

# Chapitre 13

## Numérisation de l'information

### Table des matières

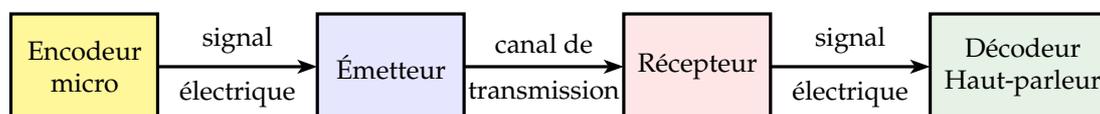
|          |   |          |
|----------|---|----------|
| <b>1</b> | <b>Transmission des informations</b>          | <b>2</b> |
| <b>2</b> | <b>La numérisation</b>                        | <b>2</b> |
| 2.1      | L'échantillonnage . . . . .                   | 4        |
| 2.2      | La quantification . . . . .                   | 5        |
| 2.3      | Le codage . . . . .                           | 6        |
| <b>3</b> | <b>Caractéristiques d'une image numérique</b> | <b>6</b> |
| 3.1      | Pixellisation . . . . .                       | 6        |
| 3.2      | Codage en niveaux de gris . . . . .           | 7        |
| 3.3      | Le codage RVB . . . . .                       | 8        |

# 1 Transmission des informations

**Définition 1** : On appelle **information** un ensemble de connaissances qui peuvent être codés de plusieurs façons

Le transfert d'une information nécessite une chaîne de transmission. Elle comporte un encodeur, qui code l'information, qui la transmet à un émetteur (qui éventuellement la crypte, la compresse, la module, ...) qui la transmet à un récepteur (qui éventuellement la décrypte, la décompresse, la démodule, ...) qui la décode et la restitue.

**Exemple** : Chaîne de transmission en téléphonie :



La transmission peut être soit analogique (signal continu) ou numérique (signal discret).

La façon de transmettre l'information a évolué au niveau du milieu de transmission et de la nature des signaux.

- Si on utilise l'atmosphère comme milieu, les signaux peuvent être : des sons, des ultra-sons, des ondes électromagnétiques,...
- Si on utilise la fibre optique, les signaux sont alors des ondes électromagnétiques.

**Exemple** : Lorsqu'un usager téléphone, une ligne le relie à son correspondant. Elle assure le transport de la voix, dans les deux sens, jusqu'à ce que la communication soit terminée. Cette liaison provisoire est créée par la compagnie de téléphone, grâce à des opérations de commutation effectuées dans les centraux téléphoniques.

Dans l'histoire du téléphone, la commutation a d'abord été réalisée de façon manuelle, puis électromécanique, puis enfin informatique.

Entre l'invention du téléphone par A.G.Bell (en 1877) et les années soixante, la voix fut transmise de manière analogique, sous forme d'un signal électrique se propageant sur des fils de cuivre. Puis les compagnies de téléphone commencèrent à utiliser la transmission numérique entre les centraux.

La transformation du signal, analogique vers numérique et inversement, est assurée par des "codecs" (COdeur/DECodeur)

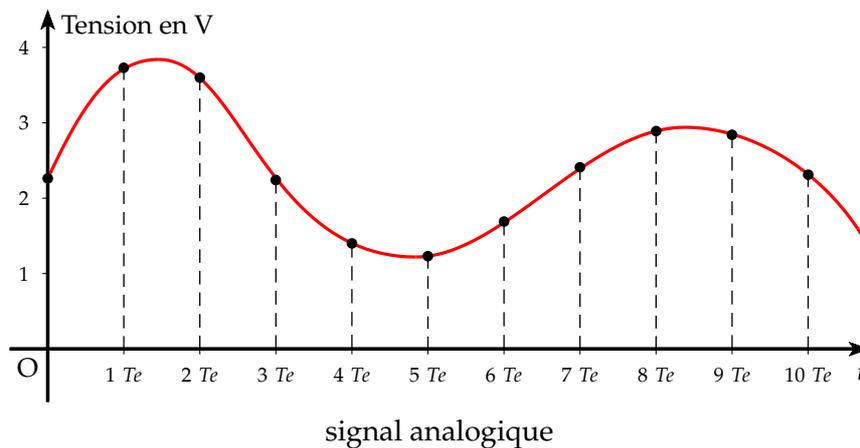
## 2 La numérisation

Un signal est la représentation physique d'une information qui est transportée avec ou sans transformation, de la source jusqu'au destinataire. Il en existe deux catégories :

