

Techniques de transmission numérique

L.ZIAD

Plan

- Techniques de transmission numérique.
 1. L'information et sa présentation.
 2. Les circuits et les liaisons de données.
 3. Les circuits et les modes de transmission.
 4. Les supports de transmission.

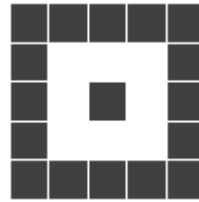
Introduction

- Le terme **informatique** provient d'*information* et d'*automatique*, l'informatique étant le traitement automatique de l'information.
- Un **réseau** est une organisation de voies de communication entre différentes entités. Cette définition est générale et peut s'appliquer par exemple aux réseaux routiers, ferroviaires, de télécommunications, . . . Les entités qui communiquent au sein d'un réseau informatique sont des ressources informatiques dont on distingue deux types :
 - – **les ressources matérielles** : ordinateur, imprimante, scanner, . . . qui sont des composants de traitement, les modems, cartes réseaux, commutateurs, routeurs, câbles, . . . qui sont des composants de transmission.
 - – **les ressources logicielles** : applications informatiques, jeux, bases de données, . . .

1. L'information et sa présentation.

a) Quelle information représenter ?

- Supposons qu'une machine veut envoyer à une autre l'image suivante :



- Après avoir convenu de la taille de cette image et de l'ordre d'envoi des éléments la constituant. La description se fera, par exemple, carré par carré, ligne par ligne, en commençant en haut à gauche, pour finir en bas à droite. Il est en effet impossible d'envoyer l'image telle quelle sans la coder. La séquence de couleurs à envoyer est donc (en notant blanc B et noir N) :



- NNNNN NBBBN NBNBN NBBBN NNNNN

NNNNN NBBDN NBNBN NBBDN NNNNN

- Une manière de coder la couleur de chaque carré consiste à associer une valeur à chaque couleur possible.
 - 1 à B (le pixel sur l'écran est allumé)
 - 0 à N (le pixel est éteint).
- La suite de chiffres codant l'image est alors :
00000 01110 01010 01110 00000

b) Représentation des données

- Les données informatiques sont représentées par des suites de nombres. Ces nombres sont écrits en binaire (c'est-à-dire en base 2). En base 2, on n'utilise que les chiffres 0 et 1.
- L'utilisation de la base 2 garantit de pouvoir représenter un état stable d'un système physique, par exemple :
 - circuit électrique ouvert/fermé
 - carte perforée avec un trou/sans trou
 - . . .

c) Unités utilisées

Définition 1 (bit)

- Un symbole binaire (donc en base 2) est appelé un bit (binary digit).
- 1 bit permet de coder 2 états :
 - 0 et 1 ;
- 2 bits permettent de coder 4 états :
 - 00, 01, 10 et 11 ;
- 3 bits permettent de coder 8 états :
 - 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110 et 111 ;
- ...
- **n** bits permettent de coder 2^n états.

Définition 2 (octet)

- Une suite de 8 bits est appelée un octet.
- Attention, en anglais le bit est appelé bit, alors que l'octet est appelé **byte** !
- Les unités multiples des bits et des octets sont décrites dans les Tableaux suivants :

Unité	Symbole	Valeur (bits)
kilo-bit	Kb	$10^3 = 1\,000$
méga-bit	Mb	$10^6 = 1\,000\,000$
giga-bit	Gb	$10^9 = 1\,000\,000\,000$
téra-bit	Tb	$10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000$

Unité	Symbole	Valeur (octets)
kibi-octet	Ko	$2^{10} = 1\,024$
mébi-octet	Mo	2^{20}
gibi-octet	Go	2^{30}
tébi-octet	To	2^{40}

Les unités multiples des bits et des octets

- Le nombre de bits nécessaires pour coder P symboles est donc :
- $n = \log_2 P$
- Valence d'un symbole : C'est le nombre maximal d'états différents que peut prendre un symbole.
- n représente la quantité d'informations (Q) apportée par la connaissance d'un état du système.
- Si l'information est représentée par deux valeurs équiprobables (0 ou 1, pile ou face) la quantité d'information exprimée en Shannon ou plus simplement en bit est :
- $Q = \log_2 1/p$ (p est la probabilité d'apparition)

Exemple1

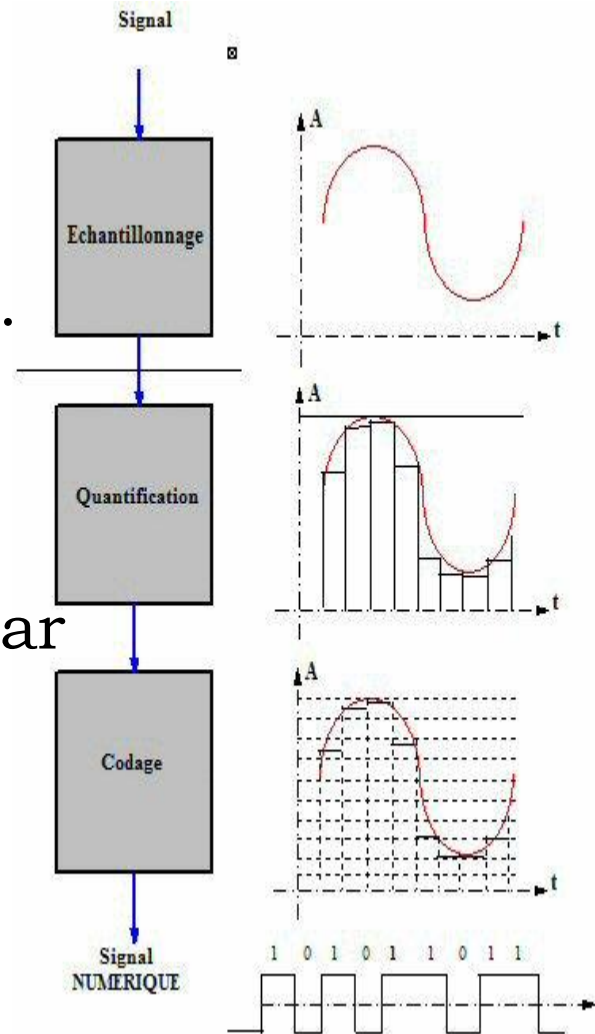
- Combien de bits sont nécessaires pour coder les lettres de l'alphabet ?
- $2^{(n-1)} \leq P \leq 2^n$ avec $P=26$: $2^4 \leq P \leq 2^5$
- 5 bits sont alors nécessaires.

Exemple2

- Quelle est la quantité d'information associée à la transmission d'une lettre (en supposant équiprobable l'apparition de chaque lettre) ?
- $Q = \log_2 1/p$; $p = 1/26$
- $Q = 4,70$ Shannon ou bits.

d) Numérisation des informations

- Numérisation des informations :
 - Transformer la suite continue de valeurs en une suite discrète et finie.
 - Prélever, à des instants significatifs, un échantillon du signal, c'est la technique de l'**échantillonnage**.
 - Exprimer la valeur de l'échantillon par rapport à une échelle finie, c'est la technique de **quantification**.
 - Le récepteur, à partir des valeurs transmises, reconstitue le signal d'origine.



i. Echantillonnage

- L'échantillonnage est une opération effectuée sur le signal à transmettre en vue de réaliser la conversion "analogique / numérique".
- A des instants précis, régulièrement espacés, on prélève un échantillon du signal, qui sera représentatif de l'amplitude de celui-ci.
- **Le théorème de Shannon** montre qu'on ne peut pas reconstituer correctement le signal origine si la fréquence d'échantillonnage n'est pas supérieure à 2 fois la fréquence supérieure du signal à transmettre.

$$\underline{F_e \geq 2 F_{max}}$$

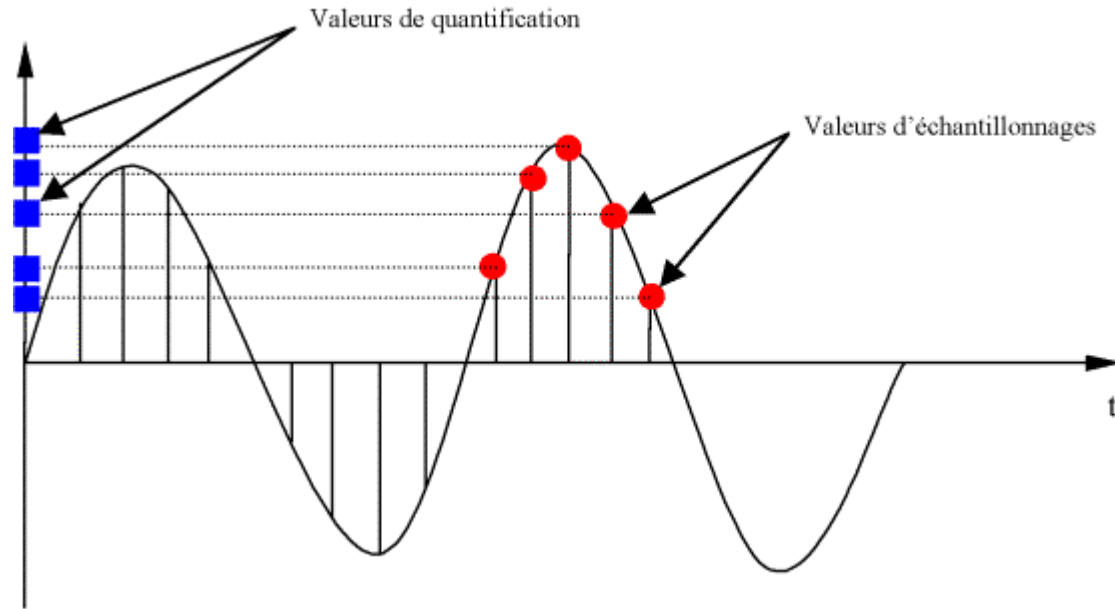
- *Echantillonnage* : L'échantillonnage consiste à prélever de façon périodique des échantillons du signal à transmettre.

