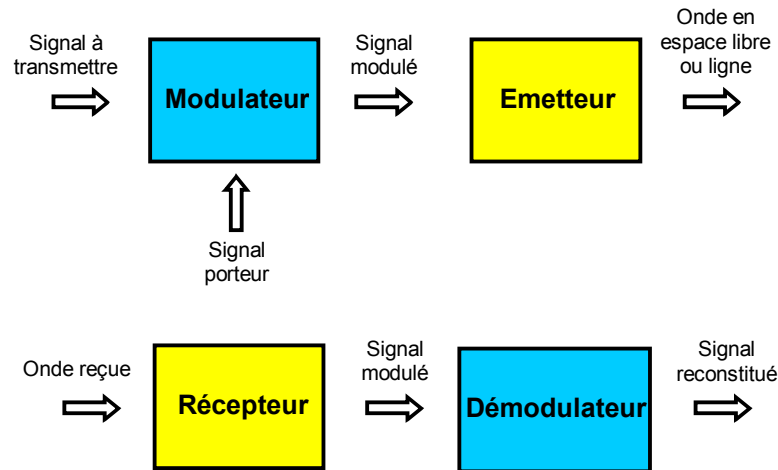


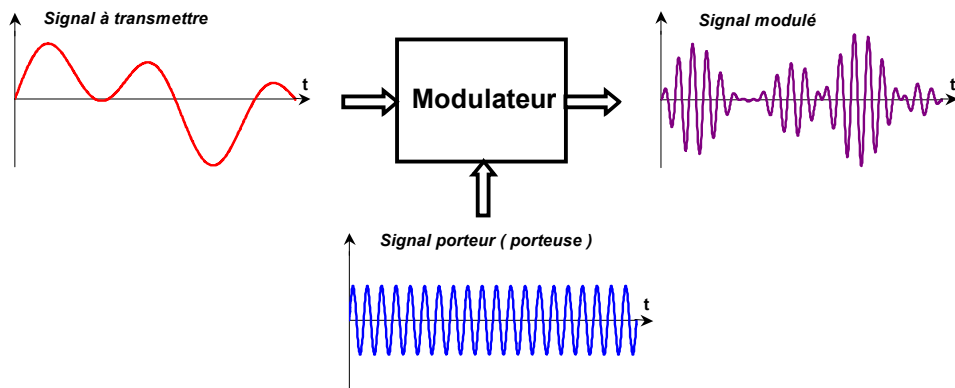
TRANSMISSION DU SIGNAL

I- GÉNÉRALITÉS SUR LA PROPAGATION

1- Organisation d'une chaîne de transmission



- Signal à transmettre : - signal analogique (audio ou vidéo)
- signal numérique (vidéo, téléphonie, données informatiques).
- Modulateur : Un signal ne peut se propager seul, il doit avoir pour support un signal porteur qui sera modulé par le signal à transmettre.



- Emetteur : C'est le dispositif qui permet la transmission, par une onde électromagnétique, du signal modulé (exemples ci-dessus)
- amplificateur + antenne (propagation dans l'espace)
- diode émettrice (propagation par fibre optique).
- Récepteur : Il reçoit des ondes électromagnétiques sélectionne et reconstitue le signal modulé transmis par l'émetteur (exemples ci-dessus)
- antenne + amplificateur (propagation dans l'espace)
- diode réceptrice (propagation par fibre optique).
- Démodulateur : Il reçoit le signal modulé provenant du récepteur pour en extraire le signal contenant l'information d'origine.

2- Milieux de transmission des ondes électromagnétiques

- Air ou vide : Les champs magnétiques et électriques se propagent à la vitesse de la lumière ($c \approx 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$).
- Câbles : La vitesse de propagation dépend de la nature de l'isolant utilisé dans la ligne
($v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$).
- Fibres optiques : Le signal porteur est une onde lumineuse qui se propage dans un guide appelé " fibre optique ".

3- Grandeurs physiques liées à la propagation

- Fréquence : C'est la fréquence f du signal porteur (sinusoïde) dont quelques exemples sont mentionnés ci-dessous :
- Canal TV 28 : 527,25 MHz pour l'image et 533,75 Mhz pour le son.
- Bande FM : de 87,5 MHz à 108 Mhz.
- Radio et TV satellite : de 10,7 GHz à 12,75 GHz.
- Période : $T = \frac{1}{f}$ avec T en (s) et f en (Hz)
- Vitesse de propagation ou célérité : C'est la vitesse v de l'onde en m.s^{-1} .
- Longueur d'onde : C'est la longueur λ en (m) d'une période de l'onde $\lambda = c.T = \frac{c}{f}$.

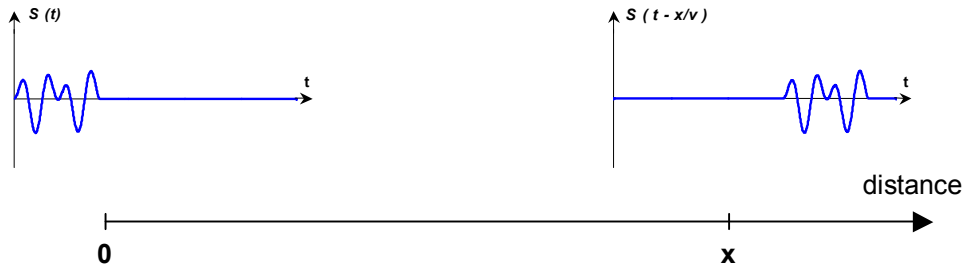
3- Expression temporelle d'un signal propagé

On considère ici un signal se propageant sans distorsion ni atténuation le long d'un axe Ox. Le signal à l'abscisse *zéro* a pour expression temporelle **s(t)**. Essayons d'établir l'expression temporelle de ce signal lorsqu'il arrive à l'abscisse **x** sachant qu'il se propage à la vitesse **v**.

