

Cours de réseaux

M1 Informatique
Faculté Jean Perrin



Plan du cours

Partie 1 : Introduction

Partie 2 : Couche physique

Partie 3 : Couche liaison des données

Partie 4 : Couche Réseau / IPv4

Partie 5 : Couche Réseau / Routage

Partie 6 : Couche Réseau / IPv4, IPv6

Partie 7 : Couche transport : TCP et UDP

Partie 8 : Couche application

Partie 9 : Couche application / Etude de protocoles

Partie 10 : Notions d'attaques et de sécurité

Partie 2

Couche physique

Vous êtes ici

Modèle OSI

7	Application
6	Présentation
5	Session
4	Transport
3	Réseau
2	Liaison
1	Physique



Trame -> bits

TCP/IP

<i>Applications</i> <i>Services Internet</i>
<i>Transport (TCP)</i>
<i>Internet (IP)</i>
<i>Accès au Réseau</i>

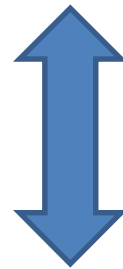
Fonctions de la couche physique

- Transmission physique :
 - Support électrique, électromagnétique...
- Transformation d'une suite de bits en signaux (et inversement)
- Permet de s'abstraire du support physique
- Partage du support physique

Transmission de l'information

Etat logique (suite de 0 et de 1)

Numérique



Etat du support (signal)

Analogique

Codage

Codage : méthode de conversion d'un flux de bits de données en code prédéfini.

Code : groupement de bits utilisés pour fournir un modèle prévisible pouvant être reconnu (par l'expéditeur et le récepteur).

Avantages :

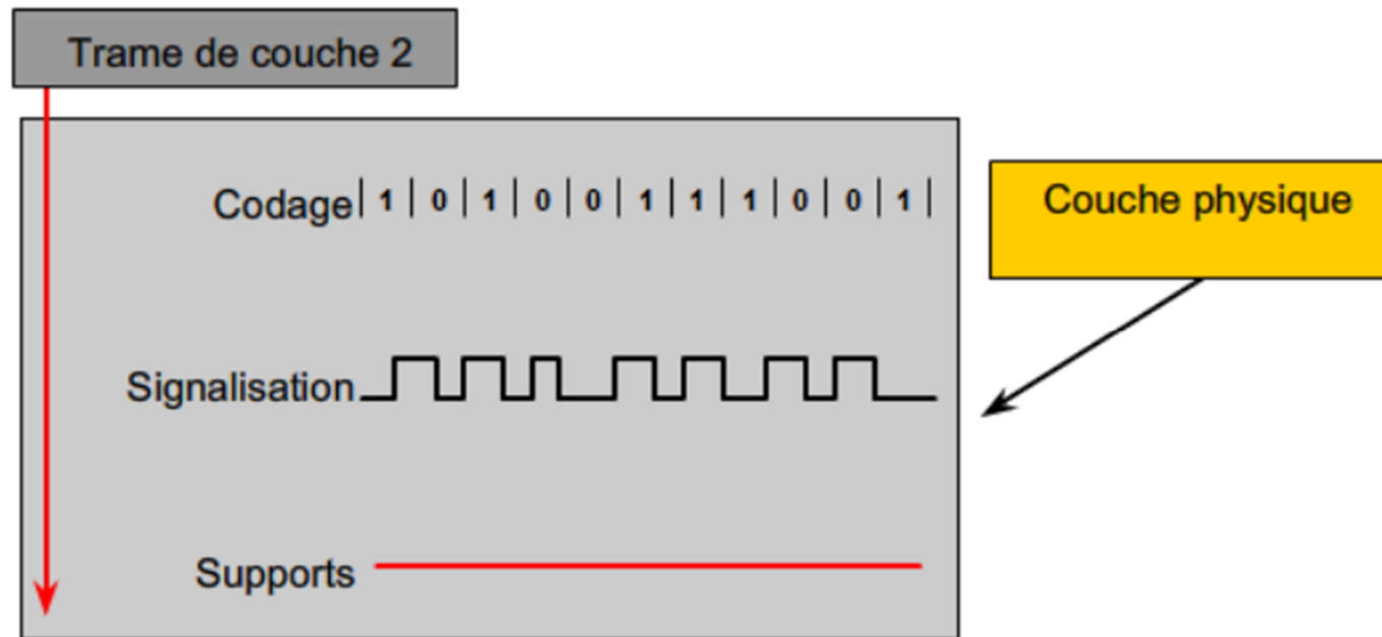
- Détection des erreurs
- Distinction des bits de contrôle / données

Signalisation

Représentation d'un 0 ou 1 sur un support physique.

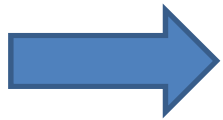
Exemples : changement du signal électrique, impulsion optique,...

Codage et signalisation



Durée du bit

C'est le temps spécifique d'occupation d'un signal (représentant un bit) sur le support physique.



Nécessité de synchroniser émetteur et récepteur : utilisation d'horloge.

Principes de la transmission

Lorsque la bande passante du canal de transmission le permet (fréquence du signal à transmettre compris dans cette bande passante), le signal est envoyé directement sur le canal de transmission en appliquant un codage adapté.

La plupart du temps, le signal (contenant l'information) ne peut pas être transmis tel quel sur la voie de transmission pour des raisons physiques (bande passante du canal de transmission pas assez large) liées à des contraintes de media à utiliser. On utilise alors la technique de modulation de la porteuse adaptée à ce canal de transmission. C'est cette modulation qui contient l'information à transmettre.

Techniques de modulation

- Les bits sont représentés sur le support en changeant une ou plusieurs caractéristiques d'un signal :
 - Amplitude
 - Fréquence
 - Phase
- Emetteur et récepteur doivent se mettre d'accord sur une norme de représentation.

Oups ! J'y comprends déjà plus rien !



Un peu de math
Un peu de physique
Un peu de traitement du signal...

C'est quoi un signal ?

Un **signal** est la représentation physique d'une information qu'il convoie de sa source vers le destinataire.

Exemples :

Microphone :

Information : pression acoustique (son)

Représentation de l'info : signal électrique proportionnel

Souris d'ordinateur :

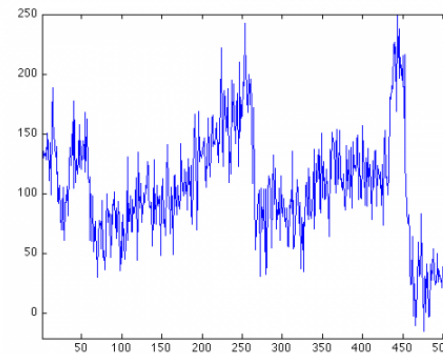
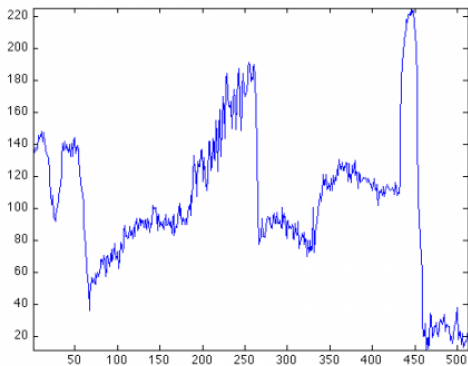
Informations : déplacement, clic, molette

Représentation de l'info : signal électrique impulsionnel

C'est quoi le bruit ?

Un **bruit** est un phénomène perturbateur gênant la transmission et/ou l'interprétation du signal émis.

Il est non porteur d'information.



Le but du traitement du signal est de retrouver le signal porteur d'information.

Signal ou Bruit ?

La notion de bruit et de signal est relative :

Ce qui est signal pour l'un peut être considéré comme du bruit pour un autre. Tout dépend du sujet d'étude.

Rapport Signal sur bruit (RSB)

Le rapport **signal sur bruit** (S/N) mesure la quantité de bruit contenue dans un signal. Il s'exprime par le rapport des puissances du signal (PS) et du bruit (PN). Il est souvent donné en décibels (dB).

