

Numérisation - Transmission Stockage de l'information

I. Nature du signal

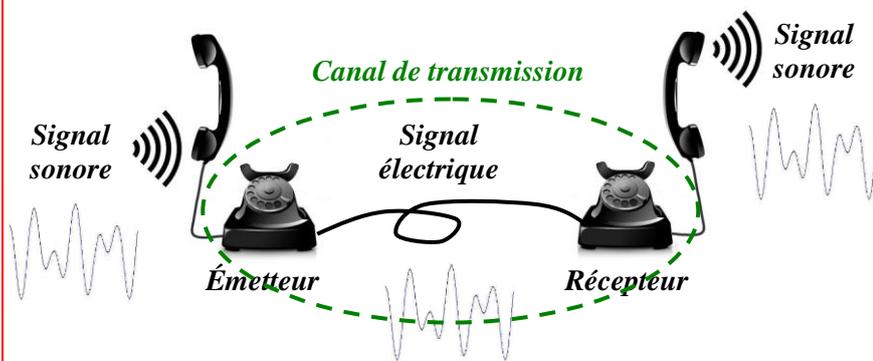
I.1. Définition

Un signal est la représentation physique d'une information (température, pression, absorbance, ...).

Pour transmettre un signal d'un lieu à un autre on utilise une **chaîne de transmission** composée :

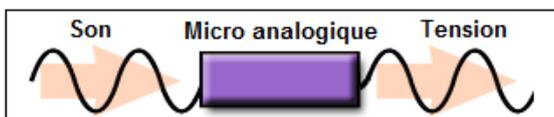
- d'un encodeur
- d'un canal de transmission (émetteur, milieu de transmission, récepteur)
- d'un décodeur

Exemple : appel téléphonique



1. Le micro (**encodeur**) d'un téléphone analogique convertit le signal sonore en signal électrique.
2. Une ligne téléphonique (ligne filaire) achemine le signal électrique vers un autre téléphone analogique.
3. Le haut-parleur (**décodeur**) de ce dernier téléphone convertit le signal électrique en signal sonore.

Dans cet exemple, le signal sonore émis, le signal reçu, ainsi que le signal électrique circulant dans le fil sont des signaux analogiques car ils varient de façon continue dans le temps.

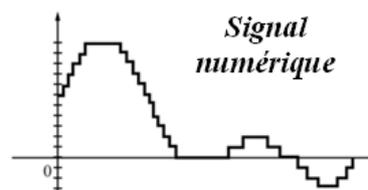
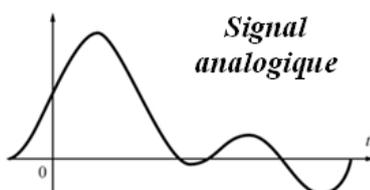


Le son est une variation de pression continue dans le temps. Le signal électrique fabriqué par le micro varie aussi de manière continue.

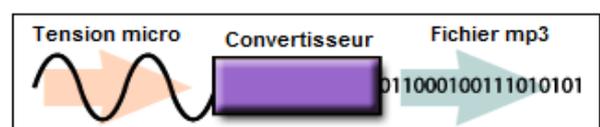
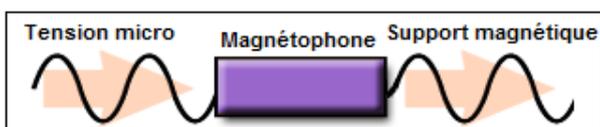
I.2 Signal analogique, signal numérique

Définitions :

- Un **signal analogique** varie de façon **continue** en fonction du temps.
- Un **signal numérique** varie de façon **discrète** au cours du temps, c'est-à-dire **par paliers**.



Exemples :

