

Chapitre 3

Couche physique

Le rôle de la couche physique est de transformer une suite de bits en signaux (et inversement) pour les adapter au canal de communication et les transmettre d'une machine à une autre. Les bits transformés représentent des informations numérisées (codées) tel que le code ASCII pour les textes, avi pour le multimédia, ...etc.

La couche physique détermine la façon selon laquelle les bits sont transportés sur le support physique. Elle permet d'introduire les bits 0 et 1 sur le support sous une forme spécifique, reconnaissable par le récepteur. Plusieurs composants sont utilisés dans cette couche, comme les modems, multiplexeurs, concentrateurs, etc. Ce chapitre étudie les supports de transmission et leurs caractéristiques ainsi que les méthodes utilisées pour transmettre l'information sur ces supports.

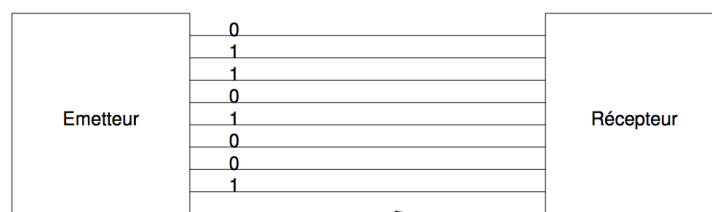
3.1 Modes de transmission

Les blocs d'informations transmis sur des fils peuvent l'être en parallèle ou en série.

3.1.1 Transmission en parallèle

Dans la transmission parallèle, les bits d'une même entité (octet, mot, ...) sont envoyés sur des fils distincts pour arriver ensemble à destination. On peut avoir 8, 16, 32 ou 64 fils parallèles.

il faut aussi un fil de masse commun pour le potentiel de référence



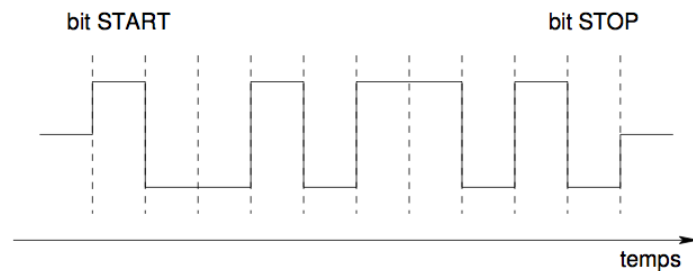
La transmission parallèle pose des problèmes de synchronisation à cause des déphasages possibles entre les différents fils. C'est pour cette raison que ce mode n'est utilisé que sur de très courtes distances tel que le bus d'un ordinateur.

3.1.2 Transmission en série

Dans ce mode de transmission, les bits sont émis les uns après les autres. C'est le mode utilisé dans la réseaux informatiques, il peut être asynchrone ou synchrone.

3.1.2.1 Transmission asynchrone

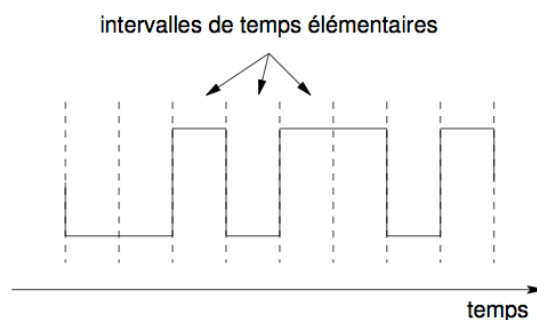
La transmission peut être effectuée n'importe quand, et ne dépend pas d'intervalles de temps précis. Le récepteur commence la réception à l'arrivée d'un bit START et la conclue à l'arrivée d'un bit STOP ou deux



chaque machine cadence son algorithme

3.1.2.2 Transmission synchrone

Dans la transmission synchrone, l'émetteur et récepteur sont d'accord sur un intervalle de temps élémentaire constant qui se répète sans cesse. L'émetteur transmet en début d'intervalle pour une durée d'un intervalle par information (ex : 1 bit)

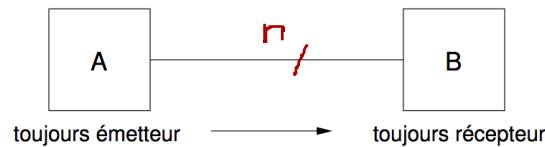


Les machines partagent un signal d'horloge

Ce mode est utilisé pour les très hauts débits liaisons filaires

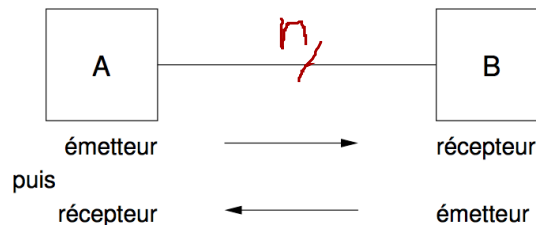
3.1.3 Transmission en simplexe

Dans certains cas d'échange d'information une partie est toujours émettrice et l'autre est toujours réceptrice. Les données circulent toujours dans le même sens. L'exploitation du canal de transmission est appelée dans ce cas en simplexe.



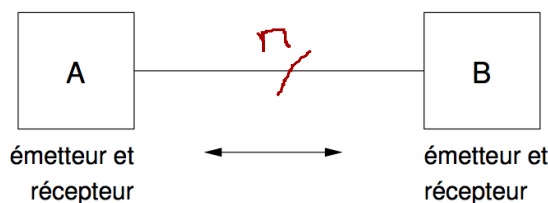
3.1.4 Transmission en half duplex

Dans la transmission en semi-duplex (half-duplex), le canal est exploité à l'alternat pour l'émission : les deux parties émettent tous les deux mais pas en même temps.



