

Les bases théoriques du numérique

Guénael Launay

Différences entre signaux analogiques et signaux numériques.....	2
Convertisseur analogique – numérique – analogique.....	3
Convertisseur analogique – numérique.....	3
Convertisseur numérique – analogique.....	3
Théorie : Le codage binaire.....	4
Présentation du binaire.....	4
Unités d'informations : les bases du binaire.....	4
<i>Le bit</i>	4
<i>L'octet</i>	4
<i>Conversions</i>	5
L'audio numérique.....	6
Conversion numérique du signal audio.....	6
<i>L'échantillonnage</i>	6
<i>La quantification</i>	8
<i>Précision de la quantification</i>	10
Connecteurs audio numérique.....	10
Résumé.....	11

Différences entre signaux analogiques et signaux numériques

L'analogique et le numérique sont deux procédés pour transporter et stocker des données. (de type audio, photo, vidéo...) . L'analogique est né avec le début de l'électricité tandis que le numérique est apparu plus récemment avec l'ère de l'informatique.

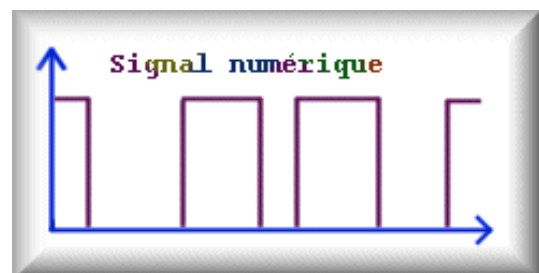
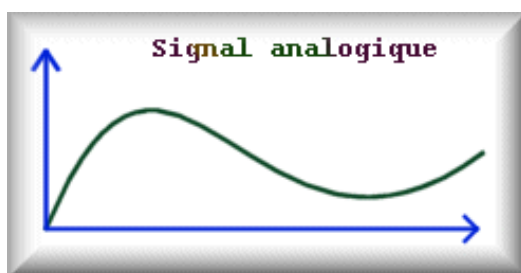
Le principe de l'analogique est de reproduire le signal à enregistrer (audio, vidéo...) sous forme similaire sur un support (magnétique en général). Par exemple lorsque l'on enregistre un signal audio sur un système analogique le signal présent sur la bande magnétique suivra les mêmes amplitudes, " la même courbe ", que l'onde sonore (avec plus ou moins de fidélité) : les variations de pression acoustique caractéristiques d'une onde sonore seront traduites en variations d'un signal électrique.

Ainsi l'amplitude électrique du signal analogique sera l'image plus ou moins fidèle du signal à enregistrer (audio, vidéo...)

En numérique le signal analogique à enregistrer est converti en numérique grâce à un convertisseur analogique/numérique. La tâche du convertisseur analogique/numérique est de traduire le signal en une séquence de nombres binaires. Après cette conversion le signal n'est plus qu'une suite de " 0 " et de " 1 " c'est à dire un signal à deux amplitudes au lieu d'une infinité en analogique.

Après un transport et un stockage en numérique tout signal (vidéo ou audio) devra revenir à sa forme analogique de départ. Par exemple un signal audio sera reconverti de numérique en analogique pour ensuite être amplifié. En effet nos oreilles ne savent pas entendre en numérique !

Il faut bien garder à l'esprit que le numérique ne sert dans le domaine de l'audio et de la vidéo qu'au transport, au stockage et au traitement des données.

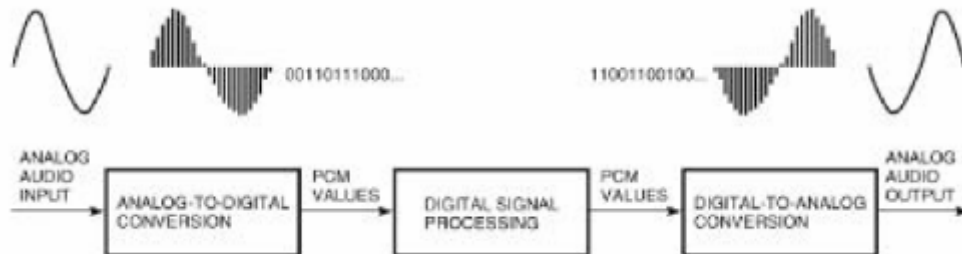


Un signal numérique est beaucoup plus facile à reproduire qu'un signal analogique. La copie d'une cassette audio provoque des pertes de la qualité du signal, alors que la copie numérique produit un clone parfait de l'original. En numérique, on peut en théorie faire une infinité de copies en ayant strictement la même qualité que l'original.

