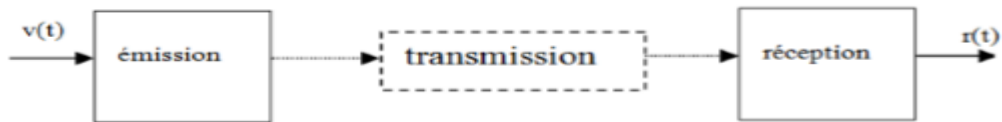


La transmission



1) Définition:

On définit le débit binaire de la transmission: c'est le nombre de bits transmis par seconde.

$$D = \frac{1}{T_B}$$

en bit/s (ou bps) et T_B : durée d'un bit en seconde

Exemples : si $T_B = 104 \mu s$ $D = 9,6 \text{ kbit/s}$

On parle aussi de la rapidité de la transmission : $R = \frac{1}{T_s}$ en bauds/s avec T_s , la durée d'un symbole. Le débit binaire peut alors s'écrire :

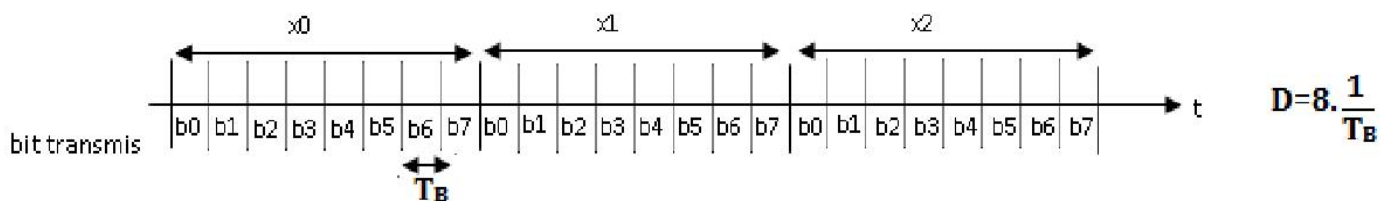
$D = \text{nombre de symboles par seconde} \times \text{nombre de bits par symbole}$

$$D = n \times R$$

Exemples : si $T_B = 0,665 \mu s$ $D = 1,5 \text{ Mbit/s}$

2) Transmission:

Les n bits forment des symboles et sont transmis directement ou par l'intermédiaire d'une porteuse modulée, dans un canal de transmission (câble, fibre optique ou voie hertzienne). Ils sont transmis en série successivement en commençant soit par le bit le plus faible soit par le bit le plus fort b_{n-1} ,



	Fréquence d'échantillonnage	codage	Débit
Son en qualité téléphonique: $f_{\max} = 3.4 \text{ kHz}$	$f_e = 8 \text{ kHz}$	8bits	$D = 8 \times 8000 = 64 \text{ kbit/s}$
Son en qualité hi-fi : $f_{\max} = 20 \text{ kHz}$	$f_e = 44.1 \text{ kHz}$	16 bits	$D = 2 \times 16 \times 44100 = 1.41 \text{ Mbit/s}$

3) Caractéristiques d'une transmission numérique.

Débit : Le débit doit être le plus grand possible pour permettre une transmission de données la plus rapide possible. Pour augmenter le débit binaire, il faut :

-diminuer la durée T_s d'un symbole. -augmenter le nombre de bits par symbole.

Remarques: Le débit est limité par le canal de transmission (bande passante, atténuation). Si on augmente le débit : on augmente aussi les risques d'erreur à la réception.

Encombrement spectral : L'encombrement spectral du signal à transmettre doit être le plus faible possible surtout dans le cas d'une transmission hertzienne (bande d'émission restrictive).

Il dépend du type de codage utilisé et est proportionnel à $1/T_s$.

L'encombrement spectral du signal augmente avec le débit !

Taux d'erreur binaire (TEB) ou BER (bits error ratio) : C'est nombre de bits erronés sur le nombre total de bits transmis.

Les erreurs peuvent être dues à des perturbations ou aux déformations subies par le signal pendant sa propagation. Pour détecter les erreurs on peut placer à la suite d'une série de bits, un bit de parité ou un CRC (contrôle cyclique de redondance)...

Le nombre de bits effectivement transmis est alors plus grand que celui du signal lui-même.

