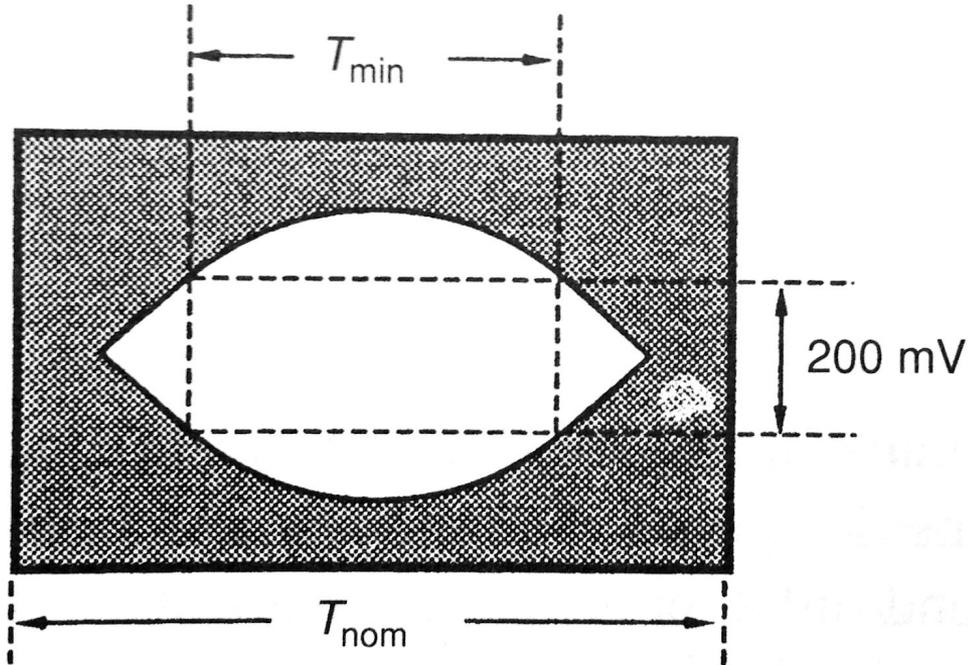


SPDIF connecteur TOSlink et mini digital

transmission:



transmission:



T_{nom} = moitié de la durée
du symbole
biphase-mark

$$T_{\min} = 0,5 T_{\text{nom}}$$

tableaux bits wiki aes ebu

Audio Blocks



192 Frames



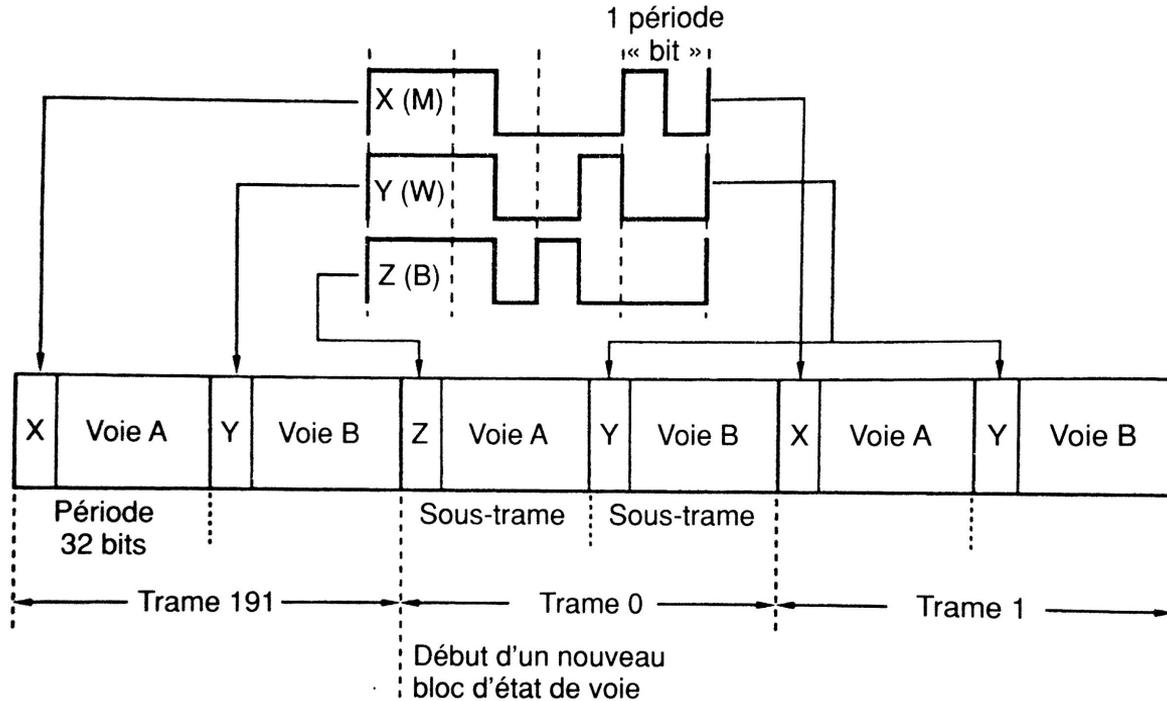
2 Subframes (2 channels)