ii. Quantification

- Nous pouvons transmettre les impulsions, résultats de l'opération d'échantillonnage, mais elles seraient très sensibles aux bruits et distorsions.
- Pour reconstituer le signal à la réception, il n'est pas indispensable de transmettre directement ces impulsions. Il suffit de transmettre une information caractérisant l'amplitude de chacune d'entre elles.
- *Quantification* : La quantification consiste à représenter l'amplitude de l'échantillon par un nombre.

iii. Codage

- **Codage** : Le codage consiste à caractériser une plage de quantification par son numéro écrit en numération binaire.
- C'est une opération qui consiste à faire correspondre à chaque symbole de l'alphabet (élément à coder) une représentation binaire (mot code)



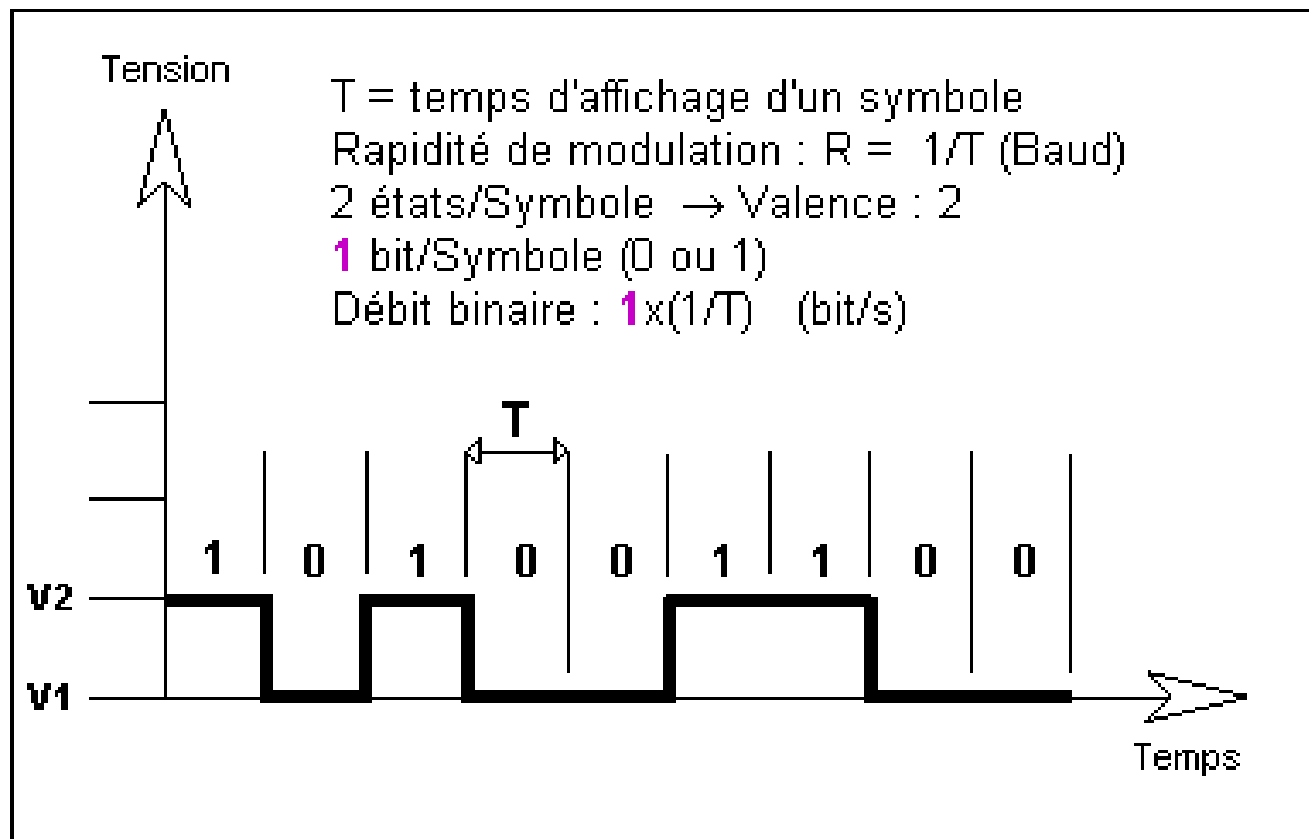
Pour transformer un signal analogique en signal numérique, on utilise une technique d'échantillonnage, qui consiste à mesurer l'amplitude du signal à intervalles de temps réguliers. On effectue ensuite une quantification du signal, c'est-à-dire que l'on définit des subdivisions régulières de l'amplitude du signal, et enfin une numérisation du signal(codage), c'est-à-dire que l'on transforme le signal en nombres en fonction des hauteurs de quantification.

e) Mesures de performance

i. Le débit et la rapidité

- La rapidité R :
 - représente le nombre d'instants élémentaires du signal par unité de temps.
 - Est l'inverse de l'intervalle significatif
 - $R = 1/T_M$
- Le débit binaire (vitesse de transmission) est D :
 - $D = R \times Q \rightarrow D = R \times \log_2(1/p)$ ($p = 1/v$)
 - $D = R \times \log_2(v)$
 - $R_{\max} = 2 \times F_{\max}$ (la fréquence de coupure du système)
 - $D_{\max} = 2 \times F_{\max} \times \log_2(v)$
 - $R_{\max} = 2 \times W$ Ce résultat est théorique et, dans la pratique, $R_{\max} = 1,25 W$
- Valence d'un symbole : C'est le nombre maximal d'états différents que peut prendre un symbole.
- Dans le cas d'une transmission à deux niveaux : $D=R$
- R est une caractéristique physique de la ligne de transmission, D dépend des techniques de transmission et W est la bande passante de la ligne de transmission

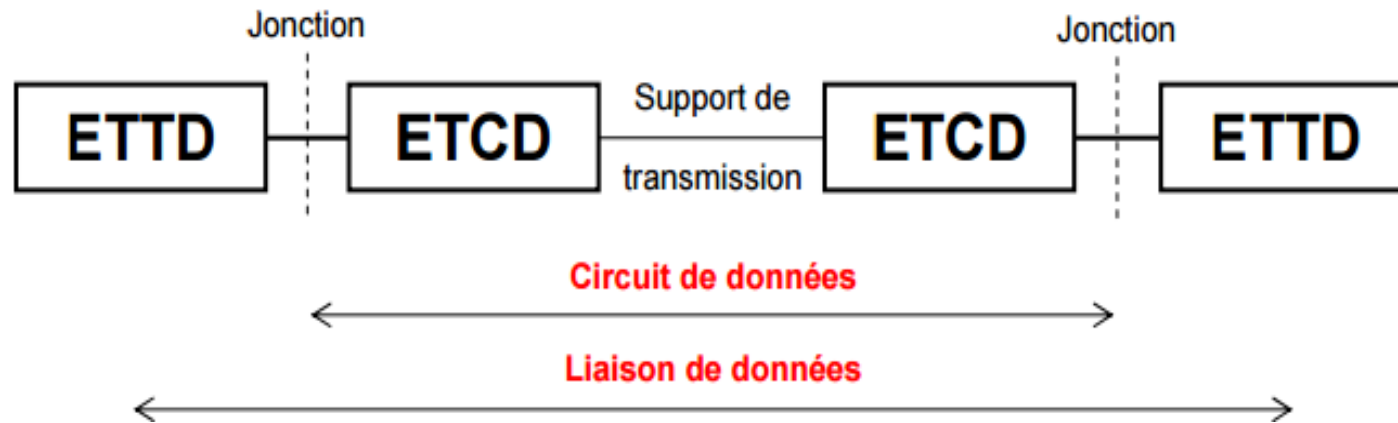
- Quel est le débit D (c.à.d. le nombre de bits transmis par unité de temps) si, dans cet exemple, $T = 10 \text{ ms}$?
- $D = 1/T = 1/(10 \times 10^{-3}) = 100 \text{ bits par second}$



