

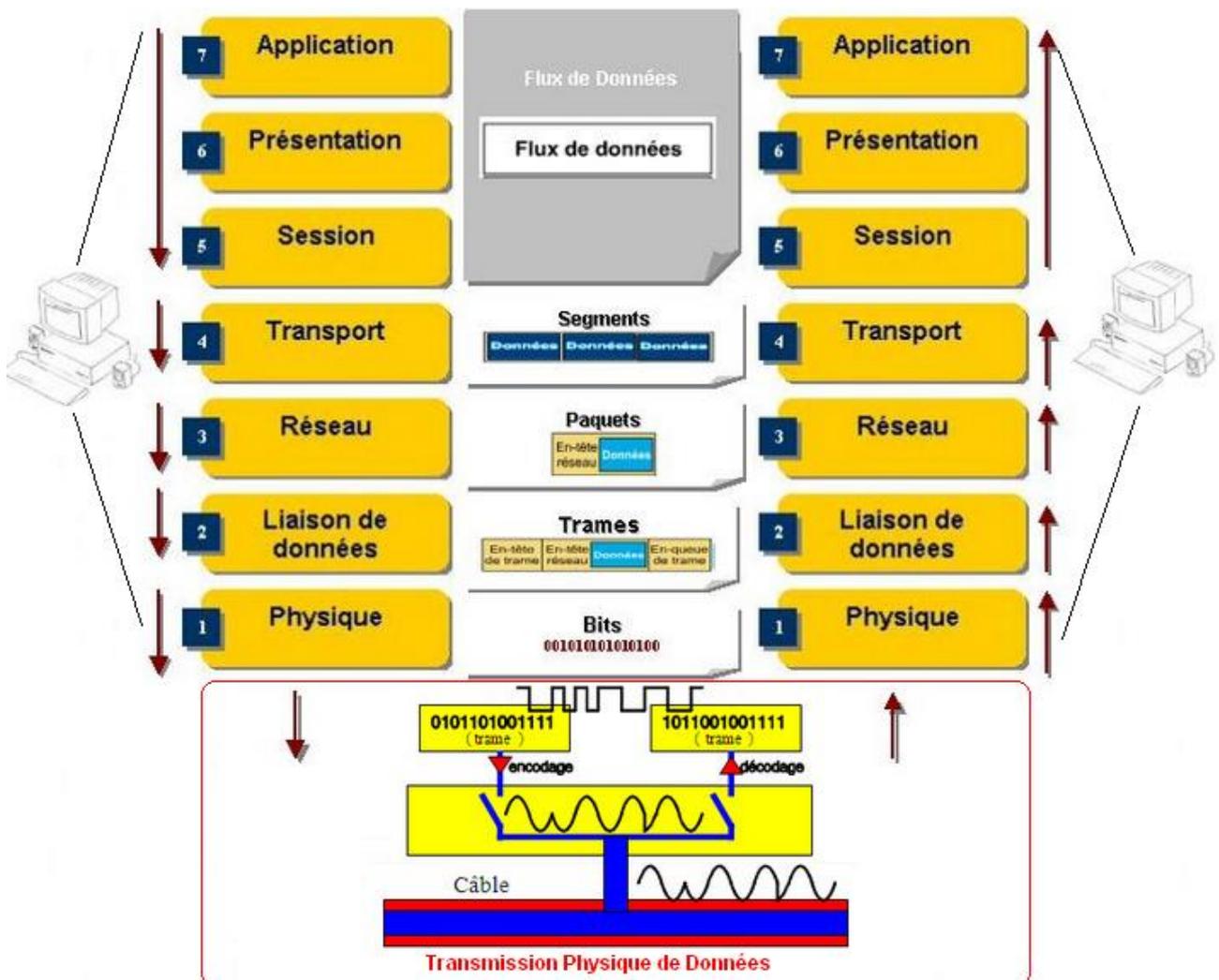
Module : Réseaux

Partie N°02: Transmission physique de l'information

(Traitement du signal, signal numérique/analogique, codage, circuit de données, modems)

Introduction ;

La couche physique fournit les moyens mécaniques, électriques, fonctionnels et procéduraux nécessaires à l'activation, au maintien et à la désactivation des connexions physiques destinées à la transmission de bits entre deux entités de liaison de données.