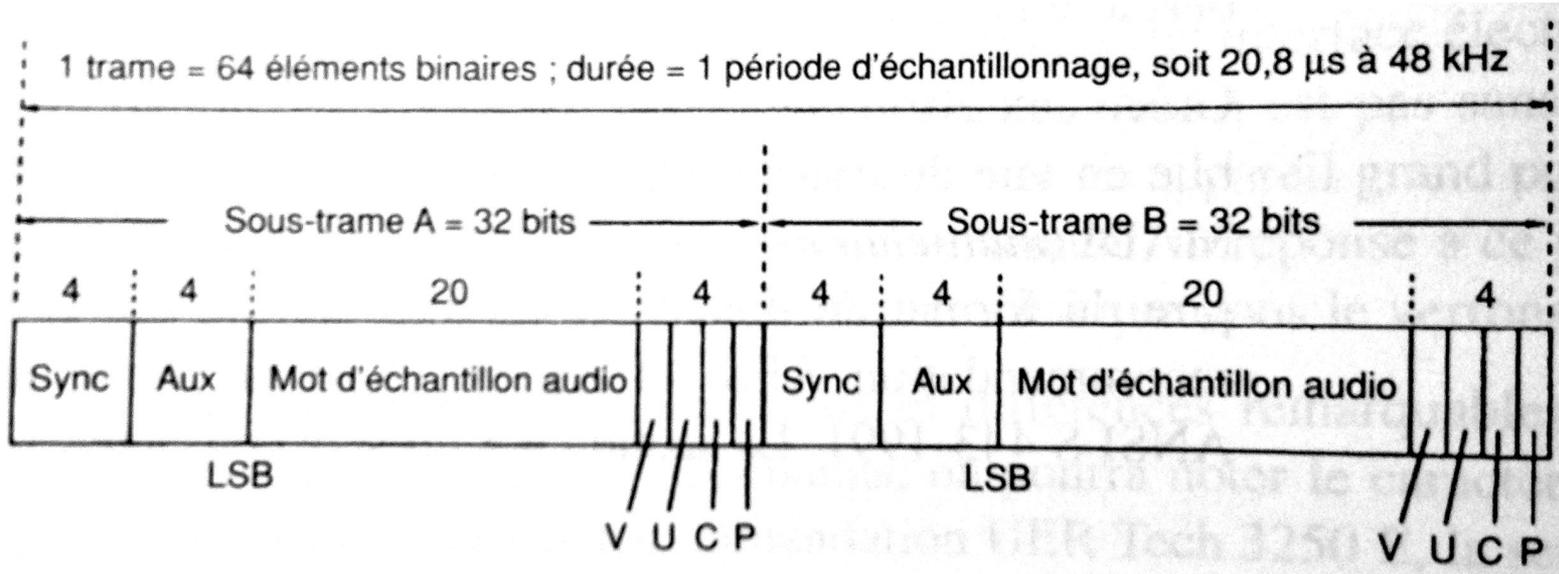
32 Time Slots



tableaux bits preambles AES/EBU



tableaux bits frame AES/EBU



tableaux bits sous-trame AES/EBU

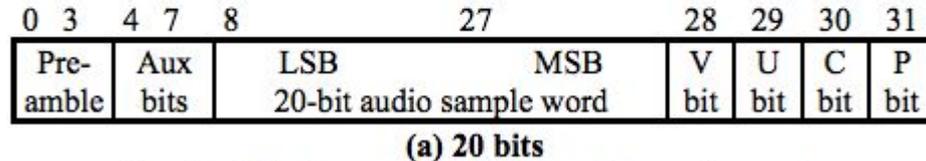
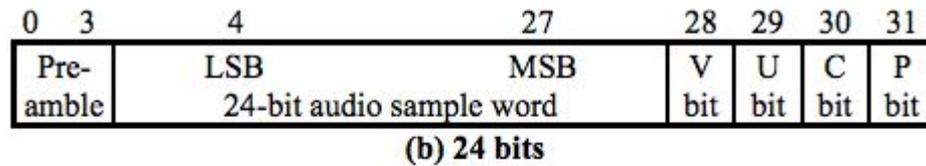