- Il se trouve qu'on ne peut pas réduire indéfiniment la durée T des états physiques en ligne qui représentent un (ou plusieurs) bits. " T " a un minimum, qui dépend de la qualité de la ligne, et qu'on appelle Δ . Car Les lignes sont sensibles aux parasites électriques ambiants. (On dit qu'elles sont "bruitées").
 - Δ Étant durée la plus courte transmissible par une ligne, (dépend de la "qualité" de la ligne)
 - R étant la rapidité de modulation du signal :
$$R = 1 / T_{\min} = F_{\max}$$
 - Ce signal ne sera transmis dans des bonnes conditions que si $R < 1 / \Delta$

2. Les circuits et les liaisons de données.

- La communication entre deux équipements informatiques réalise une liaison constituée des éléments suivants :
 - Deux ETTD (Équipement Terminal de Traitement de Données), l'un à chaque extrémité de la liaison. Ces équipements génèrent les données ; par exemple un ordinateur, une imprimante, etc.
 - Une ligne de transmission.
 - Deux ETCD (Équipement Terminal d'un Circuit de Données) qui adaptent les données issues de l'ETTD au support de transmission (modulation, codage) ; par exemple un modem



- La figure précédente représente une liaison de données. On appelle « **liaison de données** » l'ensemble des éléments matériels et logiciels réalisant les fonctions nécessaires à l'acheminement des données. La liaison gère le **circuit de données** et s'occupe de la correction et de la détection des erreurs. L'interface entre l'ETTD et l'ETCD, ou jonction, permet à l'ETTD de contrôler le circuit de données (établissement et libération, initialisation de la transmission, etc).

- ETTD = DTE

- Équipement Terminal de Transmission de Données
- Data Terminal Equipment
- ETTD est l'équipement qui prend en charge le contrôle du dialogue
- Un ETTD est composé de blocs (pouvant être physiquement dissociés ou non)
 - Un bloc traitant les données
 - Émetteur
 - Récepteur
 - Un bloc chargé des fonctions de communications
 - Gestion de la liaison de données et l'interfaçage avec l'ETCD

- ETCD = DCE
 - Équipement Terminal de Circuit de Données
 - Data Communication Equipment
 - Équipement adaptant les signaux issus de l'ETTD pour les transmettre sur un réseau donné.
 - ETCD réalise l'adaptation entre ETTD et le support de transmission
 - Il assure par exemple la Compression, le codage, la modulation,... et réalisant l'inverse en réception.

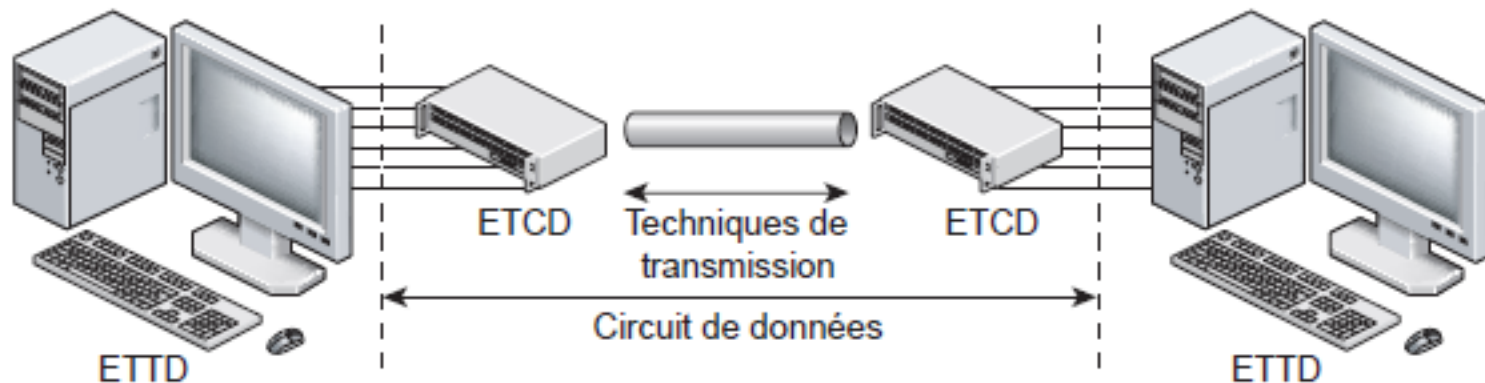
Circuit de données

- C'est l'ensemble constitué par le support de transmission et les deux ETCD communicants
 - Le support ou la ligne de transmission est un élément essentiel de la liaison.
 - Les possibilités de transmission (rapidité de modulation, débit, taux d'erreurs,...) dépendent essentiellement des caractéristiques physiques et de l'environnement du support

- 3. Les circuits et les modes de transmission.

la liaison de données

- Une LD représente un ensemble de matériels et de logiciels , cet ensemble fournissant les moyens fonctionnels nécessaires pour acheminer des données avec un taux d'erreurs garanti .

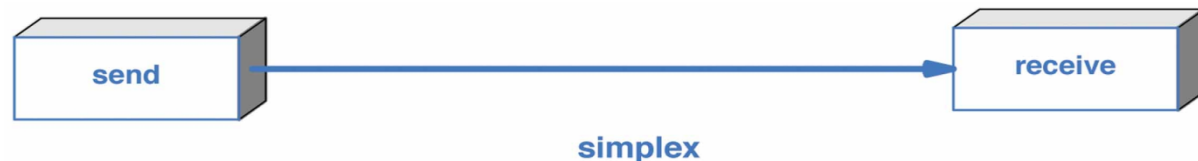


- Les LDs peuvent transmettre selon trois modes
 - Modes d'échanges
 - La transmission unidirectionnelle : Simplex
 - La transmission bidirectionnelle à l'alternat : half Duplex
 - La transmission bidirectionnelle simultanée : Full duplex
 - Modes de liaison
 - Liaison point à point
 - Liaison Multipoints
 - Le mode maître – esclave
 - Le mode d'égal à égal
 - En fonction des paramètres physiques
 - Série
 - Parallèle
 - Mode de contrôle
 - Synchrone
 - Asynchrone

Modes d'échanges

Simplex(unidirectionnelle)

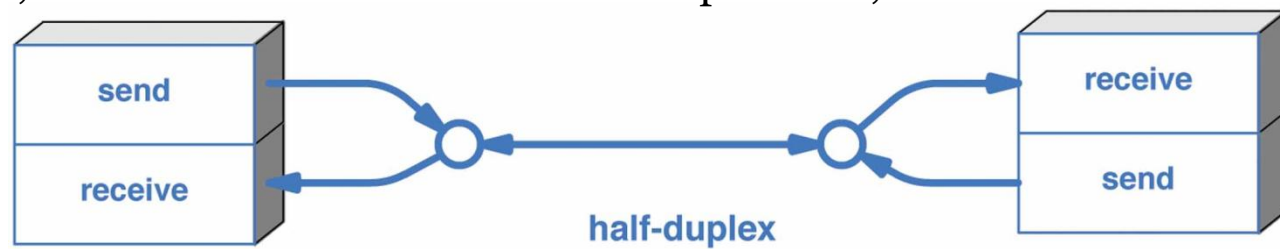
- Dans ce type de liaison, un seul sens de transmission est possible.



Exemples : radiodiffusion, télédiffusion.

half duplex(bidirectionnelle alternée)

Dans ce type de liaison, les deux sens de transmission sont possibles, mais alternativement.



Exemples : Talkie-walkie,

full duplex(bidirectionnelle simultanée)

Dans ce type de liaison, les deux sens de transmission sont assurés simultanément.



Exemples : Téléphone, internet.

