

Table des matières

Rappel.....	2
Introduction.....	2
Rôle.....	3
Transmission.....	3
Impédance caractéristique.....	3
Vitesse de propagation.....	4
L'atténuation.....	4
Largeur de bande et Bande passante.....	5
La réflexion.....	5
Le bruit.....	6
Résumé.....	6
Mise en oeuvre des conducteurs électriques	7
Modes de transmission.....	7
Type de liaison.....	8
Topologies.....	8
Les conducteurs électriques.....	9
Catégorie.....	9
Classe.....	9
AWG (American Wire Gauge).....	9
Structure du câble.....	10
Résumé.....	10
La Fibre optique.....	11
Les radio transmissions.....	12
Les courants porteurs.....	12
La transmission en bande de base.....	12

	paire torsadée		câble coaxial	fibre optique		
	non blindée	blindée	fils individ.	plastique	multi-mode	mono-mode
débit max	~100 Mbit/s		x 100 Mbit/s	125 Mbit/s	x 100 Mbit/s	x Gbit/s
longueur max.	x 100 m	1 km	x km	100 m	x km	x 10 km
coût de mise en œuvre	faible	moyen	élevé	moyen	élevé	élevé
CEM et fiabilité	faible	moyenne	bonne	parfaite	parfaite	parfaite
complexité	simple	moyenne	complexe	moyenne	moyenne	moyenne

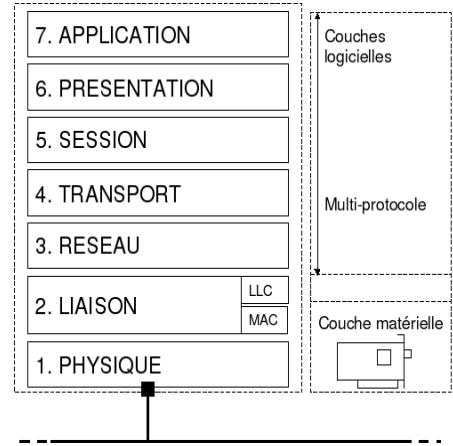
Rappel

Un bus de terrain est un système de communication dédié qui respecte le modèle d'interconnexion des systèmes ouverts (OSI) de l'Organisation de Standardisation Internationale (ISO 7498 – 1983).

Le modèle OSI est une base de référence pour identifier et séparer les différentes fonctions d'un système de communication.

Un réseau de communication est basé sur une structure en couches.

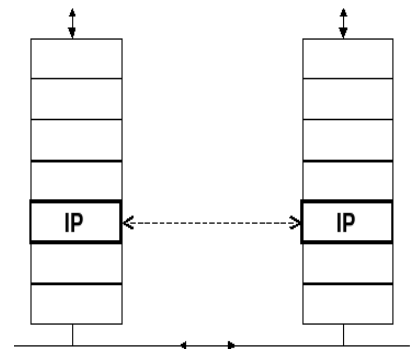
Chaque couche (matériel, logiciel) assure un ensemble de fonctions spécifiques.



Chaque couche utilise les services de la couche immédiatement inférieure pour rendre à son tour un service à la couche immédiatement supérieure.

Un protocole est le langage commun (règles de dialogue) que doivent connaître et utiliser deux couches homologues (couche de même niveau).

Le modèle OSI possède 7 couches ou niveaux qui définissent les fonctions des protocoles de communication qui vont de l'interface physique à l'interface des applicatifs utilisant le réseau. En raison de son apparence, la structure est très souvent appelé pile ou pile de protocoles.



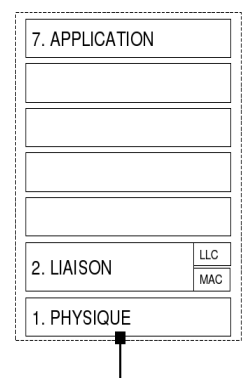
Introduction

Un bus de terrain est basé sur la restriction du modèle OSI à 3 couches :

- Couche Application
- Couche Liaison
- Couche Physique

Cette modélisation est respectée par les standards de fait et internationaux.

Le standard international ISA/SP50 a en plus normalisé la partie applicative, c'est à dire la fonction d'automatisme réalisée par le système. Les concepts de la programmation objet ont été utilisés.



Les couches 3 à 6 sont vides (pas de besoin d'interconnexion avec un autre réseau, gain en performance).

Couche Physique

Son rôle est d'assurer la transmission des bits sur le support physique d'interconnexion.