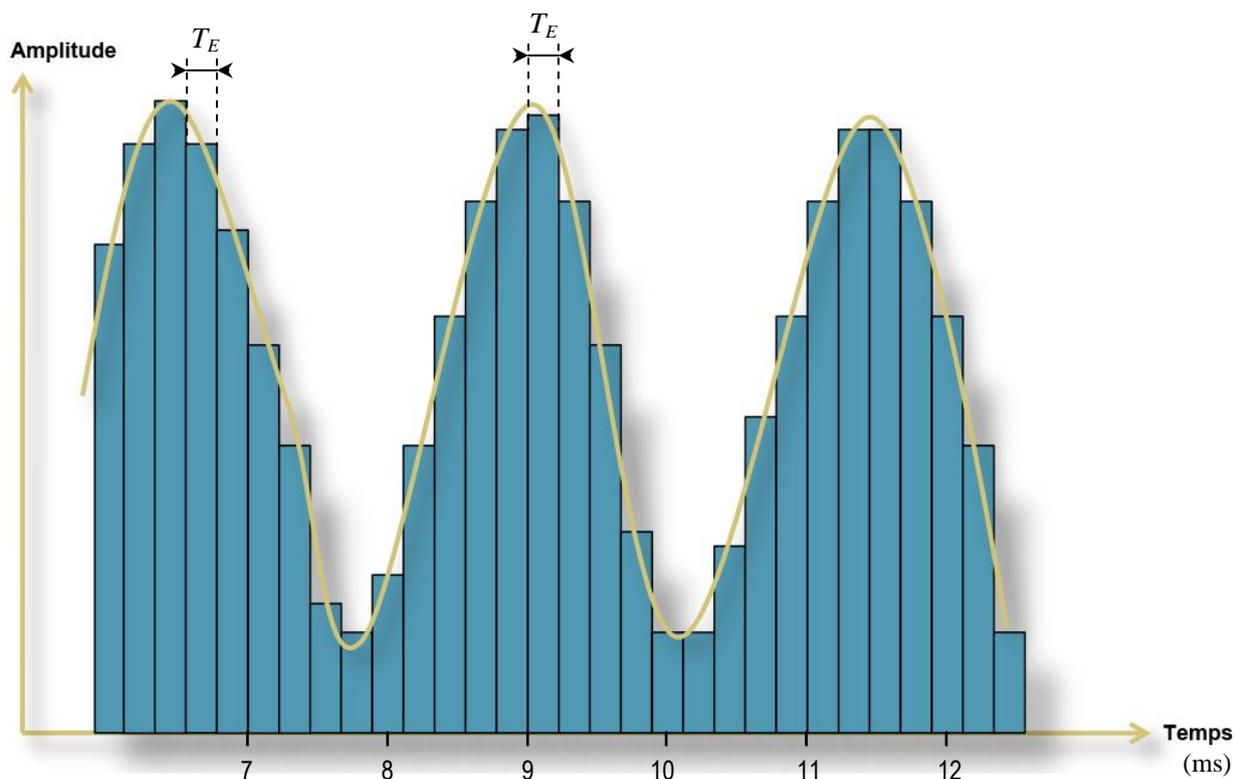


II. Numérisation d'un signal

Pour convertir un signal analogique en signal numérique, il faut le numériser. Cette numérisation est assurée par un **Convertisseur Analogique-Numérique (C.A.N.)**.

II.1. L'échantillonnage

Tout d'abord, le C.A.N. découpe le signal analogique en **échantillons** (« *samples* » en anglais) de durée égale T_E durant laquelle **la valeur du signal est bloquée**, c'est-à-dire maintenue constante (cela forme un palier).

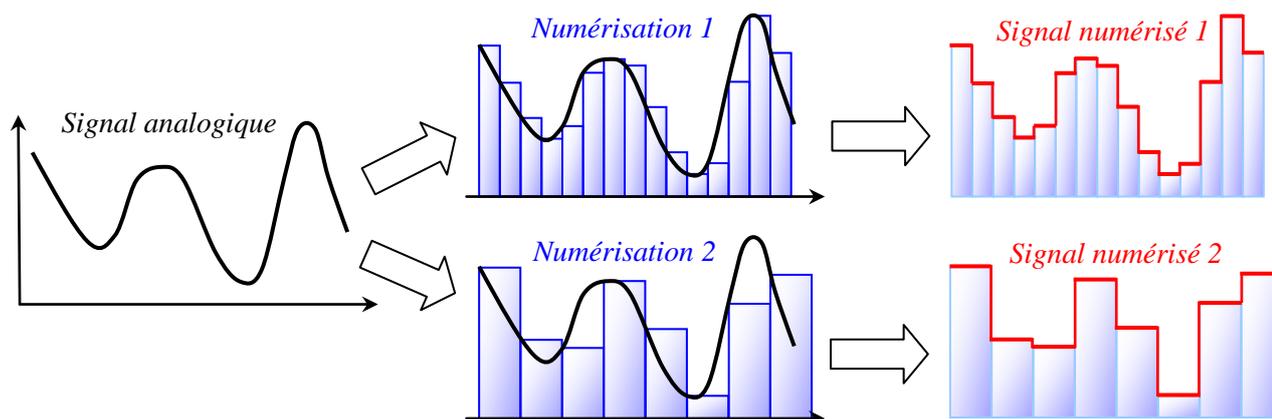


La **fréquence d'échantillonnage f_E** correspond au **nombre d'échantillons par seconde**. Elle s'exprime en Hz.

On a la relation : $f_E = \frac{1}{T_E}$

Ex : ici $T_E = 0,25 \text{ ms} \Rightarrow f_E = \frac{1}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 4,0 \cdot 10^3 \text{ Hz} = 4,0 \text{ kHz}$

Comparaison de deux numérisations :



- La 1^{ère} numérisation a une fréquence d'échantillonnage supérieure à celle de la 2^{ème} numérisation. Elle « épouse » mieux le signal analogique. Le signal numérisé n°1 est donc plus « fidèle » au signal analogique. Il restituera mieux le signal analogique.
- La fréquence d'échantillonnage doit être suffisamment grande par rapport à la fréquence du signal lui-même pour pouvoir « suivre » ses variations.

II.2. Quantification / pas du convertisseur

La deuxième étape consiste à « quantifier » le signal.