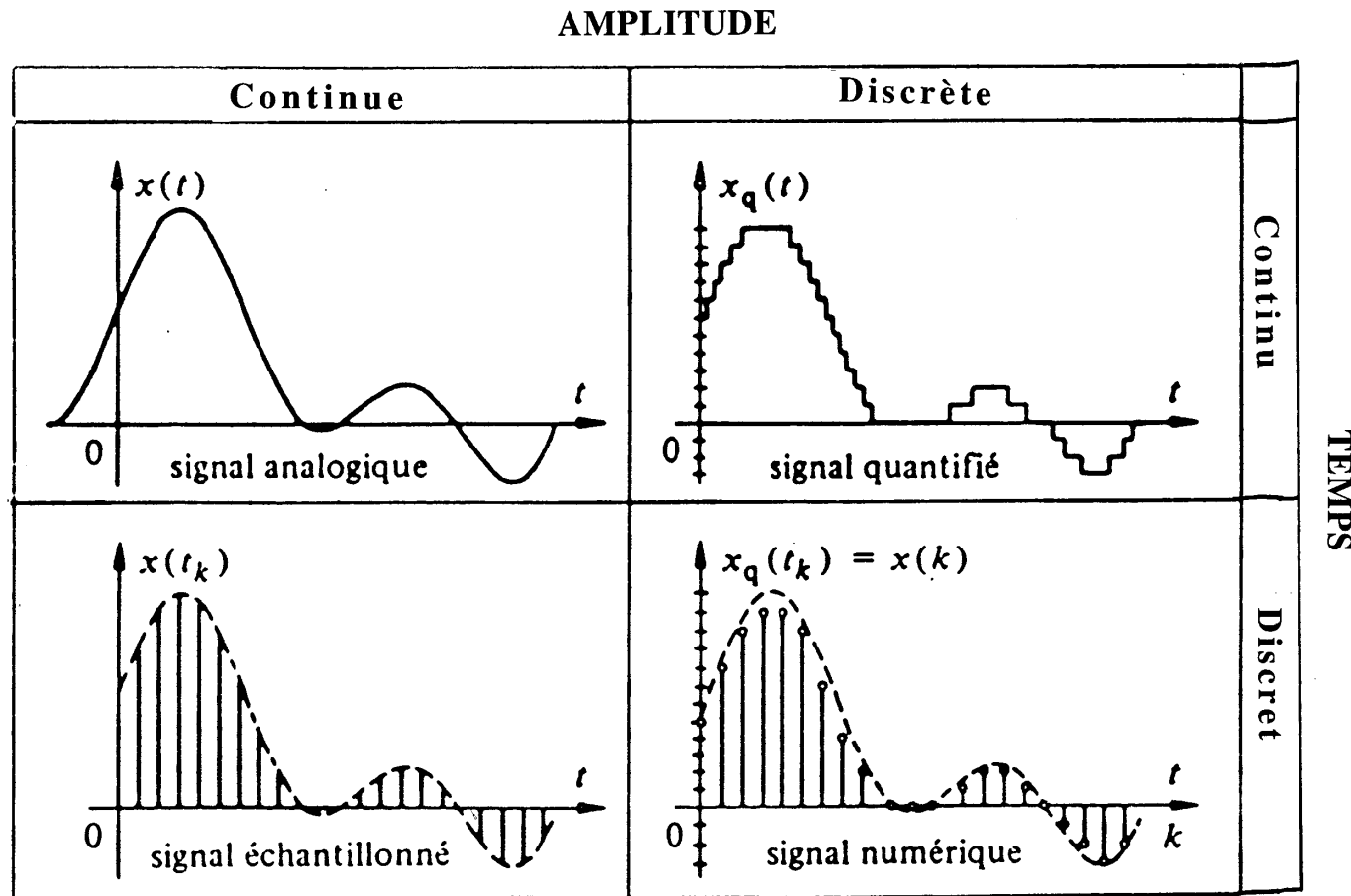
$$RSB_{dB} = 10 \log \left(\frac{PS}{PN} \right)$$

Théorie du signal

Partie des mathématiques qui s'intéresse à l'étude du signal. Elle définit des moyens pour analyser les signaux et conçoit des « outils » permettant de décrire les signaux.

Les travaux du ***traitement du signal*** reposent en grande partie sur les travaux issus de cette théorie.

Classification morphologique des signaux



Signal périodique

Un signal est dit **périodique** s'il peut être représenté par une fonction périodique (de **période T**) :

$$\forall t, f(t) = f(t + T)$$

Le nombre de périodes par seconde s'appelle la fréquence et s'exprime en Hertz (Hz).

Signal sinusoïdal - 1

Un signal est sinusoïdal s'il peut être représenté par la fonction périodique :

$$s(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$$

Avec :

A : amplitude maximale (valeur de crête)

ω : pulsation (en $rad.s^{-1}$)

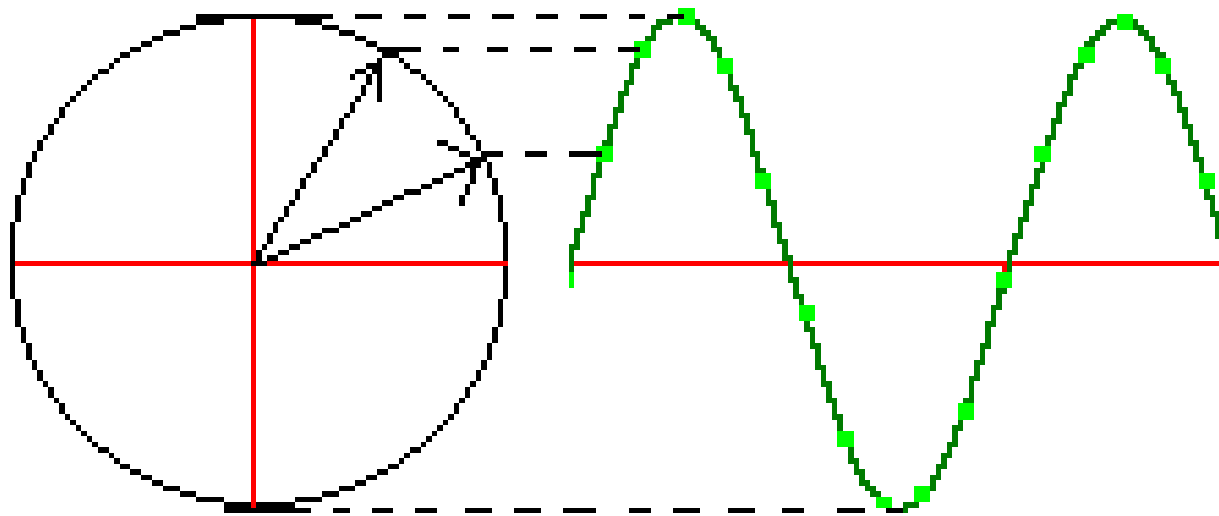
φ : Phase à l'origine (rad)

$\omega t + \varphi$: phase instantanée (rad)

Soit f est la fréquence du signal et T la période , alors on a :

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

Signal sinusoïdal - 2



Signal sinusoïdal - 3

On peut comparer deux signaux de même fréquence ensemble. S'ils se superposent exactement, on dit qu'ils sont en phase, sinon ils sont en décalage de phases ou déphasés.

Si le décalage est de $\frac{\pi}{2}$ rad, on dit qu'il sont en **quadrature de phase (fig 2a)**.

Si le décalage est de π rad, on dit qu'il sont en **opposition de phase (fig 2b)**.

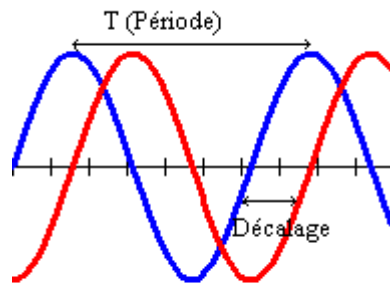


Figure 2a

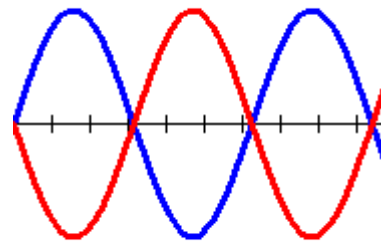


Figure 2b

Longueur d'onde - 1

Physiquement, les signaux sont des ondes (électromagnétiques) et parcourent donc une certaine distance dans l'espace.

La **longueur d'onde** (λ) d'un signal est la distance qu'il parcourt pendant un temps égal à sa période T .

$$\text{On a donc } \lambda = \frac{c}{f} = c \cdot T$$

avec λ : longueur d'onde en mètres

f : la fréquence en Hertz

C : vitesse de la lumière

Longueur d'onde - 2

La longueur est étroitement liée à la nature de l'onde elle-même

Exemple :

ondes radio : $\lambda \geq 30 \text{ cm}$ et $f \leq 1 \text{ GHz}$

micro-ondes : $30 > \lambda \geq 3 \text{ mm}$ et $1 \text{ GHz} < f \leq 100 \text{ GHz}$

Les **ondes radioélectriques** ont des propriétés de propagation (réflexion, diffusion, réfraction,...) différentes en fonction de leur longueur d'onde.

Pour nous de manière très simplifiée :

plus la longueur d'onde est grande plus l'onde peut se propager loin et plus elle est capable de traverser les murs...