- les signaux analogiques, qui varient de façon continue dans le temps (intensité sonore, intensité lumineuse, pression, tension), c'est-à-dire qu'ils peuvent prendre une infinité de valeurs différentes.
- les signaux numériques qui transportent une information sous la forme de nombres.

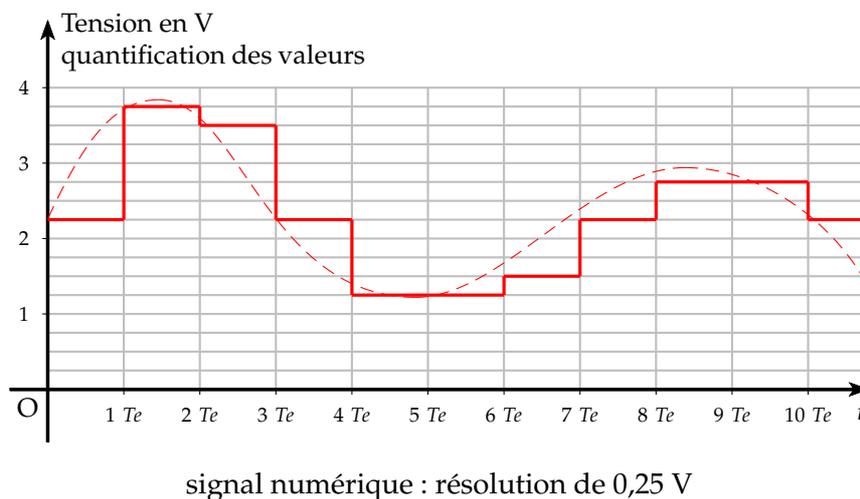
Le signal analogique à convertir est une tension électrique variable issue d'un capteur (microphone par exemple) ou d'un circuit électrique.

On obtient alors la courbe suivante représentant le signal analogique :



**Definition 2 :** Numériser un signal analogique consiste à transformer les grandeurs continues dans le temps en des grandeurs discontinues qui varient par palier en prenant des valeurs à intervalle de temps régulier : période d'échantillonnage  $T_e$ .

La numérisation est faite à l'aide d'un convertisseur analogique-numérique (CAN)



**Remarque :** La numérisation est d'autant meilleure que le signal numérique se rapproche du signal analogique initial.

La numérisation d'un signal nécessite trois étapes :

- L'échantillonnage
- La quantification
- Le codage

## 2.1 L'échantillonnage

**Définition 3 :** On appelle période d'échantillonnage  $T_e$  (en s), le temps entre deux mesures successives.

La fréquence d'échantillonnage  $f_e$ , correspond au nombre de mesures effectuées par seconde. On a :  $f_e = \frac{1}{T_e}$

**Remarque :** Le choix de la fréquence d'échantillonnage est crucial afin de reproduire fidèlement le signal étudié. En effet si le signal analogique varie trop vite par rapport à la fréquence d'échantillonnage, la numérisation donnera un rendu incorrect.

**Théorème de Shannon :**

Pour un signal périodique (comme un son) la fréquence d'échantillonnage  $f_e$  doit être au moins le double de la fréquence maximale  $f_{max}$  du signal :  $f_e \geq 2 f_{max}$

**Exemple :** Les fichiers audio sont couramment échantillonnés à 44,1 kHz, car cela permet de restituer des sons dont la fréquence peut aller jusqu'à 22,05 kHz, c'est-à-dire un peu au-delà de la fréquence maximale audible par l'Homme (20 kHz).