Le C.A.N. compare la valeur de chaque échantillon à l'ensemble des valeurs (**multiples entiers du pas**) permises **par la résolution du convertisseur**.

Cette valeur est alors **remplacée par la valeur permise** (multiple entier de pas) **la plus proche**.

La résolution d'un C.A.N. est déterminée par la grandeur du pas : plus le pas est petit, plus la résolution est grande.

Le pas p d'un convertisseur **dépend de son nombre n de bits et de l'amplitude en tension A de la plage d'entrée**

du convertisseur : $p = \frac{A}{2^n}$

Exemples :

- Sur les deux graphes ci-contre, la fréquence d'échantillonnage est la même :

$$f_E = \frac{1}{T_E} = \frac{1}{1} = 1 \text{ Hz}$$

- Après quantification de la courbe on obtient les points verts. On détermine alors le pas de conversion :

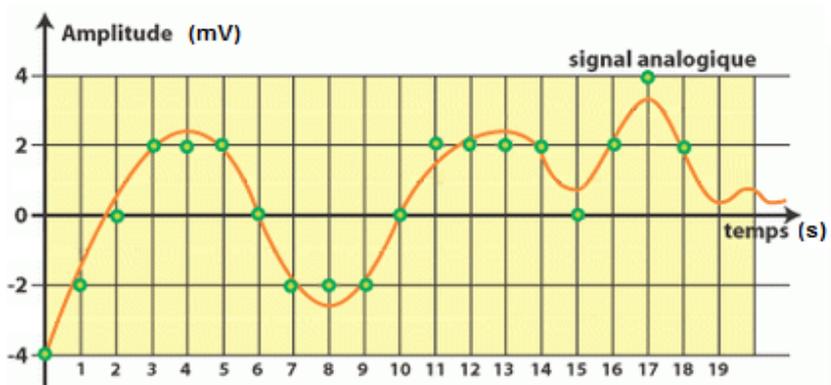
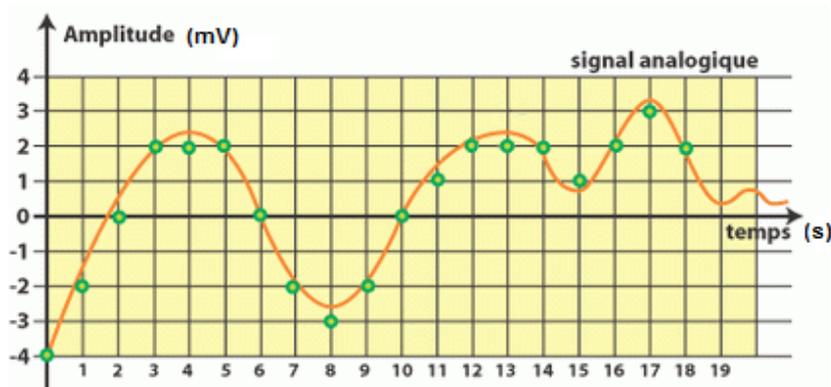
$$p = 1 \text{ mV (1^{er} graphe)}$$

$$p = 2 \text{ mV (2^{ème} graphe)}$$

- Celui qui a la plus grande résolution est celui qui a le plus petit pas p .

- Plus la résolution est grande, plus il y aura de valeurs, donc de points, à la courbe numérisée.

En effet, la **quantification s'accompagne obligatoirement d'une perte d'information** (même minime) sur le signal analogique qui est alors discrétisé par « pas » ou « quantum ».



Bilan : quantification et numérisation sont assurées par le C.A.N. qui transforme une tension électrique analogique en une valeur numérique pouvant être traitée par un microprocesseur.

Application :

La notice d'un circuit intégré indique que le convertisseur a 22 bits, que le temps de conversion est de 80 ms et que la plage d'entrée est de $\pm 5,0 \text{ V}$. La fréquence d'échantillonnage est de 12,0 Hz.

- Sachant que la résolution d'un convertisseur est donnée par la relation 2^n où n est le nombre de bits disponibles, déterminer le nombre de pas disponibles avec la tension d'entrée indiquée.

Réponse : Le nombre de pas indiqué est $2^n = 2^{22} = 4,2 \cdot 10^6$

- En déduire la valeur du pas avec la tension d'entrée indiquée.

Réponse : Le nombre de pas indiqué est $p = \frac{A}{2^n} = \frac{5,0}{2^{22}} = 1,2 \cdot 10^{-6} V = 1,2 \mu V$

- Déterminer la période d'échantillonnage.

Réponse : $T_E = \frac{1}{f_E} = \frac{1}{12,0} = 8,3 \cdot 10^{-2} s = 83 ms$

- Pourquoi la période d'échantillonnage doit-elle être supérieure au temps mis par le C.A.N. pour traiter une conversion ? Est-ce le cas ici ?