Convertisseurs analogique – numérique – analogique

Chaîne de traitement numérique :

- 1- Conversion analogique/numérique
- 2- Traitement, utilisation des données (stockage, filtrage...)
- 3- Conversion numérique/analogique



Convertisseur analogique - numérique :

Un convertisseur analogique-numérique (CAN) est un appareil permettant de transformer en valeurs numériques un phénomène variant dans le temps (signal analogique).

Ces données numériques sont ensuite stockables et exploitables sous forme binaire par un ordinateur.

Sur un ordinateur, les principaux périphériques comportant des convertisseurs analogique-numérique sont :

- Les cartes d'acquisition vidéo
- Les scanners
- Les cartes de capture sonore, les cartes son
- La souris, l'écran et tout le mécanisme de pointage
- Les lecteurs : optiques comme le lecteur CD-ROM, magnétiques comme le disque dur
- Les modems à la réception

Convertisseurs numérique-analogique :

Les convertisseurs numérique-analogique permettent de restituer un signal numérique en signal analogique. En effet, si une donnée numérique est plus facile à stocker et à manipuler, il faut tout de même pouvoir l'exploiter. A quoi servirait un son numérique si l'on ne pouvait pas l'entendre...

Ainsi, sur un ordinateur, on trouve des convertisseurs numérique-analogique pour la plupart des sorties :

- Sorties audio des cartes-son.
- Synthétiseur musical (MIDI)
- Imprimante
- Modem à l'émission

Théorie : le codage binaire

Présentation du binaire

Vers la fin des années 30, Claude Shannon démontra qu'à l'aide de « contacteurs » (interrupteurs) fermés pour

« vrai » et ouverts pour « faux » il était possible d'effectuer des opérations logiques en associant le nombre « 1 » pour « vrai » et « 0 » pour « faux ».

Les ordinateurs fonctionnent donc suivant une logique à deux états (0 et 1) qui déterminent une logique binaire.

Ce codage de l'information est nommé base binaire. C'est avec ce codage que fonctionnent les ordinateurs. Il consiste à utiliser deux états (représentés par les chiffres 0 et 1) pour coder les informations.

Nous travaillons en général avec 10 chiffres (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9), on parle alors de base hexadécimale.

Toute information le long d'une chaîne numérique doit être représentée sous forme binaire aussi bien en interne que sur les « fils » qui permettent de transmettre l'information aux autres composants.

Unités d'informations : la base binaire

Le bit :

Bit signifie « binary digit », c'est-à-dire 0 ou 1 en numérotation binaire. C'est la plus petite unité d'information manipulable numérique.

Avec un bit, il est possible d'obtenir deux états : soit 1, soit 0.

Deux bits rendent possible l'obtention de 4 états différents (2^2) :

00	01	10	11
----	----	----	----

Trois bits rendent possible l'obtention de 8 états différents (2^3) :

000	001	010	011	100	101	110	111
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Avec quatre bits, il est possible d'obtenir 2^4 , soit 16 états différents (2^4)

Avec sept bits, il est possible d'obtenir 2^7 , soit 128 états différents, etc.

Formule mathématique :

Pour un groupe de n bits, il est possible de représenter 2^n valeurs.

L'octet :

L'octet est une unité d'information composée de 8 bits. Il permet de stocker un caractère, telle qu'une lettre, un chiffre ...

Ce regroupement de nombres par série de 8 permet une lisibilité plus grande

Pour un octet, le plus petit nombre est 0 (représenté par huit zéros 00000000), le plus grand est 255 (représenté par huit chiffres « un » 11111111), ce qui représente 2^8 ou 256 possibilités de valeurs différentes.