Modes de liaison : Liaison point à point

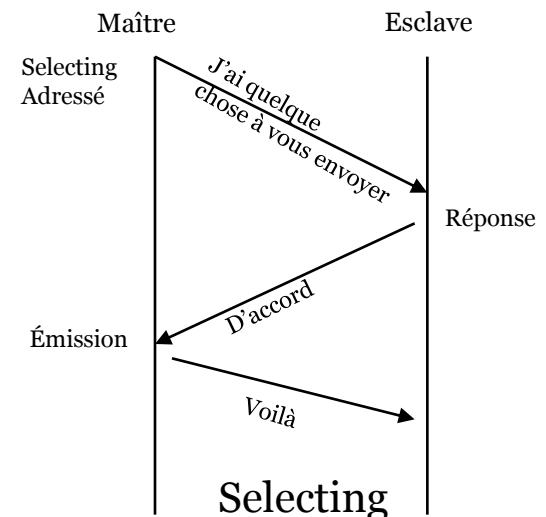
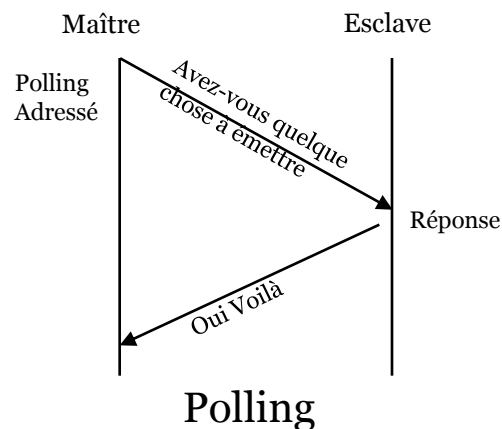
- Chaque correspondant est relié par un lien dédié à un seul autre correspondant
- Un ensemble de liaisons de données point à point constitue un réseau en étoile autour du site principale
- Un ensemble de liaisons de données point à point constitue un réseau full mesh

Modes de liaison : Liaison Multipoints

- Un support de transmission est partagé par un ensemble de nœuds.
 - Les conflits d'accès au support sont alors inévitables
 - Nécessité d'instaurer une politique d'accès au support
 - L'ensemble des mécanismes utilisés pour gérer l'utilisation du support par l'ensemble des nœuds est dit : ***politique d'accès au canal***

• Liaison Multipoints : Maître - Esclave

- Le primaire est un ordinateur Multipostes
- Le primaire est responsable de
 - l'initialisation du dialogue
 - La récupération des erreurs
 - L'organisation des échanges
- Le transfert de données se fait selon la technique dite :
 - **Polling** : le maître invite le terminal (secondaire) à émettre
 - **Selecting** : le maître demande au terminal (secondaire) de passer en mode réception



- Limitations de **Maître - Esclave** :
 - Pour faire le polling de toutes les stations
 - Ça demande beaucoup de temps
 - Ça génère un sur débit considérable de polling
- *La politique d'accès est dite Centralisée*

Le mode décentralisé ou d'égal à égal

- Tout nœud peut émettre en direction de n'importe quel autre nœud et ce à tout moment
 - Naissance des collisions : accès simultané au support par plusieurs nœuds
 - Chaque nœud exécute son algorithme d'accès au support
- *La politique d'accès est dite Décentralisée*
 - *Ex : Les réseaux locaux*

Classification en fonction des paramètres physiques

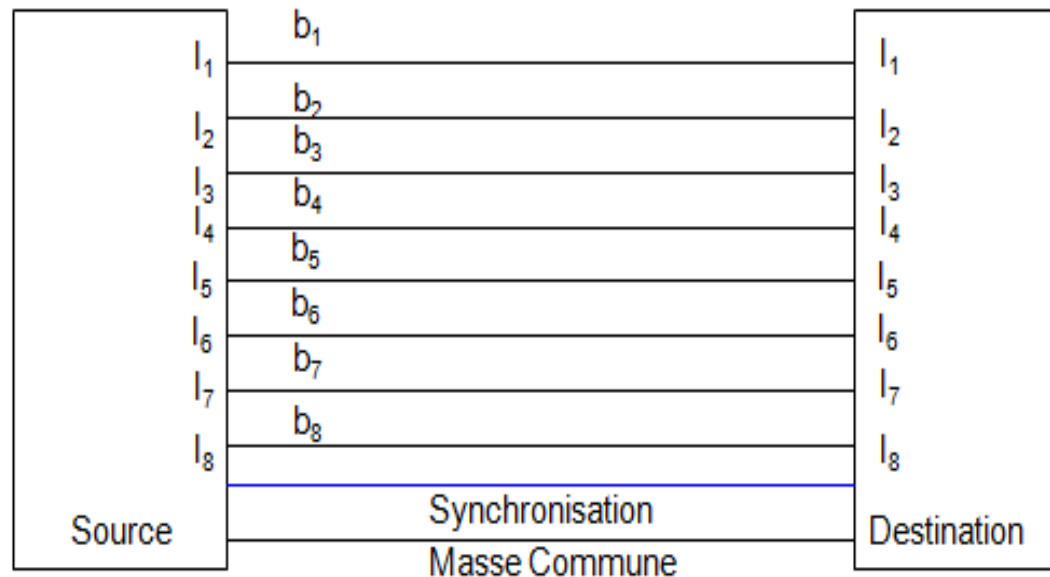
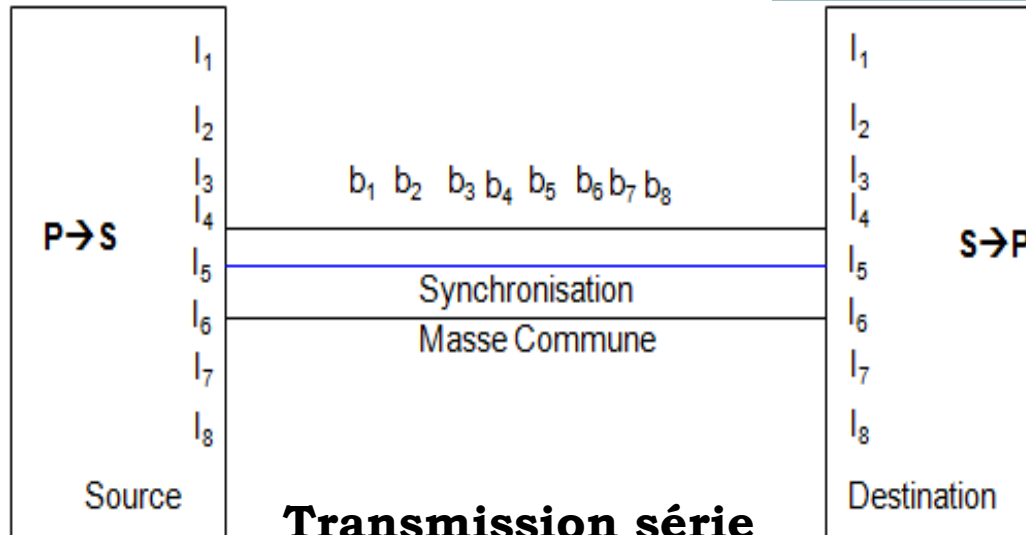
- L'information élémentaire à transmettre est un mot en n bits
- En interne les nœuds transfèrent les données à travers un ou plusieurs bus
- Le nombre de supports (bus) utilisés pour transférer les données définit le type de Transmission
 - série
 - parallèle

Transmission parallèle

- Dans ce type de transmission, les bits sont envoyés simultanément sur des fils métalliques distincts pour arriver ensemble à destination
 - par exemple pour transmettre un octet, on émet huit signaux sur huit fils différents.
- La Transmission parallèle est parfois intéressante notamment lorsque ces équipements sont séparés par une courte distance, cela aura pour effet
 - de réduire le délai de transfert
 - d'avoir une grande vitesse de transmission (débit).
- Effets secondaires :
 - Rayonnement inter-fils : diaphonie
 - La différence des temps de propagation (vitesse de propagation) entre les fils
 - Coût élevé dû au grand nombre de support de transmission utilisés

Transmission série

- Dans ce type de transmission, les bits sont envoyés successivement sur le même support pour arriver un après un à destination
 - Pour transmettre un octet, on émet bit après bit sur un fil.
- la transmission série, est en général utilisée pour les communications à longue distance
 - c'est le cas des réseaux informatiques car elle est adaptée au support de transmission usuel
- Vu que aux niveaux des nœuds les données sont traitées en parallèle, la Transmission série nécessite alors l'utilisation d'interfaces de conversion pour($P \rightarrow S$ et $S \rightarrow P$)

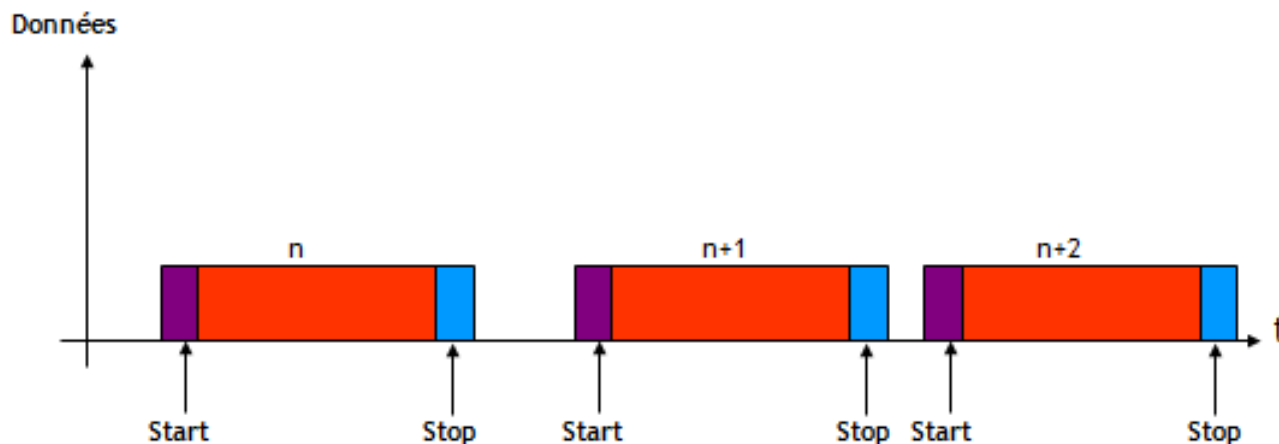


Mode de contrôle

- L'émetteur envoie des suites de bits à une certaine cadence en direction du récepteur.
- La cadence est définie par une horloge dite d'émission
- Pour décoder correctement les suites de bits transmis, le récepteur doit les examiner à une cadence identique à celle de l'émission
- Les horloges de l'émetteur et du récepteur doivent battre en harmonie
- Il ne suffit pas que les deux horloges battent au même rythme, il faut que les instants d'analyse des niveaux électriques soient les mêmes pour les deux parties : ils sont dits en phase
- L'opération qui consiste à asservir les deux horloges (E/R) est dite : opération de synchronisation
- Selon le mode de synchronisation utilisé, on distingue :
 - Transmission synchrone : horloges en phase stricte
 - Transmission asynchrone : horloges indépendantes