3.1.5 Transmission en full duplex

La transmission en full-duplex est bidirectionnelle simultanée. Cela est possible en partageant la bande passante et affecter une partie pour un sens et l'autre pour l'autre sens. ou avec davantage de conducteurs (2 paires torsadées, par exemple)



3.2 Signal transmis

Le signal est le véhicule d'information entre deux équipements. Il se propage dans un canal (liaison), matériel ou immatériel sous forme d'onde électromagnétique ou lumineuse. Le signal est une forme ondulatoire résultant de la propagation d'un phénomène vibratoire. Selon la grandeur physique que l'on fait varier, trois types d'ondes sont utilisées :

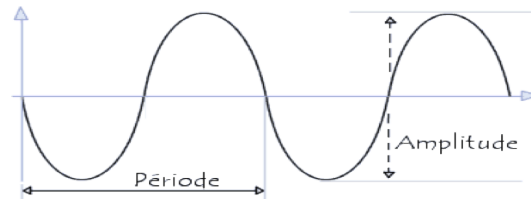
- ondes **électriques** (câbles, fils, ...),
- ondes **radio** (faisceau hertzien, satellite),
- ondes **lumineuses** (fibres optiques, infrarouge).

La distinction ne tient qu'aux longueurs d'onde empl

Dans le cas le plus simple une onde est exprimée par une sinusoïde :

$$y(t) = A \sin(2\pi f t + \varphi);$$

Où A est l'amplitude, f la fréquence et φ la phase.



Les signaux peuvent être de forme analogique ou numérique, les signaux analogiques sont utilisés généralement pour les longues distances, et les signaux numériques pour les courtes distances.

3.2.1 Signal analogique

Un signal analogique est caractérisé par une **variation continue**, les niveaux de valeurs sont proportionnels aux valeurs de l'information (son, image).



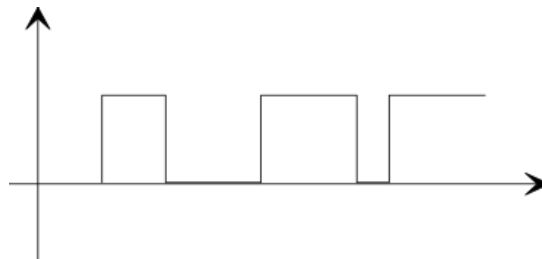
Anciennes technologies (celle des bo

3.2.2 Signal numérique

sur une période

fronts montants et descendants

Le signal numérique est caractérisé par une **forme carrée**, une **variation discontinue** et un faible nombre de niveaux de valeurs fixés.



3.3 Caractéristiques d'une ligne de communication

Certaines caractéristiques physiques des supports perturbent la transmission. La connaissance de ces caractéristiques (la bande passante, la sensibilité aux bruits, les limites des débits possibles) est donc nécessaire pour fabriquer de bons signaux, c'est-à-dire les mieux adaptés aux supports utilisés.

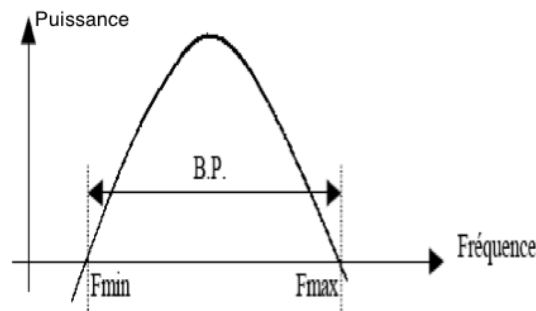
Au delà d'une distance (typiquement, une centaine de mètres pour des signaux éle

3.3.1 La bande passante

La bande passante d'une voie est la plage de fréquences sur laquelle la voie est capable de transmettre des signaux sans que leur affaiblissement soit trop important. Elle est définie par :

$$W = f_{max} - f_{min}$$

Où f_{min} est la fréquence transmise la plus basse et f_{max} la plus haute.



Lorsqu'on parle de la bande passante, on indique une largeur d'intervalle sans préciser les bornes de cet intervalle. Par exemple, la largeur de bande de la ligne téléphonique est 3100Hz.

Plus la bande passante est large, plus on peut superposer de signaux Plus les fré

3.3.2 Rapidité de modulation

En plus d'augmenter la distance de transmission, la modulation permet égale

La rapidité de modulation R , exprimée en bords, indique le nombre de symboles transmis par unité de temps. Si Δ représente la durée (en secondes) de l'intervalle de temps séparant deux valeurs significatives du signal, alors :

$$R = \frac{1}{\Delta} \text{ bords}$$

Pour un support de transmission, la rapidité de modulation maximale dépend de sa bande passante (critère de Nyquist). La rapidité de modulation maximale R_{max} est égale au double de la fréquence la plus élevée disponible sur le support :

$$R_{max} = 2F_{max}$$

3.3.3 Taux d'erreur

Il représente la probabilité de perte ou d'altération d'une information (1 bit). On peut la mesurer en calculant pendant un temps significatif le rapport du nombre de bits erronés sur le nombre de bits émis.

3.3.4 Débit binaire

Le débit binaire D est le nombre de bit transmis par unité de temps. Par exemple 512 Kbits/s ou 1 Gigabit/s.

La relation liant la rapidité de modulation au débit binaire est exprimé par la formule :

$$D = R \times \log_2(V)$$

Où V désigne la *valence* du signal représentant le nombre des états significatifs que peut prendre le signal.

Une valence de valeur V permet le transports de $P(bits) = \log_2(V)$ à chaque baud. Par exemple, pour des modulations simples (des signaux de valence 2) chaque intervalle Δ transporte 1 bit. Les valeurs numériques du débit binaire et de la rapidité de modulation sont alors égales ($R = D$).

Exercice : Si la durée d'un bit est 20ms, quel est le débit binaire ?

3.3.5 Délai de propagation T_p

C'est le temps nécessaire à un signal pour parcourir un support d'un point à un autre. Ce temps dépend de la nature du support, de la distance, de la fréquence du signal,...etc.