Ses fonctions principales sont :

- spécifier les caractéristiques électriques, mécaniques et fonctionnelles permettant d'activer, maintenir et désactiver une transmission ;
- définir le mode d'exploitation (semi-duplex, duplex intégral, //, série, ...) ;
- réaliser une connexion (permanente, dynamique, point à point ou multipoint) ;
- assurer la compatibilité des interfaces qui réalisent les fonctions de codage (représentation des données en bit), de modulation et d'amplification du signal.
- assurer des fonctions de synchronisation, de détection d'erreur (niveau bit)

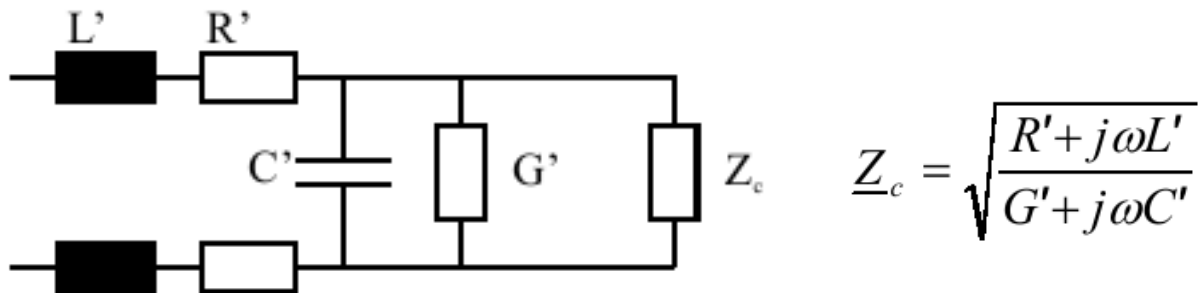
Exemples d'éléments de la couche 1 :

V24, X21, RS232, RS485, multiplexeur, transceiver, répéteur, MAU et HUB (concentrateur), DB25 et DB9, RJ45 et RJ11, fibre optique (monomode, multimode), paires torsadées en cuivre (catégorie 5, UTP, FTP, STP, ...) etc ...

Transmission

Impédance caractéristique

Un conducteur électrique est défini par son **impédance caractéristique Z_c** qui correspond à l'impédance qu'aurait la ligne non fermée si elle possédait une longueur infinie.



Caractéristiques primaires du câble :

- R' = résistance spécifique [Ohm/m] et L' = inductance spécifique [H/m]
- G' = conductance spécifique [1/ Ohm m] ou [S/m] et C' = capacité spécifique [F/m]

La ligne provoque une atténuation [dB/m] du à un **affaiblissement linéique** et un déphasage linéique [rad/m]. Une ligne introduit donc 2 types de défauts :

- **atténuation** en [dB/m] : le signal subit une décroissance exponentielle le long de son trajet
- **dispersion** : un signal carré arrive déformé au bout de la ligne, sous l'effet du déphasage

Dans une ligne de transmission, on doit tenir compte de 5 caractéristiques.

Vitesse de propagation

Lorsque l'on transmet un signal, quelque soit le type d'information (son, lumière, onde électromagnétique), il met obligatoirement un certain temps à se propager dans le milieu environnant (il lui est impossible de se propager plus rapidement que la lumière et sa vitesse est freinée par le milieu traversé).

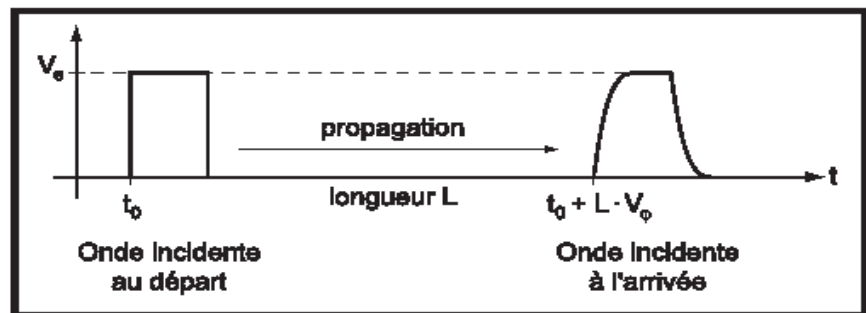
Remarque : la vitesse de propagation du son dans l'air est de 1224 km/h (Mach 1). Mais, elle est très différente dans l'eau puisqu'elle est alors de 5130 km/h (environ Mach 4). La vitesse de propagation d'une onde est donc liée au milieu traversé.

Dans un câble électrique, on définit 2 vitesses de propagation suivant le type d'information transmis. On trouve, d'une part, la vitesse de phase (V_ϕ) qui représente la vitesse de propagation d'une onde monochromatique (une seule fréquence) et d'autre part, la vitesse de groupe (V_g) qui définit la variation de vitesse d'un paquet d'ondes en fonction de la fréquence de ses harmoniques (cf. Fourier).