Le signal atteint l'abscisse **x** avec un retard $t' = \frac{x}{v}$ l'expression du signal devient donc

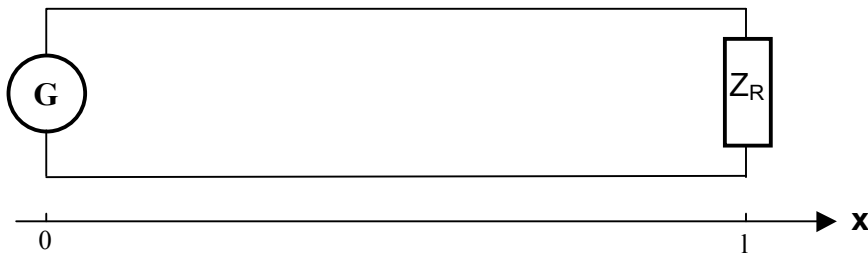
$$s(t - t') \text{ soit } s\left(t - \frac{x}{v}\right).$$

L'allure temporelle du signal à l'abscisse *zéro* puis à l'abscisse **x** est représenté ci-dessous :



II- TRANSMISSION PAR CABLES (LIGNES)

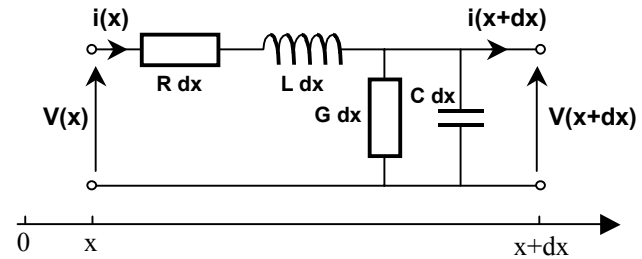
1- Modélisation de la ligne



Soit une ligne de longueur **l**, alimentée à une extrémité par un générateur HF (hautes fréquences) et fermée à l'autre extrémité sur une impédance **Z_R**.

Remarque importante : la longueur **l** de la ligne est grande devant la longueur d'onde λ du signal, la tension et le courant seront donc variables le long de la ligne.

Pour faire l'étude de la propagation le long de la ligne, il faut modéliser la ligne en la décomposant en une suite de quadripôles mis en cascade. Une très petite longueur **dx** de ligne sera équivalente au schéma ci-dessous :



- Les grandeurs **R** et **L** représentent la résistance et l'inductance du conducteur par unité de longueur (**R** en Ω/m et **L** en H/m).
- Les grandeurs **G** et **C** représentent la conductance et la "capacité" de l'isolant par unité de longueur (**G** en S/m et **C** en F/m).

2- Impédance caractéristique

Lorsque le fil est infini (pas de réflexion en bout de ligne), on définit l'impédance

caractéristique **Z_C** de la ligne :
$$Z_C = \sqrt{\frac{R + jL\omega}{G + jC\omega}}$$

Exemple : $Z_C = 50 \Omega$ pour les câbles coaxiaux BNC de laboratoire (réseau informatique).

3- Vitesse de propagation

Considérons ici que la ligne est à faibles pertes ($R \approx 0 \Omega/m$ et $G \approx 0 S/m$), on démontre

alors que la vitesse de propagation **v_p** du signal dans la ligne est :
$$v_p = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Exemple : pour un câble coaxial BNC on a mesuré $L = 257 \text{ nH/m}$ et $C = 97,5 \text{ pF/m}$.
Ce qui donne $Z_C \approx 51 \Omega$ et $v_p \approx 2.10^8 \text{ m/s}$.

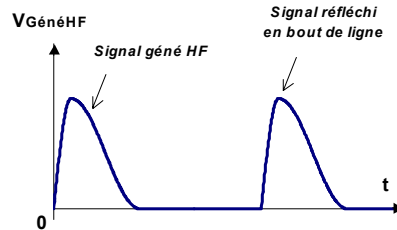
4- Adaptation d'impédance

Supposons que le générateur HF ne transmet qu'une seule impulsion sur la ligne.

■ Ligne "ouverte" ($Z_R = \infty$)

L'extrémité de la ligne est en "circuit ouvert" ce qui correspond à $Z_R = \infty$.
On constate alors une réflexion du signal en bout de ligne, ce signal réfléchi va revenir vers le générateur HF.

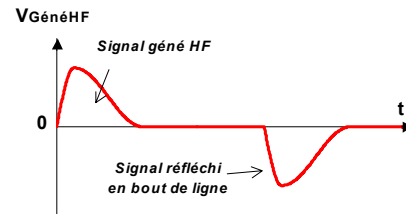
La réflexion "positive" est mise en évidence à l'oscilloscope branché aux bornes du générateur (chronogramme ci-dessous) :



■ Ligne "court-circuitée" ($Z_R = 0$)

L'extrémité de la ligne est en "court-circuit" ce qui correspond à $Z_R = 0$.
On constate alors une réflexion du signal en bout de ligne, ce signal réfléchi va revenir vers le générateur HF.

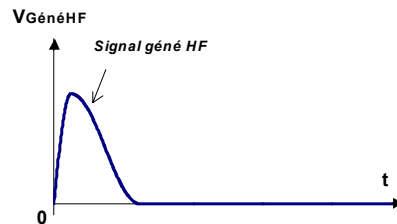
La réflexion "négative" est mise en évidence à l'oscilloscope branché aux bornes du générateur (chronogramme ci-dessous) :



■ Ligne "adaptée" ($Z_R = Z_C$)

L'extrémité de la ligne est "fermée" sur son impédance caractéristique donc $Z_R = Z_C$.
On constate alors l'absence de réflexion du signal en bout de ligne, on dit que la ligne est adaptée.

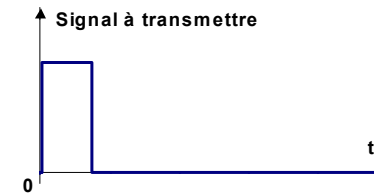
L'absence de réflexion est mise en évidence à l'oscilloscope branché aux bornes du générateur (chronogramme ci-dessous) :



Remarque : La réflexion d'un signal mal maîtrisée peut entraîner la destruction de l'émetteur. Il faudra donc adapter la ligne pour ne pas avoir de réflexion.

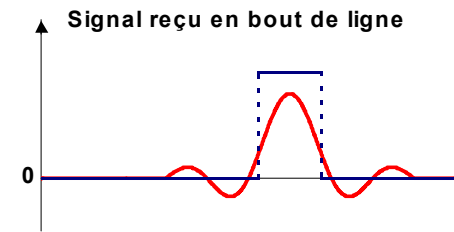
5- Affaiblissement et distorsion

Observons la transmission d'une impulsion de largeur finie (chronogramme ci-dessous) :



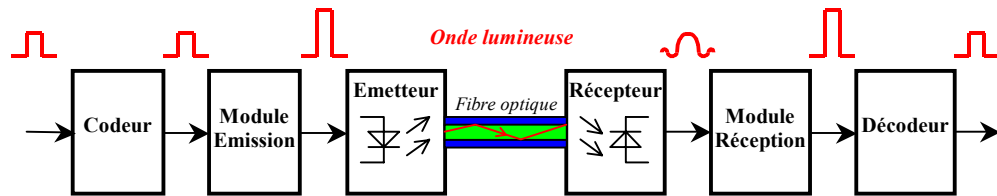
Durant la propagation dans la ligne, le signal se déforme.
Les fréquences constituant le signal sont atténuées et déphasées.