Nature et représentation de l'information à transmettre

Les informations qui transitent sur les réseaux informatiques existent sous des formes diverses (textes, sons, images fixes ou animées, vidéo, etc....). Ces informations peuvent être réparties en 2 grandes catégories :

- **Les données discrètes : l'information correspond à un assemblage d'une suite d'éléments indépendants les uns des autres (c'est une suite discontinue de valeurs) et dénombrable (c'est un ensemble fini).** Par exemple : **un texte, qui est un ensemble de lettres (ou de symboles) qui forment des mots, une image, qui est un ensemble de pixels.**

- **Les données continues ou analogiques : résultent de la variation continue d'un phénomène physique.** Exemples le son : le son se propage dans l'air sous forme d'une onde de pression, transmise par le mouvement des molécules. En gros c'est une déformation de l'air dû à un phénomène physique.

Pour pouvoir transporter ces informations à travers les réseaux de télécommunication, chaque information doit être substituée par une suite d'éléments binaires (une suite de 0 et de 1). Cette opération porte le nom de :

- **Codage** de l'information pour **les informations discrètes (numériques).**
- **Numérisation** de l'information pour **les informations analogiques.**

Après l'étape de codage/numérisation intervient l'étape transmission :

comment envoyer les suites binaires des caractères vers l'utilisateur final de ces informations ?

1 Le traitement du signal

Définitions

Le traitement du signal est une discipline indispensable de nos jours. Il a pour objet l'élaboration ou l'interprétation des signaux porteurs d'informations. **Son but est donc de réussir à extraire un maximum d'information utile sur un signal perturbé par du bruit en s'appuyant sur les ressources de l'électronique et de l'informatique.**

Le signal

Un signal est la représentation physique de l'information qu'il transporte de sa source à son destinataire. Il sert de vecteur (حامل أو ناقل) à une information. Il constitue la manifestation physique d'une grandeur mesurable (courant, tension, force, température, pression, etc.).

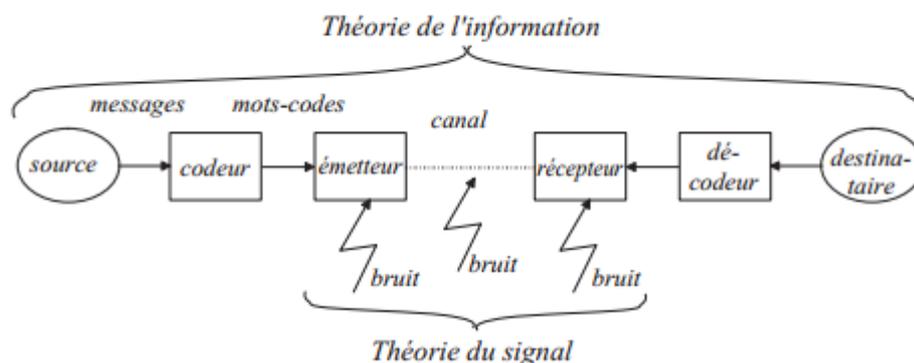
Les signaux à traiter peuvent provenir de sources très diverses, mais la plupart sont des signaux électriques ou devenus électriques à l'aide de capteurs et transducteurs (microphones, ..).

On distingue essentiellement les signaux analogiques d'une part, qui sont produits par divers capteurs, amplificateurs, convertisseurs numérique-analogique, des signaux numériques d'autre part, issus d'ordinateurs, de terminaux, de la lecture d'un support numérique ou d'une numérisation par un convertisseur analogique-numérique.