3.4 Supports de transmission

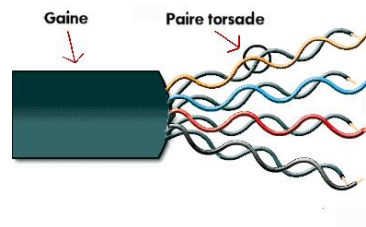
Les supports de transmission sont nombreux et se divisent en deux familles : les supports à guide physique et les supports sans guide physique. Les supports à guide physique, comme les paires torsadées et les câbles coaxiaux, sont les plus anciens, les plus largement utilisés et servent à transmettre des courants électriques. Les supports de verre ou de plastique, comme les fibres optiques, transmettent de la lumière, tandis que les supports sans guide physique des communications sans fil transmettent des ondes électromagnétiques et sont en plein essor.

3.4.1 Supports à guide physique

C'est des supports qui utilisent les câbles de différents types pour transmettre l'information.

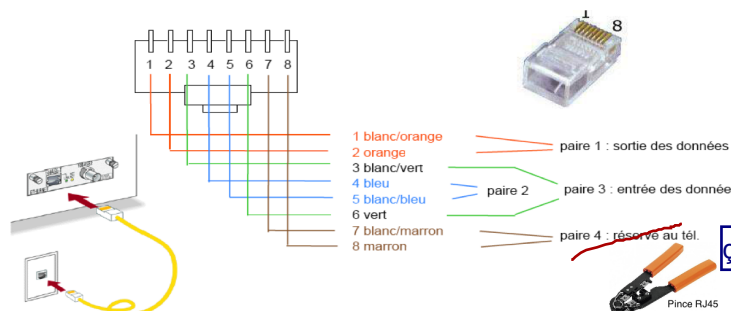
3.4.1.1 Paires torsadées

La paire torsadée ou enroulée (**twisted**) est constituée de deux conducteurs identiques torsadés. L'enroulement réduit les conséquences des parasites provenant de l'environnement. L'utilisation la plus courante de la paire torsadée est le raccordement des usagers au central téléphonique (norme RJ11 : Registered Jack). Les réseaux locaux informatiques, où les distances se limitent à quelques kilomètres, utilisent la norme RJ45 utilisant des câbles contenant **4 paires torsadées**. **Ethernet**



Attention, ce n'est pas qu'une question de pri

Le raccordement des câbles RJ45 se fait à travers les connecteurs RJ45 permettant de connecter les fils selon le schéma suivant :



La fabrication manuelle des câbles RJ45 se fait par un pince spéciale appelé "pince RJ45".

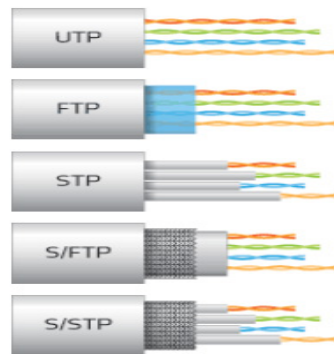
Le principal inconvénient des paires torsadées est l'**affaiblissement** des courants transmis. Elles utilisent souvent, à intervalles réguliers, des éléments appelés **répéteurs** qui régénèrent les signaux transmis.

Pour les **réseaux locaux** d'entreprise, **ou autres**, la paire torsadée peut suffire. Ses avantages sont nombreux : technique maîtrisée, facilité de connexion et d'ajout de nouveaux équipements,

Les câbles UTP peuvent très bien convenir en environnements peu soumis à des cha

faible coût ainsi qu'elle peut être utilisée en point à point ou en diffusion. Il existe, généralement trois types de câbles :

- **UTP** (Unshielded Twisted Pairs) : câble à paires torsadées non blindées et non écrantées. Parfois utilisé pour la téléphonie, pas recommandé pour l'informatique.
- **FTP** (Foiled Twisted Pairs) : paires torsadées entourées dans leur ensemble d'une feuille d'aluminium (écran). C'est le type standard.
- **STP** (Shielded Twisted Pairs) : paires torsadées entourées chacune par une feuille d'aluminium.
- **SFTP** (Shielded Foiled Twisted Pairs) et **SSTP** (Shielded Shielded Twisted Pairs) : câbles FTP ou STP blindés. A utiliser dans les locaux avec fortes perturbations électromagnétiques.

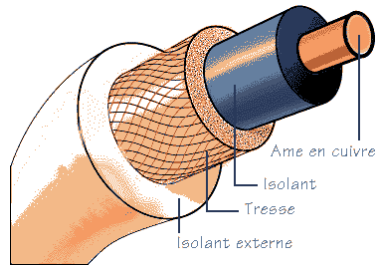


Les câbles à apires torsadées sont normalisés en catégories de Cat1 à Cat7, Les plus utilisées actuellement sont :

- Catégorie 3 : Bande passante 16MHz, utilisée pour la téléphonie.
- **Catégorie 5** : Bande passante 100MHz, Débit 100MB/s sur 100m utilisée pour la téléphonie et les réseaux
- **Catégorie 6** : Bande passante 250MHz, Débit GB/s sur 100m utilisée pour les réseaux
- Catégorie 6a : Bande passante 500MHz, Débit 10GB/s sur 100m
- Catégorie 7 : Bande passante 600Mhz, Débit 10GB/s

3.4.1.2 Câble coaxial très peu utilisé, sauf pour les boucles locales

Le câble coaxial est formé de deux conducteurs cylindriques de même axe séparés par un isolant, le tout étant protégé par une gaine plastique.

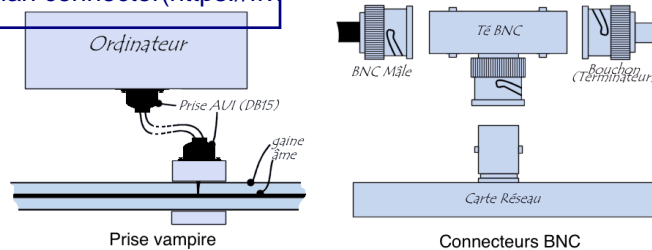


Il existe deux types de câble coaxial :

- Le câble 75 Ω , dit "large bande" (broadband) utilisé pour la transmission analogique : c'est le câble de télévision !
- le câble 50 Ω , dit "bande de base" (baseband) généralement utilisé pour transmettre des signaux numériques. Il permet une bande passante de quelques centaines de MHz et des débits allant jusqu'à 2Gbit/s.