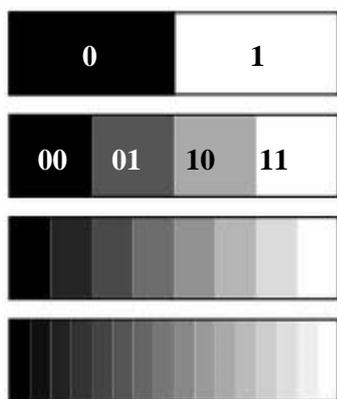
Réponse : $T_E = 83 ms > 80 ms$ (temps de conversion) : donc le C.A.N. peut traiter toutes les données sans en oublier !

III. Application aux images numériques

III.1. Principe du codage (nuances de gris)

Lors d'une prise de photo en noir et blanc, le capteur mesure l'intensité lumineuse moyenne reçue par chaque pixel. Cette intensité lumineuse (grandeur analogique) est convertie par chaque pixel du capteur en une tension (grandeur analogique).

Cette tension est ensuite quantifiée et numérisée en fonction du nombre de bits disponibles du C.A.N. :



Une image en noir et blanc ne nécessite que deux niveaux de gris : le noir et le blanc. Chaque pixel est codé par un seul bit pouvant prendre 2 valeurs : 0 (noir) ou 1 (blanc).

0	1
---	---

2 bits permettent de coder $2^2 = 4$ niveaux de gris

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

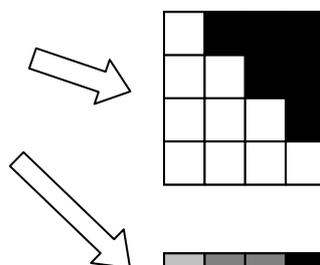
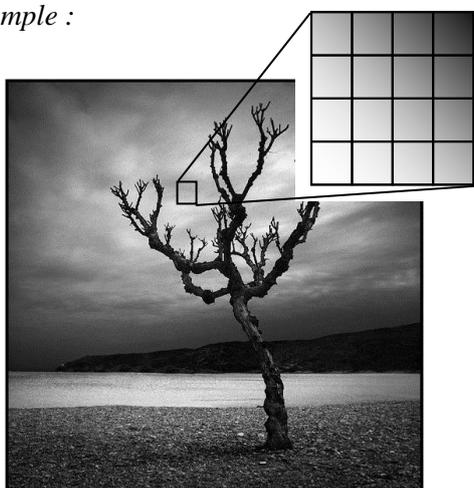
3 bits permettent de coder $2^3 = 8$ niveaux de gris

000	001	010	011	100	101	?	?
-----	-----	-----	-----	-----	-----	---	---

4 bits permettent de coder $2^4 = 16$ niveaux de gris

0000	0001	0010	?	0100	0101	0110	0111	1000	1001	...
------	------	------	---	------	------	------	------	------	------	-----

Exemple :



Codage de l'image à 1 bit / pixel

$(2^1 = 2$ nuances possibles)

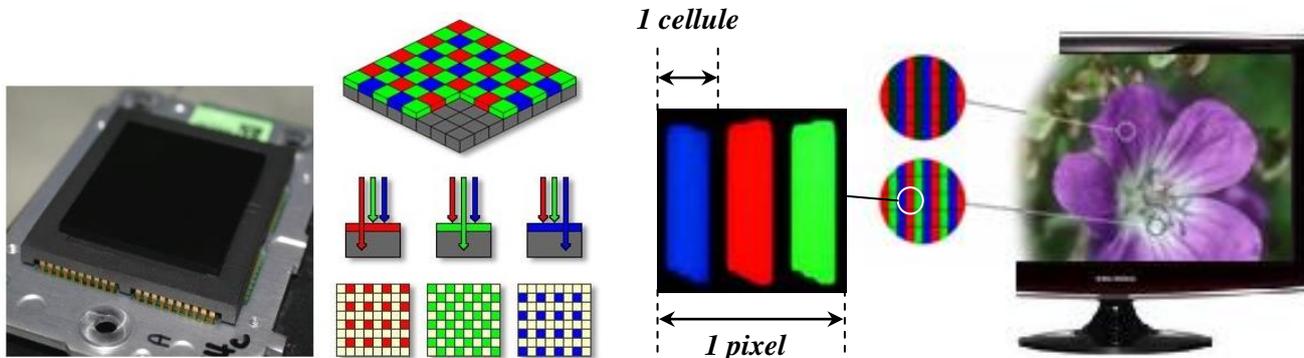
Codage de l'image à 2 bits / pixel

$(2^2 = 4$ nuances possibles)

La valeur numérique codant l'intensité lumineuse ainsi que celles codant la position du pixel sur la matrice sont stockées dans la mémoire (carte mémoire, disque dur, ...) de l'appareil.

III.2. Le codage RVB

Pour restituer toutes les couleurs d'une image on utilise la synthèse additive des couleurs avec les trois couleurs primaires lumières : le rouge (R), le vert (V) et le bleu (B).