Mode de contrôle : transmission asynchrone

- Les horloges émetteur et récepteur sont indépendantes.
- Les caractères (mot) émis sont précédés d'un signal de synchronisation :
 - Le bit de start.
- Pour garantir la détection du bit de start entre chaque caractère, la ligne est remise à l'état zéro.
 - Ce temps de repos minimal varie de 1 à 2 temps bit : il constitue le ou les bits de stop.



Mode de contrôle : Transmission synchrone

- Dans ce mode de transmission, les horloges émetteur et récepteur sont en phase en permanence
 - Utilisation d'un signal de synchronisation
 - transmis sur une ligne spéciale
 - ou déduit de bits supplémentaires insérés entre chaque blocs et comportant de nombreuses transitions de façon à identifier les bits et les caractères.

La transmission de données

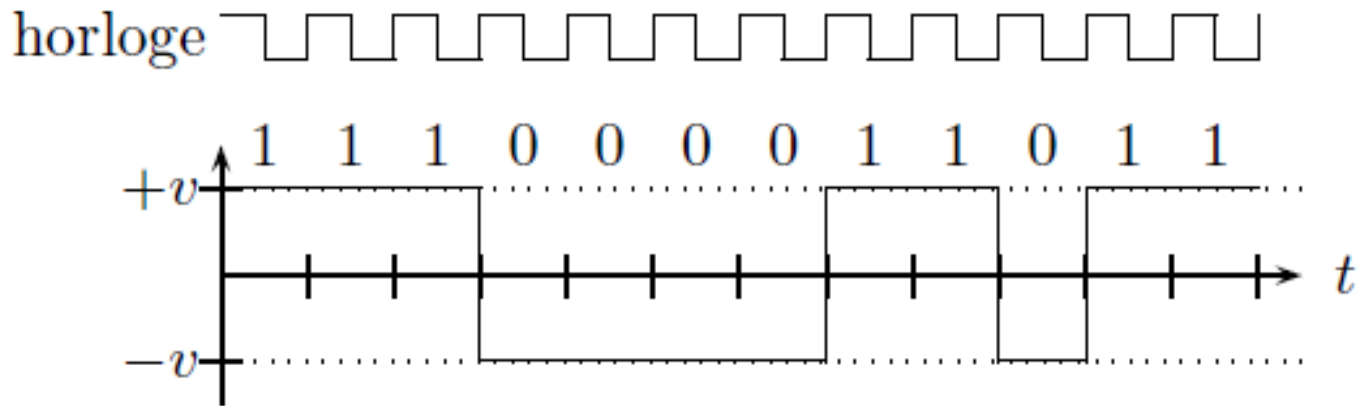
- Le principe fondamental de la transmission de données est l'échange d'information entre deux entités.
- L'information subit, tout au long du processus de communication, un certain nombre de manipulations et de transformations avant d'être délivrée à son destinataire.
- Les techniques de transmission dépendent du contexte et des conditions d'utilisation
 - Transmission en bande de base
 - Transmission large bande

Transmission en bande de base

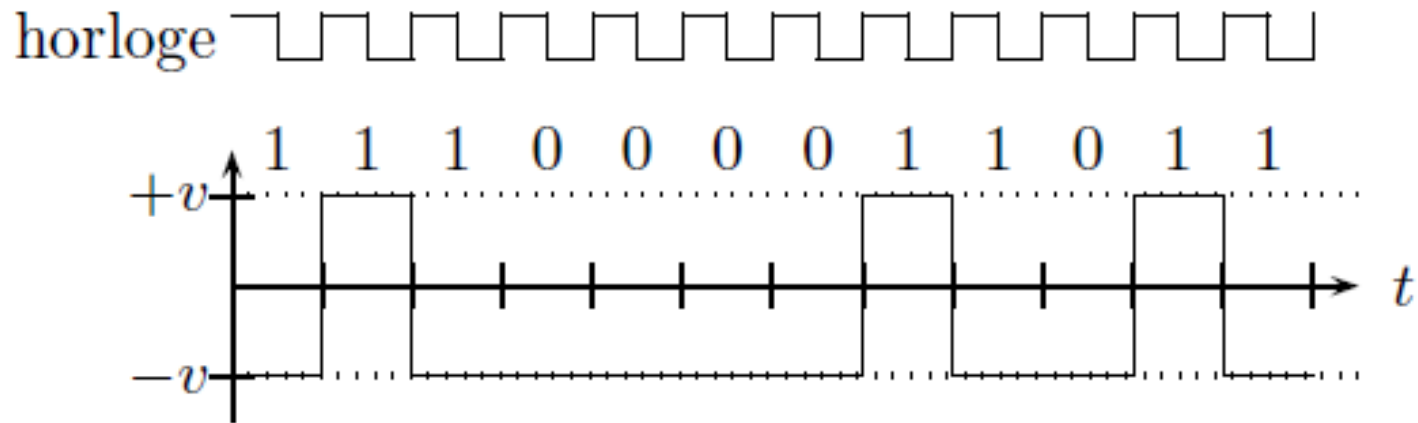
- La transmission en bande de base (base band) typique de la plupart des réseaux locaux, consiste à transmettre directement les signaux numériques sur le support de transmission.
- Le signal en bande de base ne subit pas de transposition en fréquence
- L'organe de transmission est un simple codeur : codeur bande de base aussi dit modem bande de base
- Le Codeur bande de base, a essentiellement pour objet :
 - De transformer le signal numérique en une suite de symboles pris dans un alphabet finis de q symboles, à fin que le spectre du nouveau signal soit mieux adapté aux caractéristiques du support de transmission (de bande passante en particulier)
 - De maintenir la synchronisation entre l'émetteur et le récepteur.
 - Un tel procédé est simple et non coûteux, mais demande des supports de transmission à grande bande passante.

Exemple de code bande de base

- Code NRZ (No Return to Zero)
 - Un bit 1 est traduit par un niveau v et un bit 0 par le niveau $-v$.

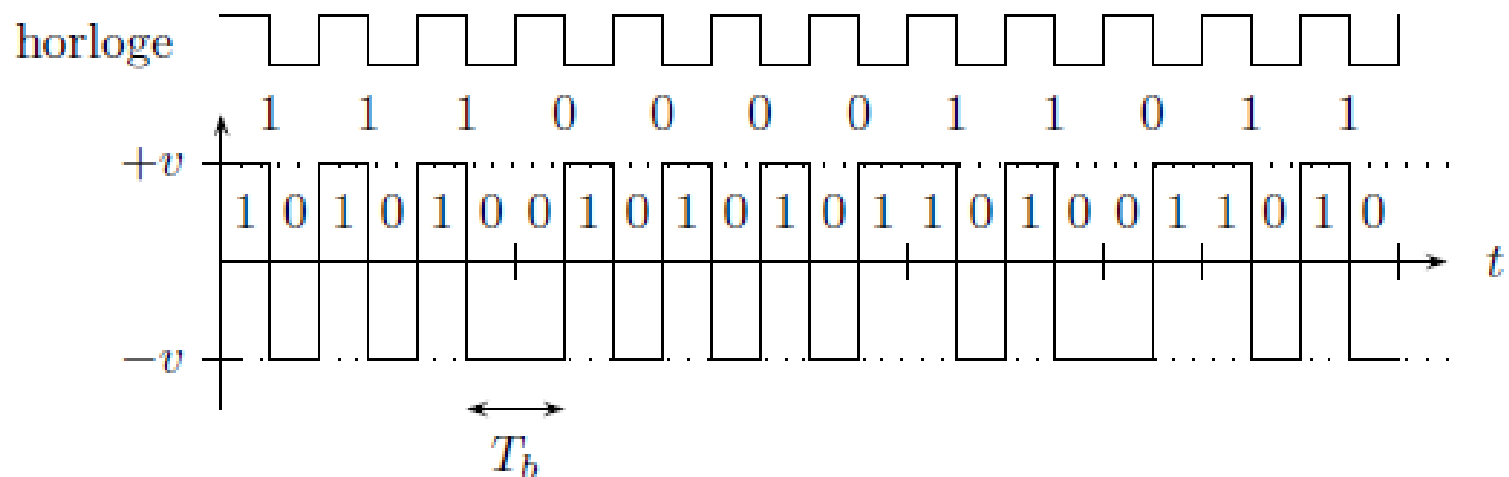


- Code NRZI (No Return to Zero Inverted)
 - Lorsque l'on commence à transmettre un bit 1, on change de niveau. Par contre, lorsque l'on transmet un bit 0 le niveau précédent est conservé.