Séries de Fourier

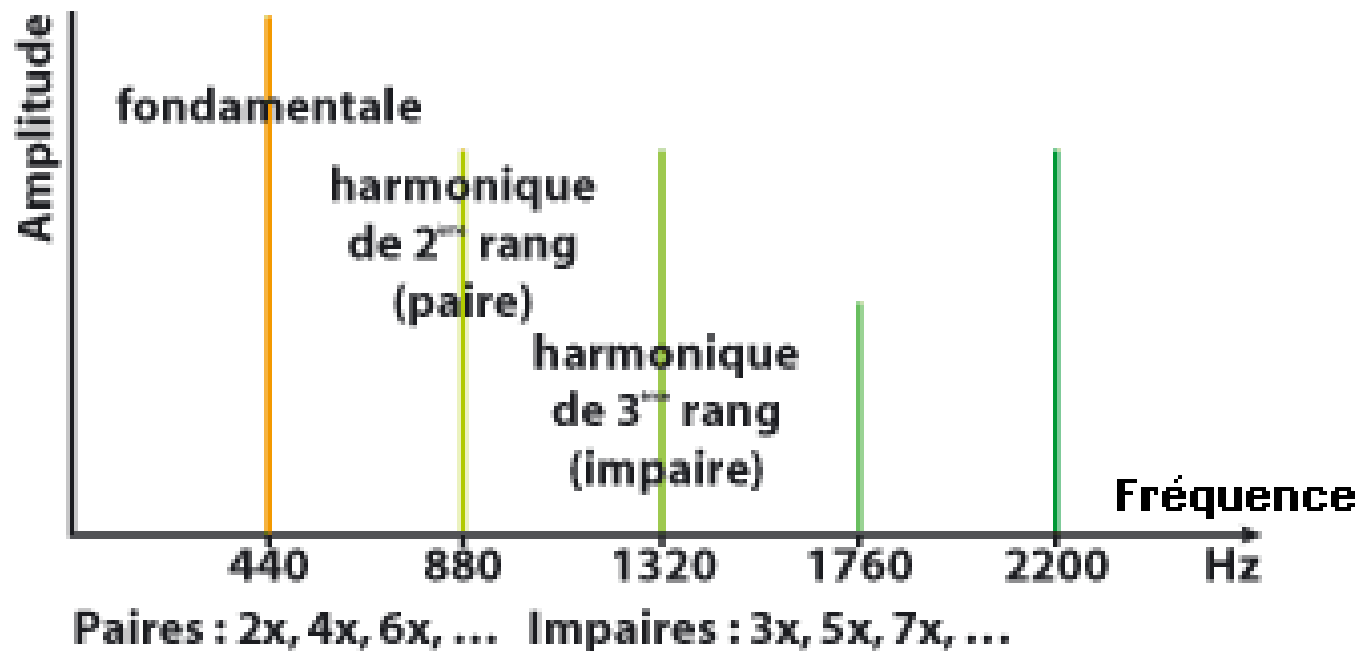
Toute fonction périodique peut se décomposer en la somme de fonctions sinusoïdales.

Par exemple, une fonction périodique de période 1, se décompose de la manière suivante :

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos 2\pi kt + b_k \sin 2\pi kt)$$

Décomposition d'un signal

Un signal est donc la somme de composantes sinusoïdales (fondamentales et harmoniques)



Atténuation d'un signal

L'**atténuation** (ou **affaiblissement**) d'un signal est la diminution relative de sa puissance au cours de la transmission.

Soit avec P_e (resp. P_s) la puissance d'entrée (resp. de sortie) du signal

L'atténuation est donnée par la formule :

$$A = \frac{P_s}{P_e} \quad (\text{jamais utilisé})$$

Ou encore en décibel :

$$A_{dB} = 10 \log \frac{P_s}{P_e}$$

Bande passante (physique) d'un support - 1

En physique, la **bande passante** (**passing bandwidth**) d'un système est la plage de fréquences dans laquelle l'atténuation d'un signal est inférieure à une valeur donnée (donnée en dB).

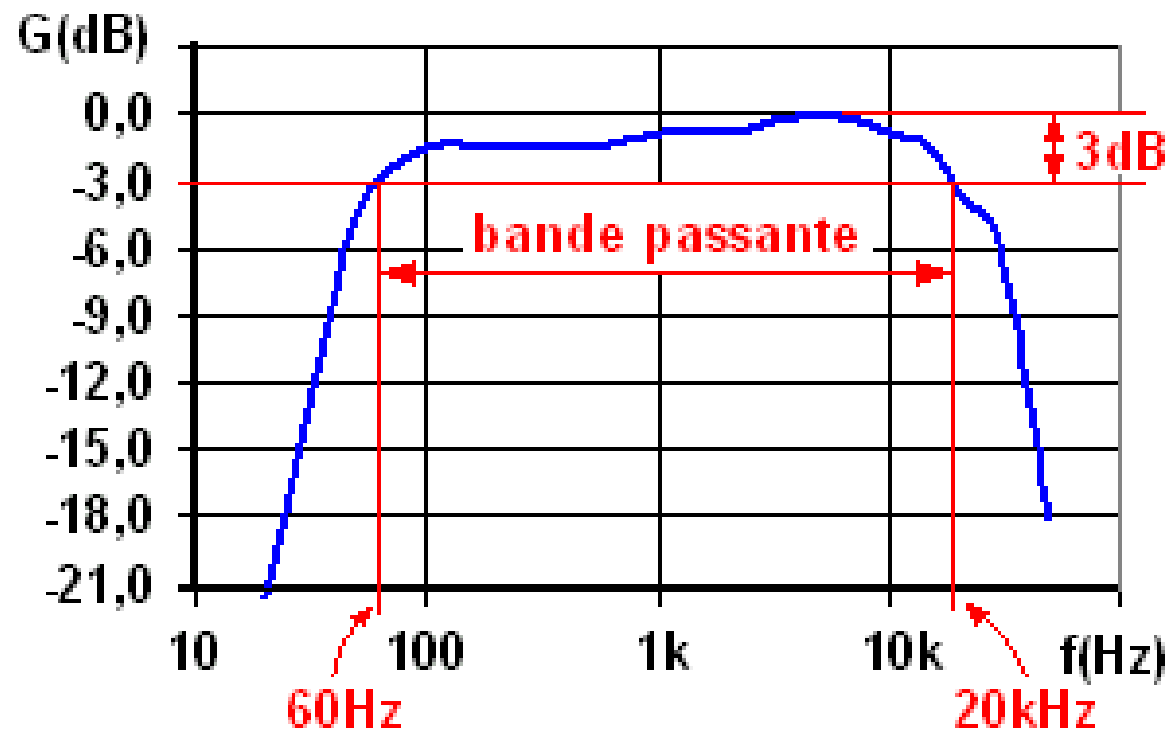
La bande passante est donc caractérisée par trois valeurs : la fréquence min, la fréquence max et l'atténuation autorisée (*mais ça c'est pour les puristes*).

Exemple : la bande passante des lignes téléphoniques (fixes) est égale à 300Hz <-> 3400 Hz pour une atténuation à -3dB.

On parle aussi souvent de **largeur de bande** (**bandwidth**) : il s'agit de la largeur en Hertz de la bande passante ($f_{\text{max}} - f_{\text{min}}$).

Bande passante (physique) d'un support - 2

Exemple



Bande passante (physique) d'un support - 3

Remarque

Il arrive souvent que l'on confonde les notions de **bande passante** et **largeur de bande** et que l'on parle alors de bande passante en évoquant simplement la largeur de bande : cela reste alors imprécis car on ne connaît pas la valeur de l'atténuation admise.

Dans ce cas, l'atténuation est considéré comme une valeur acceptée et partagée par tous.

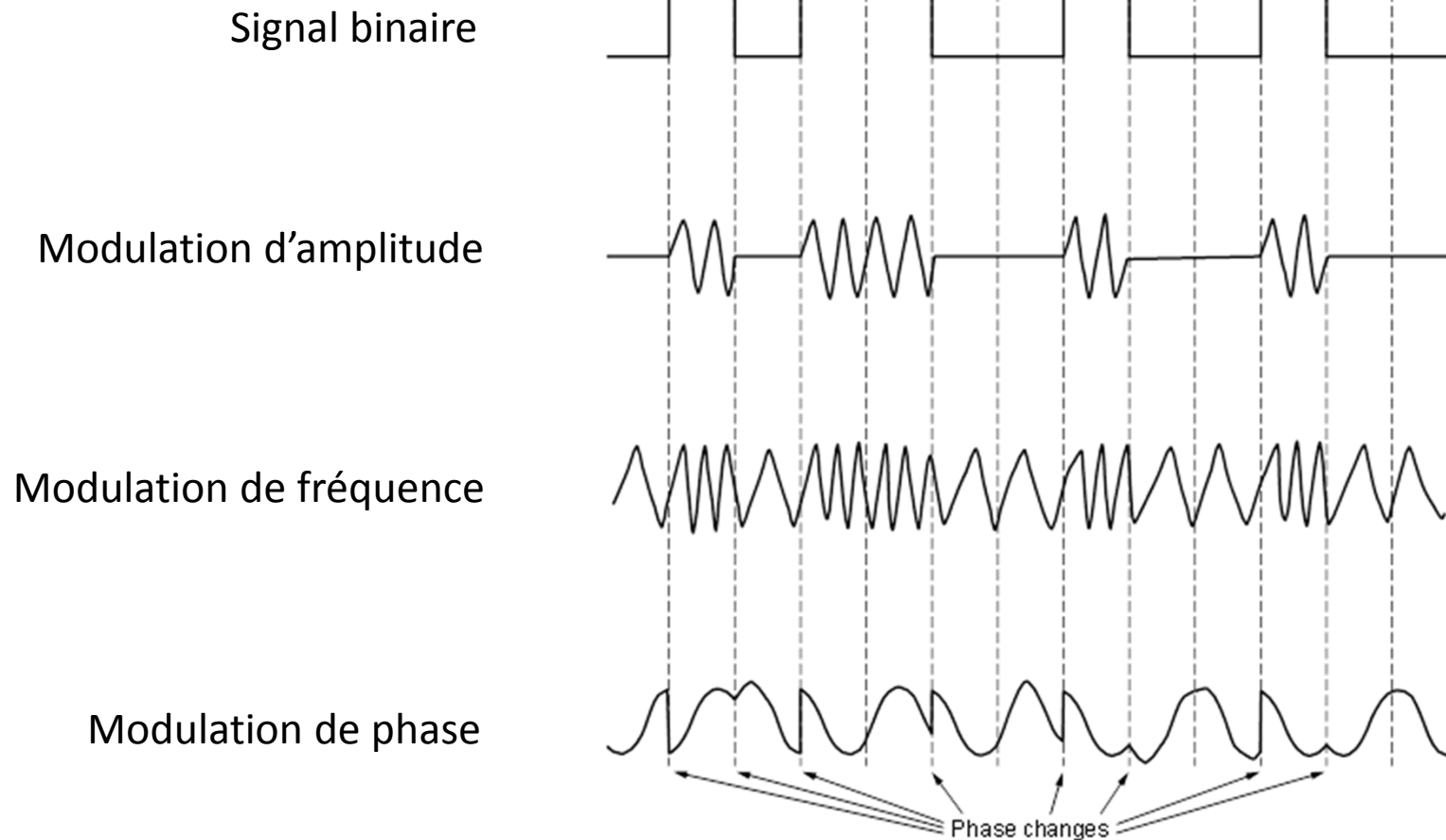
On trouve souvent comme valeur d'affaiblissement **-3dB**.
Pourquoi ?