Fig.4.1. Sub-frame format for audio sample words

tableaux bits AUX AES/EBU

	Bit							
Byte	0	1	2	3	4	5	6	7
0	Professional/ Consumer	audio/ non-audio	Audio signal emphasis			SSFL flag	Sample frequency	
1	Channel mode				User bit management			
2	Use of auxiliary bits			Source word length			Reserved	
3	Multi-channel function description (future use)							
4	Digital audio reference signal		Reserved					

Fig. 4.2. Channel status data format (part)

TES - signaux numériques en audiovisuel



bits	description
0-3	<p>Appelé "préambule", ces bits ne contiennent pas de données mais sont là pour faciliter la synchronisation du signal et pour identifier les mots entre eux. Ils ne sont pas codés en biphase marqué, ils ne représentent donc pas de données réelles et sont donc uniques dans le flux de données et facilement identifiables.</p> <p>Trois types de valeur existent:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Z ⇒ marque un mot qui est en canal A (1^{er} canal transmis) en début de block: <ul style="list-style-type: none"> - 11101000 si le précédent état de la ligne est "0" - 00010111 si c'est "1". * X ⇒ marque un mot de canal A qui n'est pas en début d'un block: <ul style="list-style-type: none"> - 11100010 si le précédent état de la ligne est "0" - 00011101 si c'est "1". * Y ⇒ marque un mot qui n'est pas un canal A (tous les autres canaux) : <ul style="list-style-type: none"> - 11100100 si le précédent état de la ligne est "0" - 00011011 si c'est "1". <p>Dans l'extension du standard IEC, ils sont appelés M, W, B.</p>
4-7	<p>Ces 4 bits transportent des informations auxiliaires dont la signification n'est pas imposée.</p> <p>Ils peuvent être utilisés comme un canal audio basse résolution pour l'ajout de commentaires de production ou de studio à studio. Ils peuvent aussi être utilisés pour agrandir la résolution des données du son pour aller jusqu'à 24 bits mais dans ce cas la source et le récepteur doivent être capables de supporter ce format.</p>
8-27	<p>Ce sont les 20 bits de données du son.</p> <p>L'envoi commence par les bits de poids faible suivis des bits de poids fort. Si la source ne peut fournir des données sur 20 bits, les bits de poids faible inutilisés seront mis à la valeur logique "0" (par exemple, pour les données issues d'un CD qui sont sous format 16 bits, les bits 8 à 11 seront mis à zéro).</p>
28	<p>Bit de validité: mis à zéro si les bits de données (8-27) sont corrects et peuvent être utilisés directement pour une conversion numérique/analogique. Si la valeur est "1", le récepteur peut couper le son pendant la réception de ces valeurs fausses. Ce bit est utilisé par la plupart des lecteurs CD pour indiquer une dissimulation plutôt qu'une correction d'erreur à lieu.</p>
29	<p>Bit d'utilisateur : aucune valeur imposée.</p> <p>Ce bit en association avec les 191 autres bits du bloc audio permet d'y mettre des données comme le nom de la chanson, sa durée, son numéro et toutes autres données possibles. Ce bit étant présent dans chaque canal, la longueur des données transmissibles est multiple du nombre de canaux (longueur = 192 * nombre de canaux).</p>
30	<p>Bit de statut du canal : sa structure dépend du standard utilisé AES/EBU ou S/PDIF.</p>
31	<p>Bit de parité: pour la détection d'erreur.</p> <p>Le récepteur doit vérifier la loi suivante: le bit de parité est égal à "0" si la somme des autres bits est paire, et égal à "1" dans le cas contraire.</p>



AES/EBU

les bits V,U,C,P des sous-trames

le bits V est le bit de validité de la sous-trame, à 1 si les données ne sont pas de l'audio ou ne sont pas valides, dans ce cas le récepteur choisit sa stratégie (coupure, interpolation, message d'erreur).

Les bits U sont les bits utilisateurs (192 bits, 24 octets)

les bits C constituent les données de la voie de signalisation (192 bits, 24 octets)

les bits P sont des bits de parité pour contrôler une erreur sur la demi-trame.



AES/EBU octets d'état de voie

Octet	
0	Informations générales de commande (voir figure 4.16)
1	Mode de fonctionnement de la voie et emploi des données utilisateur(voir figure 4.16)
2	Longueur du mot audio (voir figure 4.17)
3	Renvoyé par l'octet 1 (réservé en vue des applications multivoies)
4	Identification d'un signal de référence AES11 réservé par ailleurs
5	Réservé
6	Identification de l'origine de la voie (4 caractères ASCII sur 7 bits, sans parité)
7	
8	
9	Identification de la destination de la voie (4 caractères ASCII sur 7 bits, sans parité)
10	
11	
12	
13	Code d'adresse locale d'échantillon (en binaire sur 32 bits)
14	
15	
16	Code d'adresse de l'échantillon horaire (en binaire sur 32 bits)
17	
18	
19	
20	
21	Drapeaux de fiabilité (voir figure 4.18)
22	
23	CRCC