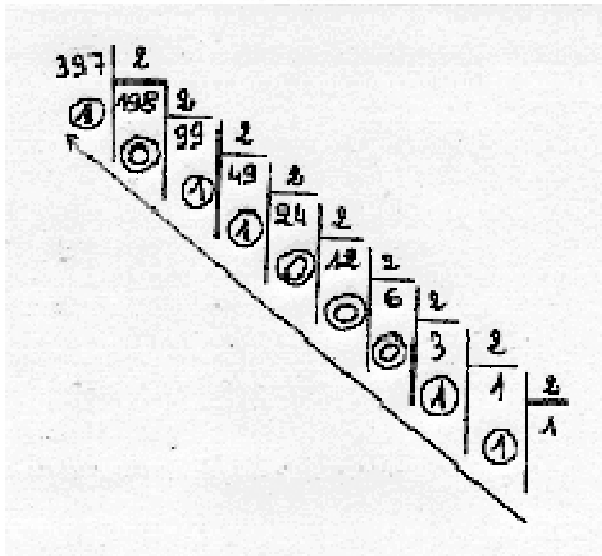
Unités standardisées :

- Un kilo-octet (Ko) = 1000 octets.
- Un méga-octet (Mo) = 1000 Ko = 1 000 000 octets.
- Un giga-octet (Go) = 1000 Mo = 1 000 000 000 octets.
- Un Téra-octet (To) = 1000 Go = 1 000 000 000 000 octets.

Conversions binaire-décimal et décimal-binaire :

On convertit un nombre de la base 10 en base 2, en réalisant des divisions successives. On divise par 2 le quotient obtenu jusqu'à obtenir un quotient nul. On lit les restes en remontant.

Exemple : (397)décimal = (?)binaire



Donc : (397)d = (110001101)
 (512)d = (0000000001)
 (413)d = (101110011)

Pour convertir dans le sens inverse, on multiplie chaque élément du nombre binaire (bit) par le chiffre 2 élevé à une puissance croissante par pas de 1, comptée à partir de 0 en partant de la droite et on effectue la somme des résultats obtenus.

Exemple :

(10101)b = $1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^4 = 1 + 0 + 4 + 0 + 16 = (21)d$
 (101110011)b = (413)d

L'audio numérique

Conversion numérique du signal audio

La transformation d'un signal analogique en signal numérique est appelée conversion numérique ou encore numérisation.

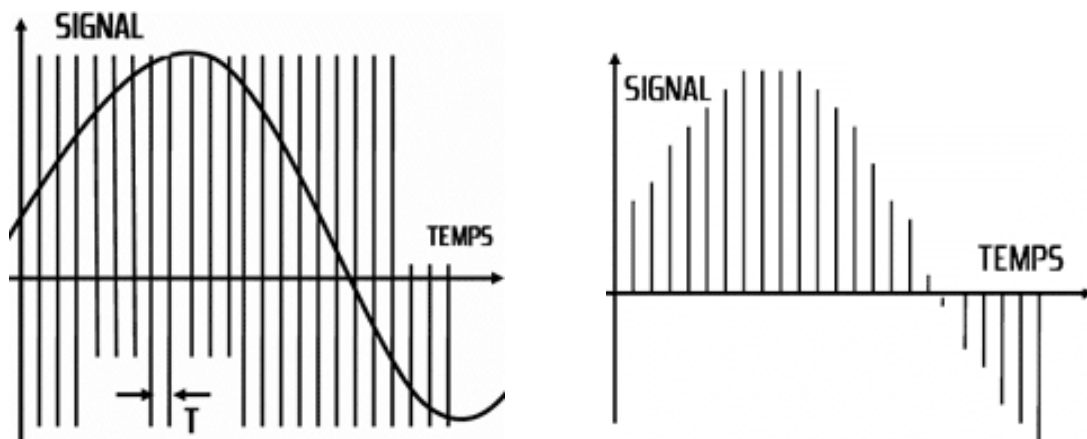
La conversion numérique consiste à convertir un signal analogique en une série de bits. Cette conversion consiste à prélever un certain nombre d'échantillons à une « fréquence d'échantillonnage », puis à les coder sur un certain nombre de bits, « la quantification ».

La numérisation comporte donc deux activités parallèles : l'échantillonnage et la quantification. La qualité du signal convertit dépend de ces deux éléments.