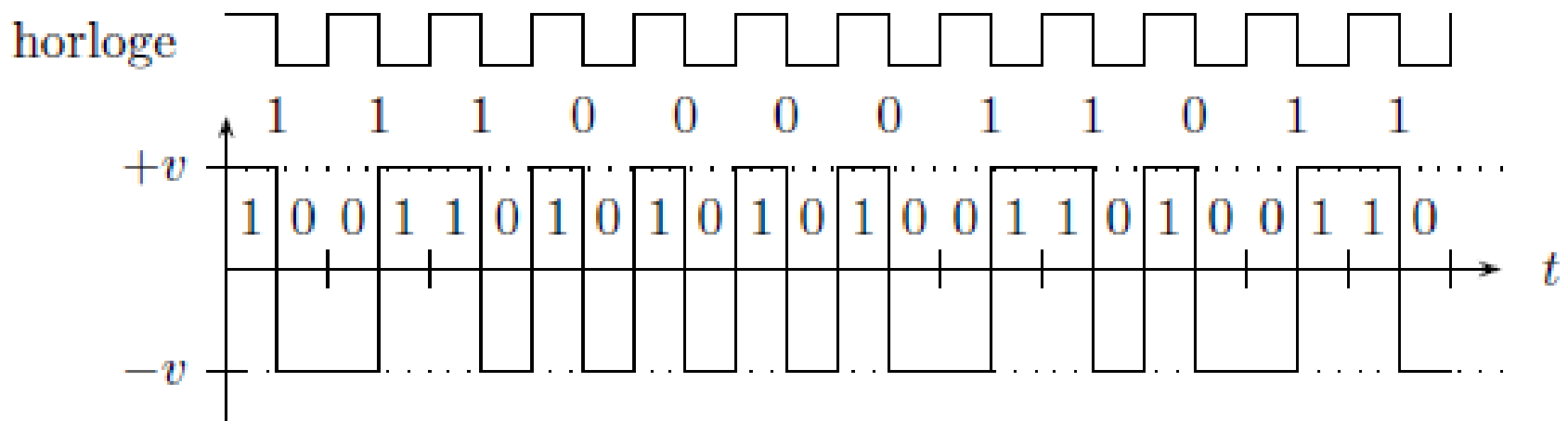


- Code Manchester

- Le code Manchester, également appelé code biphasé, transforme chaque bit en deux bits : un bit 1 est transformé en deux bits 10, et un bit 0 est transformé en 01.

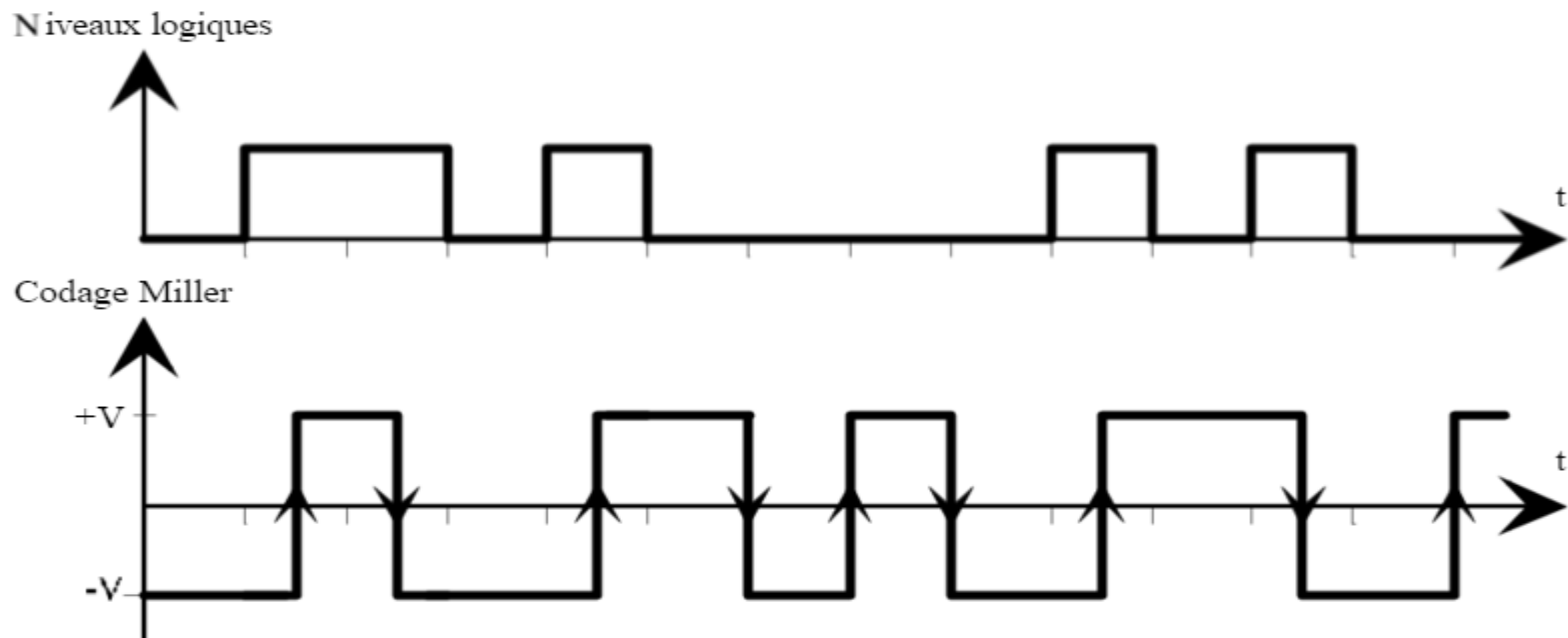


- Code Manchester différentiel
 - On se place au tout début de chaque temps de bit :
 - Le niveau "**1**" du signal est codé par une **transition** (montante ou descendante) en début du temps de bit.
 - Le niveau "**0**" du signal est codé par **l'absence de transition** en début du temps de bit.