Interface MADI:

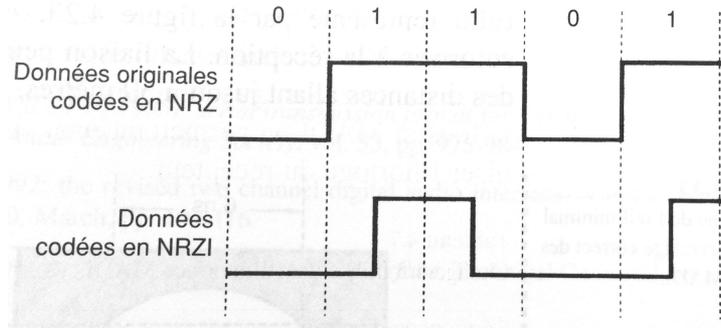
C'est une interface dérivée du standard informatique FDDI (fiber distributed data interface) avec fibre optique, ou plutôt CDDI (copper distributed data interface) avec du câble réseau.

Elle utilise un codage NRZI, avec une modulation $\frac{4}{5}$ bits vers 5: on groupe des codes de 4 bits (16 états) avec un code à 5 bits (32 états).

On garde les 16 meilleurs codes (moins de composante continue et maximum d'horloge).

Des codes supplémentaires peuvent être utilisés comme remplissage si on n'a pas de donnée.

Sa vitesse est de 100Mbits/s utile, soit 125Mbits/s physique après encodage $\frac{4}{5}$.

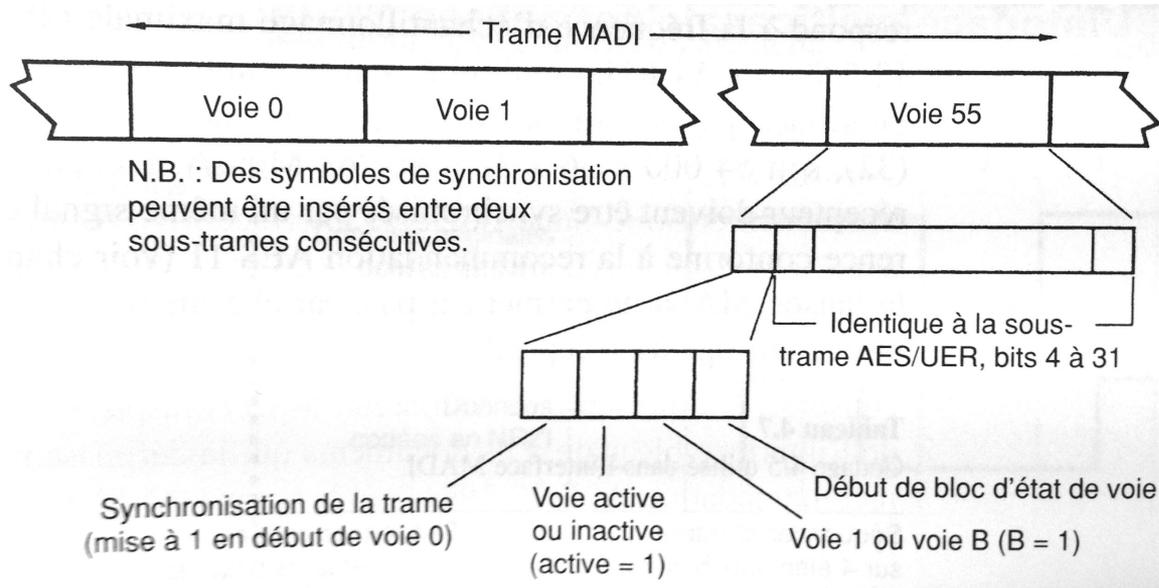


Codage 4/5 utilisé dans l'interface MADI.