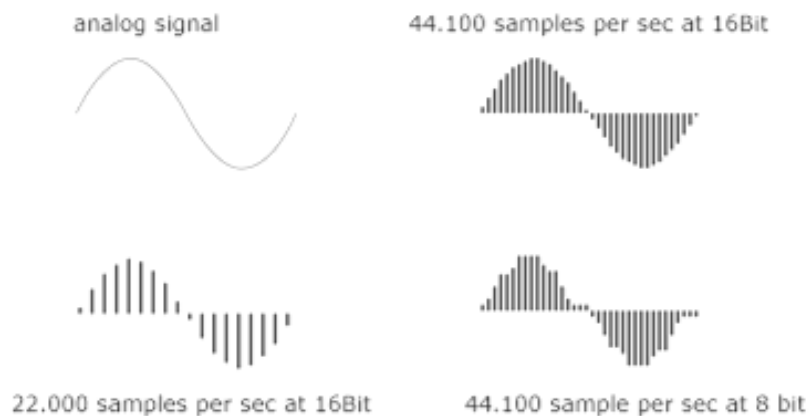
L'échantillonnage :

Afin de convertir un signal analogique en signal numérique, il est nécessaire de mesurer son amplitude à intervalles de temps réguliers, c'est l'échantillonnage.

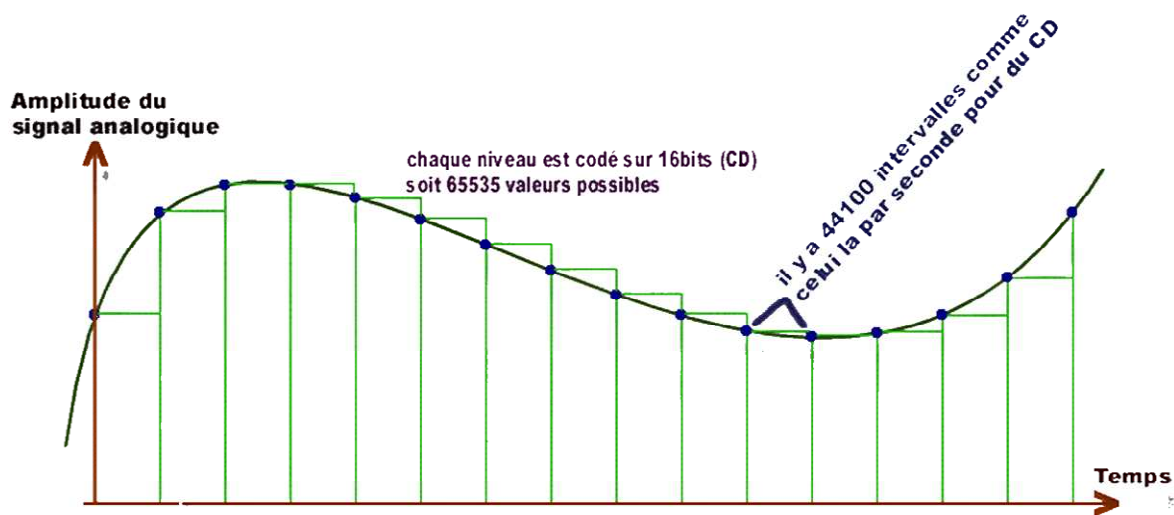
L'échantillonnage consiste à prélever périodiquement des échantillons d'un signal analogique.



Ici, un signal quelconque est échantillonné à intervalles de temps réguliers (à gauche) afin de générer de courtes impulsions (à droite) dont les amplitudes représentent l'amplitude instantanée du signal