Faits physiques

Les harmoniques d'un signal transmis sur une ligne sont diversement atténués suivant leur fréquence par la bande passante de la ligne.

Il faudra donc adapter la façon d'émettre le signal en fonction du support physique.

Différentes formes de signaux



Principes de transmissions (2eme tentatives)

Transmission en **bande de base**

Transmission par **modulation**

Transmission en bande de base

Cas d'utilisation :

Signal dont l'ensemble des harmoniques utiles se situe dans la bande passante de la ligne.

Procédé :

Le signal est « envoyé » directement à l'entrée de la ligne (après codage). Il sera transmis sans atténuation notable à l'autre extrémité. C'est la technique la plus simple.

Transmission de l'information :

Des changements discrets sur les signaux représentant l'information binaire vont permettre la transmission de suites binaires.

Type de codage :

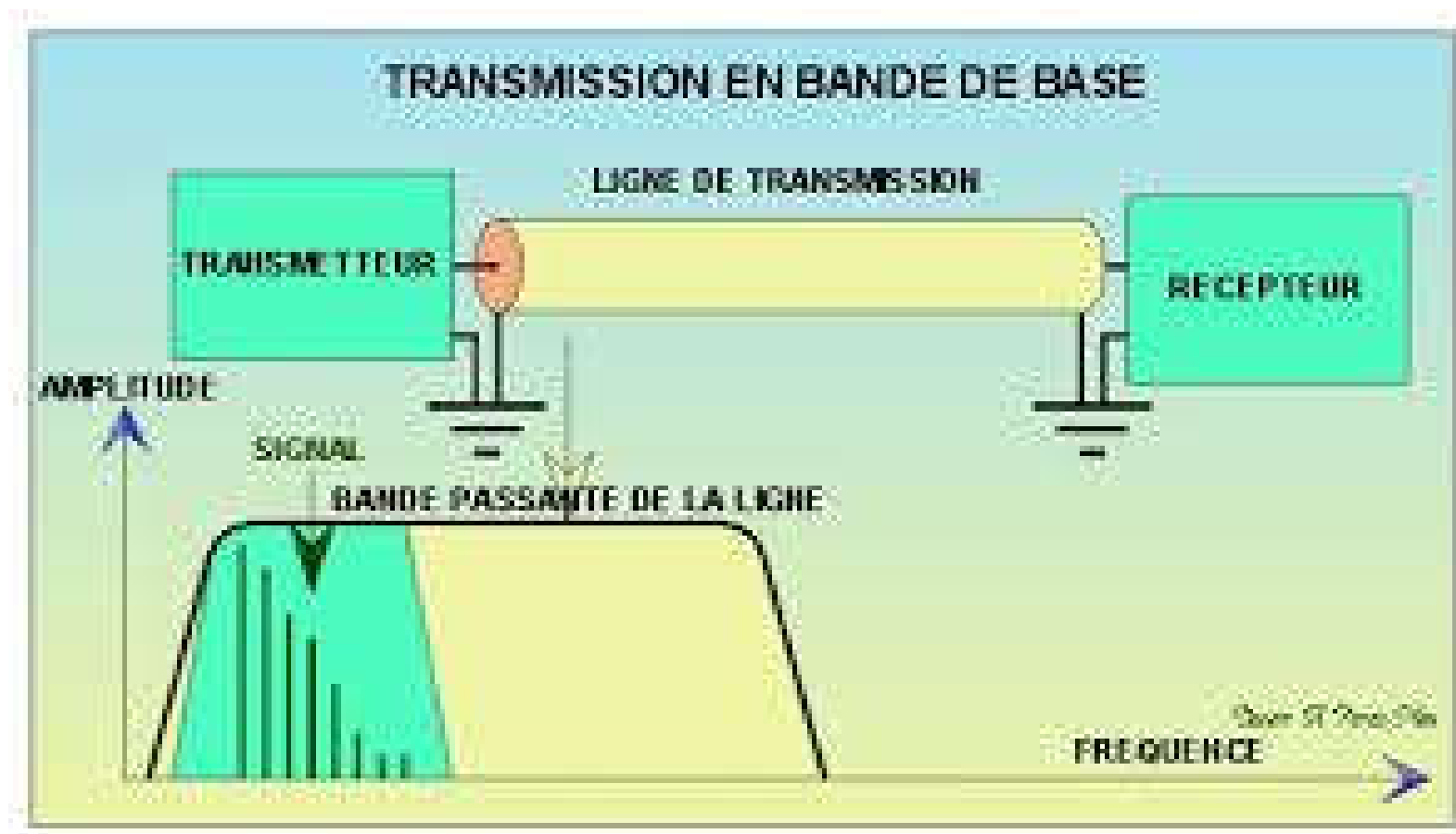
Codage en ligne : on représente le signal numérique à transporter par un signal présentant des variations d'amplitude dans le temps.

Exemples Manchester, Bipolaire, NRZ,....

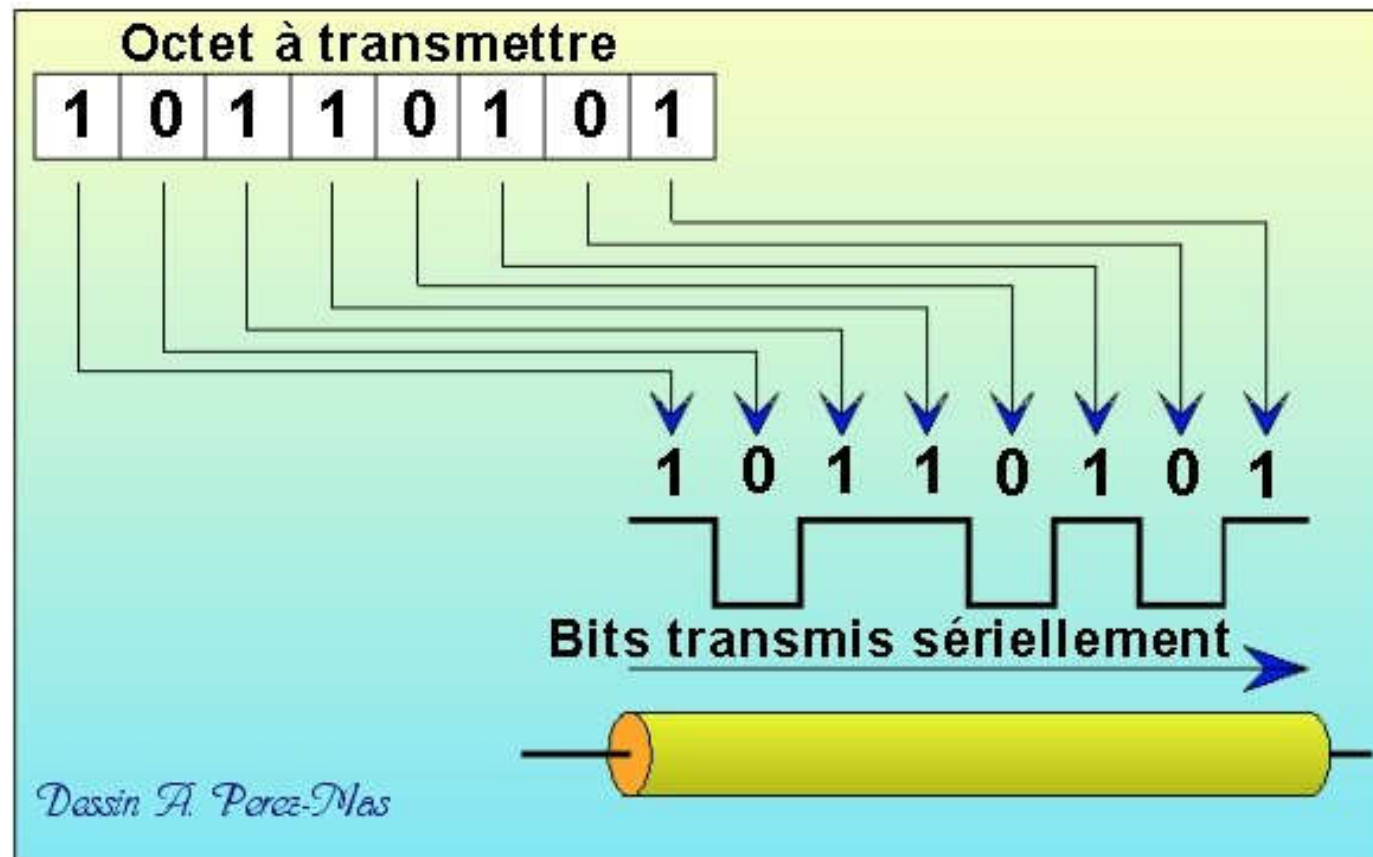
Inconvénient :