Le câble coaxial est raccordé par des prises vampire pour les gros câbles et les fiches BNC (~~British Naval Connector~~) pour les câbles fins.

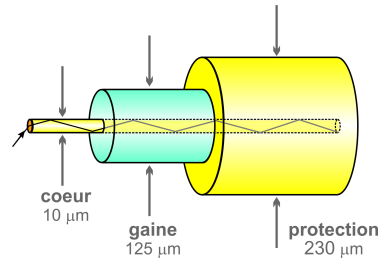
Bayonet Neill–Concelman connector(https://fr.wikipedia.org/wiki/Bayonet_Neill-Concelman_connector)



Le câble coaxial est d'une qualité de transmission et débits meilleures que les paires torsadées et peut être utilisé en point à point ou en diffusion. Cependant, il est un peu plus cher.

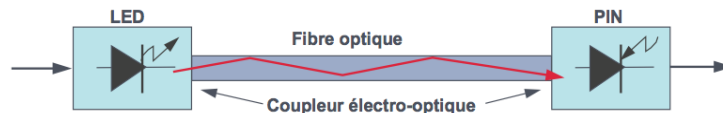
3.4.1.3 Fibre optique

Une fibre optique est constituée d'un fil de verre très fin. Elle comprend un **cœur**, dans lequel se propage la lumière émise par une diode électroluminescente ou une source laser, et une **gaine optique** dont l'indice de réfraction garantit que le signal lumineux reste dans la fibre.



Un système de transmission par fibre optique met en œuvre :

- un **émetteur** de lumière (transmetteur), constitué d'une diode électroluminescente (**LED**, Light Emitting Diode) ou d'une diode **LASER** (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), qui transforme les impulsions électriques en impulsions lumineuses ;
- un **récepteur** de lumière, constitué d'une **photodiode de type PIN** (Positive Intrinsic Negative) qui traduit les impulsions lumineuses en signaux électriques ;
- une fibre optique.

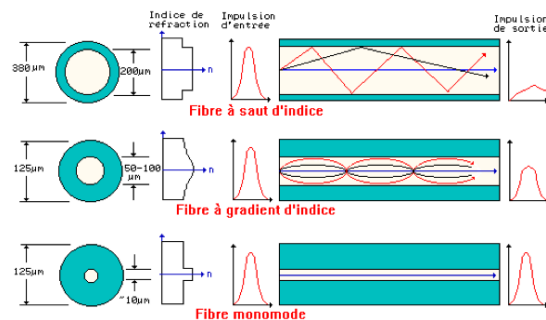


La fibre étant un système de transmission unidirectionnel, une liaison optique nécessite l'utilisation de **2 fibres**. **pour du full duplex**

Il existe **trois types** de fibre optique.

1. Fibre **multimode à saut d'indice** : le cœur d'indice de réfraction n_1 est entouré d'une gaine d'indice n_2 . La variation d'indice entre le cœur et la gaine est brutale (saut d'indice). La propagation s'y fait par **réflexion totale** à l'interface cœur/gaine. Le **diamètre du cœur est important** ce qui lui permet d'admettre **plusieurs rayons** qui se propagent sur des chemins différents ou modes de propagation. La portée des rayons étant de **10 km**.
2. Fibre **multimode à gradient d'indice** : dans ce type, l'indice du cœur décroît de façon continue, depuis le centre du cœur jusqu'à l'interface cœur/gaine suivant une loi parabolique. Tous les rayons sont focalisés au centre de la fibre, ils ont une **trajectoire proche de la sinusoïde**. La dispersion étant réduite ce qui autorise des portées d'environ **50 km**.
3. Fibre **monomode** : le diamètre du cœur est réduit à **8 μm**. Cette réduction, peut être telle que, pour une longueur d'onde donnée, la fibre n'admette plus qu'**un seul rayon**.

La fibre est alors dite monomode et la distance franchissable est de l'ordre de 100 km.



Le raccordement de la fibre optique utilise des connecteurs de types SC (Subscriber Connector), ST (Straight Tip), FC (Fiber Connector), LC (Lucent Connector).



Malgré que la fibre optique ne permet que les connexion en point à point, ses avantages sont nombreux :

- Débits allant jusqu'à 50 GBit/s (débit théorique 50 TBit/s),
- Transmission simultanée de très nombreux canaux de télévision, de téléphone,...
- Insensible aux parasites électromagnétiques,
- Diamètre extérieure est de l'ordre de 0,1 mm, (on groupe les fibres dans des câbles)
- Poids de quelques grammes au kilomètre.
- Difficile à pirater.

3.4.2 Supports sans guide physique

Les supports sans guide physique transmettent des ondes électromagnétiques ou la lumière.

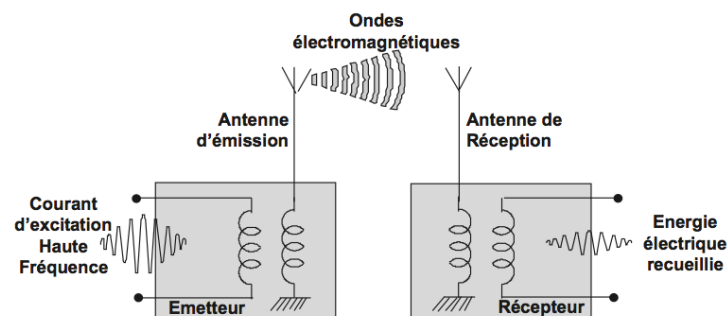
3.4.2.1 Ondes électromagnétiques

mais aussi dans le vide !