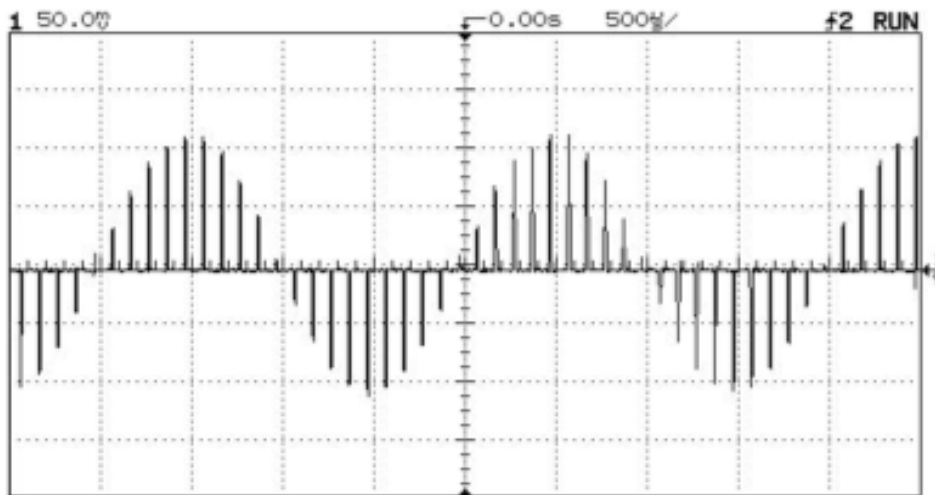


La fréquence à laquelle on procède à l'échantillonnage conditionne la bande passante du système. Ainsi, la fréquence d'échantillonnage de 44.1 KHz du CD et de 48 KHz pour les systèmes professionnels offre une bande passante de 20 à 20 000 Hz.



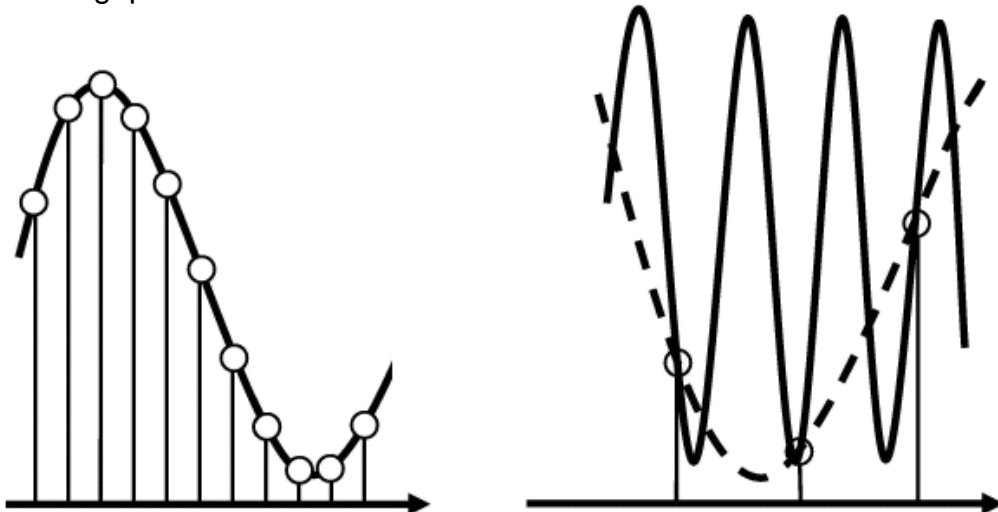
Conversion analogique numérique : Qualité CD-44,1khz/16bit

Exemple : Un signal sinusoïdal de 500hz échantillonné à 10khz



On échantillonne à une fréquence 20 fois plus rapide que le signal original, donc l'on obtient 20 échantillons à chaque période du signal original.

Afin de représenter les détails fins du signal, il est nécessaire de prélever un grand nombre de ces échantillons à chaque seconde. Comme on peut le voir dans la figure suivante, si on prélève trop peu d'échantillons par cycle, ils peuvent alors être interprétés comme la représentation d'une forme d'onde différente de la forme d'onde d'origine échantillonnée. Ce problème est en fait un exemple de phénomène connu sous le nom de repliement de spectre (ou aliasing). Un alias est un produit indésirable du signal d'origine survenant lors de sa reconstruction en conversion numérique/analogique.



Le signal en entrée est une sinusoïde :

- A gauche on prélève de nombreux échantillons par cycle de l'onde.
- A droite on prélève moins de deux échantillons par cycle. Il est alors impossible de reconstruire une forme d'onde de fréquence plus haute à partir des échantillons, c'est un exemple de repliement du spectre (aliasing).

Théorème de Shannon :

Le théorème de Shannon stipule que pour pouvoir numériser correctement un signal,

il faut échantillonner à une fréquence double (ou supérieure) à la fréquence du signal analogique que l'on échantillonne.