Le signal reçu en bout de ligne est représenté ci-dessous :



III- TRANSMISSION PAR FIBRES OPTIQUES

1- Schéma d'ensemble d'une liaison optique guidée



- Le codeur adapte l'information numérique à transmettre (détection d'erreur, modulation numérique).
- Le module d'émission transforme les signaux logiques en impulsions de courant d'injection.
- L'émetteur convertit les impulsions de courant en puissance lumineuse envoyée à l'entrée de la fibre optique.
- La fibre optique guide l'onde lumineuse.
- Le récepteur reçoit la puissance lumineuse et la transforme en impulsions de courant (photodiode).
- Le module de réception transforme les impulsions de courant en signaux logiques et élimine les distorsions dues à la propagation.
- Le décodeur reconstitue l'information numérique (démodulation et détection d'erreur).

Avantages de la liaison optique

- ① Isolation galvanique (pas de contact électrique entre émetteur et récepteur).
- ② Immunité au bruit (insensibles aux perturbations radio ...).
- ③ Très faible perturbation de l'environnement électromagnétique.
- ④ Grand débit d'information (bande passante élevée).

2- Notions sur la propagation de la lumière

a- Réfraction

L'indice n d'un milieu est défini par la relation :

$$n = \frac{c}{v} \quad \text{avec } c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1} \text{ (vitesse de la lumière dans le vide)}$$

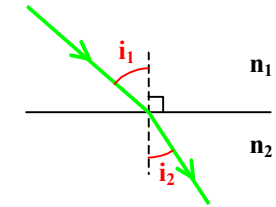
et v = vitesse de la lumière dans le milieu.

Exemples : $n = 1$ (vide ou air) ; $n \approx 1,33$ (eau) et $n \approx 1,5$ (verre ordinaire).

Loi de la réfraction (Descartes)

Un rayon incident se propageant dans un milieu d'indice n_1 vers un milieu d'indice n_2 subit une déviation (rayon réfracté) définie par la relation :

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$



i_1 est l'angle incident (angle par rapport à la normale) ;
 i_2 est l'angle réfracté (toujours par rapport à la normale).

Exemples :

- ① Calcul de i_2 pour $i_1 = 60^\circ$, $n_1 = 1$ (air) et $n_2 = 1,33$ (eau)

$$\text{Solution : } \sin i_2 = \frac{n_1}{n_2} \sin i_1 \Rightarrow i_2 = \sin^{-1} \left(\frac{1}{1,33} \sin 60^\circ \right) \approx 40,5^\circ .$$

- ② Calcul de l'indice n_2 du verre sachant que $i_1 = 48,6^\circ$; $n_1 = 1$ (air) et $i_2 = 30^\circ$

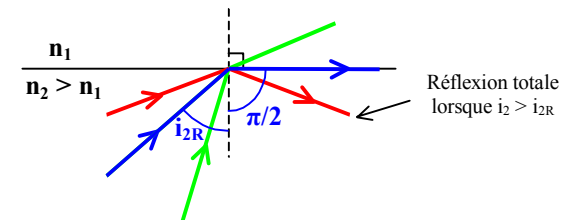
$$\text{Solution : } n_2 = n_1 \frac{\sin i_1}{\sin i_2} = 1 \times \frac{\sin 48,6^\circ}{\sin 30^\circ} \approx 1,5 .$$

b- Réflexion totale

Supposons que le rayon incident provienne du milieu d'indice le plus élevé ($n_2 > n_1$).

Augmentons l'angle i_2 jusqu'à avoir $i_1 = \pi/2$ et notons i_{2R} cet angle.

Si on augmente encore i_2 , le rayon se réfléchit complètement sur la surface de séparation des deux milieux. C'est le phénomène de réflexion totale (schéma ci-dessous).



Exemple : Calcul de l'angle minimal de réflexion totale i_{2R} pour l'eau et le verre ($n_1 = 1$)

$$\text{Solution : } \text{pour l'eau, } \sin i_{2R} = \frac{n_1}{n_2} \sin \frac{\pi}{2} \Rightarrow i_{2R} = \sin^{-1} \frac{n_1}{n_2} = \sin^{-1} \frac{1}{1,33} \approx 48,8^\circ$$

$$\text{pour le verre, } i_{2R} = \sin^{-1} \frac{n_1}{n_2} = \sin^{-1} \frac{1}{1,5} \approx 41,8^\circ .$$

3- Emetteurs optiques

a- Diodes électroluminescentes (LED ou DEL)

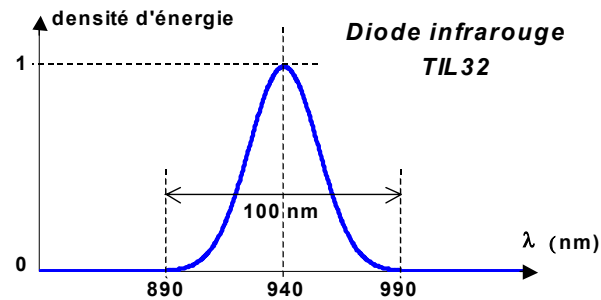
■ Principaux semi-conducteurs (classement en fonction de λ_0 longueur d'onde)

| | | | |
|--|---|-------------------------------|--|
| Si | → | $\lambda_0 = 1127 \text{ nm}$ | (infrarouge lointain) |
| GaAs | → | $\lambda_0 = 885 \text{ nm}$ | (proche infrarouge) |
| GaAs _{0,6} P _{0,4} | → | $\lambda_0 = 650 \text{ nm}$ | (rouge) |
| GaAs _{0,35} P _{0,65} | → | $\lambda_0 = 620 \text{ nm}$ | (orange) |
| GaAs _{0,15} P _{0,85} | → | $\lambda_0 = 564 \text{ nm}$ | (jaune) |
| GaPN | → | $\lambda_0 = 540 \text{ nm}$ | (vert) |
| GaN | → | $\lambda_0 = 354 \text{ nm}$ | (bleu) <i>mise au point récente.</i> |

■ Répartition spectrale de l'énergie

La courbe ci-dessous représente la répartition spectrale d'énergie pour une diode infrarouge de type TIL32 utilisée, par exemple, dans les télécommandes.