### Application

La durée de l'enregistrement d'un son est de 3,0 s. Le signal sonore est facilement reconstitué à partir de son enregistrement numérique si la période d'échantillonnage lors de l'enregistrement est dix fois plus petite que la période du signal.

- a) Déterminer le nombre d'échantillon pris lors de cet enregistrement avec une période d'échantillonnage de  $T_e = 1,0$  ms.
- b) Déterminer la période minimale et la fréquence maximale du signal qu'il est possible de reconstruire correctement ainsi



- a) Comme la période d'échantillonnage est de 1 ms, le nombre d'échantillons est :  $\frac{3,0}{1.10^{-3}} = 3000$
- b) La période du signal doit être au moins 10 fois plus grande, donc  $T \geq 10$  ms.  
La fréquence du signal  $f$ , vérifie :  $f \leq \frac{1}{10.10^{-3}}$  donc  $f \leq 100$  Hz.

## 2.2 La quantification

### La quantification

Un signal numérique ne peut prendre que certaines valeurs : c'est la quantification. Elle s'exprime en bits

Cette quantification est assurée par un convertisseur (CAN). Chaque valeur est arrondie à la valeur permise la plus proche par défaut.

On appelle alors **résolution** ou **pas** l'écart (constant) entre deux valeurs permises successives.

→ animation montrant la quantification

**Remarque** : Un **bit** (de l'anglais *binary digit*) est un chiffre binaire (0 ou 1). C'est la plus petite unité de numérisation.

On définit alors un multiple du bit : l'**octet**. Un octet est un ensemble de 8 bits. On peut donc quantifier  $2^8 = 256$  valeurs avec un octet. Par exemple 01001001.

△ Plus la quantification est grande, plus l'amplitude du signal numérique sera proche de celle du signal analogique.

**Exemple** : Quantification sur différents support de sons :

| Type de support | Quantification choisie | nombre de valeurs |
|-----------------|------------------------|-------------------|
| CD audio        | 16 bits                | 65 536            |
| DVD             | 24 bits                | 16 777 216        |
| Téléphonie      | 8 bits                 | 256               |
| Radio numérique | 8 bits                 | 256               |

△ Le nombre d'octets qui vont être nécessaires pour numériser le signal sur un support de stockage (disque dur, clé USB, DVD,...) n'est pas illimités, ce qui explique les quantifications choisies. De plus, en ce qui concerne la radio numérique, il faut du temps pour écrire toutes ces données. Le "flux" n'est pas aussi illimitée.

**Définition 4** : On appelle **calibre** l'intervalle des valeurs mesurables des tensions analogiques à numériser (par exemple  $\pm 5$  V).

On appelle **plage** d'un convertisseur, la largeur de l'intervalle entre la plus petite et la plus grande valeur du calibre. (pour un calibre de  $\pm 5$  V, la plage est alors de 10 V).

Le pas  $p$  d'un convertisseur de  $n$  bits et de plage donnée, est alors défini par :

$$p = \frac{\text{plage}}{2^n}$$

**Exemple** : Le convertisseur (CAN) d'une carte d'acquisition possède les caractéristiques suivantes : calibre  $\pm 4,5$  V sur 12 bits. Déterminer le pas du convertisseur.

La plage est donc de 9 V. Le pas est alors de :  $p = \frac{9}{2^{12}} = 2,2 \cdot 10^{-3}$  V

## 2.3 Le codage

**Définition 5 :** On appelle codage la transformation des différentes valeurs quantifiées en langage binaire.

**Remarque :** On définit les multiples (SI) et binaires de l'octet suivants :

| Préfixes SI |         |           | Préfixes binaires |         |          |
|-------------|---------|-----------|-------------------|---------|----------|
| Nom         | Symbole | Valeur    | Nom               | Symbole | Valeur   |
| kiloctet    | ko      | $10^3$    | kibioctet         | kio     | $2^{10}$ |
| mégaoctet   | Mo      | $10^6$    | mébioctet         | Mio     | $2^{20}$ |
| gigaoctet   | Go      | $10^9$    | gibioctet         | Gio     | $2^{30}$ |
| téraoctet   | To      | $10^{12}$ | tébioctet         | Tio     | $2^{40}$ |

Cette distinction n'est malheureusement pas appliqué par le grand public ou les fabricants : on parle ainsi kiloctet à la place de kibioctet. Cela crée des confusions : un disque de 100 gigaoctets à la même capacité qu'un disque de 93,13 gibioctets.