Inadapté dès que la distance devient importante.

Transmission en bande de base



Transmission en bande de base



Transmission par modulation

Cas d'utilisation :

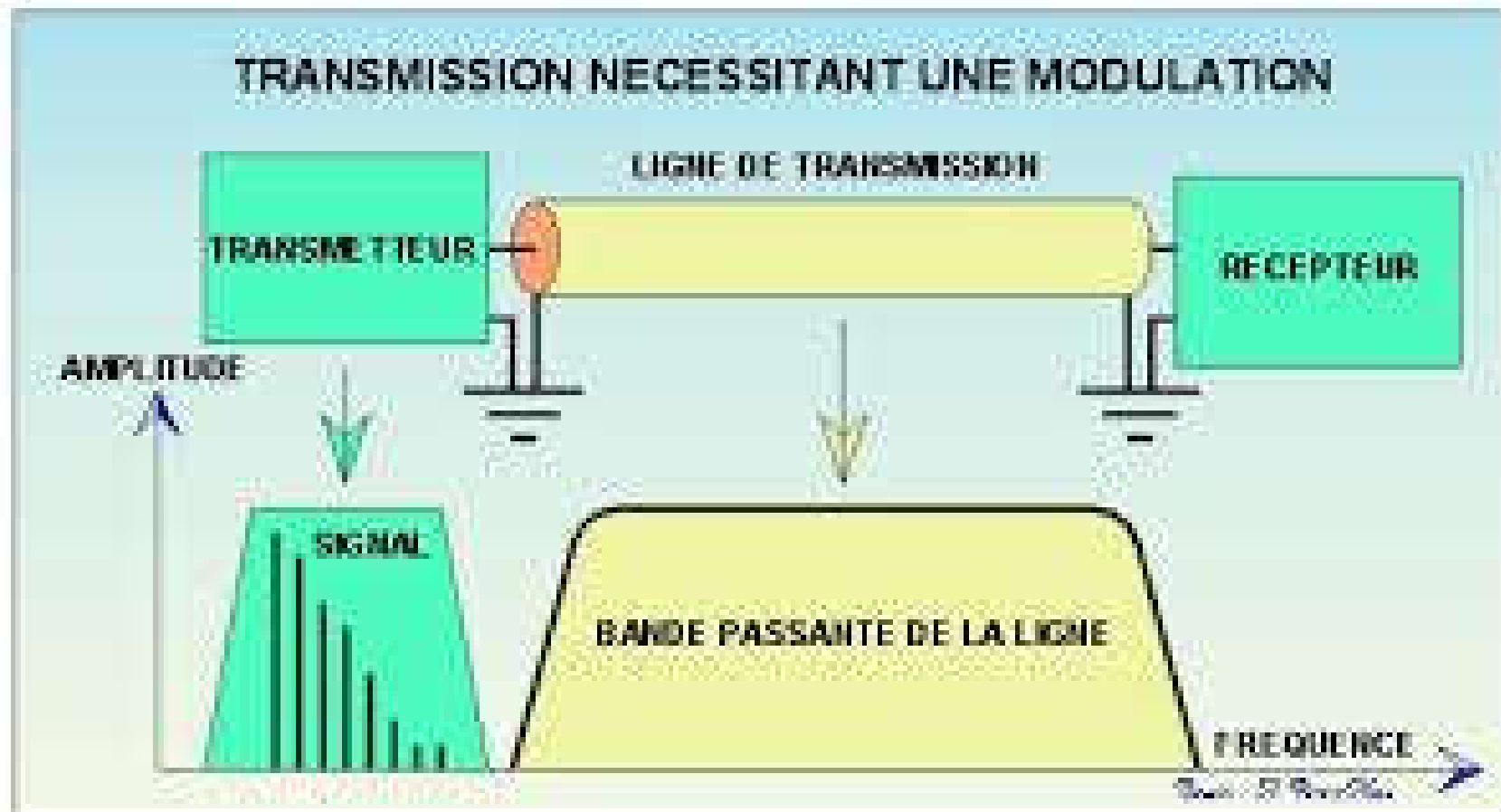
Signal dont une ou plusieurs harmoniques utiles se situent en dehors de la bande passante de la ligne.

Procédé :

Utilisation d'un signal sinusoïdal dit « porteuse » dont la fréquence est adaptée au support. On rend l'une de ses caractéristiques (**amplitude**, **fréquence** ou **phase**) proportionnelle au signal à transmettre.

Aussi appelé **transmission large bande**.

Transmission par modulation



Exemple

Télévision Hertzienne

« Les signaux électriques de basse fréquence correspondant aux sons ou à la vidéo sont incapables de se propager dans l'air sur de longues distances.

Des variations de courants de haute fréquence peuvent se propager très loin.

On module donc des porteuses de haute fréquence par les signaux sonores ou vidéo qu'on démodule à leur arrivée dans les récepteurs. »

Utilisation dans les réseaux

La transmission par modulation....



Utilisation dans les réseaux

Le modem

Modulateur / **dem**odulateur

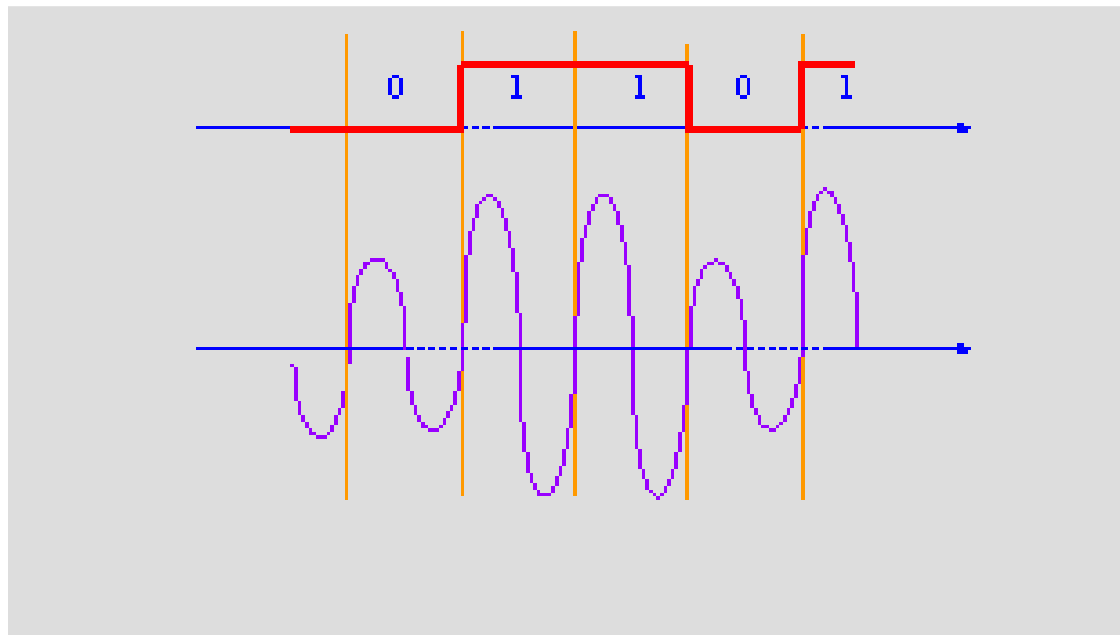
Modulation : transformation d'une suite de bits en signal physique en faisant varier amplitude, phase ou fréquence

Démodulation : opération inverse

Modulation combinée : variation simultanée sur plusieurs caractéristiques (souvent phase et amplitude)

Modulation d'amplitude

On agit sur la force du signal (l'amplitude)