On remarque que le spectre est large, ce qui veut dire que l'énergie est répartie sur une large plage de longueur d'onde (la couleur n'est pas très "pure").



b- Diodes Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

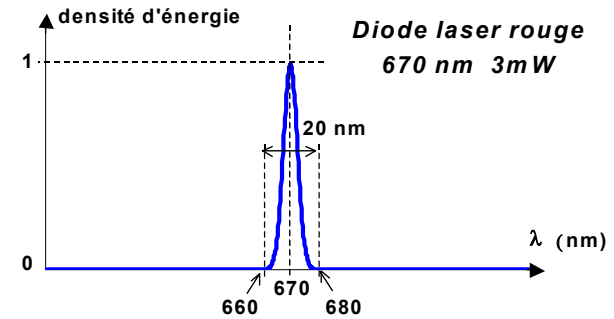
■ Principal semi-conducteur :

Le semi-conducteur utilisé est du type Ga-Al-As, il est monté en cavité résonnante. L'énergie est concentrée dans la cavité et la lumière émise est assez pure et très directrice.

■ Répartition spectrale d'énergie :

La courbe ci-dessous représente la répartition spectrale d'énergie pour une diode laser de type 670 nm (rouge) et 3mW utilisée, par exemple, pour des "visées laser" .

On remarque que l'énergie d'émission est concentrée sur une plus faible plage de longueur d'onde que pour une DEL, la couleur est donc assez "pure".



■ Utilisations :

- Télécommunications.
- Lecteurs de CD.
- Lecteurs de code-barre.
- Pointeurs optiques.

4- Récepteurs optiques

a- Photorésistances

La photorésistance est une résistance variable en fonction de l'éclairement qu'elle reçoit. Le principe est basé sur l'effet photoélectrique dans un semi-conducteur de type N.

■ Exemple : photorésistance VT 935 G

- Pointe de réponse spectrale : 550 nm (vert – jaune)
- Résistance pour $E = 10 \text{ lux}$: $\approx 10 \text{ k}\Omega$
- Résistance d'obscurité : $\approx 1 \text{ M}\Omega$
- Temps de réponse : $\approx 20 \text{ ms}$.

■ Caractéristiques générales :

- Bonne sensibilité
- Inertie élevée (temps de réponse important)
- Bruit de fond important.

La photorésistance est en général utilisée pour le contrôle automatique de luminosité (éclairage, appareils photo et caméra). Elle est très peu utilisée dans les liaisons optiques à cause de son temps de réponse élevé.

b- Photodiodes

Ce sont des diodes à jonction PN avec la région P fortement dopée. Elles sont branchées en inverse (sens bloqué) et le courant négligeable dans l'obscurité va devenir important sous éclairage de la jonction.

■ Exemple : photodiode Centronic AEPX 65 (grande vitesse)

- Plage de longueur d'onde : 400 – 1000 nm (visible + infrarouge).
- Pointe de réponse spectrale : 800 nm (rouge).
- Sensibilité ($U = 5V$ et $\lambda = 820$ nm) : 0,35 A / W.
- Temps de monté du courant photo : 1 ns.

■ Caractéristiques générales :

- Bonne sensibilité.
- Temps de réponse très faible (rapide).

La photodiode est en général utilisée dans les systèmes d'alarme, les codeurs optiques, la détection de fluctuation de lumière et la détection d'impulsions lumineuses rapides (fibres optiques).

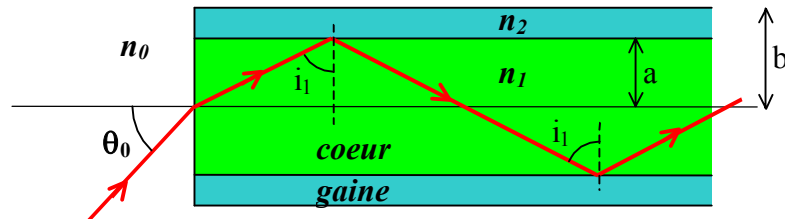
c- Phototransistor

Même caractéristiques que les photodiodes, mais avec des gains en courant compris entre 100 et 900.

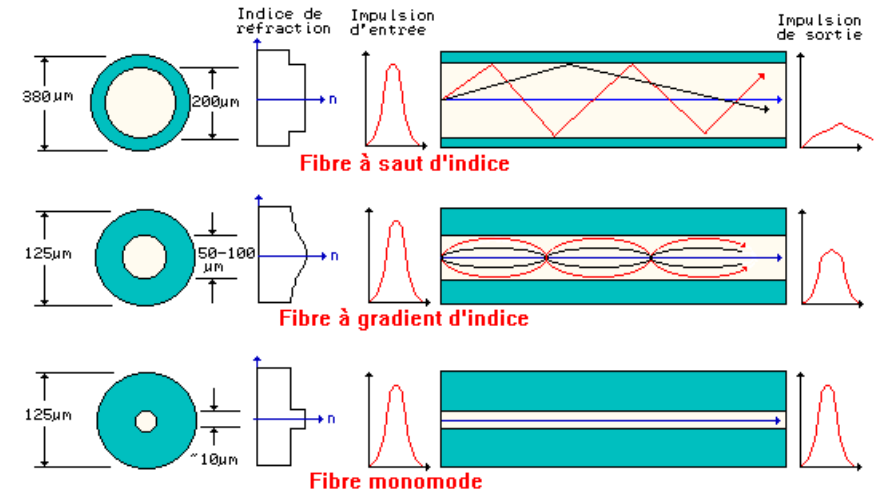
5- La fibre optique

a- Généralités

Une fibre optique est constituée par un premier milieu d'indice n_1 (cœur) entouré par un second milieu d'indice n_2 (gaine ou manteau). L'indice n_1 est supérieur à l'indice n_2 . Lorsque la lumière est injectée dans le cœur elle se propage, soit en ligne droite (monomode), soit par une succession de réflexions internes (multimode) comme l'illustre le schéma ci-dessous :



La figure ci-dessous représente les trois principaux types de fibres :



■ Les fibres multimodes à saut d'indice :

- Diamètre du cœur : 100 à 600 μm .
- Bande passante : 10 à 50 MHz.km.
- Affaiblissement à 850 nm : ≤ 5 dB / km.

⇒ Utilisée pour des liaisons jusqu'à 2 km, avec un débit maximal de 50 M bits/s .

■ Les fibres multimodes à gradient d'indice :

- Diamètre du cœur : 100 μm .
- Bande passante : 500 MHz.km.
- Affaiblissement à 850 nm : < 5 dB / km.