**Exemple :** Le nombre  $N$  d'octets nécessaires pour "décrire" numériquement une minute de son est :

$$N = F \times \frac{Q}{8} \times 60 \times n$$

avec  $F$  : fréquence échantillonnage en Hz,  $Q$  : quantification en bits et  $n$  : nombre de voies (si le son est stéréo,  $n = 2$  ; en mono :  $n = 1$ ).  $N$  s'exprime en octet.

Déterminer le nombre d'octet nécessaires pour une minute d'en CD audio (44,1 kHz et 16 bits, stéréo).

$$\begin{aligned} N &= 44\,100 \times \frac{16}{8} \times 60 \times 2 = 10\,584\,000 \text{ octets} \\ &= \frac{10\,584\,000}{1024} = 10\,335 \text{ kio} = \frac{10\,335}{1024} = 10,9 \text{ Mio} \end{aligned}$$

Soit 10,9 Mo pour le grand public !

## 3 Caractéristiques d'une image numérique

### 3.1 Pixellisation

Une image numérique est un ensemble discret de points appelés Pixels (contraction de PICTURE ELEMENTS). Elle a pour vocation d'être affichée sur un écran. Chaque pixel possède une couleur.

Pour fabriquer une image numérique (à partir d'un appareil photo, scanner, caméra numérique), il faut des capteurs qui sont de petites cellules photoélectriques placées en quadrillage.

L'appareil découpe l'image en un quadrillage ou trame. Chaque case est un pixel. Le pixel est une portion de surface élémentaire permettant d'échantillonner spatialement une image. A chaque pixel est affecté un nombre binaire correspondant à la couleur de la case.

La **définition de l'image** est le nombre de pixels qu'elle contient. C'est le nombre de pixels contenus dans la dalle de capteurs d'un appareil numérique.

La **résolution de l'image** est le nombre de pixels par unité de longueur. Elle s'exprime en ppp (pixel par pouce) ou dpi (dot per inch). Le pouce (inch en anglais) vaut 2,54 cm.

**Exemple** : une feuille A4 numérisée en 300 ppp correspond à une trame de

$$\frac{300}{2,54} \times 21,0 = 2480 \text{ pixels} \quad \text{sur} \quad \frac{300}{2,54} \times 29,7 = 3508 \text{ pixels}$$

Le fichier est composé de  $2480 \times 3508 = 8699840$  pixels soit à peu près 8,7 Mpixels.