Modulation d'amplitude

Avantages

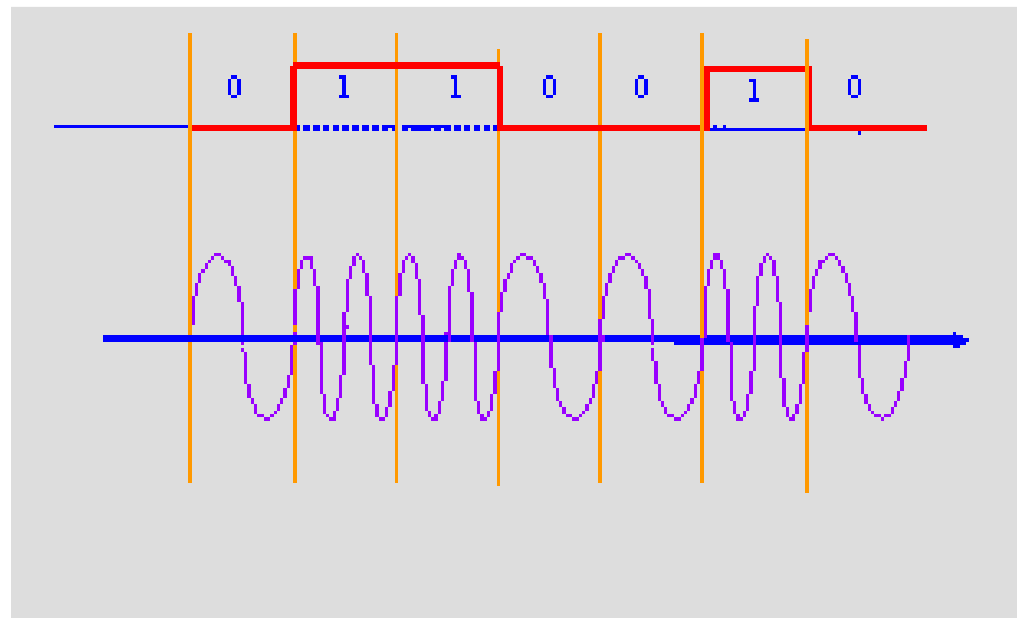
- l'utilisation d'un signal alternatif engendre moins de pertes.
- simple à mettre en œuvre d'un point de vue physique (AM)

Inconvénients

- sensible aux perturbations (orages, lignes électriques) -> modifie l'amplitude du signal.

Modulation de fréquence

On agit sur la vitesse de battement du signal (fréquence)



Modulation de fréquence

Avantages

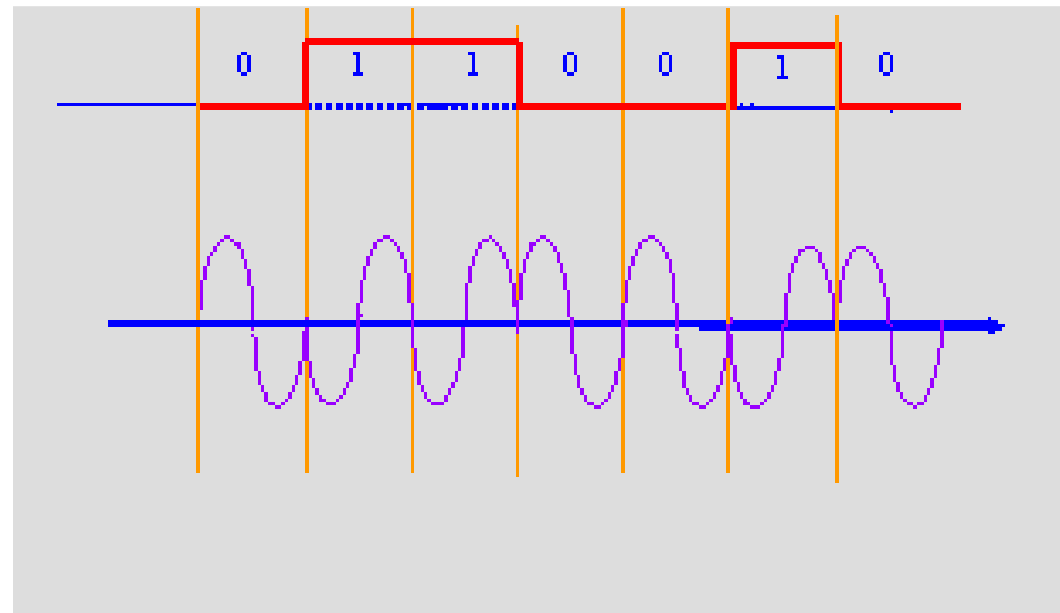
- Utilisation d'un signal alternatif engendre moins de pertes.
- Résistante aux perturbations (d'amplitude)

Inconvénients

- Système de démodulation moins trivial à concevoir (FM vs AM)

Modulation de phase

On décale le signal dans le temps



Modulation de phase

Avantages

- Utilisation d'un signal alternatif engendre moins de pertes.
- Dispositifs permettant de coder facilement plus de deux états.
- Résistante aux perturbations (d'amplitude)

Inconvénients

- Système de démodulation assez complexe

Capacités de transport des données (info)

Trois manières de mesurer le transfert de données :

- Bande passante (informatique)
- Débit
- Débit applicatif

Bande passante (informatique) - 1

Quantité d'informations **pouvant** circuler d'un point à un autre pendant une période donnée

Mesurée en Kbits/s ou Mbits/s

Déterminée par :

- Propriétés du support physique
- Technologie de signalisation et gestion des signaux

Bande passante (informatique) -2

Remarque

Ce débit théorique est étroitement lié à la bande passante du support (qualité du support) ce qui explique l'emploi du terme « bande passante ».

Débit

Mesure le nombre de bits transférés sur le support pendant une période donnée.

Mesuré en bits/s ou kbits/s

Rappel : dans un inter-réseau, le débit ne peut pas être plus élevé que celui de la liaison la plus lente rencontrée.

C'est quoi la différence ?

Bande passante : valeur théorique, maximale et optimale.

Débit : mesure réelle à un instant donné.

On n'a **JAMAIS** Débit = Bande passante.

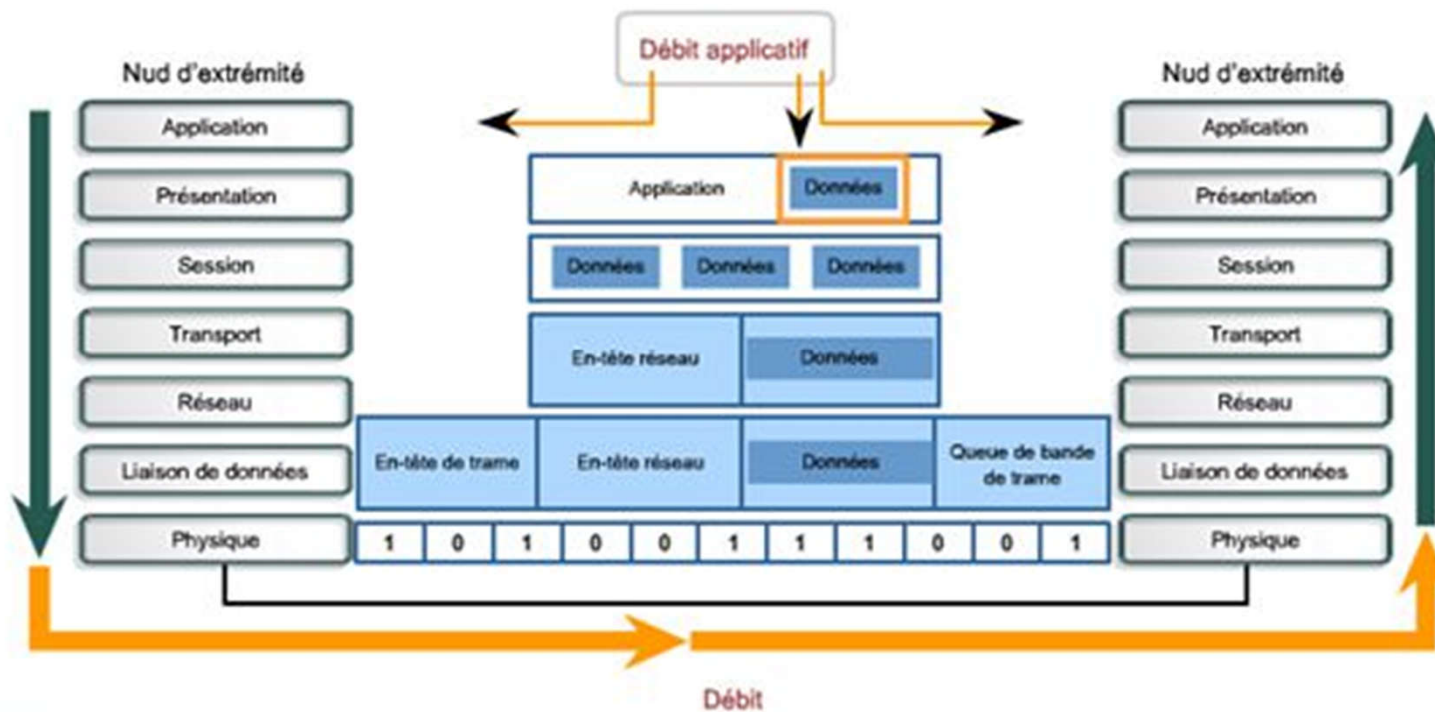
Débit applicatif

Mesure la quantité de données **utilisables** pendant une période donnée.