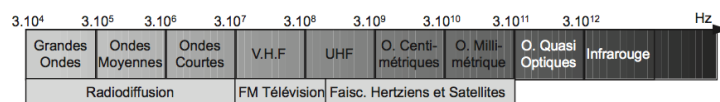
Les ondes électromagnétiques se propagent dans l'atmosphère. L'absence de support matériel apporte une certaine souplesse et convient aux applications comme la téléphonie ou les télécommunications mobiles, sans nécessiter la pose coûteuse de câbles.

Une antenne d'émission rayonne une énergie (onde électromagnétique). Cette énergie

électromagnétique recueillie par un autre conducteur distant ou antenne de réception est transformée en un courant électrique similaire à celui d'excitation de l'antenne d'émission.



Chaque type de liaison ou d'application utilise des bandes de fréquences différentes. L'espace de fréquences utilisables est limité et géré par des organismes nationaux et internationaux. La figure suivante décrit l'utilisation des différents plages de fréquences.



Les hautes fréquences (**faisceaux hertziens**) sont utilisées pour franchir de ~~grandes distances~~ tandis que les basses (ondes radioélectriques) pour atteindre des récepteurs géographiquement dispersés.

Quelles que soient les fréquences employées (40 GHz ou 433 MHz...) ce sont toujours

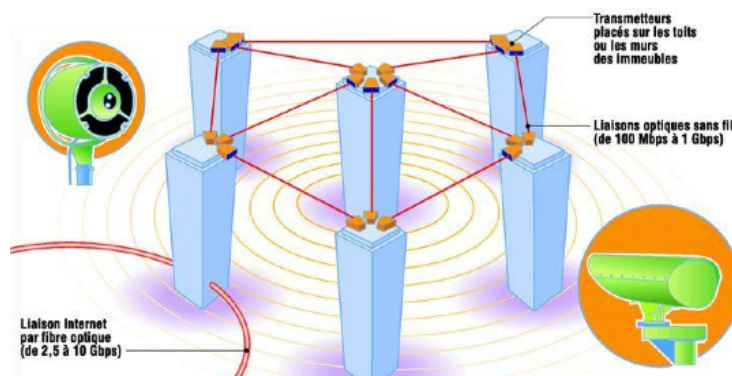
3.4.2.1.1 Faisceaux hertziens https://fr.wikipedia.org/wiki/Faisceau_hertzien Les faisceaux hertziens reposent sur l'utilisation de fréquences très élevées (de 2 GHz à 15 GHz et jusqu'à 40 GHz) et de faisceaux directs produits par des antennes directionnelles qui émettent dans une direction donnée. La propagation des ondes est **limitée à l'horizon optique**; la transmission se fait entre des stations placées en hauteur, par exemple sur une tour ou au sommet d'une colline, pour éviter les obstacles dus aux constructions environnantes. Les faisceaux hertziens s'utilisent pour la **transmission par satellite**, pour celle des chaînes de télévision ou pour constituer des artères de transmission longue distance dans les réseaux téléphoniques.

3.4.2.1.2 Ondes radioélectriques https://fr.wikipedia.org/wiki/Onde_radio Les ondes radioélectriques correspondent à des fréquences comprises entre 10 kHz et 2 GHz. Un émetteur diffuse ces ondes captées par des récepteurs dispersés géographiquement. Contrairement aux faisceaux hertziens, il n'est pas nécessaire d'avoir une visibilité directe entre émetteur et récepteur, car celui-ci utilise l'ensemble des ondes réfléchies et diffractées. En revanche, la qualité de la transmission est

moindre car les interférences sont nombreuses et la puissance d'émission beaucoup plus faible.

3.4.2.2 Ondes lumineuses

Les liaisons infrarouges et lasers constituent un cas particulier des liaisons hertziennes. Elles sont généralement utilisées, pour interconnecter deux réseaux privés, sur de courtes distances, de l'ordre de quelques centaines de mètres. Elles utilisent des technologies comparables à celles des fibres optiques, mais au lieu d'emprunter un canal en verre, les données prennent la voie des airs à un très hauts débits pouvant dépasser 1 GBit/s. Le signal est numérisé et transmis par un rayon infrarouge ou Laser dans une ligne de visée précise. Le plus souvent, ces liaisons s'effectuent entre des transmetteurs installés au sommets d'immeubles et communiquant en point à point par le biais de faisceaux.

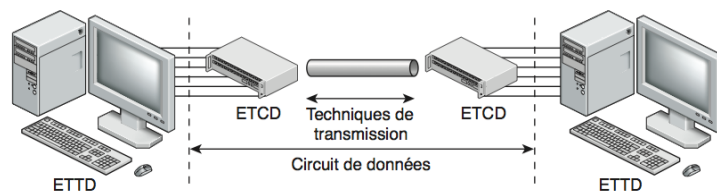


3.5 Codage de l'information

Encodage des signaux

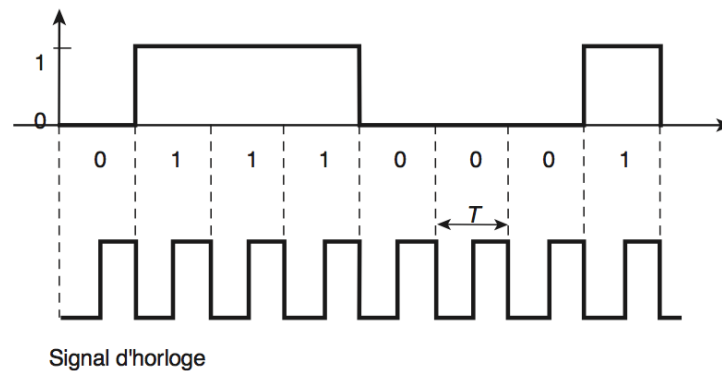
Pour transmettre les données, un équipement spécifique est placé à chaque extrémité du support : soit un **modem** (modulateur-démodulateur), soit un **codec** (codeur-décodeur). Cet équipement assure la fabrication des signaux en émission et leur récupération en réception. Pour émettre les données, le modem reçoit la suite de données binaires à transmettre et fournit un signal dont les caractéristiques sont adaptées au support de transmission. Inversement, en réception, le modem extrait la suite des données binaires du signal reçu. Le support de transmission est ainsi transparent à l'utilisateur. Le support de transmission et les deux modems placés à chacune de ses extrémités constituent un ensemble appelé circuit de données.