Ces vitesses permettent de définir d'une part la forme des d'ondes à l'arrivée du signal, d'autre part, le temps mis par une onde pour se propager le long de la ligne.

En effet, la différence des vitesses pour différentes fréquences fait qu'un signal carré au départ est comme filtré à l'arrivée. Cela peut se traduire par un "circuit passe-bas" équivalent, sans atténuation, mais induisant un déphasage.

On résout généralement les problèmes de déformations liés aux vitesses de propagation en réalisant une mise en forme (détecteur à hystérésis) à la réception. Toutefois, cela entraîne un décalage temporel du signal.



L'atténuation

Dans un câble électrique, on est confronté à un phénomène d'atténuation de l'amplitude des signaux, c'est à dire qu'il y a des pertes de puissance (effet Joule) dans un fil électrique. Ce phénomène est inhérent à la résistivité intrinsèque de la matière (seuls les matériaux supraconducteurs n'ont pas de résistivité).

L'atténuation augmente avec la fréquence et la longueur du câble et, diminue si l'impédance est élevée.

Il faut tenir compte de cette atténuation pour définir la longueur maximale des liaisons sur un fil sans utiliser de répéteur. Le répéteur étant un amplificateur qui permet d'augmenter la puissance du signal.

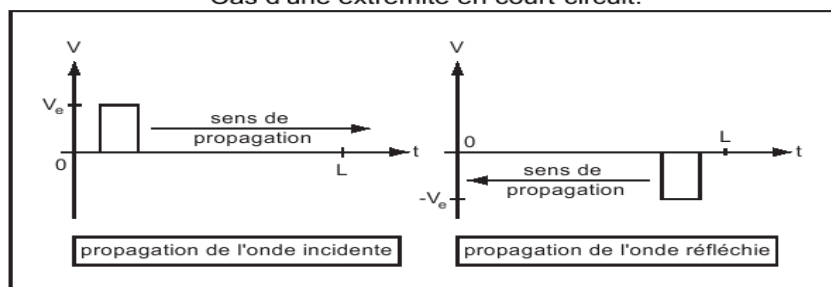
Largeur de bande et Bande passante

La largeur de bande caractérise les fréquences utilisées par un signal. La bande passante d'un support de transmission est la bande de fréquences (spectre) dans laquelle les signaux transportés sont reçus avec une amplitude suffisante.

La réflexion

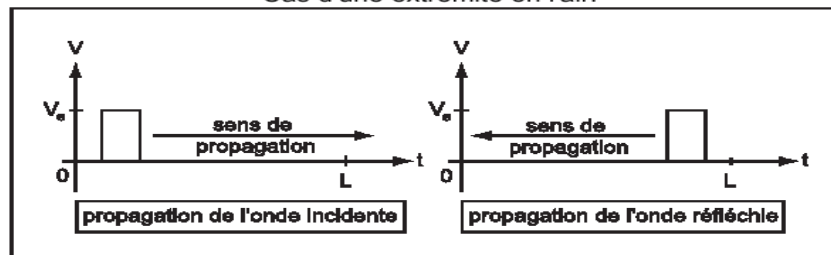
Lorsqu'une onde atteint l'extrémité d'une ligne non terminée par un élément de résistance caractéristique égale à l'impédance de la ligne, cette onde est réfléchiée et reprend le chemin qu'elle a déjà parcouru. De retour à l'origine, elle peut à nouveau rebondir si cette extrémité aussi n'est pas adaptée, on a alors dans la ligne une onde qui va aller et venir, en rebondissant sur les extrémités de la ligne.

Cas d'une extrémité en court-circuit.



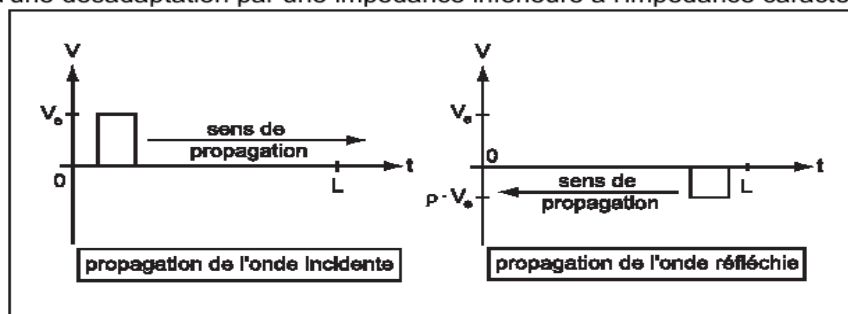
Dans le cas d'un court-circuit, l'onde se réfléchiée en s'inversant

Cas d'une extrémité en l'air.