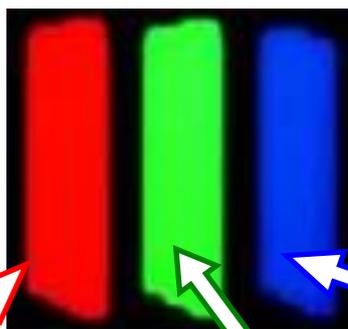


Lors de la capture d'une image, on récupère l'intensité lumineuse des trois couleurs primaires lumières grâce à des cellules photoélectriques sensibles à l'une des trois couleurs et disposées régulièrement sur la matrice du capteur.

Lors de l'affichage d'une image couleur numérique sur un écran, ce dernier allume totalement ou partiellement chaque cellule (ou sous-pixel) d'un pixel, et ceci pour tous les pixels présents sur l'écran. Chaque cellule reçoit donc une information dédiée.

Pour réussir à quantifier de manière convenable (sans trop de perte par rapport à la donnée analogique tout en utilisant une mémoire raisonnable) la couleur d'un pixel (composé de 3 sous-pixels ou cellules) on utilise le plus souvent 3 octets, soit $3 \times 8 = 24$ bits. On parle alors du codage RVB 24 bits.

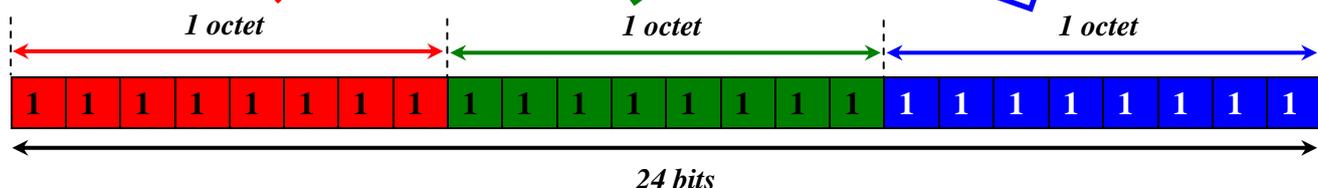
Décimal	Binaire
0	00000000
1	00000001
2	00000010
3	00000011
4	00000100
...	...
255	11111111



A chaque cellule correspond un octet.

Pour chaque cellule on peut alors avoir :
 $2^8 = 256$ nuances différentes

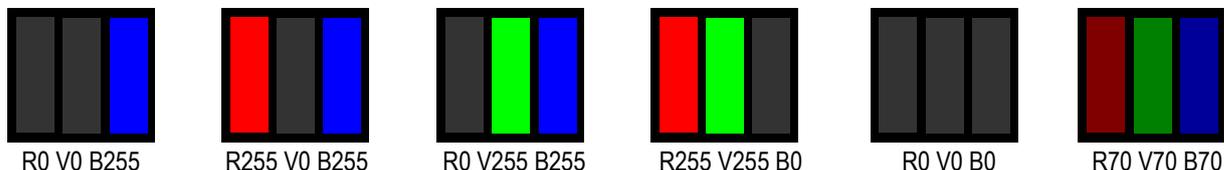
Ainsi, pour chaque pixel, on peut avoir :
 $256 \times 256 \times 256$
 $= 16\,777\,216$ couleurs possibles
 ≈ 16 millions de couleurs possibles



Le code RVB du pixel en exemple ci-dessus est donc : **R255 V255 B255**. Les trois cellules du pixel sont allumées au maximum de leur intensité.

Application :

- Convertir la valeur 12 en binaire.
Réponse : 1100
- Quelle est la couleur observée à l'écran si tous les pixels ont le code binaire (en page précédente) ?
Réponse : Toutes les valeurs sont au maximum. On obtient donc du R+V+B = White (blanc).
- Même question avec les pixels suivants :



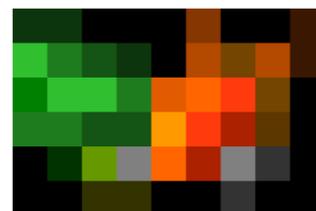
Réponse : Bleu / Magenta / Cyan / Jaune / Noir / Gris foncé

- Quelle est la particularité d'un pixel gris ?
Réponse : le codage de chaque couleur est le même (même valeur), mais sa valeur doit être différente de « 0 » (noir) et « 255 » (blanc)
- Le code RVB d'un pixel est R253 V12 B5. Donner le code binaire de ce pixel.
Réponse : (11111101) ; (00001100) ; (00000101)
- Si on avait alloué 1 bit à chaque cellule du pixel, combien de couleur pourrait-on afficher ?
Réponse : 1 bit par couleur \Leftrightarrow 3 bits par pixel $\Leftrightarrow 2^3 = 8$ couleurs possibles
- Même question avec 2 bits.
Réponse : 2 bits par couleur \Leftrightarrow 6 bits par pixel $\Leftrightarrow 2^6 = 64$ couleurs possibles

III.3. Définition d'une image

La **définition d'une image** correspond au **nombre de pixels** qui la composent.

Ex : la définition de l'image ci-contre (en haut) est : $9 \times 6 = 54$ pixels.