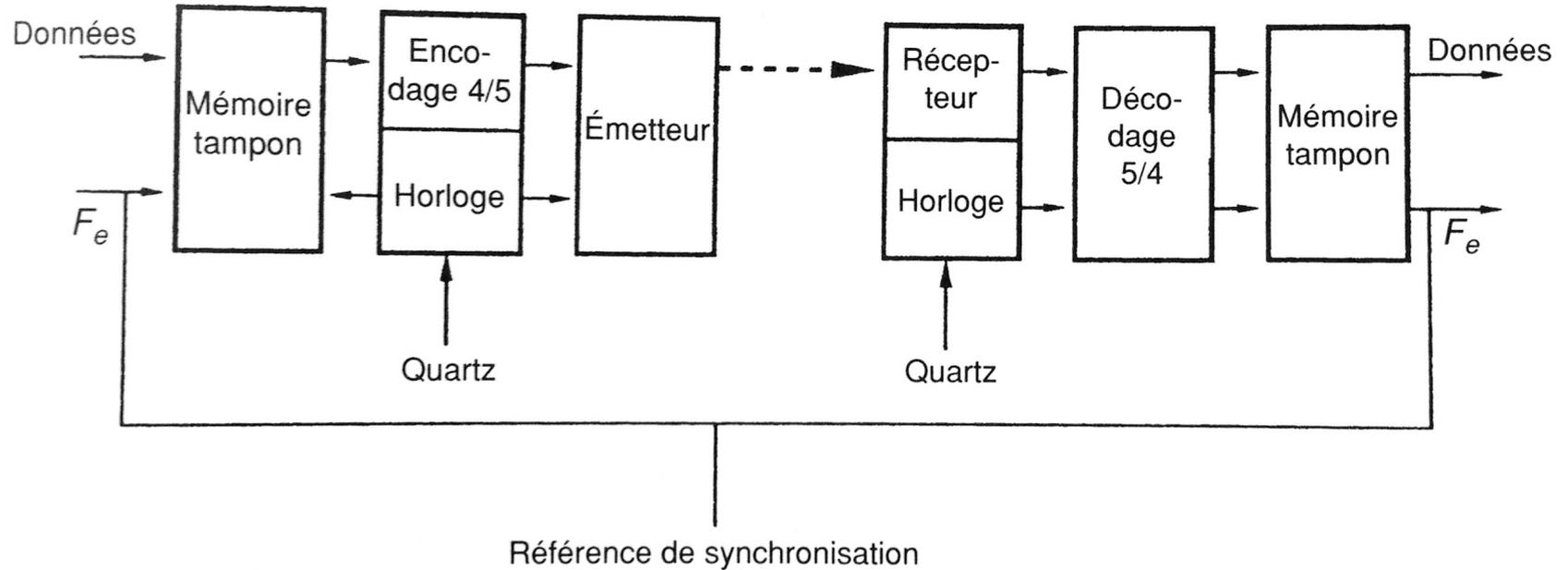
Séquences d'entrée sur 4 éléments binaires	Séquences codées sur 5 éléments binaires
0000	11110
0001	01001
0010	10100
0011	10101
0100	01010
0101	01011
0110	01110
0111	01111
1000	10010
1001	10011
1010	10110
1011	10111
1100	11010
1101	11011
1110	11100
1111	11101

Interface MADI:

Le protocole MADI est constitué de 64 sous-trames de protocole AES 3 qui sont multiplexées. Max 64 canaux@48kHz, 24 bits et 28 canaux@96kHz.



Interface MADI





le signal vidéo numérique [SDI](#).

On considère qu'un signal vidéo analogique de luminance de définition standard a besoin d'une bande passante de 6 MHz et de 30 MHz pour un signal HD.

Pour échantillonner ces signaux il faudra des fréquences de plus de deux fois ces valeurs.

Une norme mondiale a été établie à une fréquence d'échantillonnage de 13,5MHz pour un signal de luminance SD, et donc à 6,75MHz pour un signal de chrominance Cr ou Cb.

Pour un signal HD ce sont des fréquences 5,5 fois plus élevées qui ont été retenues 74,25MHz pour un signal de luminance et 31,125 MHz pour un signal de chrominance.

Le plus petit sous multiple commun de fréquence est 3,375Mhz, le signal vidéo SD est donc échantillonné à $4 \times 3,375$ Mhz pour la luminance et $2 \times 3,375$ Mhz pour les signaux de chrominance.

La norme REC 601 ou norme 4:2:2 est définie sur ce principe, avec une structure d'échantillonnage de la chrominance d'un pixel sur deux, sur deux lignes.

Pour un signal HD, cela devient 22:11:11.



Profondeur de codage

C'est le nombre de bits utilisé pour la quantification des signaux, cela a un rapport avec le taux de contraste (exemple (220:1) et la dynamique lumineuse (en diaphs)

A l'origine, la norme REC 601 préconisait 8 bit comme profondeur de codage, ce qui autorisait seulement 220 valeurs entre le blanc et le noir

En tournage on est rapidement passé à 10 bits, puis 12, 14 et 16 bits au maximum.

En diffusion on est resté sur du 8 bits, jusqu'à utiliser le codec H.265 qui est passé en 10 bits.



la correction d'erreur

au flux d'échantillon va être rajouté un certain nombre de bits afin de détecter et corriger des erreurs de transmission.

Le plus simple c'est le bit de parité, par échantillons ou par tableaux.