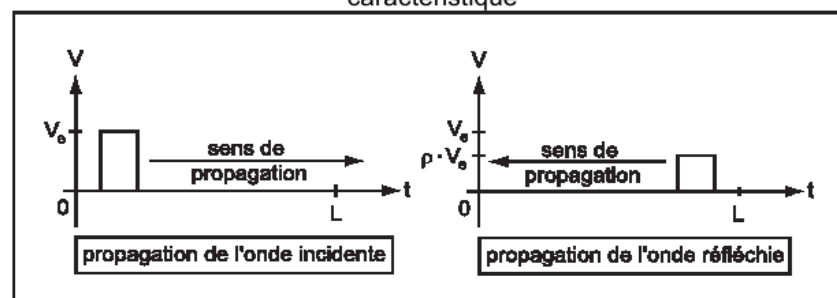
Dans le cas d'une extrémité en l'air, l'onde se réfléchiée sans s'inverser.

Cas d'une désadaptation par une impédance inférieure à l'impédance caractéristique



Dans ce cas, l'onde revient avec une amplitude plus faible, mais de signe opposé.

Cas d'une désadaptation par une impédance supérieure à l'impédance caractéristique



Dans ce cas, l'onde revient avec une amplitude plus faible, mais de même signe.

La réflexion sur les lignes est un élément préoccupant dans les transmissions puisque, si l'analyse des phénomènes d'atténuation et de déphasage montre qu'il suffit d'utiliser des éléments de mise en forme pour corriger ces déformations, les réflexions dans les lignes, nous confrontent à des problèmes de fonctionnement. La ligne de transmission nécessite donc une **adaptation d'impédance** réalisée par une terminaison ou bouchon (résistance) des deux côtés.

Le bruit

Le bruit est un élément qui provient de notre environnement (lampes au néon, moteurs électriques, téléphonie et ondes hertziennes classiques, composants électroniques, température, ...) et couvre toute la gamme des fréquences accessibles.

Le **rapport Signal/Bruit** (*Signal/Noise* en décibels) quantifie la proportion de bruit par rapport au signal utile. Il doit être le plus élevé possible.

Effet des perturbations électromagnétiques

- sensibilité aux champs magnétiques : les câbles torsadés sont moins sensibles aux champs magnétiques perturbateurs
- sensibilité aux champs électriques : les blindages ou (écranage) améliorent encore l'immunité aux perturbations

L'affaiblissement paradiaphonique (ou NEXT : *Near End Cross Talk*) correspond aux perturbations dues aux signaux des paires voisines et s'exprime en décibels. Il doit être le plus élevé possible.

Résumé

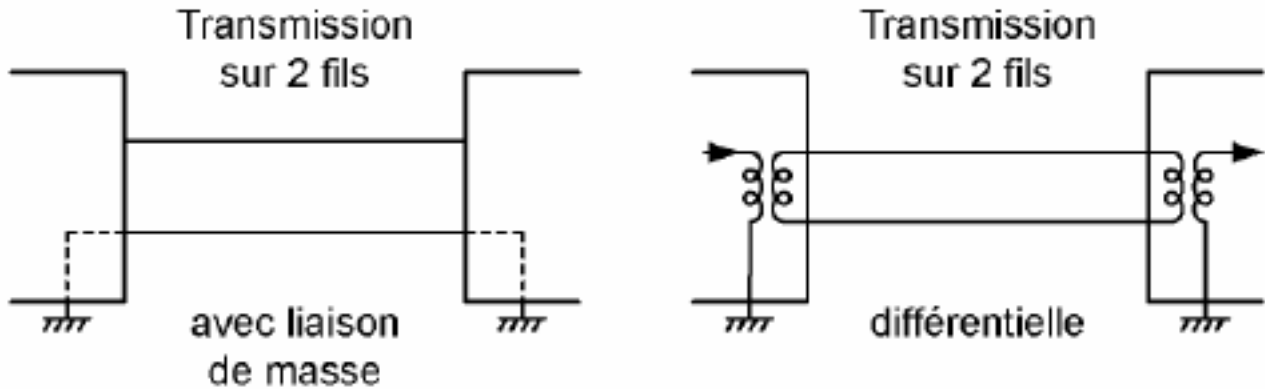
Pour obtenir une transmission de bonne qualité, il faut un câble ayant :

- **une faible atténuation**
- **un fort affaiblissement paradiaphonique.**
- **un rapport signal/bruit élevé.**

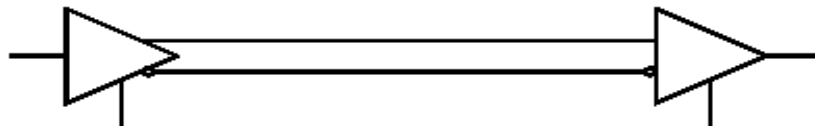
Remarque : la vitesse de propagation dans un câble est souvent caractérisé par un coefficient de vélocité (NVP) facteur de la vitesse de la lumière dans le vide (2.10^8 m/s). Par exemple, un câble cuivre aura un NVP compris entre 0,6 et 0,8.