Débit applicatif = Débit – surcharge de trafic
(gestion session, encapsulation, contrôle)

Bande passante > Débit > Débit applicatif

Débit applicatif



Interactions support physique/ informatique

Nous sommes ici à la frontière entre deux mondes :

- Le monde informatique : dans lequel on manipule des données numériques, discrètes (bits).
- Le monde physique : dans lequel les données sont continues, sujettes à des perturbations physiques (signaux, ondes).

Comment évaluer les implications de l'un dans l'autre ?

Valence

Un signal peut prendre plusieurs états différents définis, par exemple, par des amplitudes différentes, des fréquences différentes ou des phases différentes.

La **valence** d'un signal est le nombre d'états différents que peut prendre ce signal : c'est la « richesse » du signal.

On s'arrange pour que la valence ait comme valeur une puissance de 2 : 2, 4, 8, ..., 2^n

Ainsi si la valence du signal est 2^n cela signifie qu'à chaque instant le signal « code » une information de n bits.

Rapidité de modulation...

...Ou débit de symboles.

C'est le nombre d'états différents par seconde.

Exprimé en **Baud (Bd)**.

1 Baud = 1 état par seconde

9600 bauds = 9600 états par seconde

1 baud n'est pas forcément égal à 1 bit/s

Rapidité de modulation et Débit Max

Lien entre débit max et rapidité de modulation

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

Avec D : Débit binaire max en bits/s

R : rapidité de modulation en Bd

V : valence (2^n)

Débit Maximal Théorique

Théorème de Nyquist (pour un canal parfait -> sans bruit)

$$D_{\text{Max}} = 2F \log_2 V$$

Avec :

D_{Max} : Débit binaire Maximal (en bits/s)

F : bande passante

V : la valence *i.e.* nombre d'états possibles d'un signal transmis.

Permet de calculer le débit maximal D_{Max} (en bit/s) d'une ligne de transmission de bande passante F (en Hz) pour un signal de valence V .

Multiplexage

Permet d'utiliser un même support physique pour transmettre **simultanément** plusieurs signaux physiques.

Permet de transférer **en parallèle** plusieurs suites binaires.

Exemple : ADSL (Assymetric Digital Subscriber Line)

Sens de communication

- **Simplex :**

Mode de communication *unidirectionnel*, dans lequel chaque appareil est soit ***toujours*** émetteur soit ***toujours*** récepteur.

Cas d'utilisation :

- la réponse du récepteur n'est pas attendue,
- diffusion

Sens de communication

- **Half-duplex**

Mode de communication bidirectionnel dans lequel les deux systèmes interconnectés sont capables d'émettre et de recevoir **chacun leur tour**.

savoir déterminer qui émet et qui reçoit (risque de **collision** ou **blocage**)

- **Full-duplex**

Mode de communication bidirectionnel dans lequel les deux systèmes interconnectés sont capables d'émettre et de recevoir **simultanément**.

Les deux systèmes sont capables de traiter en même temps les données entrantes et les données sortantes

Canal de transmission dédié

L'homme du jour



Ça aurait pu être lui... mais nous avons décidé de faire l'impasse sur lui cette année.

Et pourtant son nom est même inscrit au premier étage de la tour Eiffel...

Jean-Baptiste-Joseph, baron Fourier, mathématicien, est né à Auxerre, le 21 mars 1768 . Il est mort à Paris, le 16 mai 1830.

L'homme du jour



Émile Baudot, né à Magneux (Haute-Marne) le 11 septembre 1845 et mort à Sceaux (Hauts-de-Seine) le 28 mars 1903. Ingénieur en télégraphie français.

Inventeur du **code Baudot** utilisé par les téléscripteurs. Le code Baudot est l'ancêtre de nos codes tel que ASCII...

Types de support physique

Quizz

Qui suis-je ?

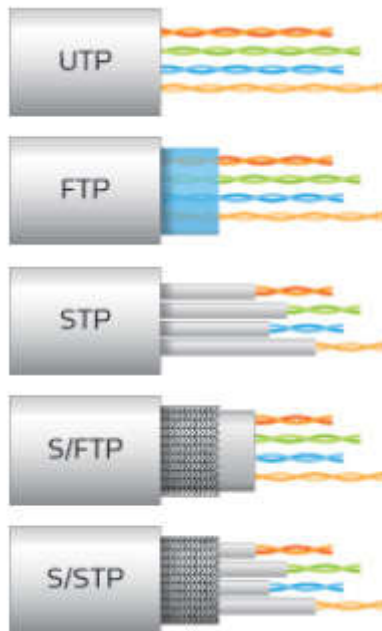
Câble RJ45



Paires torsadées

- Câble électrique torsadé en cuivre composé de quatre paires de fils (ex rj45)
- UTP non blindé / FTP, STP blindé
- Débit jusqu'à 1000 Mbits/s
- Normalisé (TIA/EIA-568A)
- Classées en catégorie en fonction de la bande passante qu'elles autorisent.
- Jusqu'à 1km sans répéteur
- Coût faible