⇒ Utilisée pour des liaisons longues, avec un grand débit : 150 M bits/s .

■ Les fibres monomodes :

- Diamètre du cœur : 10 μm .
- Bande passante : plusieurs GHz.km.
- Affaiblissement à 850 nm : 2 dB / km.

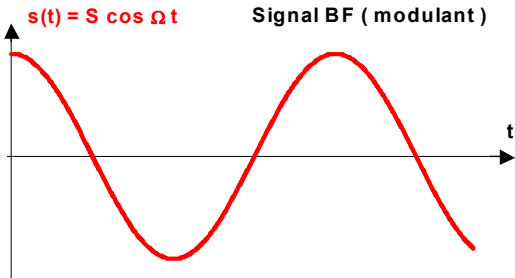
⇒ Utilisée pour des liaisons longues, avec un haut débit : 500 M bits/s .

IV- MODULATION D'AMPLITUDE ET MODULATION DE FRÉQUENCE

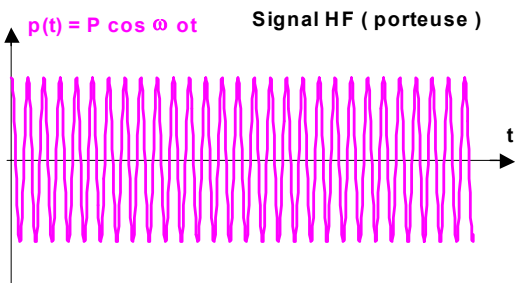
1- Modulation d'amplitude (AM)

a- Expression temporelle du signal modulé en amplitude

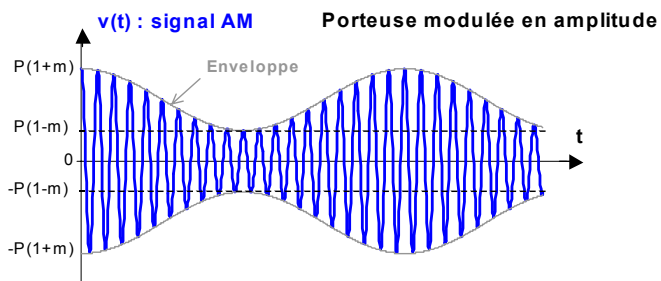
- Signal basse fréquence BF contenant l'information :



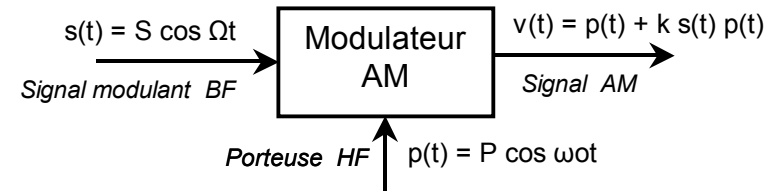
- Signal haute fréquence HF (porteuse) :



- Signal AM (porteuse modulée en amplitude par le signal BF) :



La modulation d'amplitude est essentiellement une opération de multiplication :



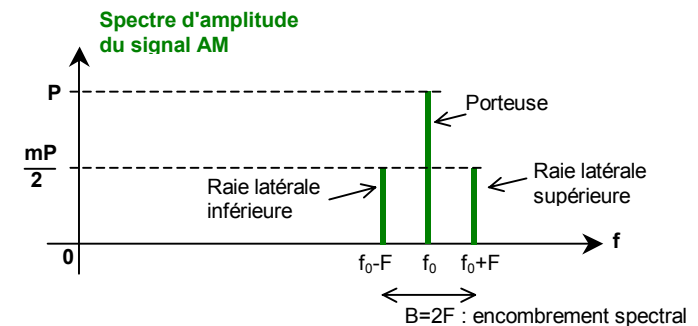
On a $v(t) = p(t) + k s(t) p(t) = (1 + k s(t)) p(t) = (1 + k.S \cos \Omega t) p(t)$
 $v(t) = (1 + m \cos \Omega t) p(t)$ avec $m = k.S$

Définition : Dans l'expression du signal AM : $v(t) = (1 + m \cos \Omega t) p(t)$, la constante **m** est appelée **indice de modulation**.

b- Spectre du signal AM

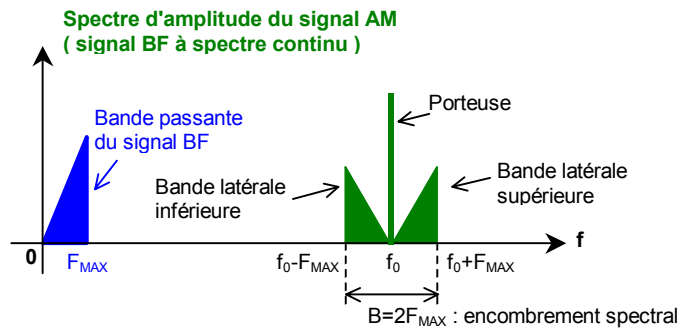
Expression de $v(t)$: $v(t) = (1 + m \cos \Omega t) p(t) = (1 + m \cos \Omega t) P \cos \omega_0 t$
 $v(t) = P \cos \omega_0 t + mP \cos \Omega t \cos \omega_0 t$
 $v(t) = P \cos \omega_0 t + \frac{mP}{2} \cos(\omega_0 - \Omega)t + \frac{mP}{2} \cos(\omega_0 + \Omega)t$

Pour un signal BF sinusoïdal, il apparaît dans le signal AM, trois composantes spectrales de fréquences respectives f_0 ; $f_0 - F$ et $f_0 + F$ (avec $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$ et $F_0 = \frac{\Omega_0}{2\pi}$).



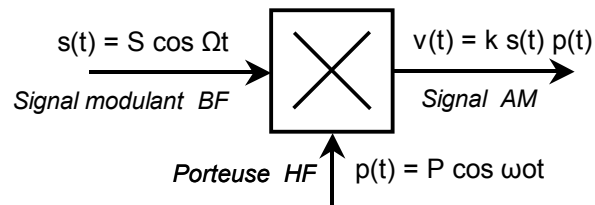
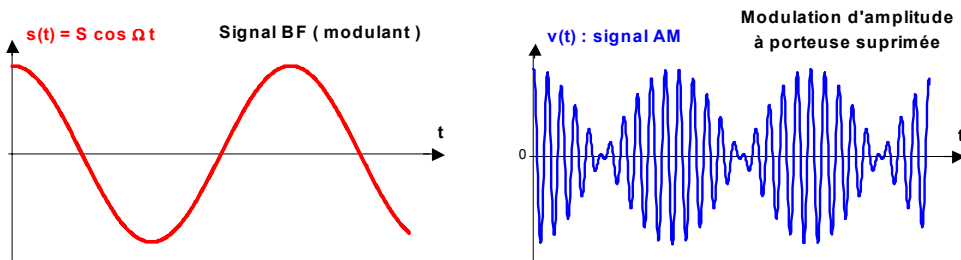
Lorsque le signal BF est sinusoïdal, le spectre du signal AM est composé d'une raie à la fréquence f_0 (porteuse) et de deux raies latérales de fréquences respectives $f_0 - F$ et $f_0 + F$. La largeur spectrale du signal AM est donc égal à $2F$.