Mise en oeuvre des conducteurs électriques

Modes de transmission



Le mode différentiel consiste à envoyer l'information sur 2 lignes. On crée une voie en "logique positive" et une autre en "logique négative", l'information étant la soustraction de ces 2 signaux. Comme on ne transmet plus la masse, l'information est flottante, sans référence. A l'arrivée, la soustraction des 2 signaux s'effectue avec la référence de masse locale, ce qui fixe le potentiel du signal à sa destination finale. Plus de problème de différence de potentiel entre les masses.



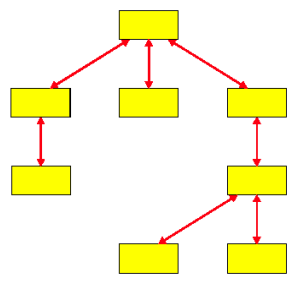
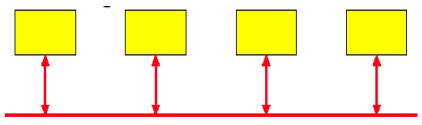
En cas de perturbation, le bruit, perturbant les deux fils, s'annule. Si au départ de la ligne, on a un signal d'information d'amplitude $2A$. A l'arrivée de la ligne, on a donc d'une part sur la première voie le "demi signal" de données (A) et un bruit (B) et sur l'autre voie, le même "demi signal" mais inversé ($-A$) et le bruit (B). En soustrayant les signaux des deux voies, on obtient la sortie S :

$$S = (A + B) - (-A + B) = A + B + A - B = 2A$$

Ce type de liaison différentielle est utilisé dans de très nombreux réseaux à moyenne ou grande échelle (ETHERNET) ou subissant un environnement extrêmement bruyant (CAN).

Type de liaison

On distingue deux types de liaison:

- liaison point à point (2 participants)** : utilise un dialogue *full duplex* (le plus courant) ou *half duplex* (moins cher mais plus lent). On utilisera une topologie libre avec différentes possibilités de câblage (arborescente, chaînage, étoile, maillage, ...). Les avantages sont : la rapidité (simultanéité des dialogues et pas de conflit d'accès), la modularité (ajout/suppression de stations en fonctionnement possible) et une grande souplesse de câblage. Les inconvénients sont : goulet d'étranglement (station centrale) et la longueur de câbles en configuration étoile. Exemples : RS232, USB, Ethernet 10xBASET (avec 2 stations ou avec un commutateur/*switch*)
 
- liaison multipoint (n participants, pour n voir norme)**: utilise un dialogue *half duplex* (le plus courant) ou *full duplex* (alternative possible). On utilisera soit une topologie en bus (avec un câblage en chaîne, un câblage avec des connexions en T, un câblage avec des prise vampires ou un câblage en étoile avec un concentrateur/*hub*) soit une topologie en anneau (bus fermé). Les avantages sont : la simplicité, la transmission en diffusion (*broadcast*, *multicast*), la longueur minimale de câble (suivant le type de câblage). Les inconvénients sont : seule une station peut émettre à la fois (conflit d'accès), les résistances de terminaison. Exemples : RS485, Ethernet 10BASE2 (*thin* coaxial + prise BNC en T), 10BASE5 (*thick* coaxial avec prises vampires) ou 10BASET (paires torsadées avec un *hub*), Profibus, Modbus (bus) ou Token Ring, Interbus-S (anneau).
 

Topologies

Arborescence, bus, anneau, maillé, ...

Les conducteurs électriques

- **fils individuels** : sensibles aux perturbations électromagnétiques
- **paires torsadées** : bon compromis performances / coûts
- **câbles coaxiaux** : meilleure bande passante et insensibilité, connexions plus coûteuses

Catégorie

La catégorie caractérise un type de câble, certifié selon une norme reconnue:

Catégorie	Fréquence Maximum	Débit	Domaine d'utilisation
Cat. 1	Câble téléphonique		Abandonné
Cat. 2			
Cat. 3	16MHz	10Mbits/s	10BASE-T
Cat. 4	20MHz	16Mbits/s	Token Ring ou 100BASE-T4
Cat. 5	100MHz	100Mbits/s	100BASE-TX ou ATM
Cat. 5e	100MHz	1Gbit/s	Ethernet Gigabit ou plus
Cat. 6	200MHz	1Gbit/s et +	
Cat. 7	600MHz	1Gbit/s et +	