La **taille d'une image** est la **place nécessaire au stockage** de l'image.

En codage RVB 24 bits, chaque pixel utilise 3 octets (soit $3 \times 8 = 24$ bits)

Ex : l'image de 54 pixels aura donc une taille de : $54 \times 3 = 162$ octets = 0,16 ko

On précise : 1ko = 1024 octets / 1Mo = 1024 ko = $(1024)^2$ octets

Application :

L'image du bas codée en RVB 24 bits est composée de 1920 pixels \times 1080 pixels (image « HD 1080p »).

- Déterminer sa taille en Mo.
Réponse : l'image comporte $1920 \times 1080 = 2,07 \cdot 10^6$ pixels

$$\text{Soit : } \frac{2,07 \cdot 10^6}{1024^2} = 1,97 \text{ Mo}$$



IV. Transmission de l'information

IV.1. Propagation libre et guidée

La propagation du signal peut se faire de 2 manières :

- ✓ la **propagation guidée** : les signaux utilisent une ligne de transmission entre l'émetteur et le récepteur.

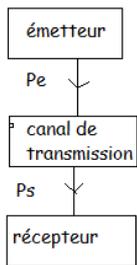
Les **câbles électriques** sont utilisés pour transmettre des informations. Ce type de ligne est utilisé pour les courtes distances car l'amortissement du signal est important et les champs électromagnétiques déforment le signal transmis.

Les **fibres optiques** transmettent l'information sous forme d'OEM (ondes électromagnétiques) visibles ou infrarouges proches.

- ✓ la **propagation libre** : les OEM (ondes hertziennes) peuvent se déplacer dans toutes les directions (cas des OEM émises puis reçues par une antenne). On les utilise, par exemple, dans la **téléphonie mobile**.

IV.2. Qualité de la transmission

- L'atténuation d'un signal



Toute transmission de signal s'accompagne d'une perte de puissance. L'atténuation A d'un signal se propageant dans un câble ou une fibre optique est égale à :

$$A = 10 \log \left(\frac{P_e}{P_s} \right)$$

P_e : puissance fournie par l'émetteur (en W)
 P_s : puissance reçue par le récepteur (en W)
 A : atténuation (en dB)

Le coefficient α d'atténuation linéique est égale au rapport de l'atténuation A sur la longueur du fil :

$$\alpha = \frac{A}{L}$$

α : coefficient d'atténuation linéique en décibel par mètre (dB.m^{-1})
 A : atténuation en décibel (dB)
 L : longueur du fil (m)

Ex : fibre optique $\alpha = 2 \times 10^{-4} \text{ dB.m}^{-1}$; câble coaxial utilisé pour les antennes satellites $\alpha = 0,2 \text{ dB.m}^{-1}$.

- Le débit binaire D

Le débit binaire caractérise la vitesse de transmission d'un signal. Plus le débit est important plus la transmission est rapide (important qu'on télécharge des films ou de la musique).

Un débit binaire est le nombre de bits N transférés par la durée Δt de la transmission, entre une source et son

destinataire : $D = \frac{N}{\Delta t}$; $D (\text{bit.s}^{-1})$; $N (\text{bit})$; $\Delta t (s)$

Ex : on souhaite télécharger un CD contenant 640 Mo de données avec une transmission de débit $D = 2,0 \text{ Mo.s}^{-1}$.
 Quelle est la durée mise pour télécharger le CD ? $1 \text{ Mo} = 2^{20} \text{ octets}$, $1 \text{ octet} = 8 \text{ bits}$;

$$D = \frac{N}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{N}{D} = \frac{640 \times 2^{20} \times 8}{2,0 \times 2^{20} \times 8} = \frac{640}{2,0} = 320 \text{ s} \Rightarrow \Delta t \approx 5,3 \text{ minutes}$$

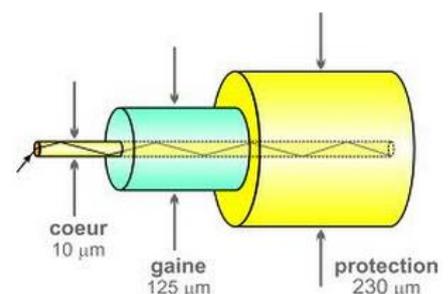
IV.3. Transmission guidée par fibre optique

La fibre optique est composée de trois parties :

- la protection en plastique
- la gaine
- le cœur

Intérêts :

- Le rayonnement visible est **peu atténué** à l'intérieur du cœur de la fibre optique.