Modélisation des signaux-Théorie du signal

La modélisation du signal peut se faire grâce à des "fonctions" mathématiques plus ou moins compliquées décrivant la manière dont le signal évolue dans l'espace et le temps $s(x,y,z,t)$.

La description mathématique des signaux est l'objectif de la théorie du signal. Elle offre les moyens d'analyser, de concevoir et de caractériser des systèmes de traitement de l'information.



Bruit

Un bruit correspond à tout phénomène perturbateur gênant la transmission ou l'interprétation d'un signal.

Remarque :

Les notions de signal et bruit sont **très relatives**. Pour un technicien des télécommunications qui écoute un émetteur lointain relayé par un satellite, le signal provenant d'une source astrophysique (soleil, quasar) placée malencontreusement dans la même direction est un bruit. Mais pour l'astronome qui s'intéresse à la source astrophysique, c'est le signal du satellite qui est un bruit.

Rapport signal sur bruit

Le rapport signal sur bruit mesure la quantité de bruit contenue dans le signal. Il s'exprime par **le rapport des puissances du signal (P_S) et du bruit (P_N).** Il est souvent donné en décibels (dB).

Le rapport signal/bruit S/B (Signal to Noise Ratio S/N ou SNR en anglais), appelé encore rapport signal à bruit, permet de mesurer la qualité d'un canal de transmission.

$$\left(\frac{S}{N} \right)_{dB} = 10 \log \frac{P_S}{P_N}$$

Le décibel (dB) est une unité de grandeur sans dimension sous-multiple du bel, correspondant à un dixième de bel. Le bel est le logarithme décimal du rapport entre deux puissances. Le décibel est plus fréquemment employé que le bel.

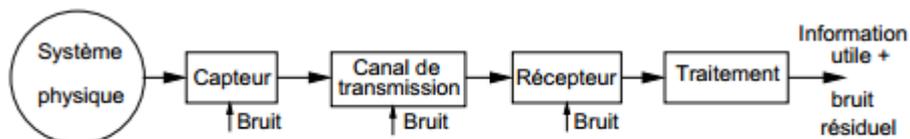


FIGURE – Synoptique d'une chaîne classique de traitements d'un signal.

Classification des signaux

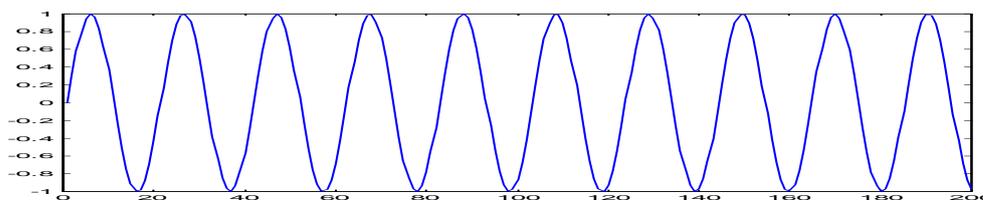
On peut envisager plusieurs modes de classification pour les signaux suivant leurs propriétés.

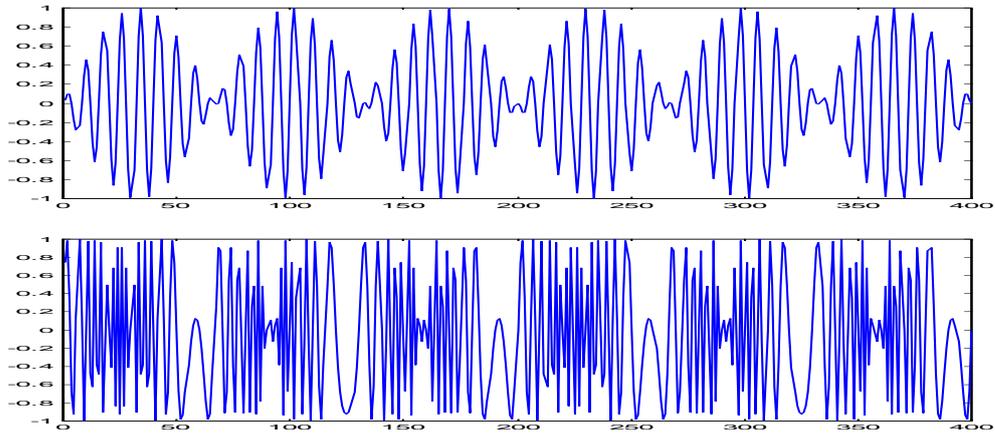
1 Classification phénoménologique

On considère **la nature de l'évolution du signal en fonction du temps**. Il apparaît deux types de signaux :