Classe

La classe caractérise des applications (exemple : Fast-Ethernet 100 Mbit/s catégorie 5):

Classe Validée	Fréquence Maxi	Catégorie 3	Catégorie 4	Catégorie 5	Catégorie 6	Catégorie 7
Classe A	0,1 Mhz	2000 m	3000 m	3000 m	n.d	3000 m
Classe B	1 Mhz	200 m	260 m	260 m	n.d	290 m
Classe C	16 Mhz	100 m	150 m	160 m	n.d	180 m
Classe D	100 Mhz			100 m	n.d	120 m
Classe E	250 Mhz				100 m	110 m
Classe F	600 Mhz					100 m





AWG (American Wire Gauge)

Cette norme qui, à l'origine était utilisée pour les cordes de guitare (monter d'un ton revient à prendre une corde en AWG+1), est désormais dédiée aux câbles électrique et donne à partir d'un nombre le diamètre du conducteur mais aussi sa résistance linéique:

AWG	ø:1/10mm	Ω/m
36	1,270	1,257
38	1,008	1,995
40	0,800	3,167
42	0,635	5,027
44	0,504	7,980

Structure du câble

La structure du câble (UTP, FTP, etc.) n'intervient que pour assurer la CEM (EMC : *Electro Magnetic Compatibility*)

Câble non blindé	UTP	Unshielded Twisted Pair	
Câble écranté	FTP	Foiled Twisted Pair	
Câble écranté-blindé	S-FTP	Shielded-Foiled Twisted Pair	
Câble double blindage	S-STP	Shielded-Shielded Twisted Pair	

Remarque : les paires torsadées permettant de **réduire l'effet de la diaphonie par la fréquence de torsadage des paires**. Dans une liaison à 2 paires, les paires 1 et 2 sont torsadées à des fréquences différentes (en général il y a un facteur 2). Dans une liaison à 4 paires, les paires 1 et 3 sont de fréquences identiques, de même que les paires 2 et 4, mais ces 2 fréquences sont différentes.

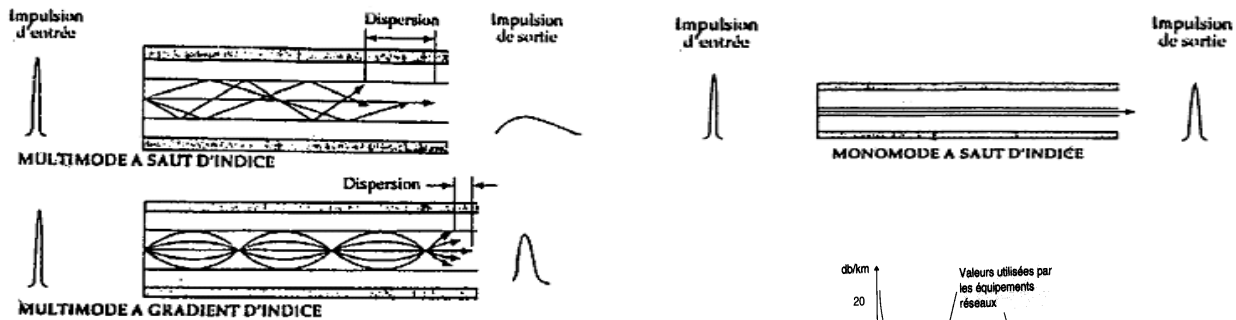
Résumé

- Avantages
 - technique de câblage classique et bien maîtrisée
 - réalisation et réparation aisées sur site
 - bon marché
- Inconvénients
 - débit limité à ~1 Gbit/s
 - isolation coûteuse (transformateur, optocoupleur)
 - sensibilité aux perturbations électromagnétiques
 - recherche des pannes et des faux contacts difficile
 - encombrement

La Fibre optique

On distingue 3 types de fibre :

- Les fibres multimodes à saut d'indice (réfraction à angle droit) : bus de terrain
- Les fibres multimodes à gradient d'indice (onde de forme sinusoïdale) : réseaux entreprise
- Les fibres monomodes (onde droite) : télécommunications



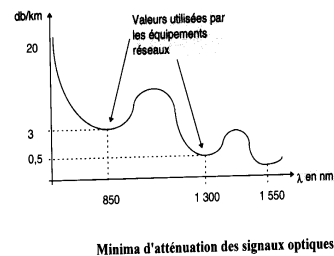
Distance : verre (100 km), plastique (30 à 100 m)

Emetteur : diode (éventuellement laser)

Récepteur : photodiode

Longueur d'onde : 850 ... 1300 nm

Vitesse de propagation : environ 200000 km/s



Remarque : la fibre optique ne permet de réaliser que des liaisons point à point. La propagation dans une fibre est toujours unidirectionnel : une liaison est donc constituée de deux fibres (une pour chaque sens de transmission).