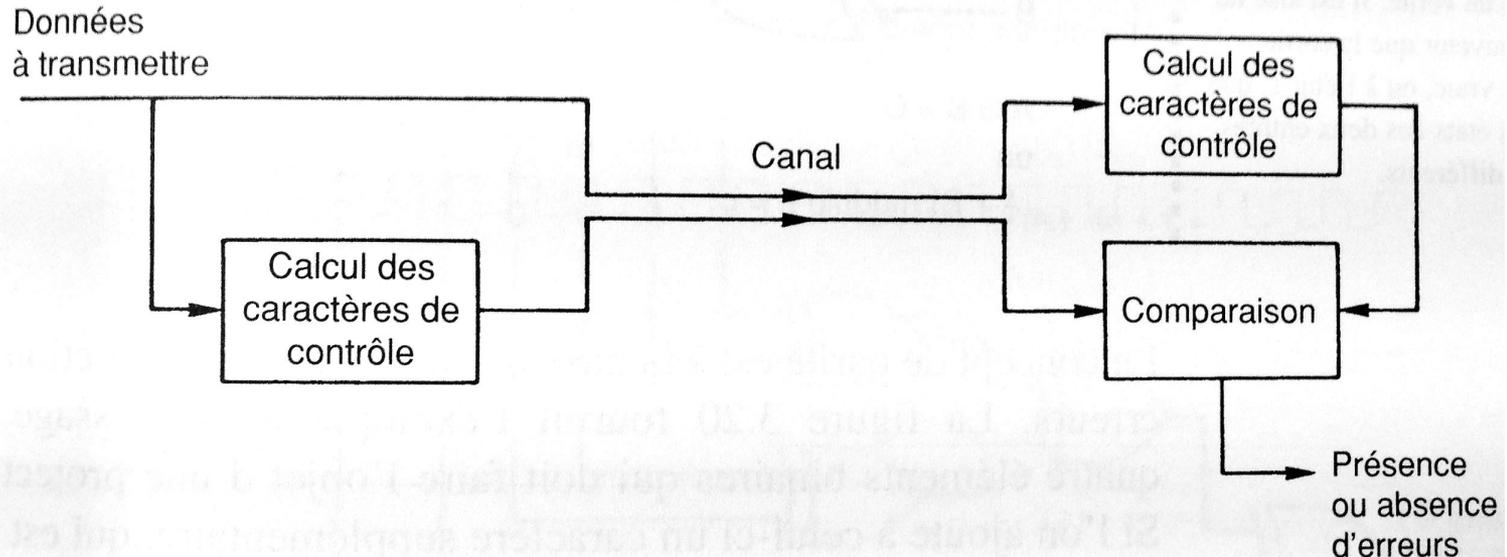
détection des erreurs:

bit de parité: sur une séquence de bit, on rajoute un bit qui sert à indiquer la parité du groupe.

On peut détecter une seule erreur.

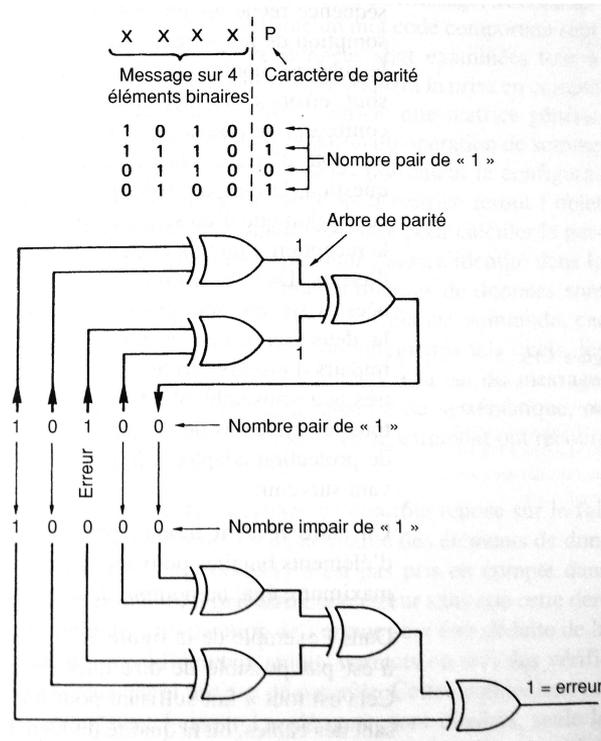
Si on fait un calcul de parité sur les colonnes et les lignes d'un tableau, on peut détecter et corriger certaines erreurs.

D'autres types de correction plus performants existent: codes de Hamming, codes cycliques



détection des erreurs:

Si on fait un calcul de parité sur les colonnes et les lignes d'un tableau, on peut détecter et corriger certaines erreurs.





l'entrelacement des données ou brassage

Sur les lignes de transmissions, les erreurs se font souvent par paquet.

Pour éviter qu'un certain nombre d'échantillons consécutifs soient erronés, on mélange les données avant transmission pour les remettre dans l'ordre à la réception. Cela distribue les erreurs qui sont plus facilement identifiables et peuvent être corrigées..