Remarque : Le signal BF est en général un signal composé d'un grand nombre de fréquences (spectre continu).
La modulation a permis de déplacer le spectre du signal BF autour de la fréquence de la porteuse pour permettre la transmission (figure ci-dessous) :



c- Principe de modulation

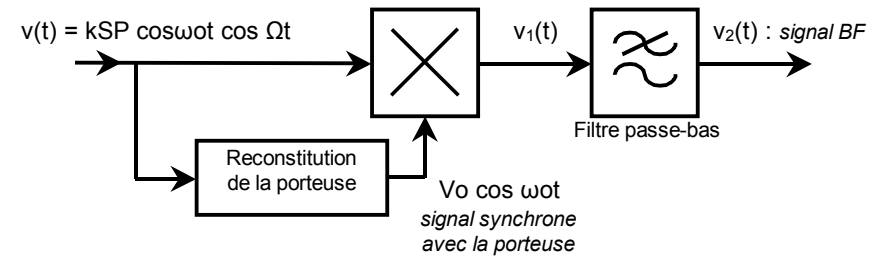
On peut effectuer une modulation AM par multiplication du signal modulant et de la porteuse.



Remarque : Ce procédé se nomme *modulation d'amplitude à porteuse supprimée*. La puissance de l'émetteur sert uniquement pour transmettre le signal contenant l'information (absence de la raie "porteuse" dans le spectre).

d- Démodulation d'un signal AM à porteuse supprimée

Le principe est simple, il suffit de multiplier le signal AM par la porteuse et ensuite effectuer un filtrage passe-bas (figure ci-dessous) :



A la sortie du multiplicateur, de constante k_1 on obtient :

$$v_1(t) = k_1 k S P V_0 \cos^2 \omega_0 t \cos \Omega t$$

$$v_1(t) = \frac{k_1 k S P V_0}{2} (1 + \cos 2\omega_0 t) \cos \Omega t$$

Le signal $v_1(t)$ a donc trois composantes sinusoïdales :

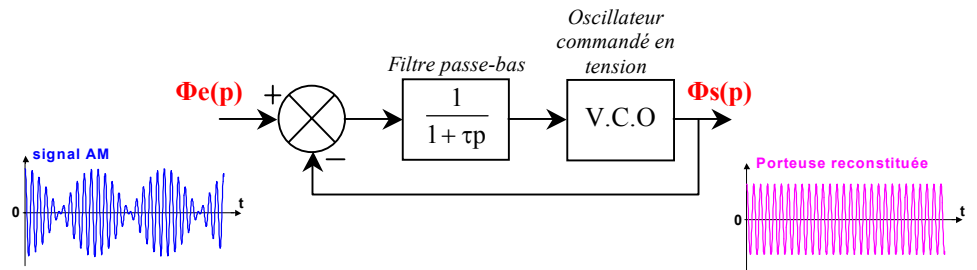
$$v_1(t) = \frac{k_1 k S P V_0}{2} \cos \Omega t + \underbrace{\frac{k_1 k S P V_0}{4} [\cos(2\omega_0 - \Omega)t + \cos(2\omega_0 + \Omega)t]}_{\text{composantes HF}}$$

Le filtre passe-bas élimine les composantes HF d'où :

$$v_2(t) = \frac{k_1 k S P V_0}{2} \cos \Omega t = K \cdot s(t) \quad \text{avec} \quad K = \frac{k_1 k P V_0}{2}$$

Reconstitution de la porteuse :

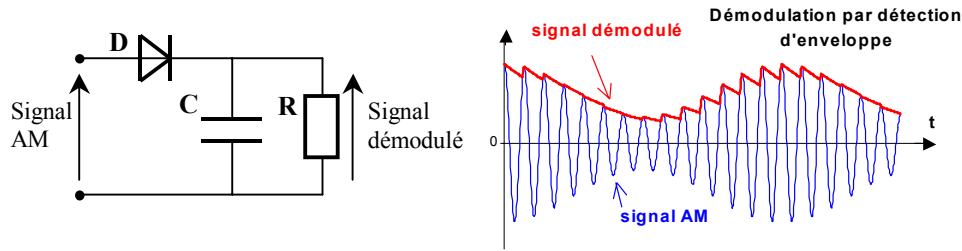
La difficulté consiste à reconstituer une porteuse absente dans le signal de réception. On utilise pour cela une boucle à verrouillage de phase (PLL) dont le principe est résumé dans le schéma ci-dessous :



Grossièrement, on peut dire que la PLL n'est sensible qu'à la phase (fréquence) et non à l'amplitude. Le signal en sortie sera donc d'amplitude constante et à la fréquence de la porteuse.

e- Démodulation par détection d'enveloppe

Dans le cas d'une modulation avec porteuse, la démodulation peut se faire à l'aide de composants discrets : une diode de redressement rapide et un condensateur.



Les conditions nécessaires pour une démodulation correcte sont :

- $m < 1$
- $\omega \gg \Omega$ (au moins 100 fois plus grand).

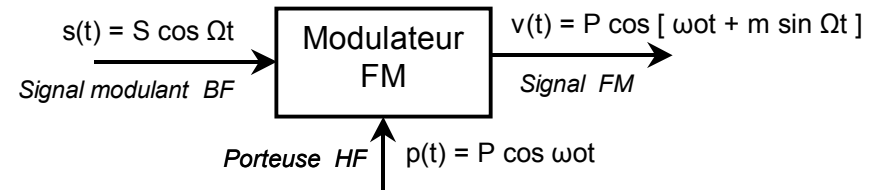
En pratique, les réglages suivants sont utilisés :

- $f = f_i = 455 \text{ kHz}$ (fréquence intermédiaire)
- $m \approx 70 \%$
- $F_{MAX} = 5 \text{ kHz}$
- La constante de temps $\tau = RC$ doit être petite devant $T = 2\pi / \Omega$.
- Pour filtrer la haute fréquence, τ doit être grande devant $T_{porteuse} = 2\pi / \omega$.