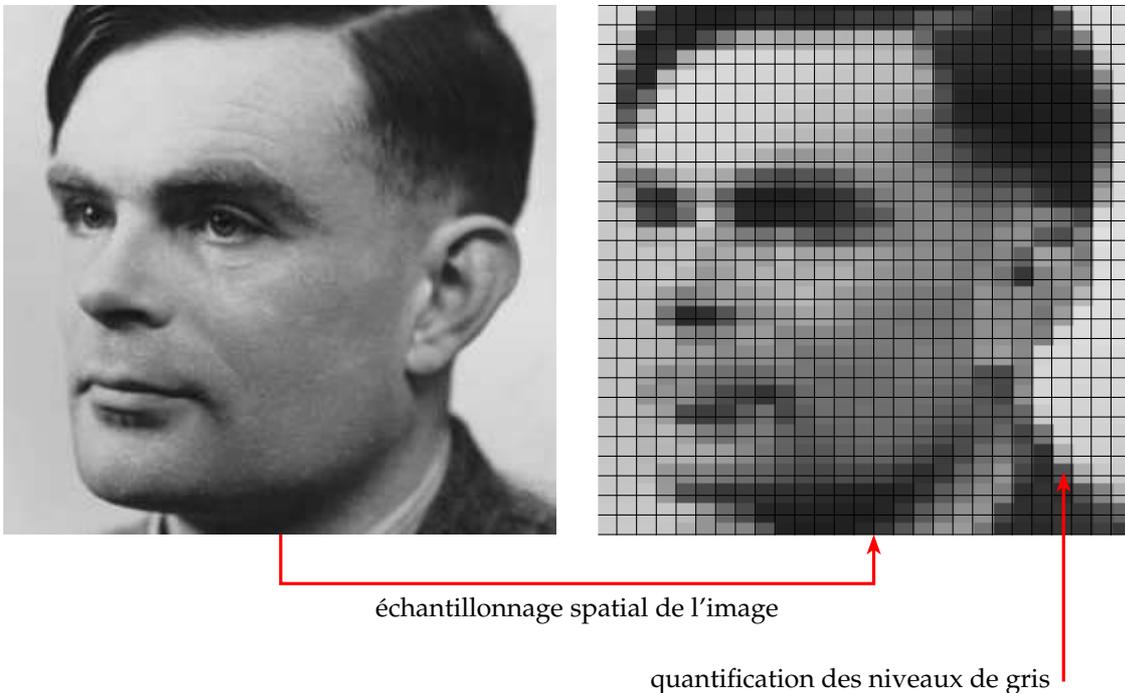
### 3.2 Codage en niveaux de gris

Chaque cellule du capteur mesure l'intensité lumineuse moyenne correspondant au pixel.

L'intensité lumineuse, grandeur analogique, est convertie par la cellule en un signal analogique sous forme de tension électrique.

Elle est ensuite quantifiée, puis numérisée. A chaque valeur d'intensité lumineuse correspond un niveau de gris codé numériquement.

ALAN TURING mathématicien, fondateur de la sciences informatique



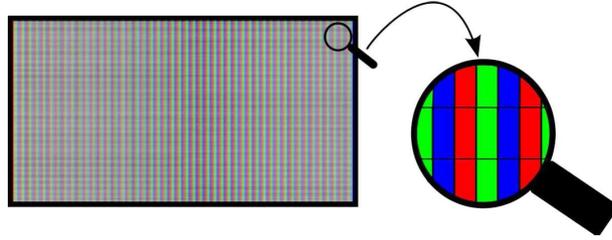
Un système à 4 bits permet de coder  $2^4 = 16$  niveaux de gris.

Un octet (8 bits) permet, lui, de coder pour chaque pixel  $2^8 = 256$  niveaux de gris. La valeur numérique codant l'intensité lumineuse et la position du pixel sont stockées dans la mémoire. L'image est reconstruite par l'ordinateur à partir des données collectées et numérisées.

### 3.3 Le codage RVB

Il existe plusieurs système de codage des couleurs dont le plus utilisé est le système RGB (rouge,vert,bleu). Ce système utilise les trois couleurs primaires. La superposition de ces trois couleurs permet de recréer toutes les autres couleurs.

➡ Principe de la restitution des couleurs par un écran de télévision



Pour coder les couleurs d'un pixel dans le système RVB, le fichier image associe à chaque pixel 3 octets correspondant aux trois couleurs primaires. Il y a donc 256 valeurs pour chaque couleur, soit en tout :

$$256^3 = 16\,581\,375 \text{ couleurs possibles}$$

**Remarque :** d'autres systèmes sont possibles comme le CMJN (cmyk en anglais) : cyan, magenta, jaune et noir (quadrichromie), le système TSL (HSL) teinte, saturation, luminosité qui est basé sur le cercle chromatique.

**Définition 6 :** On appelle **définition** d'une image, le nombre de pixels qui la compose. Par exemple pour une image de 640 colonnes sur 240 lignes, l'image est composée de :

$$640 \times 240 = 153\,600 \text{ pixels}$$

**Définition 7 :** On appelle **taille** d'une image, le produit de sa définition par le nombre d'octet par pixel. Par exemple une image RGB de 640 colonnes sur 240 lignes, la taille de l'image est de :

$$640 \times 240 \times 3 = 460\,800 \text{ octets}$$