

TRANSMETTRE ET STOCKER DE L'INFORMATION

SIGNAL ANALOGIQUE ET SIGNAL NUMERIQUE : LA CONVERSION

I. INTRODUCTION

Le signal est le support physique qui porte l'information. Il est généralement transmis soit par voie filaire (tension) soit par liaison hertzienne (champ électromagnétique) en s'appuyant sur le principe développé par les lois de Maxwell.

A la découverte de l'électricité, on ne parlait que de signal électrique (analogique) mais le développement de l'informatique a permis d'associer à un nombre une information. Ainsi, les signaux ont été divisés en deux groupes : les signaux analogiques et les signaux numériques. Lors de la transmission d'une information à travers d'un canal de transmission, la conversion analogique-numérique représente une étape importante du processus de transmission.

II. DEFINITIONS ET CARACTERISTIQUES

1. LE SIGNAL ANALOGIQUE

Le signal analogique représente une variation continue d'une grandeur physique dans le temps (Pour plus de détails, veuillez consulter la fiche « Chaîne de transmission de l'information »).

Le signal analogique est sensible aux perturbations. Ainsi, il est souvent difficile à traiter et demandant un temps relativement élevé.

2. LE SIGNAL NUMERIQUE

Le signal numérique est un signal représentant une grandeur physique ne prenant que des valeurs discrètes en utilisant le codage binaire 0,1 sous différents formats : 8, 16, 32, 64 bits (Pour plus de détails, veuillez consulter la fiche « Chaîne de transmission de l'information »).

Le signal numérique est peu sensible au bruit. Il se caractérise par :

- Un stockage facile
- La possibilité de transmettre plusieurs types d'informations (vidéos, audio...) sur un même signal.
- Une restitution à l'identique de l'information
- La détection et la correction des erreurs lors de la transmission d'information.

III. LA CONVERSION D'UN SIGNAL

La conversion d'un signal en un autre se fait à l'aide des convertisseurs. La composition du convertisseur permet de convertir des entrées analogiques en sorties numériques et vice versa. Par exemple, Un lecteur de CD contient des convertisseurs qui vont retransformer les informations numériques en signal analogique qui sera amplifié avant d'être envoyé aux enceintes.

1. LES CATEGORIES

On distingue 2 catégories de convertisseurs :

- **Les convertisseurs analogique-numérique (CAN):** qui permet de transformer les signaux analogiques en numériques (Figure 1).

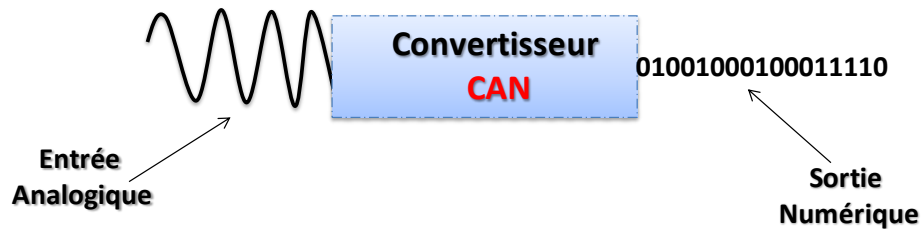


Figure 1 : Convertisseur analogique numérique (CAN)

- **Les convertisseurs numériques-analogiques (CNA):** qui permet de transformer les signaux numériques en analogiques (Figure 2).

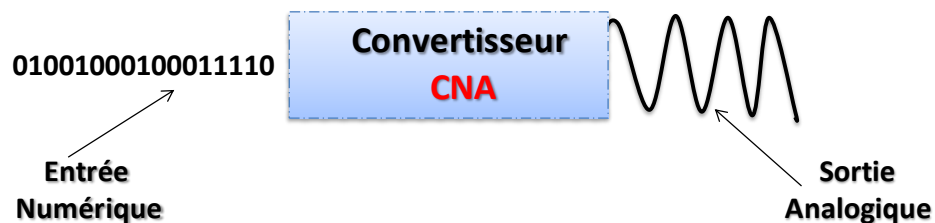


Figure 2 : Convertisseur numérique analogique (CNA)

Pour chaque catégorie, on trouve plusieurs types de convertisseurs qui se différencient par leur qualité, leur efficacité, leur vitesse de traitement...