Le TEB varie en pratique de 10^{-4} (transmissions téléphoniques) et est inférieur à 10^{-9} dans le cas des transmissions par fibre optique. Pour un TEB $> 2 \cdot 10^{-4}$, la réception vidéo est dégradée (mosaïque, gel d'image, coupure de son)

4) Canal de transmission

On utilise un canal de transmission pour transmettre l'information par:

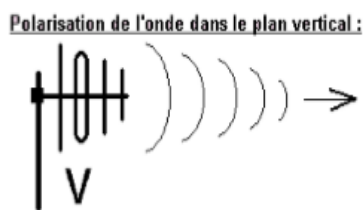
-propagation libre: dans l'air -propagation guidée: dans un câble de cuivre, une fibre optique.

Le canal de transmission peut être caractérisé par:

- sa bande passante (atténuation en sortie de canal)
- son temps de propagation (la vitesse de propagation de l'information dépend du canal)
- la présence de bruit

- Transmission à l'air libre

La tension modulée est transformée en ondes hertziennes (la porteuse) par l'intermédiaire d'une antenne. L'onde électromagnétique émise par l'antenne est formée par un champ électrique \vec{E} et un champ magnétique \vec{B} qui vibrent à une fréquence f . Elle se propage à la célérité $c = 3 \cdot 10^8$ m/s (dans le vide) dans la direction perpendiculaire au plan formé par les vecteurs \vec{E} et \vec{B}



Une antenne de réception permet de capter une partie des ondes émises. Il y a dispersion dans toutes les directions de la puissance rayonnée par l'antenne. La puissance recueillie par l'antenne de réception est très faible. Cette dispersion est limitée si on utilise des antennes directives.


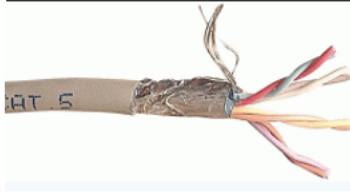
L'atténuation de l'onde en espace libre entre deux antennes est donnée par:

$$At = 10 \log \left(\frac{P_e}{P_s} \right) = 10 \log \left(\frac{4\pi D}{\lambda} \right)^2 \text{ en dB}$$

Exemples : Pour $D = 10$ m sur une porteuse de fréquence 2,4 GHz : $At = 60$ dB, $P_s = 10^{-6} \cdot P_e$,

$D = 100$ m sur une porteuse de fréquence 2,4 GHz : $At = 80$ dB, $P_s = 10^{-8} \cdot P_e$,

- Transmission dans un câble (bifilaire ou coaxial)

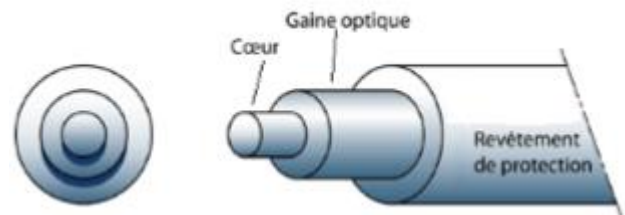
<h3>Câble coaxial</h3>  <ul style="list-style-type: none"> Grâce à son blindage, le câble coaxial peut être utilisé sur des longues distances et à haut débit support : télévision son impédance est de 50 ou 75Ω bande passante : entre 10MHz et 100Mhz sur une distance maximum de 500m. 	<h3>Câble à paire torsadée</h3>  <ul style="list-style-type: none"> le câble à paire torsadée (en anglais <i>Twisted-pair cable</i>) est constitué de deux brins de cuivre entrelacés en torsade et recouverts d'isolants. Il peut être blindé ou non. l'impédance du câble est autour de 100Ω. support: téléphone et LAN (RJ45 et RJ11) bande passante: de 100MHz et un débit maximum de 100Mbits/s sur 100m.
---	--

La transmission n'est pas instantané et elle dépend de la longueur du câble: L'onde de tension arrive en B avec un retard $\Delta t = L/v$ (temps de propagation).

Pour une onde de fréquence $f = 1\text{MHz}$ câble de 100m $\Delta t = 500 \text{ ns}$ (réseau) câble 1m $\Delta t = 3,3 \text{ ns}$ (informatique)

- Transmission dans une fibre optique

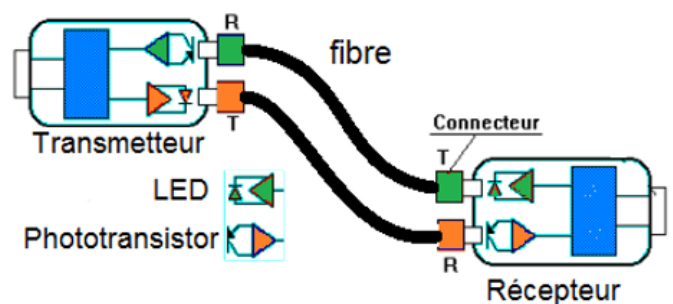
Une fibre optique est un fil cylindrique en silice ou en plastique très fin. C'est un guide d'onde qui exploite les propriétés réfractrices de la lumière. Celle-ci est constituée d'un cœur d'indice de réfraction légèrement plus élevé que celui de la gaine ce qui empêche le rayon lumineux de sortir du cœur.