Modem : composant matériel Codec : composant logiciel



L'ISO et l'ITU (Union International des Télécommunications) ont attribué des appellations génériques normalisées aux différents éléments de ce système. Ainsi, le modem et le codec s'appellent des ETCD (équipement de terminaison du circuit de données) et l'ordinateur s'appelle ETTD (équipement terminal de traitement des données).

L'ETTD émetteur fournit à l'ETCD, régulièrement dans le temps, les données à transmettre. L'ETCD les émet sous forme d'un signal à deux valeurs (correspondant à 0 et 1), appelé message de données synchrone.



Les intervalles de temps alloués à chaque symbole sont égaux et coïncident avec les périodes successives d'une base de temps (ou horloge) indispensable à l'interprétation du message de données.

Si la distance entre les deux ETCDs le permet, le signal numérique est transmis directement, la transmission est appelée dans ce cas **bande de base** c'est-à-dire dans la même bande du signal original. Dans le cas contraire, le signal est **modulé** et la transmission est appelée en **large bande** ou en **bande transposée**.

3.5.1 Transmission numérique (en bande de base)

Lorsque la longueur de la liaison ne dépasse pas **quelques centaines de mètres**, les informations peuvent être transmises sur le support de liaison sans transformation du signal numérique en signal analogique. sans modulation

La transmission en bande de base rencontrée principalement dans les **réseaux locaux**

permet d'obtenir des circuits de données à **grand débit** et faible portée (débits supérieurs à 1 Mbit/s pour des distances inférieures à 1 Km) en utilisant directement des supports physiques de types métallique (**paires torsadées** ou câble coaxiaux) ou **optique** avec éventuellement l'adjonction de **répéteurs** disposés sur des intervalles allant de 500 mètres à quelques kilomètres.

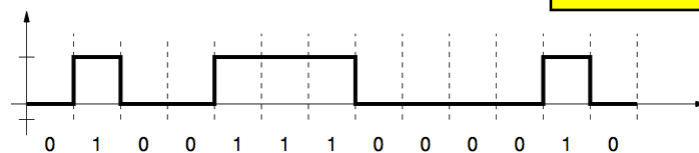
La transmission de longues suites de 0 ou de 1 (silences) peut rendre difficile la récupération de l'horloge, par conséquent, la perte de la synchronisation entre l'émetteur et le récepteur. Plusieurs types de codage sont utilisés pour introduire des changements d'état fréquents sur le signal pour éviter les silences.

(Ethernet est nativement asynchrone.)

3.5.1.1 Codage unipolaire

Le signal est transmis **sans le moindre changement.**

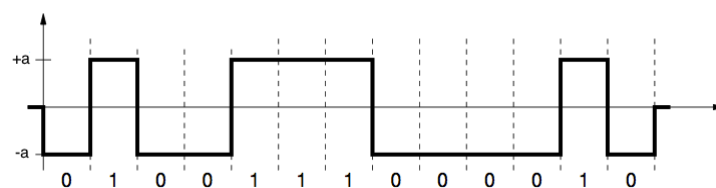
Très rapide (pas de codage/décodage) mais t



Le problème de ce codage est qu'il **ne permet pas de distinguer** le cas de **0** du cas d'**absence d'information**.

3.5.1.2 Codage NRZ

Pour éviter la valeur nulle, le codage **NRZ (No return to zero)** utilise une valeur $+a$ du signal pour représenter un 1 et $-a$ pour un 0.

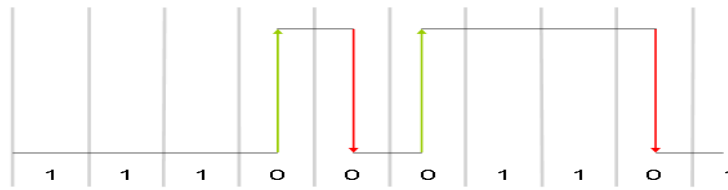


Exemple : liaison RS232 (typique)

3.5.1.3 Codage NRZI

Le code **NRZI (No Return to Zero Inverted)** présente les mêmes caractéristiques mais pour éviter les successions de 0, le signal reste dans le même état pour coder un 1 et change d'état pour coder un 0.

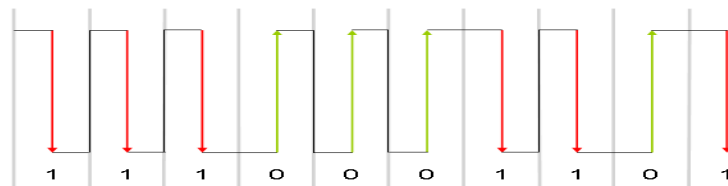
Exemple : USB
Inconvénient : synchronisation difficile lors



3.5.1.4 Code biphase ou code Manchester (Université de Manchester 1948)

signal logique issu

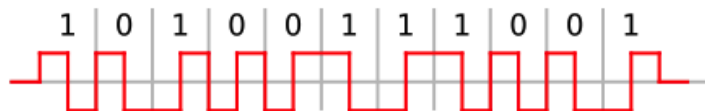
Une opération **XOR** (OU exclusif) est réalisée entre l'horloge et les données, d'où une transition systématique au milieu de chaque bit du signal binaire.



Usuellement : front montant -> 0

3.5.1.5 Code Manchester différentiel

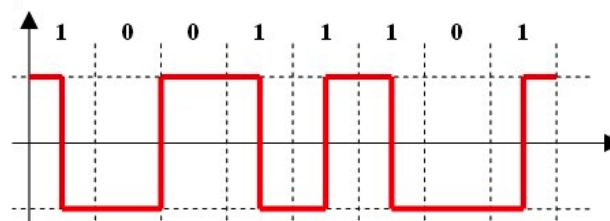
Une transition systématique est réalisée au milieu de chaque bit. Pas de transition pour coder un bit à 1, une transition pour coder un bit à 0



Pas de motifs constants pour 0 et 1

3.5.1.6 Code Miller

Une transition au milieu du bit pour un 1, pas de transition en milieu de bit pour un 0. Une transition à la fin du bit pour un 0 si le bit suivant est aussi un 0.