Paired twisted



UTP : Unshielded Twisted Pair

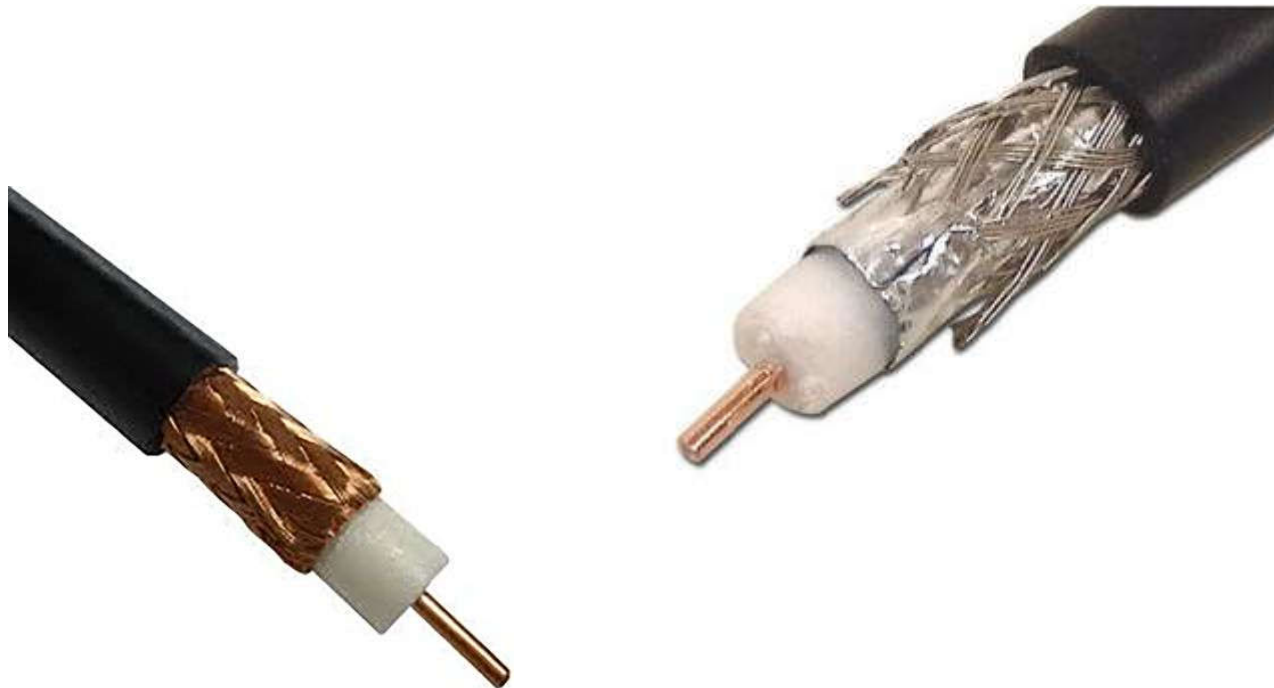
FTP : Foiled Twisted Pair

STP : Shielded Twisted Pair

SFTP : Shielded Foiled Twisted Pair

SSTP : Shielded and Shielded Twisted Pair

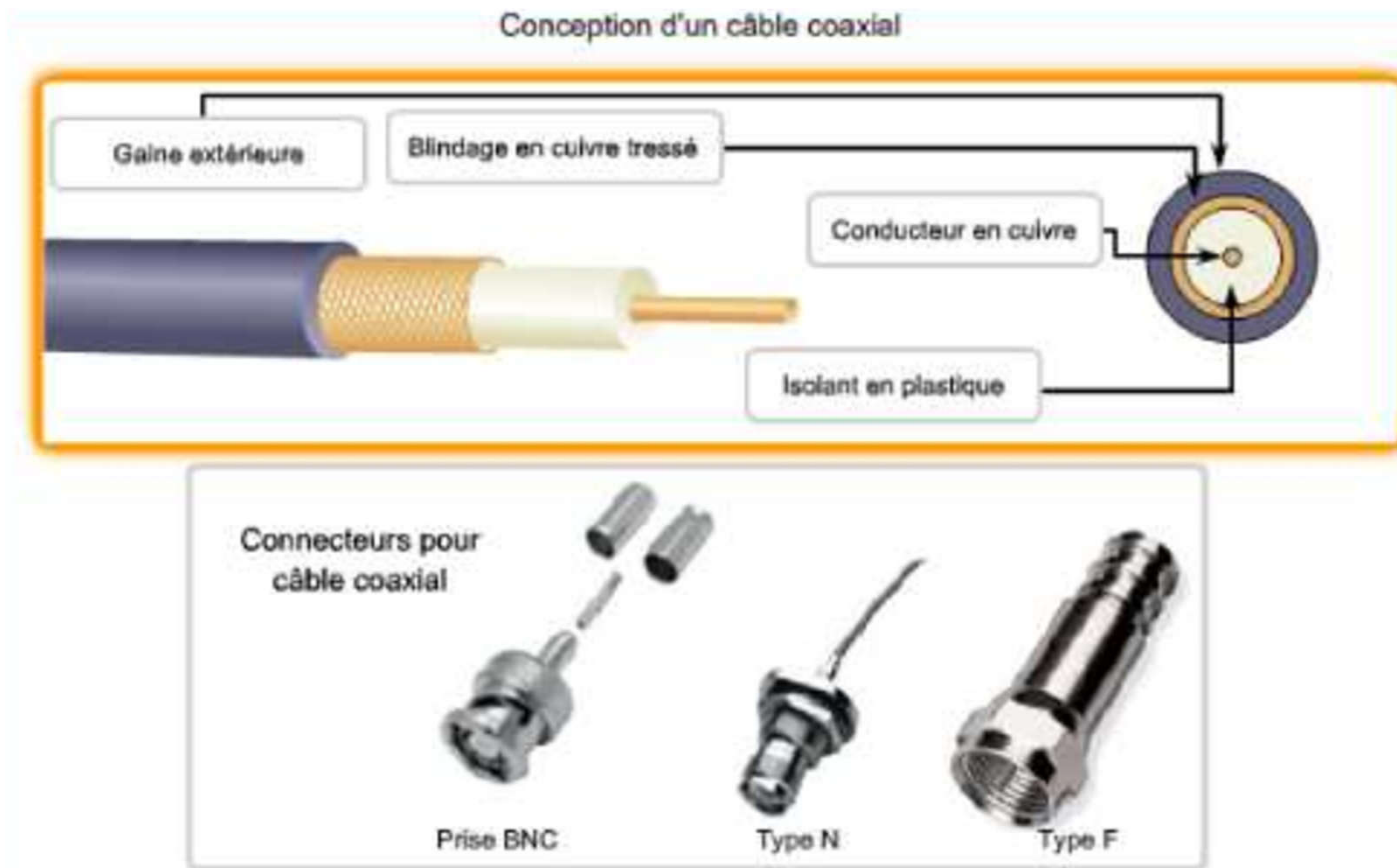
Qui suis-je ?



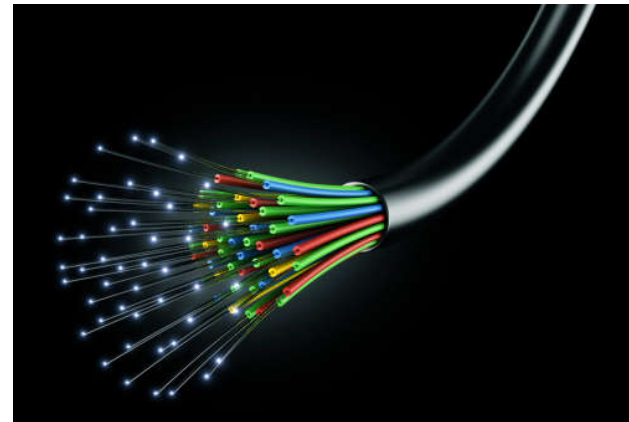
Câble coaxial

- Conducteur en cuivre entouré d'un isolant flexible entouré d'un film métallique.
- Très utilisé pour transporter des signaux de radiofréquence élevée (*eg.* tv)
- Propagation sur plusieurs km
- Peu sensible au bruit
- Coût plus élevé que la paire torsadée

Câble coaxial



Qui suis-je ?



Fibre optique

- Fibre de verre ou de plastique guidant des impulsions lumineuses.
- Bande passante très élevée
- Très peu sensible au bruit
- Peu de perte -> très grandes distances
- Coût élevé
- Manipulation délicate

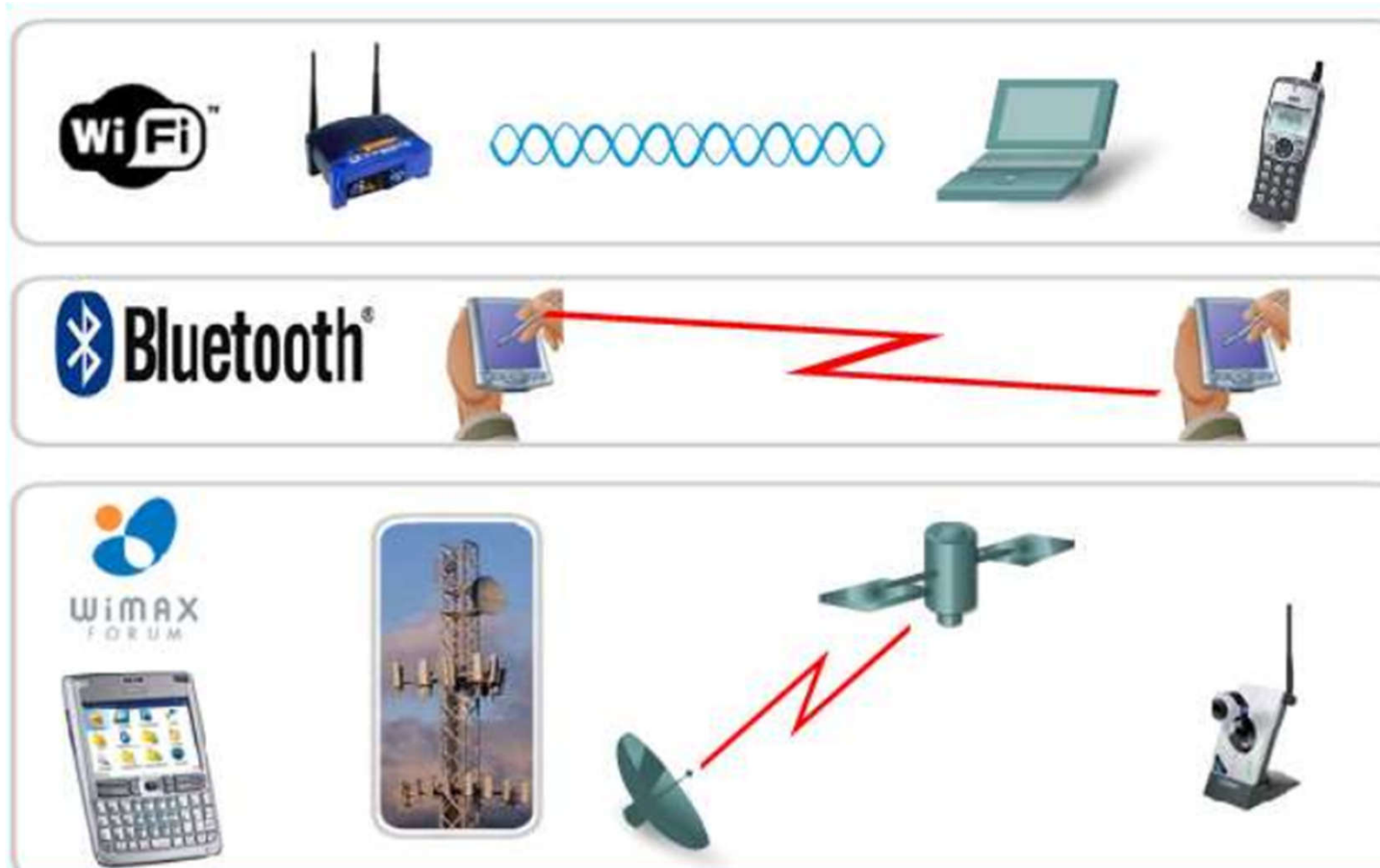
Qui suis-je ?



Courant Porteur en Ligne (CPL)

- Utilisation du réseau électrique domestique
- Bruits, atténuations, échos...

Transmissions sans fil



Types de support physique

Synthèse

- Câbles (cuivre)
 - Paire torsadée
 - Câble coaxial
- Fibre optique
- Sans fils
 - Wifi
 - Bluetooth