	Multimode à saut d'indice	Multimode à gradient d'indice	Monomode
Source lumineuse	LED ou laser	LED ou laser	Laser
Bande passante	20 à 200 MHz.km	200 MHz à 1,5 Ghz/km	3 à 50 Ghz.km
Diamètre du cœur	de 50 à 125 μ	de 50 à 125 μ	de 2 à 8 μ
Diamètre de la gaine	de 125 à 440 μ	de 125 à 440 μ	de 15 à 60 μ
Application	Informatique Image Téléphonie	Lignes téléphoniques de moyenne portée Image	Lignes de télécommunication longues distances

➤ Avantages

- atténuation faible et indépendante de la fréquence
- débit très élevé, longue distance
- excellente compatibilité électromagnétique (CEM)
- isolation électrique parfaite (assure l'équipotentialité des sites distants)

➤ Inconvénients

- seules des liaisons point à point sont faciles à réaliser
- pose et montage des connecteurs délicates
- le coût

Les radio transmissions

- Avantages
 - mobilité
 - installation facile
 - plus de câble (mais qui change la pile ?)
- Inconvénients
 - distances limitées
 - faible bande passante
 - conflits entre réseaux

Les courants porteurs

Le réseau d'alimentation est utilisé comme réseau de communication.

- Avantages
 - réduction des coûts de câblage
 - intéressant pour l'équipement de bâtiments existants
- Inconvénients
 - forte sensibilité aux perturbations électromagnétiques
 - bande passante limitée (EEF-Sunrise : 384 kbit/s)

La transmission en bande de base.

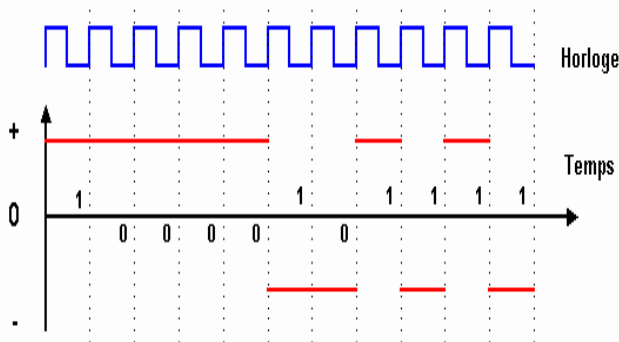
Le principe de la transmission en bande de base (BASEBAND) consiste à transmettre un **signal numérique** dans une bande de fréquence (en occupant la totalité de la bande passante) sans le moduler (donc sans le décaler dans un autre domaine de fréquence). Il est nécessaire que le signal soit codé de façon à faciliter sa transmission sur le support physique. La transmission en large de bande (BROADBAND) est elle analogique.

Lors d'une transmission synchrone, le signal d'horloge de l'émetteur est transmis sur la ligne au récepteur ou reconstitué par ce dernier (en utilisant les fronts du signal), ce qui évite une nouvelle synchronisation en réception et garantit des instants d'échantillonnage en phase quelle que soit la position relative du bit dans la séquence.

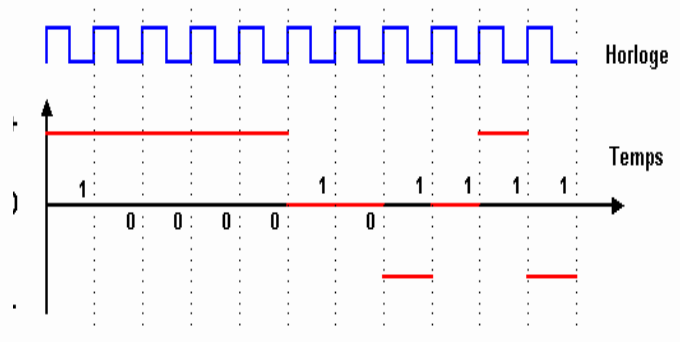
Dans la mesure où la fréquence de l'horloge d'émission est rigoureusement égale à celle de l'horloge de réception, les débits peuvent être plus importants. De même la longueur des trames n'est plus limitée à un caractère comme pour la transmission asynchrone mais est quelconque, ce qui réduit l'importance relative des bits servant au contrôle par rapport aux bits utiles.