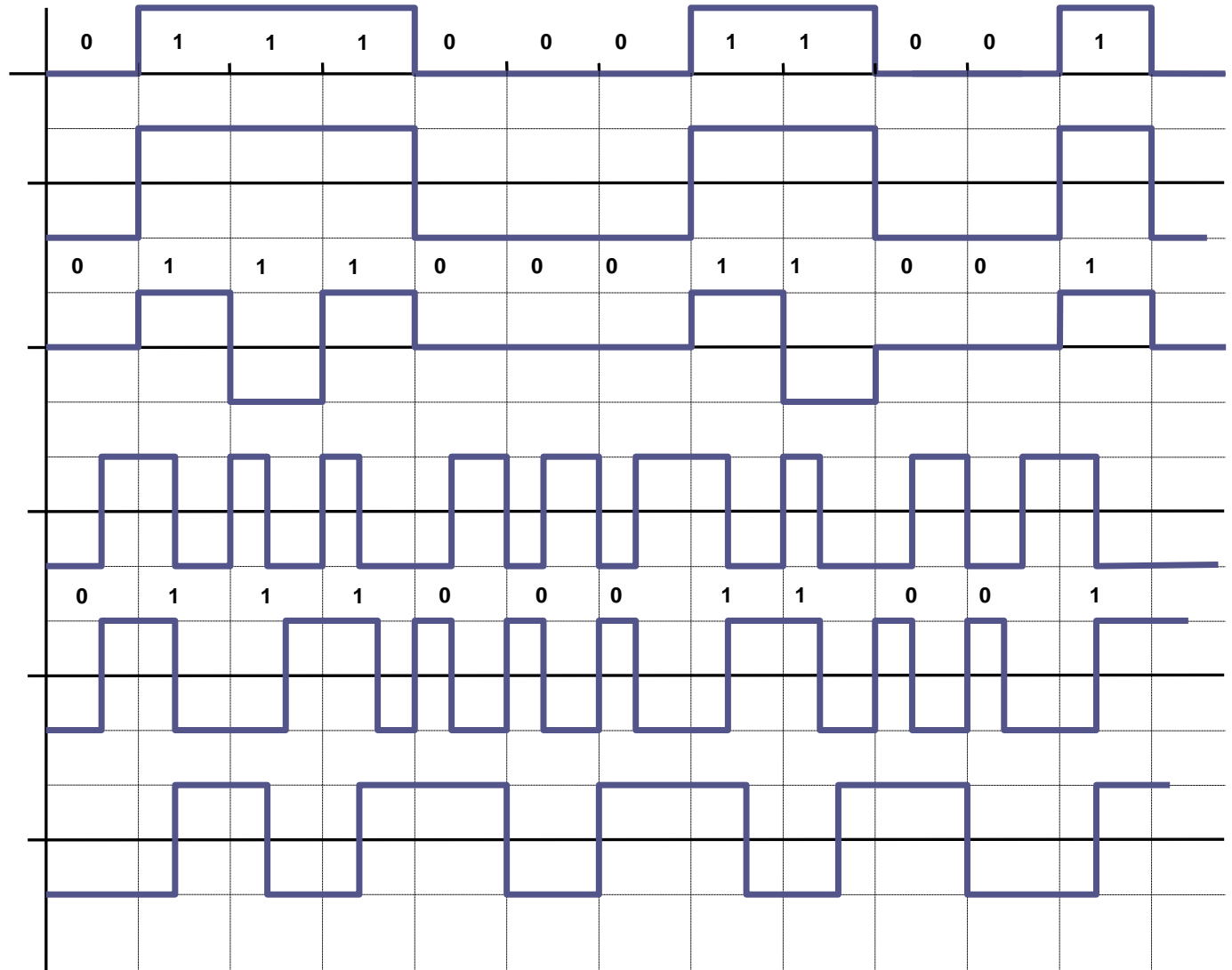


• Code de Miller

- Si le bit de donnée vaut 1, alors on insère une transition au milieu de l'intervalle significatif
- Si le bit de donnée vaut 0, alors pas de transition au milieu de l'intervalle significatif, mais si le bit suivant vaut 0, alors on place une transition à la fin de l'intervalle significatif



Signal binaire



Le choix des codes dépend de :

- Leur adaptation au support
 - Le support se comporte comme un filtre de fréquences
 - Chaque code occupe une bande passante donnée
- Leur résistance aux bruits
 - La sensibilité au bruit d'un code dépend directement du nombre de niveaux significatifs qu'il utilise (valence).

Limitations de la transmission en bande de base

- Les signaux en bande de base sont sujet à une atténuation au fur et à mesure de la distance parcourue
 - Si le signal n'est pas régénéré très souvent, il prend une forme quelconque, que le récepteur est incapable de comprendre (puisque le niveau logique haut, peut être détecté comme niveau bas si son amplitude devient inférieur à une tension de seuil).
- Cette méthode de transmission ne peut être utilisée que sur de très courtes distances, la distance maximale d'utilisation dépend essentiellement de la qualité du support utilise, elle est de l'ordre de 5 Km.

- **La transmission large bande**

- La plupart des supports de transmission, les lignes téléphoniques en particulier, ne permettent pas la transmission directe d'un signal numérique en bande de base.
 - Ils aboutissent à des pertes de symboles au cours de la transmission.
- D'autre part, il est nécessaire que le spectre de fréquence des signaux émis coïncide avec la bande passante du support, afin que ces derniers ne soient pas filtrés.
- On utilise alors la transmission par transposition de fréquence
 - Moduler une onde, sinusoïdale, porteuse de fréquence convenable par le signal à transmettre
 - L'opération de modulation équivaut à une translation du spectre du signal dans le domaine des fréquences.
 - Cette opération permet de centrer son énergie autour de la fréquence de la porteuse donc à l'intérieur de la bande passante du support de transmission.

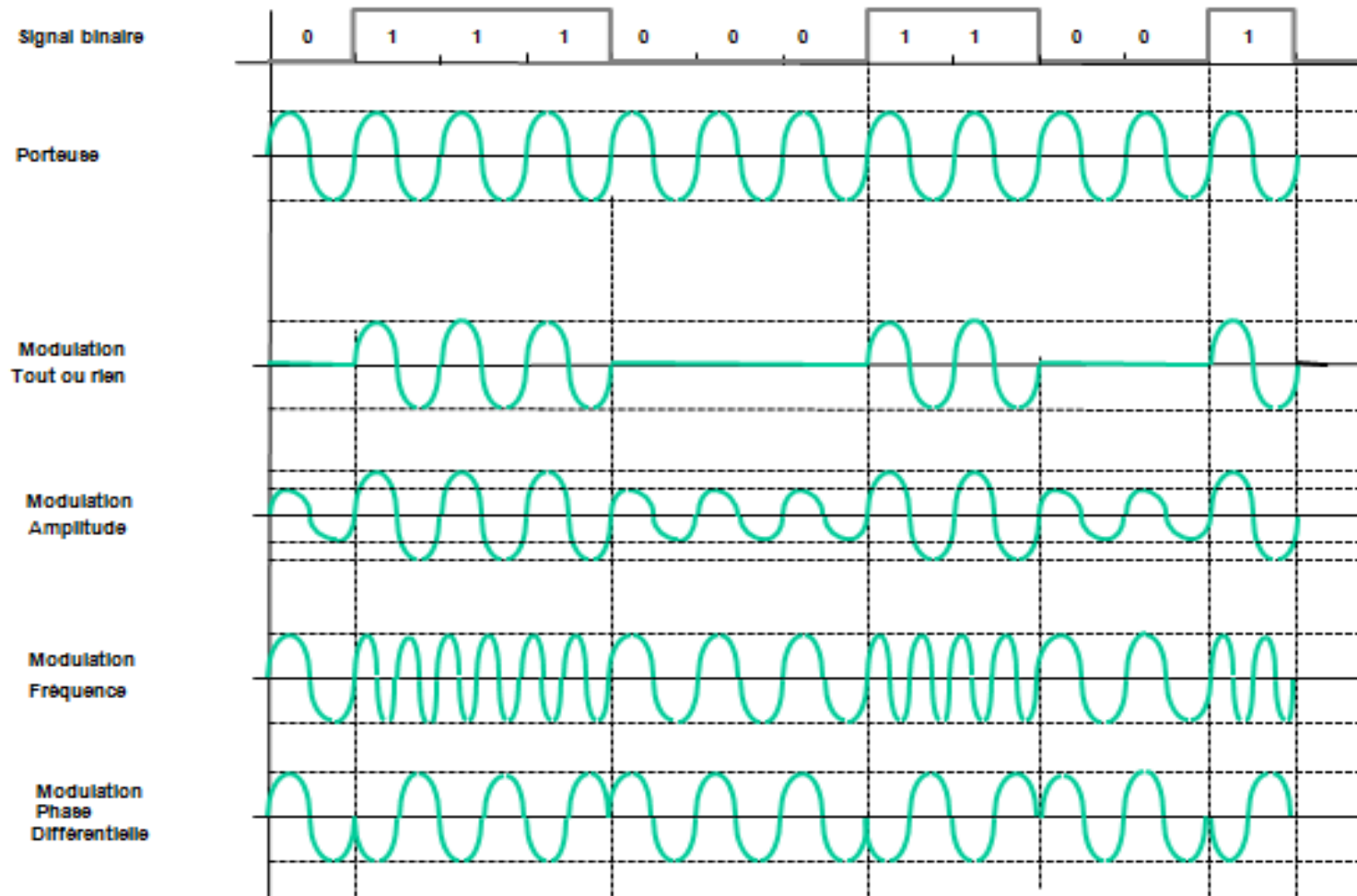
La modulation

- Si la totalité ou partie des fréquences dont est composé le signal à transmettre se trouvent en dehors de la bande passante du support de transmission, il faut préalablement le transformer par un procédé nommé modulation.
- Un signal sinusoïdal est de la forme :
 - $U = A_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$
- Sur un tel signal on peut faire varier :
 - L'amplitude A_0 :
 - C'est la modulation d'amplitude (ASK Amplitude Shift Keying) ;
 - La fréquence f_0 :
 - C'est la modulation de fréquence (FSK Frequency Shift Keying) ;
 - La phase φ_0 :
 - C'est la modulation de phase (PSK Phase Shift Keying).