La dissimulation

Si une erreurs parvient toutefois à ne pas être corrigée, la dissimulation est une technique permettant d'interpoler les données perdues à partir des données de pixels adjacents: valeurs moyenne, duplication.



le codage de canal pour la transmission:

on utilise le code 8/9: 8 bits sont encodés sur 9.

Cela permet d'éviter une composante continue et d'avoir suffisamment de modulation pour récupérer l'horloge.

Un code NRZI (non return to zero inverted est alors appliqué: un "1" produit une transition au milieu de la demi période d'horloge, tandis qu'un "0" n'a aucun effet.

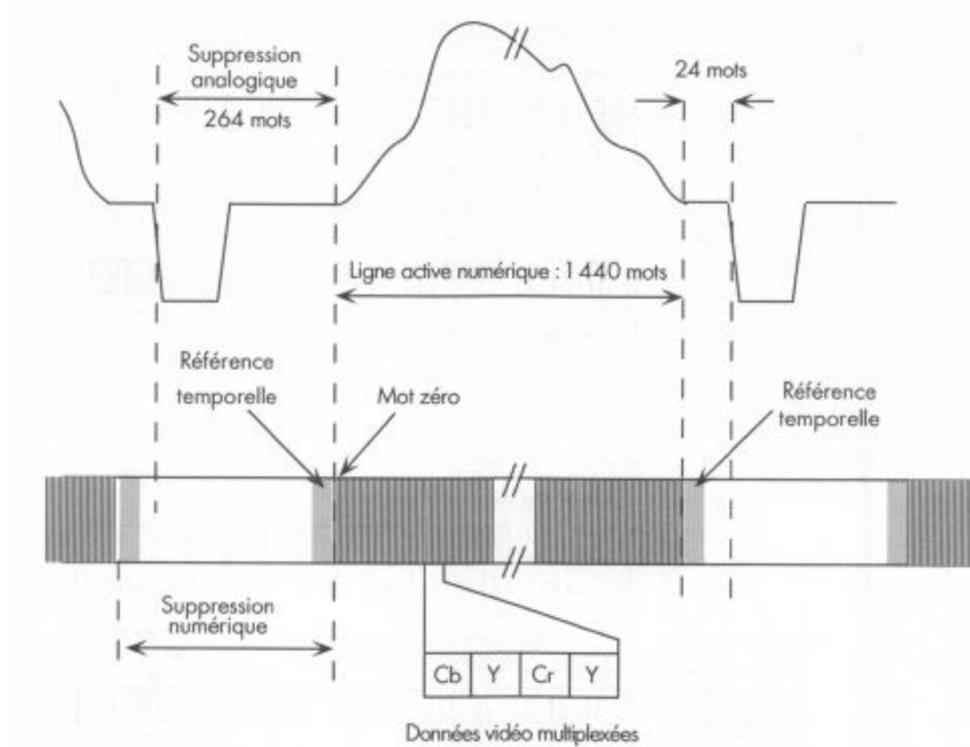


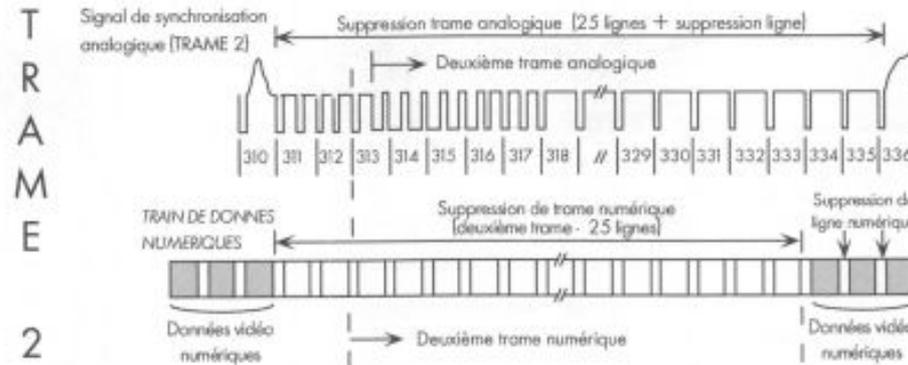
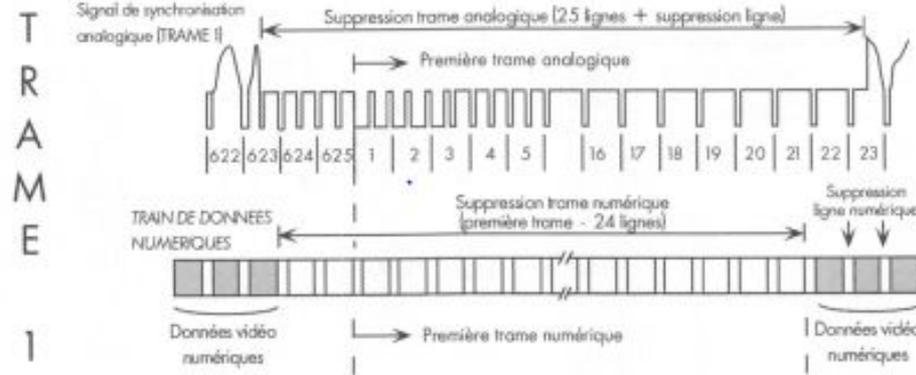
la ligne vidéo numérique.