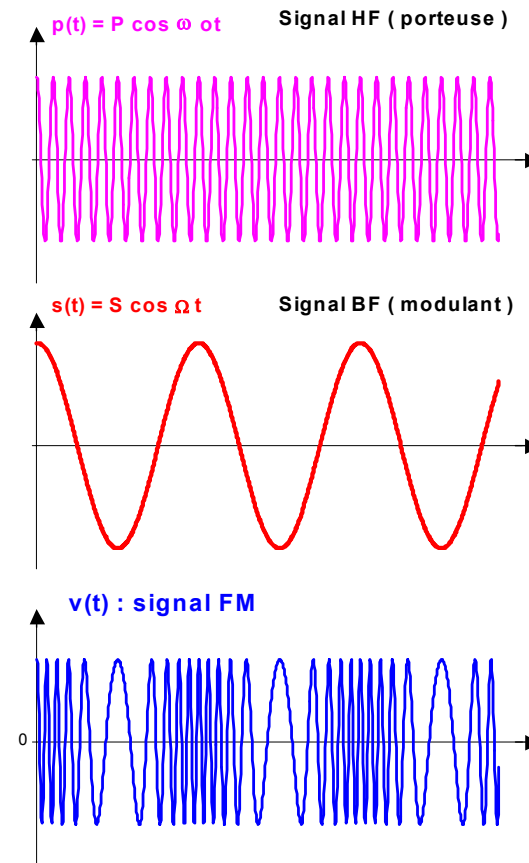
→ En pratique, on pourra prendre $\tau = \frac{1}{\sqrt{F_{MAX} \cdot f_i}}$.

2- Modulation de fréquence FM

a- Expression temporelle du signal FM



Chronogrammes :



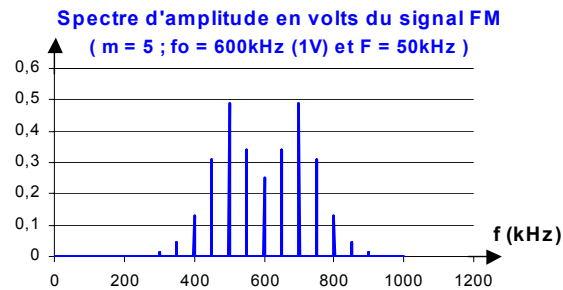
Fréquence instantanée de v(t) :

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} [\omega_0 t + m \sin \Omega t] \\ &= \frac{\omega_0}{2\pi} + \frac{m\Omega}{2\pi} \cos \Omega t \\ &= f_0 + mF \cos \Omega t \\ &= f_0 + \Delta f \cos \Omega t \end{aligned}$$

avec $\Delta f = mF$, excursion en fréquence du signal FM.

La fréquence de la porteuse varie en fonction de l'amplitude du signal BF.

b- Spectre du signal FM



Remarque : Plus l'indice m est grand, plus l'encombrement spectral est élevé.

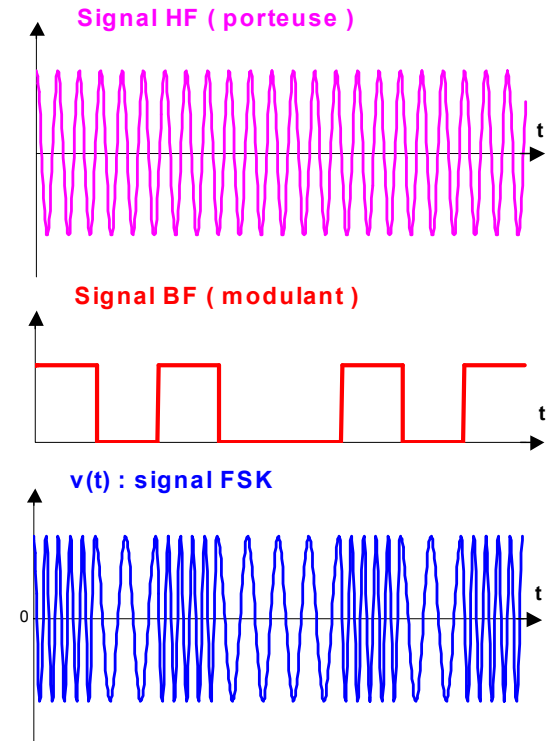
Règle de Carson : La bande passante B nécessaire pour transmettre un signal FM, d'excursion de fréquence Δf et modulé par un signal sinusoïdal de fréquence F, est donné par la formule :
 $B \approx 2 (F + \Delta f) = 2F (1 + m)$.

La modulation de fréquence en pratique :

- ① Emission dans la bande CB : $f_0 = 27 \text{ MHz}$; $F \approx 4 \text{ kHz}$ et $B = 10 \text{ kHz}$ ($m \approx 0,25$).
 \Rightarrow Emission à faible excursion de fréquence ($\Delta f \approx \pm 1 \text{ kHz}$).
- ② Emission dans la bande FM : $f_0 = 100 \text{ MHz}$; $F \approx 20 \text{ kHz}$ et $B \approx 200 \text{ kHz}$ ($m \approx 4$).
 \Rightarrow Emission à excursion de fréquence moyenne ($\Delta f \approx \pm 75 \text{ kHz}$).
- ③ Emission satellite : $f_0 = 10 \text{ GHz}$; $F \approx 8 \text{ MHz}$ et $B \approx 30 \text{ MHz}$ ($m \approx 1$).
 \Rightarrow Emission à excursion de fréquence élevée ($\Delta f \approx \pm 8 \text{ MHz}$).

c- Cas particulier : la modulation FSK

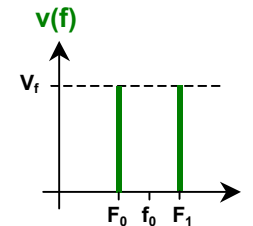
- **Définition :** Le signal modulant s(t) est un signal numérique (Fréquence Shift Keying)
- **Expression temporelle :** (T_B sera la période du signal numérique)



$v(t) = V \sin [2\pi (f_0 + m(t) \Delta f) t]$ avec $m(t) = +1 \text{ bit } 1$ ou $m(t) = -1 \text{ bit } 0$.

Donc si $m = +1$ $v(t) = V \sin [2\pi (f_0 + \Delta f) t] = v_1(t)$
 et si $m = -1$ $v(t) = V \sin [2\pi (f_0 - \Delta f) t] = v_2(t)$.