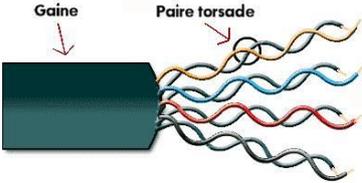
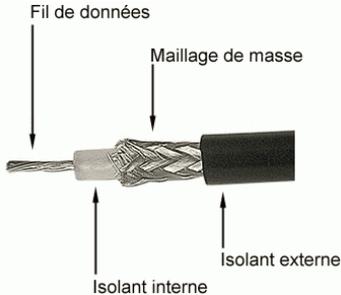
- Le rayonnement n'est pas altéré par le rayonnement électromagnétique ambiant.
- Les rayonnements se réfléchissent en se propageant à l'intérieur de la fibre optique : très peu de rayons s'échappent de la fibre. *Pour cela il faut que l'indice de réfraction du cœur est plus important que celui de la gaine.*

Il existe trois types de fibres optiques :

Type de fibre	Principe de fonctionnement	atténuation en dB.km ⁻¹ pour $\lambda = 1550$ nm	débit maximal
Monomode	<i>Elles ne peuvent être utilisées qu'en ligne droite. Elles sont utilisées sur des longues distances.</i>	0,2	10 Gbit.s ⁻¹
Multimodes à saut d'indice	<i>Les rayons subissent des réflexions successives, leur trajet est supérieur à la longueur de la fibre.</i>	4	50 Mbit.s ⁻¹
Multimodes à gradient d'indice	<i>L'indice de réfraction varie continument entre le cœur et l'extérieur. Des rayons émis au même instant arrivent à peu près au même moment en sortie de la fibre.</i>	1	1 Gbit.s ⁻¹

IV.3. Transmission guidée par câble

Un câble est constitué d'au moins 2 fils électriques réunis dans une enveloppe. La grandeur physique transportée est une tension ou un courant électrique. Il existe 2 types de câble :

Type de câble	Utilisation	Avantages / Inconvénients	
« Torsadé »	liaisons Ethernet, téléphoniques	Ils sont sensibles au bruit et l'atténuation A y est importante et le débit numérique D est faible.	
« Coaxial »	Liaisons antenne - satellite ou hertzienne - téléviseur.	Ils ne produisent pas de rayonnement électromagnétique et sont peu sensibles au bruit.	

IV.4. Transmission libre hertzienne

Les ondes hertziennes sont des ondes électromagnétiques dont les longueurs d'onde sont comprises entre 10⁻³ m et 10⁴ m. On les classe en 2 catégories, les **micro-ondes** et les **ondes radio**.

plage de longueur d'onde	micro-ondes	
$10^{-3} \text{ m} < \lambda < 10^{-2} \text{ m}$		communication par satellites
$10^{-2} \text{ m} < \lambda < 10^{-1} \text{ m}$		Radar
$10^{-1} \text{ m} < \lambda < 1 \text{ m}$	ondes radio	télévision, téléphones portables Wifi
$10^0 \text{ m} < \lambda < 10^1 \text{ m}$		radio FM
$10^1 \text{ m} < \lambda < 10^2 \text{ m}$		radio ondes courtes
$10^2 \text{ m} < \lambda < 10^3 \text{ m}$		radio ondes moyennes
$10^3 \text{ m} < \lambda < 10^4 \text{ m}$		radio grandes ondes

La transmission hertziennne est une transmission libre entre une antenne émettrice d'OEM et une antenne réceptrice.
Intérêt : Les ondes hertziennes peuvent être reçues par des récepteurs mobiles.

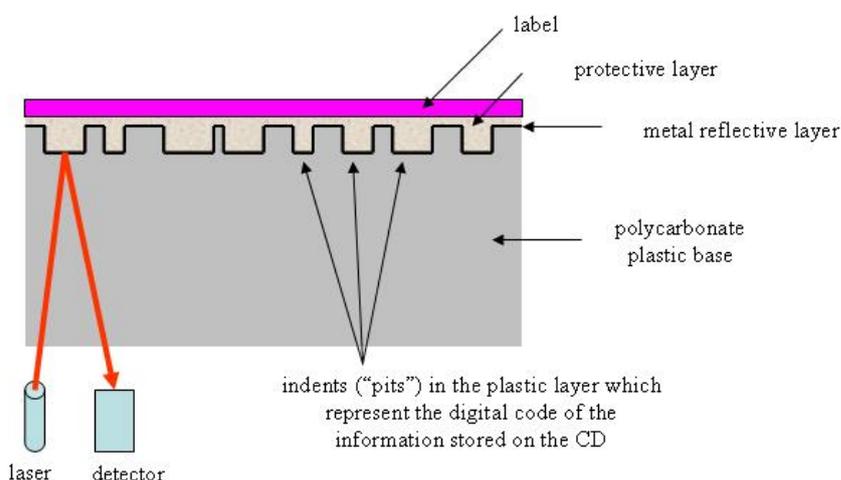
V. Stockage de l'information

V.1. Structure d'un disque optique

La figure ci-contre présente un CD pressé classique, vu « sur la tranche ».

Sur un disque optique (CD, DVD, BD) l'information numérique est stockée par une succession de creux et de plats disposés sur une piste. (*Attention ! les creux sont obtenus par pressage du disque et correspondent à des bosses sur la face lue du disque. On les appelle quand même des creux ...*)

La piste en spirale fait 5,7 km de long. La tête de lecture d'un disque optique est formée d'une diode laser et de surface réfléchissante.