Les différents types de modulation

- PORTEUSE : *Onde sinusoïdale de référence servant de support à la modulation. La plage utilisable pour un média donné est appelée la BANDE PASSANTE de ce média.*
- MODULATION d'AMPLITUDE (A.M.) :
 - Variation significative de l'amplitude du signal.
 - Sensible au bruit
- MODULATION de FRÉQUENCE :
 - F.S.K. = Frequency Shift Keying
- MODULATION de PHASE :
 - P.S.K. = Phase Shift Keying

Les différents types de modulation



- BANDE de BASE :
 - Transmission numérique directe ou codée
 - Monopolisation du support
 - Courtes distances, ou répéteurs
 - ETCD = CODeur / DÉCCodeur = CODEC
- BANDE LARGE :
 - Modulation d'un signal analogique
 - - Longues distances
 - - Multiplexage possible
 - - ETCD = MODulateur / DÉModulateur = MODEM

4. Les supports de transmission.

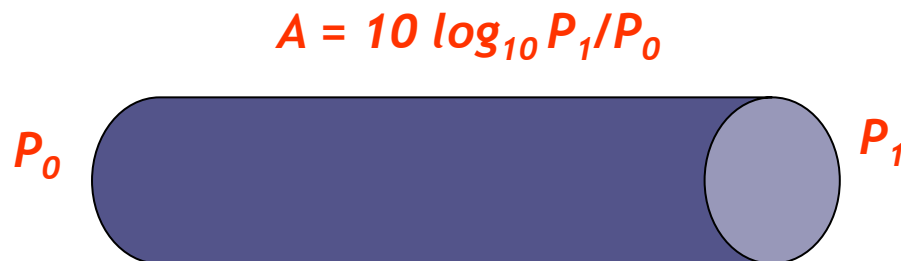
- Le médium de transport correspond aux éléments capables de transporter des éléments binaires : suites de 0 et 1.
- Ces éléments sont soit
 - Matériels comme les fils métalliques ou les fibres optiques
 - Immatériels comme les ondes hertziennes
- La qualité de service (Quality of Service) rendue aux applications (téléphonie, transmission de données, Internet, ...) dépend de la nature du support utilisé pour la transmission
- La transmission utilise les propriétés
 - De conductibilité des métaux : paires torsadées, câble coaxial
 - Des ondes électromagnétiques : faisceaux hertziens, guides d'ondes, satellites
 - Du spectre de lumière : la fibre optique
- La transmission utilise donc la propagation :
 - Soit du courant électrique dans les conducteurs.
 - Soit des ondes électromagnétiques guidées ou dans l'atmosphère.
 - Soit d'une onde lumineuse dans les fibres optiques.

Catégories de supports

- De nombreux supports sont utilisés en transmission de données :
- Des supports avec guide physique :
 - les câbles électriques : supports de cuivre.
 - les fibres optiques : supports optiques.
- Des supports sans guide physique :
 - les ondes radioélectriques : faisceau hertzien, liaison satellite
 - les ondes lumineuses, etc ...:
- **Caractéristiques des supports**
- Les caractéristiques des supports de transmission dépendent de leurs type : fibre, faisceau hertzien,...
- Les plus communes des caractéristiques sont :
 - L'affaiblissement
 - La bande passante
 - Le coefficient de vélocité
 - La taux d'erreurs

L'affaiblissement

- C'est une grandeur exprimée en dB
- Il évalue la puissance au niveau de la sortie par rapport à celle au niveau de l'entrée du support
 - $A = 10 \log_{10} P_1 / P_0$
 - P_1 : Puissance du signal en sortie
 - P_0 : Puissance du signal de référence



La bande passante

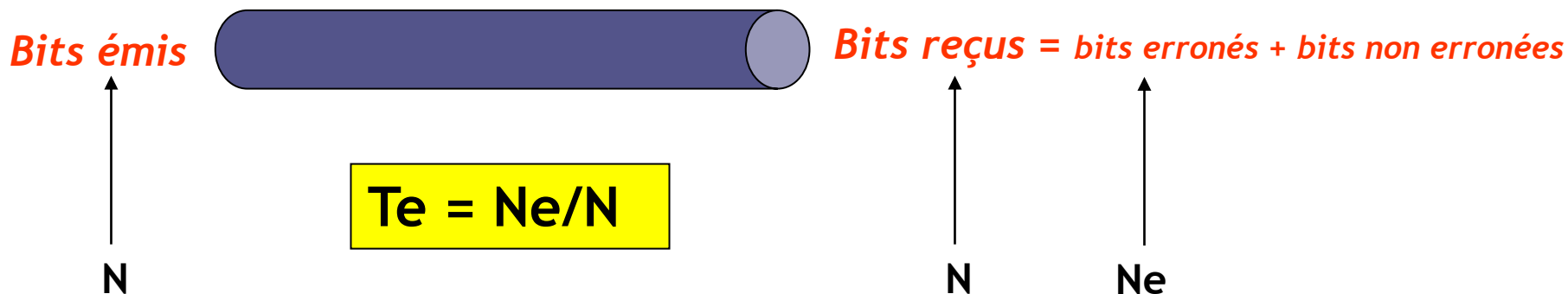
- La bande passante est l'étendue des fréquences entre lesquelles un signal à l'entrée passe à la sortie.
- Le support physique est caractérisé fréquemment par sa BP (Bande Passante)
- Un support de transmission ne peut transmettre que dans une bande de fréquence limitée.
- On appelle bande passante la largeur de la bande de fréquences acceptée par le support
- La transmission d'un signal complet requiert une largeur de bande infinie !
- La bande passante du support limite le débit qui peut être véhiculé sur le canal de transmission.

Le coefficient de vélocité

- C'est une grandeur qui mesure la vitesse de propagation du signal dans le support de transmission
- c'est le rapport entre cette vitesse de propagation et celle de la lumière ($c = 3 \times 10^8$ m/s)
- Pour les câbles de cuivre elle est d'environ 0,7
 - $V = v_e \times c$
 - V : vitesse de propagation réelle du signal en m/s
 - V_e : coefficient de vélocité
 - c : vitesse de propagation de la lumière.

Le taux d'erreurs

- Ce paramètre quantifie la qualité de transmission à travers le support
- Le taux d'erreurs mesure le pourcentage d'erreurs constatées à la réception du signal
 - *$Te = \text{nombre de bits erronés} / \text{nombre total de bits transmis}$*



Les supports guidés : Paires torsadées

- La paire de fils torsadée est le support de transmission le plus simple.
- Elle est constituée d'une ou de plusieurs paires de fils électriques agencés en spirale.
- Ce type de support convient à la transmission aussi bien analogique que numérique.
- Les paires torsadées peuvent être blindées, une gaine métallique enveloppant complètement les paires métalliques (mieux immuniser les signaux transportés), ou non blindées.
- débit jusqu'à 10 Mbps sur distance < 10 km
- Elles peuvent être également « écrantées ».
 - Dans ce cas, un ruban métallique entoure les fils.
- Le support le plus utilisé
- Constituée de deux conducteurs identiques torsadés
- Les torsades réduisent les phénomènes d'inductance entre fils

- En pratique, plusieurs sont regroupées sous une enveloppe protectrice appelée : **Gaine**
- Le problème majeur est l'affaiblissement, qui est d'autant plus important que le diamètre du fil est petit.
- Pour compenser cet affaiblissement on utilise des répéteurs.
- facilité d'installation et de connexion,
- coût réduit.
 - UTP (Unshielded Twisted Pair) = paire torsadée non blindée
 - STP (Shielded Twisted Pair) = paire torsadée blindée
 - FTP (Foiled Twisted Pair) = paire torsadée écrantée



Câble Coaxial

- Un câble coaxial est constitué de deux conducteurs cylindriques de même axe,
 - ❑ l'âme et la tresse, séparés par un isolant.
 - ❑ L'isolant permet de limiter les perturbations dues au bruit externe.
 - ❑ Si le bruit est important, un blindage peut être ajouté.
 - ❑ débit jusqu'à 100 Mbps sur distance < 1 km,
 - facilité d'installation et de connexion moyenne,
 - coût moyen.
- Les principales catégories de câbles coaxiaux disponibles sur le marché sont les suivantes :
 - câble 50 Ω , de type Ethernet ;
 - câble 75 Ω , de type CATV (câble de télévision).

Les médias hertziens

- Faisceau hertzien
 - onde électromagnétique porteuse de 0,8 à 20 GHz très directive,
 - émission très directive par antennes paraboliques,
 - relais tous les 100 km environ ,
 - débit jusqu'à 34 Mbps sur distance < 120 km,
 - immunité aux interférences très faible,
 - facilité d'installation en fonction du terrain,
 - coût moyen.

La fibre optique

- La fibre optique est un guide d'onde qui exploite les propriétés réfractrices de la lumière.
- Elle est habituellement constituée d'un coeur entouré d'une gaine.
- La vitesse de propagation de la lumière dans la fibre optique est de 100 000 km/s à 250 000 km/s.
- Les principaux avantages de la fibre optique sont les suivants :
 - très large bande passante, de l'ordre de 1 GHz pour 1 km ;
 - faible encombrement ;
 - grande légèreté ;
 - très faible atténuation ;
 - très bonne qualité de transmission ;
 - bonne résistance à la chaleur et au froid ;

Les principaux avantages de la fibre optique sont les suivants :

- très large bande passante, de l'ordre de 1 GHz pour 1 km ;
- faible encombrement ;
- grande légèreté ;
- très faible atténuation ;
- très bonne qualité de transmission ;
- bonne résistance à la chaleur et au froid ;
- absence de rayonnement.