2. LA CONVERSION D'UN SIGNAL ANALOGIQUE EN SIGNAL NUMERIQUE

La conversion d'un signal analogique en signal numérique passe par plusieurs étapes : l'échantillage, la quantification et la numérisation (obtention) du signal numérique.

a. L'échantillage

C'est l'étape de mesure de valeurs en fonction du temps à partir d'un signal analogique (forme sinusoïdale). En effet, les valeurs sont mesurées périodiquement.

Lors de l'enregistrement d'un signal analogique, deux paramètres sont pris en compte : le temps (échantillage) et l'amplitude (quantification).

L'étape de l'échantillage est caractérisée par deux facteurs :

- **La période d'échantillage (T_e)** : c'est le temps (en secondes) qui sépare deux mesures successives.
- **La fréquence d'échantillage (f_e)** : c'est le nombre de mesures enregistré par seconde. La fréquence se mesure en Hertz (Hz) et elle est liée à la période d'échantillage par la relation suivante (équation 1) :

$$f_e = \frac{1}{T_e} \quad \text{Equation 1}$$

La fréquence est l'un des facteurs influençant la qualité de la conversion. Plus la fréquence est élevée, plus la qualité est meilleure. Mais, en augmentant la fréquence d'échantillage, la taille des données enregistrées devient importante, demandant ainsi un espace de stockage plus volumineux. Ainsi, le choix de la fréquence d'échantillage devrait être réalisé dans un compromis qualité-taille du fichier.

Théorème de Nyquist-Shannon :

Le théorème de ***Nyquist-Shannon*** stipule que la fréquence d'échantillonnage (f_e) devrait être au minimum égale au double de la fréquence maximale (f_{max}) que pourrait comporter un signal donné.

Ainsi, la condition de ***Nyquist-Shannon*** est la suivante :

$$f_e \geq 2 \times f_{max} \qquad \text{Equation 2}$$

Exemple :

Les fichiers audio sont généralement enregistrés au minimum à 44,1 kHz. Ça veut dire que la fréquence d'échantillage (f_e) est de 44,1 kHz. Ainsi, la fréquence maximale (f_{max}) peut atteindre le 22,05 kHz.

Sachant que la fréquence maximale audible par l'homme est de 20 kHz, avec une telle fréquence d'échantillage (44,1 kHz), la perte est minimisée et le signal numérique sera fidèle au signal analogique de départ.

La figure 3 présente deux échantillages différents d'un même signal. L'échantillage 1 a été effectué avec une fréquence d'échantillage 2 fois supérieure à celle de l'échantillage 2. Autrement dit, la période d'échantillage de l'échantillage 2 est 2 fois plus grande que celle de l'échantillage. Ceci se traduit par un nombre de mesures 2 fois plus grand dans l'échantillage 1 par rapport à l'échantillage 2.

Ainsi, l'échantillage 1 est plus précis que l'échantillage 2 mais son stockage demande un espace plus important.