En SD, une ligne numérique contient 720 échantillons de luminances. En 4:2:2 une ligne contient donc 1440 échantillons. Entre chaque ligne il y a un espace inutilisé pour les échantillons vidéo. On utilise cet espace pour embarquer des canaux audio.

La trame vidéo numérique

une image est composée de 576 lignes utiles, une trame est composée donc de 288 lignes utiles et de 24 ou 25 lignes de suppression. Ces lignes de suppression permettent d'inclure des données auxiliaires supplémentaires





		625/50	525/60
Signaux à coder		Y, (R-Y), (B-Y) corrigés en gamma (0,45)	
Fréquences d'échantillonnage	Luminance	13,5 MHz	
	Différence de couleurs	6,75 MHz	
Bandes passantes équivalentes	Luminance	5,75 MHz	
	Différence de couleurs	2,75 MHz	
Nombre d'échantillons par ligne complète	Luminance	864	858
	Différence de couleurs	432	429
Nombre d'échantillons utiles par ligne	Luminance Y	720	
	Différence de couleurs	360	
Structure d'échantillonnage		Orthogonale. Les échantillons de chrominance coïncident avec les échantillons impairs de luminance.	
Quantification (8 bits)		256 niveaux dont : 220 utiles pour Y, 225 pour Cr, Cb	
Quantification (10 bits)		1 024 niveaux dont : 880 utiles pour Y, 900 pour Cr, Cb	



le SDI.

Standard	Name	Introduced	Bitrates	Example video formats
SMPTE 259M	SD-SDI	1989 ^[2]	270 Mbit/s, 360 Mbit/s, 143 Mbit/s, and 177 Mbit/s	480i, 576i
SMPTE 344M	ED-SDI		540 Mbit/s	480p, 576p
SMPTE 292M	HD-SDI	1998 ^[2]	1.485 Gbit/s, and 1.485/1.001 Gbit/s	720p, 1080i
SMPTE 372M	Dual Link HD-SDI	2002 ^[2]	2.970 Gbit/s, and 2.970/1.001 Gbit/s	1080p60
SMPTE 424M	3G-SDI	2006 ^[2]	2.970 Gbit/s, and 2.970/1.001 Gbit/s	1080p60
SMPTE ST-2081	6G-SDI	2015 ^[4]	6 Gbit/s	2160p30
SMPTE ST-2082	12G-SDI	2015 ^[5]	12 Gbit/s	2160p60
SMPTE ST-2083	24G-SDI	In development [9][10]	24 Gbit/s	2160p120



le standard firewire ou [IEEE 1394](#)

C'est un bus informatique série permettant de transporter de la vidéo.

Son débit varie de 100Mbits/s à 3,2GBits/s.



le standard [HDMI](#) high definition multimedia interface

C'est une interface de transmission vidéo numérique grand public.

Il existe actuellement 3 standards: Le câble fait quelques mètres de longueur.

HDMI 1.0, débit maximum 4,95GBits/s, 1080p 60Hz et 8 canaux audio

HDMI 1.4 10,2 GBits/s ultra HD 4k 30Hz

HDMI 2.0 18 GBits/s ultra HD 4k 60Hz 4:2:2

HDMI 2.1 48GBits/s HD 8k/60Hz



HDMI version	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	2.0
Date de publication	9 décembre 2002	20 mai 2004	8 août 2005	22 juin 2006	28 mai 2009	4 septembre 2013
Fréquence d'horloge maximale (MHz)	165			340		600
Débit maximum par canal (Gbit/s) including 8b/10b overhead	1,65			3,40		6
Débit total maximum (Gbit/s) including 8b/10b overhead	4,95			10,2		18
Débit total maximum (Gbit/s) with 8b/10b overhead removed	3,96			8,16		14,4
Débit audio maximum (Mbit/s)	36,86					49,152 (IEC61937 and DST audio)
Profondeur de couleur maximale (bit/px)	24			48		
Résolution maximum sur un seul liens à 24-bit/px	1920 × 1200p60			2560×1600p75	$\frac{4096 \times 2160p30}{2160p30}$ ^[réf. nécessaire]	4096 × 2160p60