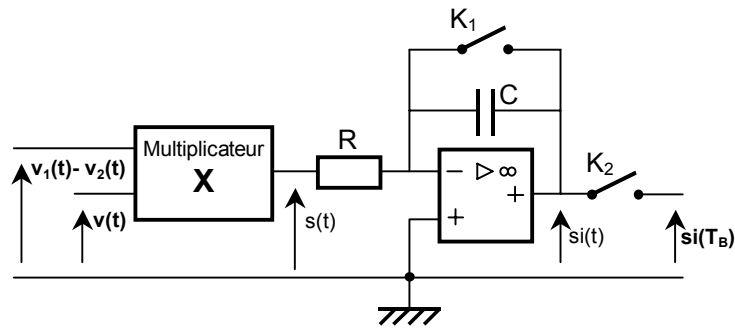
■ **Spectre**



$F_1 = f_0 + \Delta f$ et $F_0 = f_0 - \Delta f$.

En réalité, les raies ont la largeur $2 / T_B$.

■ Démodulation (réception)



Le schéma de principe du démodulateur est représenté ci-dessus :

Le multiplicateur permet de "décaler" le spectre de $v(f)$.
L'ADI monté en intégrateur sera initialisé au début de chaque motif (fermeture brève de l'interrupteur K_1).
L'interrupteur K_2 joue le rôle d'échantillonneur bloqueur et termine la reconstitution du signal numérique.

IV TRANSMISSIONS A MODULATION DIGITALE (MIC)

1- Introduction

Dans les modulations AM et FM déjà étudiées, l'information était véhiculée par un signal haute fréquence sinusoïdal (porteuse).

Dans la modulation digitale, le signal transportant l'information sera de type impulsionnel (digital).

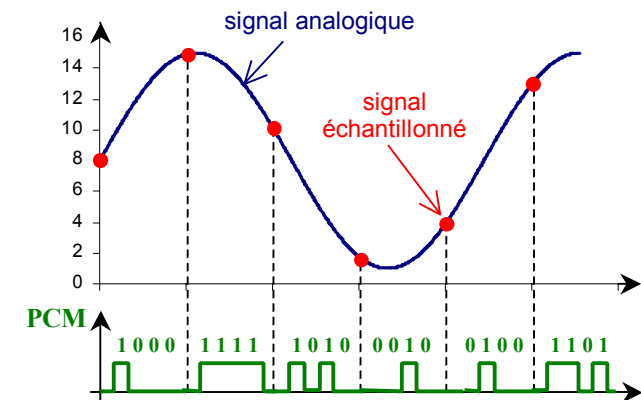
2- Transmission de mesures

Quand le capteur est éloigné du système d'acquisition, on transmet directement les données du signal numérisé.

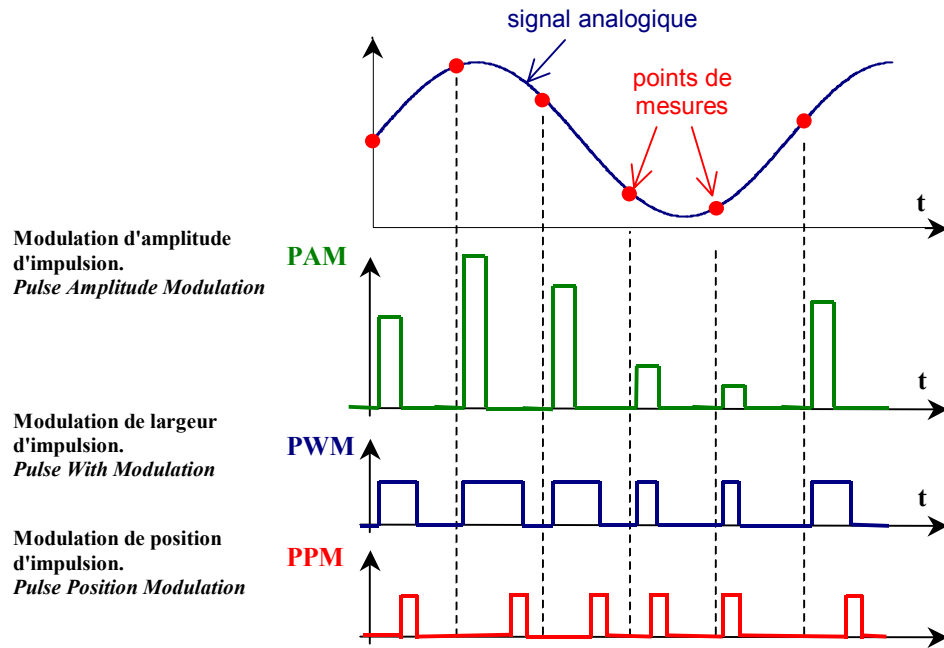
Le signal est donc convertit par un CAN et ce sont les données numériques qui sont transmises en série.

On parle alors transmission en bande de base ou PCM (Pulse Code Modulation).

Le schéma ci-dessous illustre une transmission de type PCM :



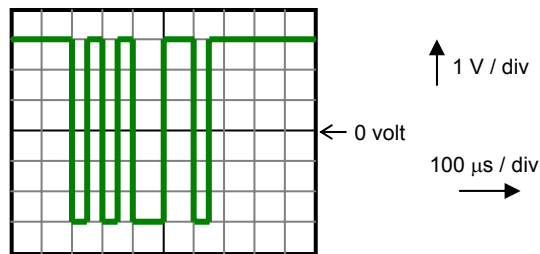
Autres exemples de modulations d'impulsions :



3- Exemple de transmission numérique : la liaison RS 485

La liaison série RS 485 s'effectue sur deux fils et peut atteindre plusieurs centaines de mètres.

L'oscillogramme ci-dessous correspond à la transmission d'un octet.



L'observation de l'oscillogramme nous permet d'en déduire les caractéristiques de la liaison RS 485 :

- ① Le "0" logique correspond à une tension de +3V (ligne au repos).
- ② Le "1" logique correspond à une tension de -3V.
- ③ 9 bits sont transmis, il y a donc un bit de start de niveau logique "1" (le plus à gauche)
- ④ La transmission d'un bit dure 50 μ s, ce qui donne une fréquence de 20 000 bits/s .
La valeur exacte est 19200 bits/s ou 19200 bauds.

Les valeurs normalisées de vitesse transmissions sont : 300 ; 600 ; 1200 ; 2400 ; 9600 ou 19200 bauds.

Une autre propriété de cette liaison est de transmettre en premier le bit de poids faible.

L'octet transmis dans notre exemple est donc : [1 0 0 1 1 0 1 0].