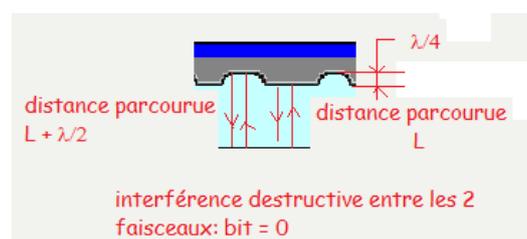
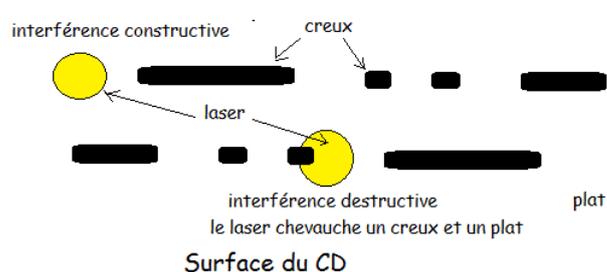


V.2. Principe du codage d'un CD

Lorsque le faisceau laser arrive sur un plat il se forme des **interférences constructives** entre les faisceaux réfléchis. Le système optique attribue une **tension haute donc un bit égal à 1**.

Lorsque le faisceau tombe sur un creux une partie de la lumière est réfléchi par le creux et une autre partie est **réfléchi par le plat**. Le laser chevauche à la fois le creux et le plat. Le creux a une profondeur égale à $\lambda/4$. La lumière qu'il réfléchit parcourt, après l'aller-retour, une distance $\lambda/2$ de plus que la lumière réfléchi par le plat. **L'interférence entre les deux faisceaux réfléchis est destructive**. Le système optique attribue la valeur **0** au bit.

Conclusion : le principe de lecture d'un disque optique est basé sur l'interférence constructive (bit = 1) ou destructive (bit = 0) des faisceaux laser réfléchis par la surface du disque.



V.2. Capacité d'un CD

Pour augmenter la capacité de stockage d'un CD, il suffit d'allonger la piste. Il faut resserrer la spirale de la piste donc diminuer la largeur des creux et des plats. Le faisceau laser doit être le plus fin possible pour ne pas intercepter deux lignes contiguës de creux et de plats. Pour un spot circulaire, le diamètre d du faisceau laser de longueur d'onde λ et d'ouverture numérique (angle d'ouverture) α est :

$$d = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{\alpha}$$

Plus la longueur d'onde est faible, plus le diamètre du rayon laser est faible. Pour un DVD Blu-ray (BD) de capacité de stockage 23 Go il sera nécessaire d'avoir un diamètre d de faisceau plus faible que pour un CD de capacité de stockage de 700 Mo.

Type de support	CD	DVD	BD
Capacité de stockage	700 Mo	4,7 Go	23 Go
Longueur d'onde utilisée	$\lambda = 780 \text{ nm}$	$\lambda = 650 \text{ nm}$	$\lambda = 405 \text{ nm}$

Conclusion : pour améliorer la capacité mémoire d'un support optique, il faut **rallonger la piste donc augmenter sa longueur de la piste**. On **diminuera la longueur d'onde du laser utilisé** et on **améliorera le système optique utilisé**.

Notions et contenus	Compétences exigibles
Chaîne de transmission d'informations	Identifier les éléments d'une chaîne de transmission d'informations. Recueillir et exploiter des informations concernant des éléments de chaînes de transmission d'informations et leur évolution récente.
Images numériques Caractéristiques d'une image numérique : pixellisation, codage RVB et niveaux de gris.	Associer un tableau de nombres à une image numérique. <i>Mettre en œuvre un protocole expérimental utilisant un capteur (caméra ou appareil photo numériques par exemple) pour étudier un phénomène optique.</i>
Signal analogique et signal numérique Conversion d'un signal analogique en signal numérique. Échantillonnage ; quantification ; numérisation.	Reconnaître des signaux de nature analogique et des signaux de nature numérique. <i>Mettre en œuvre un protocole expérimental utilisant un échantillonneur-bloqueur et/ou un convertisseur analogique numérique (CAN) pour étudier l'influence des différents paramètres sur la numérisation d'un signal (d'origine sonore par exemple).</i>
Procédés physiques de transmission Propagation libre et propagation guidée. Transmission : - par câble ; - par fibre optique : notion de mode ; - transmission hertzienne. Débit binaire. Atténuations.	Exploiter des informations pour comparer les différents types de transmission. Caractériser une transmission numérique par son débit binaire. Évaluer l'affaiblissement d'un signal à l'aide du coefficient d'atténuation. <i>Mettre en œuvre un dispositif de transmission de données (câble, fibre optique).</i>
Stockage optique Écriture et lecture des données sur un disque optique. Capacités de stockage.	Expliquer le principe de la lecture par une approche interférentielle. Relier la capacité de stockage et son évolution au phénomène de diffraction.