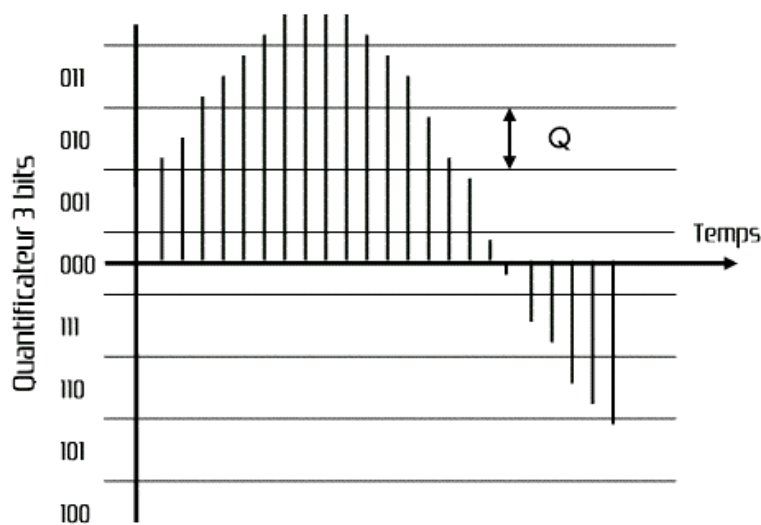
Ex : La bande passante de l'audition humaine se situe entre 20hz et 20khz, soit 20khz de bande passante. C'est pourquoi la norme du CD est 44,1khz (20khz*2 +10% d'erreur).

La quantification :

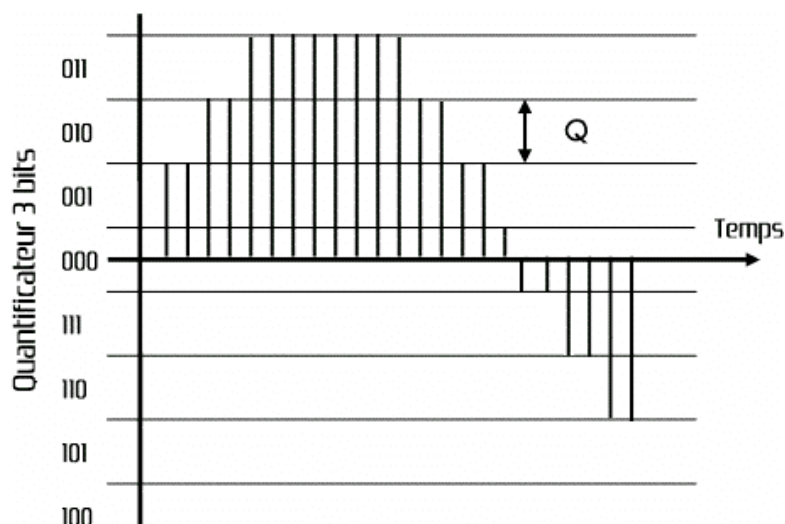
L'échantillonnage consiste à prélever périodiquement des échantillons d'un signal analogique.

La quantification consiste à affecter une valeur numérique à chaque échantillon prélevé.

Signal avant quantification :



Signal après quantification :



Le quantificateur détermine dans quel intervalle de quantification (de taille Q) l'échantillon se situe, et lui affecte une valeur qui représente le point central de cet intervalle. Ce procédé permet d'attribuer à l'amplitude de chaque échantillon un mot binaire unique. En quantification linéaire, chaque pas de quantification représente une augmentation identique de la tension du signal.

Précision de la quantification :

Dans une quantification, le nombre de pas, de valeurs est égal à « 2 puissance n » où n est le nombre de bits.