On part du code Manchester auquel o

3.5.2 Modulation (large bande)

Les techniques en bande de base ne sont pas fiables dès que la distance dépasse quelques centaines de mètres. Pour avoir un signal que l'on puisse récupérer correctement, il faut lui

forme sinusoïdale -> pas d'harmoniques

donner une forme spéciale (sinusoïdale) en le modulant. La transmission par modulation consiste à envoyer une onde sinusoïdale appelée porteuse. Le fait de n'avoir plus de fronts montants ni descendants protège beaucoup mieux le signal des dégradations occasionnées par la distance parcourue par le signal dans le câble puisque le signal est continu et non plus discret. Les opérations de modulation en émission et de démodulation en réception sont réalisées par l'ETCD couramment appelé modem (modulateur-démodulateur).

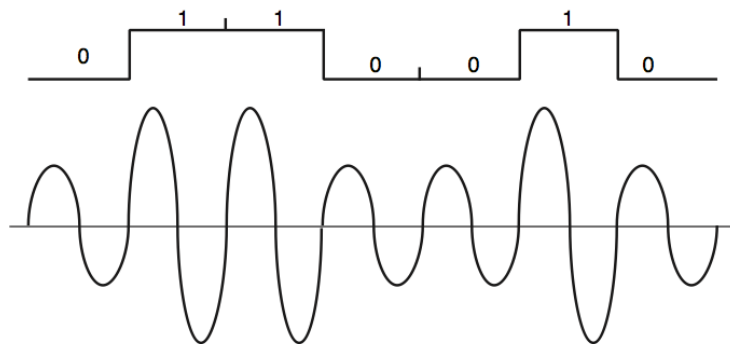
En fonction de la donnée à transmettre, le modem modifie l'un des paramètres de la porteuse (fréquence, phase ou amplitude). On distingue les trois grandes catégories de modulation suivantes :

- modulation d'amplitude, ou ASK (Amplitude-Shift Keying) ;
- modulation de phase, ou PSK (Phase-Shift Keying) ;
- modulation de fréquence, ou FSK (Frequency Shift Keying).

On utilise, souvent, des modulations combinées des trois types précédents.

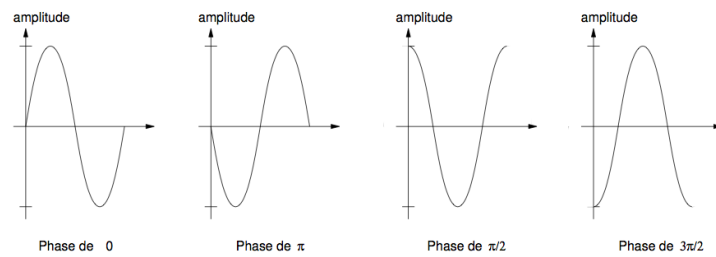
3.5.2.1 ASK (Amplitude-Shift Keying)

Dans la modulation d'amplitude, la distinction entre le 0 et le 1 est obtenue par une différence d'amplitude du signal.

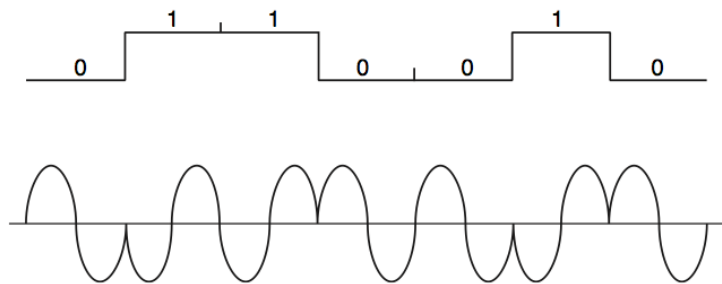


3.5.2.2 PSK (Phase-Shift Keying)

Pour la modulation de phase, la distinction entre 0 et 1 est effectuée par un signal qui commence à des emplacements différents de la sinusoïde, appelés phases.



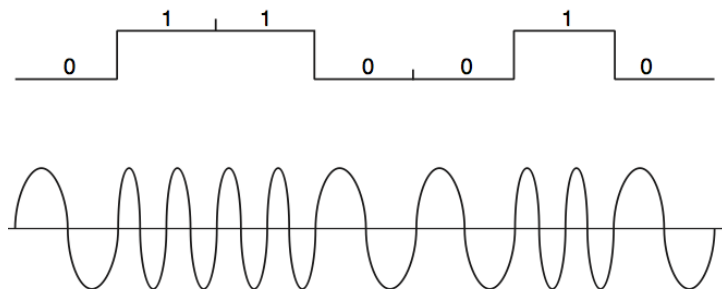
A la figure suivante, les valeurs 0 et 1 sont représentées par des phases respectives de 0 et de π .



3.5.2.3 FSK (Frequency Shift Keying)

https://fr.wikipedia.org/wiki/Phase-shift_keying

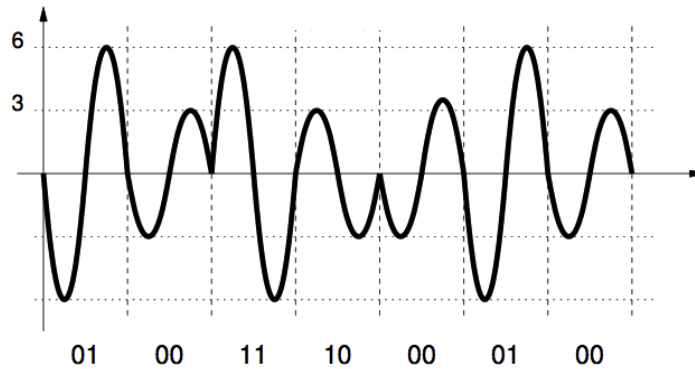
En modulation de fréquence, l'émetteur a la possibilité de modifier la fréquence d'envoi des signaux suivant que l'élément binaire à émettre est 0 ou 1.