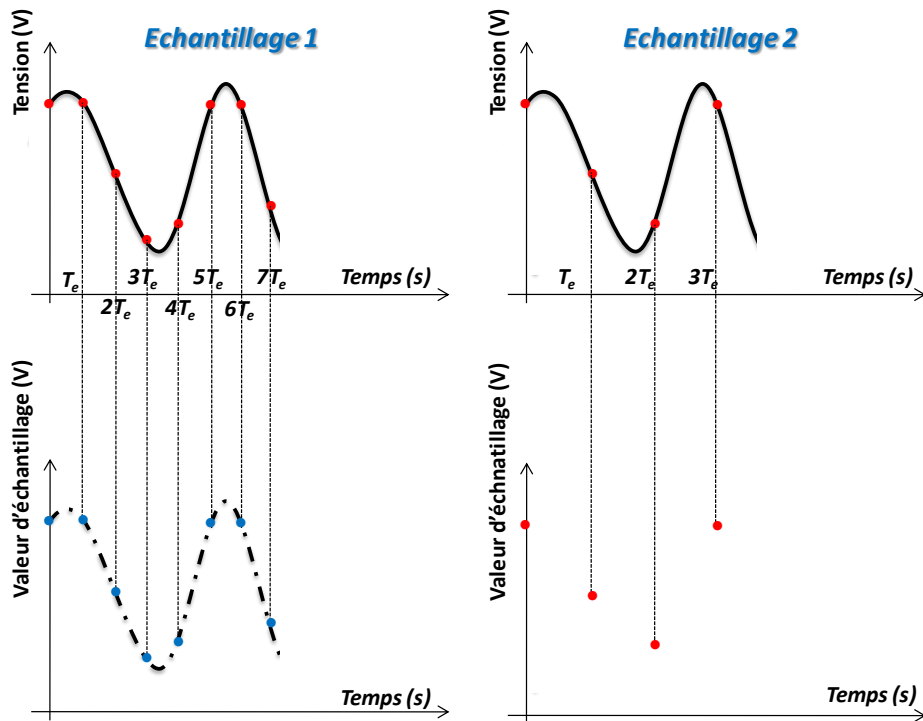


Figure 3 : deux échantillage différents d'un même signal

b. La quantification et la numérisation

L'échantillonnage est utilisé pour prélever le signal à des instants multiples de T_e et ensuite convertir les échantillons sous forme d'un code binaire (8, 12, 16 bits, ...).

En général, juste derrière l'échantillonneur on place un bloqueur pour maintenir le signal constant à l'entrée du convertisseur analogique-numérique (CAN) pendant la durée de conversion, permettant ainsi de quantifier la grandeur mesurée, c'est la quantification.

En résumé, l'échantillonnage et la quantification sont généralement réalisés l'un après l'autre à des intervalles de temps régulier.

A un instant donné, l'échantillonneur-bloqueur mesure la valeur de la grandeur physique (la tension) reçue du signal et maintient cette valeur jusqu'à la mesure suivante.

Ensuite la valeur est transmise au CAN qui va la quantifier suivant la valeur de la résolution ou du pas (p ou q). Puis, à la sortie du CAN, le signal obtenu est numérisé (signal numérique).

Ainsi, le principe de la chaîne de transformation analogique numérique peut être schématisé suivant la Figure 4.



Figure 4 : La chaîne de transformation analogique numérique

La résolution ou le pas (p ou q) est définie comme le plus petit écart de tension entre deux points du signal numérisé) des mesures.

La résolution ou le pas (p ou q) est liée au nombre n de bits du convertisseur. Ainsi, plus n est grand et plus p est petit.

Dans le cas d'un convertisseur analogique numérique (CAN) possédant n bits, la résolution ou le pas (p ou q) est définie par l'équation suivante :

$$p \text{ ou } q \text{ (en Volts)} = \frac{U_{max} - U_{min}}{2^n} \quad \text{Equation 3}$$

Avec, $U_{max} - U_{min}$ (en Volt) est le domaine un domaine en tension du signal. Il correspond à l'écart entre deux valeurs permises consécutives ; n est le nombre de bits du convertisseur CAN.

Un exemple d'un signal numérisé (en binaire) est présenté dans la figure 5.



Figure 5 : Exemple d'un fichier numérisé en binaire

D'une manière générale, pour que le signal numérisé soit relativement fidèle (le plus proche possible) au signal analogique il faudrait que :

- 1) La fréquence d'échantillonnage soit plus grande que la fréquence maximale du signal analogique (minimum 2 fois plus grande). Donc, une période d'échantillonnage plus faible.
- 2) Le pas du convertisseur soit faible. Ainsi, les mesures seront alors codées sur un nombre plus important de valeurs binaires.

Mais, le choix de ces deux paramètres est limité du fait que leur modification (augmentation de f_e et réduction de p) entraînent une augmentation des valeurs de mesure à traiter. Ce qui nécessitera ainsi un espace de stockage plus volumineux. Donc, un compromis entre ces facteurs est souvent appliqué afin le traitement soit acceptable avec un espace de stockage raisonnable.

Par exemple, dans un ordinateur on trouve des convertisseurs analogiques numériques (CAN) dans les cartes d'acquisition graphique (vidéos, image...), les cartes sons, la souris, l'écran, le lecteur CD, le disque dur...

A noter que, au contraire de CAN, les convertisseurs numériques analogiques (CNA) permettent de convertir un signal numérique en signal analogique.

Comme nous avons besoin des convertisseurs analogiques numériques (CAN) pour envoyer des informations sous forme numérique, nous avons également besoin des convertisseurs numérique analogique (CNA) pour pouvoir exploiter les informations numériques reçues par le récepteur.

A titre d'exemple, dans un ordinateur on trouve des convertisseurs numériques analogiques (CNA) pour les sorties audio, le modem...