La vitesse de propagation de l'onde dans la fibre optique est proche de $2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ($v=c/n$). Elle offre un débit d'information nettement supérieur à celui des câbles allant jusqu'à 50 Gbit/s avec une bande passante dépassant 10GHz.

Un transmetteur optique est utilisé pour convertir les impulsions électriques de la tension $v(t)$ issue du codage, en impulsions lumineuses avec une DEL (diode électroluminescente). Ces impulsions sont lues par un phototransistor ou une photodiode au bout de fibre.

- Les DELs fonctionnent dans le rouge visible à 850nm.
- Les diodes à infrarouges émettent dans l'invisible à 1300nm.
- les diodes laser émettent entre 1300 et 1550nm.



La taille et le poids réduit des câbles à fibres optiques (jusqu'à 600 fibres par câble) permettent des poses d'un seul tenant pouvant dépasser 4800m contre seulement 300 m avec un câble coaxial en cuivre

5) Quelques exemples de débits

Transmission par liaison hertzienne TNT :

TNT : Norme DVB-T Canaux 21 à 69, de largeur 8 MHz répartis dans la bande UHF : 470 MHz à 862 MHz Modulation OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) : modulation d'amplitude et de phase QAM sur 6817 porteuses réparties dans chaque canal. Débit moyen par chaîne : **4 Mbit/s**

Wifi : Liaison hertzienne en OFDM (modulation d'amplitude et de phase QAM sur 52 porteuses réparties dans un canal de largeur 22 MHz). Débit : jusqu'à **100 Mbit/s**

Bluetooth : Connexion d'équipements sans fil de courte distance (quelques dizaines de m) Liaison hertzienne sur des fréquences porteuses comprises entre 2.4 GHz et 2.4835 GHz. Modulation de fréquence FSK à 2 symboles (79 canaux dont les porteuses sont espacées de 1 MHz). Débit : **1 Mbit/s**

Transmission par câble :

USB: Universal Serial Bus (Bus universel en série) est une norme relative à un bus informatique en transmission série qui sert à connecter des périphériques informatiques à un ordinateur.

USB 1.0: :	1,5 Mbit/s ou 0,19Mo/s (clavier informatique)
USB 2.0:	480 Mbit/s ou 60Mo/s (HDD externe)
USB 3.0:	5 Gbit/s ou 600Mo/s
USB 3.1	10Gbits/s

Réseau Ethernet : Débit: 10 Mbit/s ; 100 Mbit/s ; 1 Gbit/s

ADSL (asymmetric digital subscriber line): Transmission de données informatiques sur fréquence porteuse utilisant les câbles de transmission téléphonique. La bande passante du câble est divisée en 256 canaux de largeur 4.2 kHz entre 26 kHz et 1.1 MHz. Modulation QAM (amplitude et phase).

Débit théorique : 60 kbit/s par canal Transmission montante : $D = 1,44$ Mbit/s Transmission descendante : $D = 13$ Mbit/s

Les débits maximum dépendent essentiellement de la distance effective entre l'abonné et le commutateur. Au delà de 4 km, l'atténuation joue un rôle prépondérant. En ADSL, l'affaiblissement est mesuré pour une fréquence de 300 kHz. L'affaiblissement total maximum admissible est d'environ 60 dB, si l'affaiblissement est supérieur à cette valeur, la ligne n'est pas "éligible"

Transmission par fibre:

Liaison transocéanique Le débit atteint en 2009 sur une fibre transatlantique de 7000km : 15500 Gbit/s réalisé en envoyant 155 impulsions de longueurs d'onde moyenne différentes par multiplexage. Cela représente 100 Gbit/s pour un type d'impulsion sur 7000 km, soit tout de même 700 000 Gbit/s.km. Une telle fibre permet de transmettre 400 DVD en une seconde à travers l'atlantique.

Internet Fibre de bout en bout : 100Mbit/s. Fibre câblée sur le réseau actuel : proche de 30 Mbits/s

En résumé:

- Pour les applications exigeant de hauts débits et des transmissions sur de grandes distances on utilise la fibre optique monomode et le multiplexage permet d'augmenter le débit par le nombre de longueurs d'onde utilisées.
- Réseaux informatiques : fibre optique multimode
- Pour les courtes distances (raccordements téléphoniques des particuliers) : cuivre
- Pour les communications entre mobiles : liaisons hertziennes