3.5.2.4 Modulation par de phase et d'amplitude (PSK + AM)

Pour obtenir des vitesses de transmission encore plus élevées dans une modulation de type PSK, il est nécessaire de multiplier le nombre d'états de phase (couramment 4, 8, 16 états ou plus). En combinant une modulation de phase à une modulation d'amplitude, on obtient une meilleure répartition des points sur le diagramme spatial et donc une meilleure immunité au bruit. Par exemple, dans la figure suivante, on combine 2 phases et 2 amplitudes :

- 00 : phase de π et amplitude de 3
- 01 : phase de π et amplitude de 6
- 10 : phase de 0 et amplitude de 3
- 11 : phase de 0 et amplitude de 6



3.5.2.5 Transmission ADSL

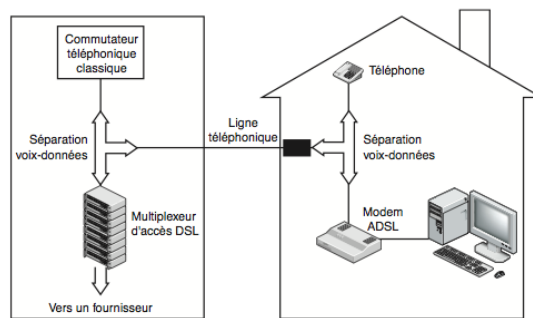
La capacité des lignes téléphoniques en paires torsadées est limitée d'une part par la bande passante, et d'autre part, par le rapport signal/bruit. Toutefois, sur des distances limitées à quelques kilomètres, en améliorant le rapport signal/bruit, il est possible de dépasser les débits de quelques dizaines de kbit/s obtenus avec les modulations précédentes.

La technique utilisée dans l'**Asymmetric Digital Subscriber Line**, permet d'atteindre des débits de plusieurs Mbit/s sur des distances inférieures à 5 km. Cette solution est mise en œuvre pour permettre, entre autres, aux abonnés du réseaux téléphonique commuté RTC (fixe) d'accéder à Internet à des débits élevés. Elle permet de plus, d'assurer une communication téléphonique simultanément aux transferts de données.

Compte tenu des objectifs, les débits dans le sens abonné vers réseau (flux montant ou upstream) sont moins élevés que dans le sens réseau vers abonné (flux descendant ou downstream).

Les valeurs typiques de débit sont de 640 kbit/s et 2 Mbit/s respectivement pour les flux montant et descendant, ce qui correspond à des requêtes sur des serveurs ou des bases de données. Pour obtenir de tels débits, la bande des fréquences utilisées sur les paires téléphoniques va de 0 Hz à 1,1 MHz (pour des lignes supportant de telles fréquences sur des distances courtes). La bande de 0 Hz à 4 kHz est réservée aux communications de type voix analogique. La bande de 64 kHz à 1,1 MHz est utilisée pour la transmission des données en deux bandes distinctes, une pour chaque flux.

Le raccordement, au niveau du réseau et de l'abonné, se fait selon le schéma suivant :



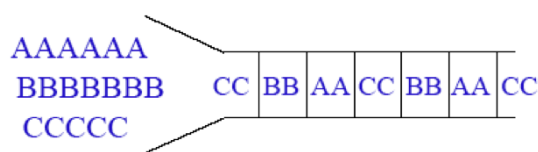
3.6 Multiplexage

Le multiplexage consiste à faire transiter sur une seule et même ligne de liaison, dite voie haute vitesse, des communications appartenant à plusieurs paires d'équipements émetteurs et récepteurs. Chaque émetteur (récepteur) est raccordé à un multiplexeur (démultiplexeur) par une liaison dite voie basse vitesse.

Plusieurs techniques sont possibles :

3.6.1 Multiplexage temporel TDMA (Time Division Multiplexing Access)

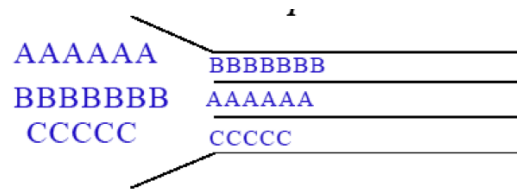
Il **partage dans le temps** l'utilisation de la voie haute vitesse en l'attribuant successivement aux différentes voies basse vitesse même si celles-ci n'ont rien à émettre. Suivant les techniques chaque intervalle de temps attribué à une voie lui permettra de transmettre 1 ou plusieurs bits.



3.6.2 Multiplexage fréquentiel FDM (Frequency Division Multiplexing)

Il consiste à affecter à chaque voie basse vitesse une **bande passante particulière** sur la voie haute vitesse en s'assurant qu'aucune bande passante de voie basse vitesse ne se chevauche. Le multiplexeur prend chaque signal de voie basse vitesse et le remet sur la voie haute vitesse dans la plage de fréquences prévues. Ainsi, plusieurs transmissions peuvent être faites simultanément, chacune sur une bande de fréquences particulières, et à l'arrivée

le démultiplexeur est capable de discriminer chaque signal de la voie haute vitesse pour l'aiguiller sur la bonne voie basse vitesse.



3.6.3 Multiplexage statistique ATDM (Asynchronous Time Division Multiplexing)

Il améliore le multiplexage temporel en n'attribuant la voie haute vitesse qu'aux voies basse vitesse qui ont effectivement quelque chose à transmettre. En ne transmettant pas les silences des voies basses, cette technique implantée dans des concentrateurs améliore grandement le débit global des transmissions mais elle fait appel à des protocoles de plus haut niveau et est basée sur des moyennes statistiques des débits de chaque ligne basse vitesse.