Exemple de codages :

NRZI (Fast Ethernet 100BaseFX)

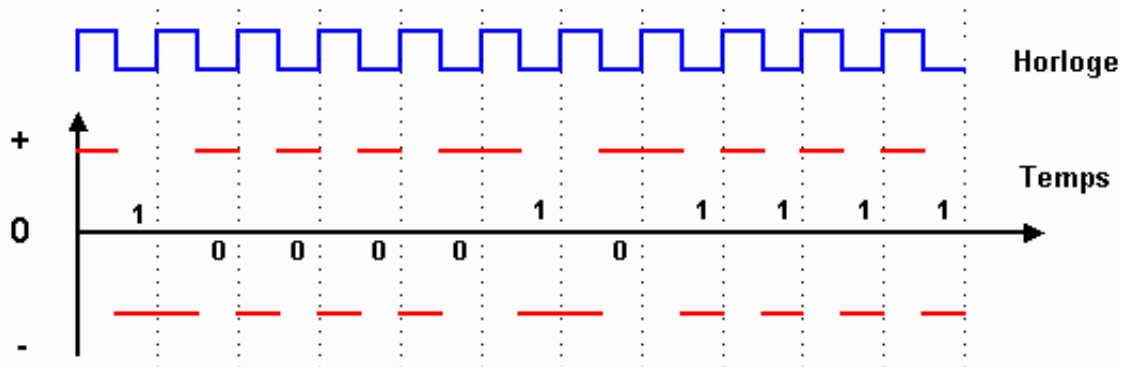


MLT3 (Fast Ethernet 100BaseTX)



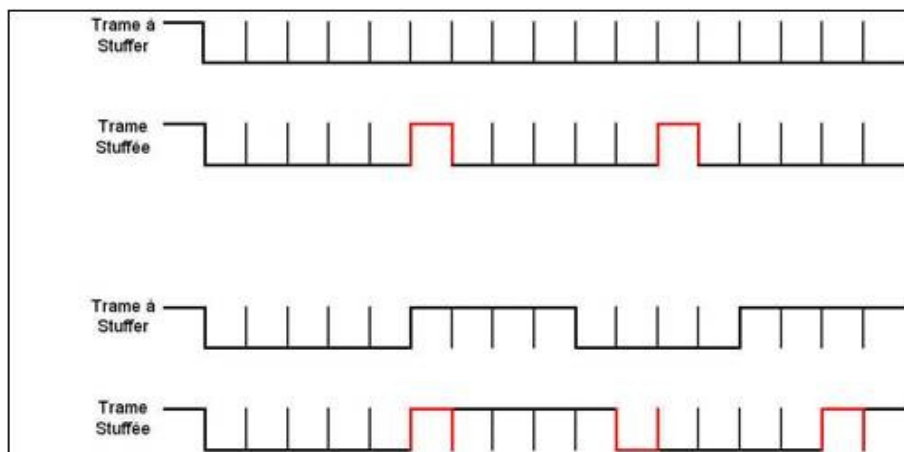
Remarque : il faudra limiter le nombre de 0 consécutifs (voir codage nB/mB)

Manchester (Ethernet 10Base5, 10Base2, 10BaseT)



Remarque : augmente fortement la fréquence ce qui le rend difficilement utilisable pour des débits plus élevés.

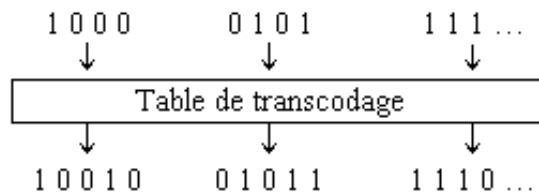
Méthode de Bit-Stuffing : Cette méthode consiste, dès que l'on a émis 5 bits de même polarité sur le bus, à insérer un bit de polarité contraire pour casser des chaînes trop importantes de bits identiques. On obtient ainsi dans le message un plus grand nombre de transitions ce qui permet de faciliter la synchronisation en réception. Cette technique est notamment utilisé sur le bus CAN (avec un codage NRZ simple).



Le Codage nB/mB

Il s'agit d'un codage par bloc. On utilise une table de transcodage pour coder un groupe de n bits en m bits (**4B/5B pour Fast Ethernet et 8B/10B pour Gigabit Ethernet**). Ce codage ne définit pas la mise en ligne des bits. On utilise généralement pour cela un codage de type NRZI ou MLT3.

La suite binaire 1 0 0 0 1 0 1 1 1 1 va être découpée en groupes de 4 bits. Une table de transcodage permet de transformer chaque groupe de 4 bits en groupe de 5 bits.



La suite à transmettre ne comporte pas plus de deux 0 consécutifs, ce qui la rend plus facile à transmettre un fois codée en NRZI ou MLT3.

Ce type de codage nB/mB augmente la fréquence du signal (par exemple 125Mhz pour 100Mbps en Fast Ethernet) compensée par l'utilisation d'un codage NRZI ou MLT3.

Ressource :

http://deptinfo.cnam.fr/Enseignement/Memoires/LUSTEAU.Franck/Pages/Les_codages.htm