Ex : 001 est un nombre binaire à 3 bits
0100 est un nombre binaire à 4 bits
01100011 est un nombre binaire à 8 bits

Un quantificateur de 3 bits permettra une quantification avec 2^3 (2 puissance 3) valeurs. Ce qui nous donne $2*2*2 = 8$ valeurs

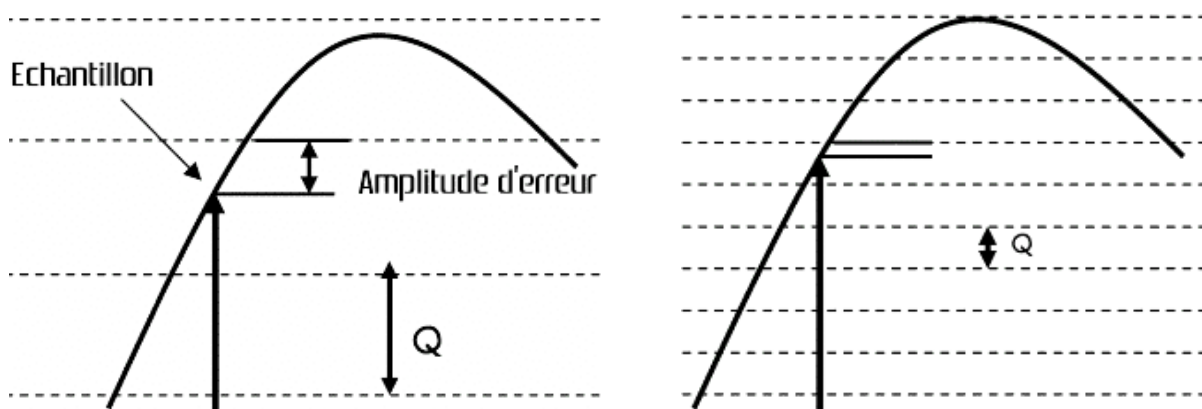
3 bits = $2^3 = 8$ valeurs

4 bits = $2^4 = 16$ valeurs

8 bits = $2^8 = 256$ valeurs

16 bits = $2^{16} = 65536$ valeurs

Il apparaît clairement qu'une erreur intervient dans la quantification, puisqu'on dispose d'un nombre limité de niveaux, de valeurs différentes pour représenter l'amplitude du signal à chaque instant. En conséquence, plus le nombre de bits par échantillon est important, et plus l'erreur est petite (voir figure suivante).



A gauche le nombre d'intervalles est faible et l'erreur est importante alors qu'à droite le nombre d'intervalles est plus grand et l'erreur devient plus petite.

Connecteurs audio-numérique

SPdif : RCA jaune/orange , connexion semi-professionnelle

Optique : Tube qui permet à un flux lumineux de passer par une fibre optique (qualité grd public) connectique type mini jack

AES-EBU : Connectique type XLR, professionnelle

Il n'y a pas de point chaud, de point froid, de gauche, de droite dans le numérique. On peut faire passer dans un câble numérique 20, 30, 40.... Informations, à la sortie un processeur analyse les informations et sépare les signaux.

Résumé

La qualité du signal numérique dépendra de deux facteurs :

- La fréquence d'échantillonnage (appelé taux d'échantillonnage) : plus celle-ci est grande (c'est-à-dire que les échantillons sont relevés à de petits intervalles de temps) plus le signal numérique sera fidèle à l'origine.
- Le nombre de bits sur lequel on code les valeurs (appelé résolution, quantification) : il s'agit en fait du nombre de valeurs différentes qu'un échantillon peut prendre. Plus celui-ci est grand, meilleure est la qualité.

Ainsi, grâce à la numérisation on peut garantir la qualité d'un signal, ou bien la réduire volontairement pour :

- Diminuer la taille de stockage.
- Diminuer le coût de la numérisation.
- Diminuer les temps de traitement.
- Tenir compte du nombre de valeurs nécessaires selon l'application.
- Tenir compte des limitations matérielles.

Comme dans les langues, moins il y a de traduction moins il y a d'informations perdues.

Un signal numérique, n'est pas forcément un signal de qualité

On distingue trois familles en audio :

Famille acoustique : Micro, Hp, casque

Famille électrique : Micro, console de mixage, deck, casque, magnéto à bande

Famille numérique : CD, DAT, mini disc, magnétophone portable MP3, carte son, console de mixage

Quand on appartient à la même famille on n'a pas besoin de convertisseur, les membres peuvent communiquer entre eux sans convertisseur.

Quand il est possible de ne pas traduire, il ne faut pas passer par des convertisseurs. A chaque conversion, le signal peut perdre de sa qualité.