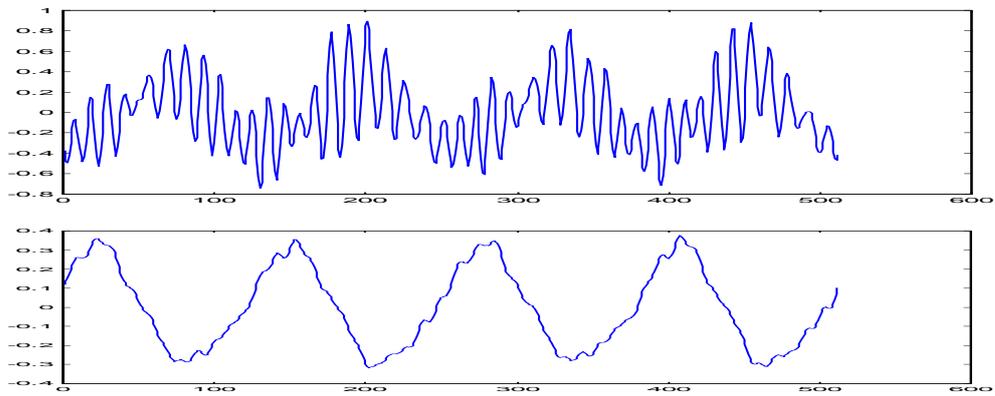
- **Les signaux déterministes : ou signaux certains, leur évolution en fonction du temps peut être parfaitement modélisé par une fonction mathématique.** On retrouve dans cette classe :

signaux déterministes périodiques : exemple

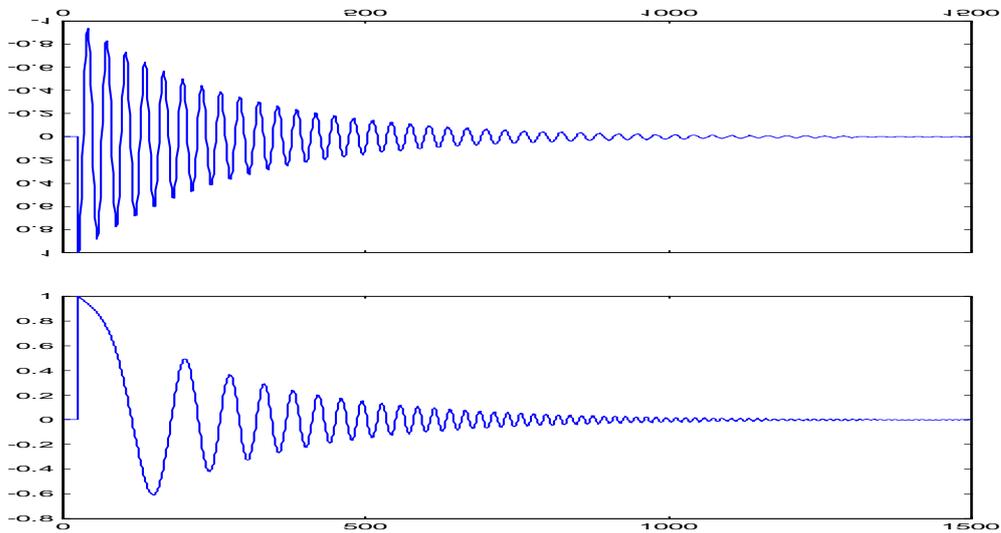




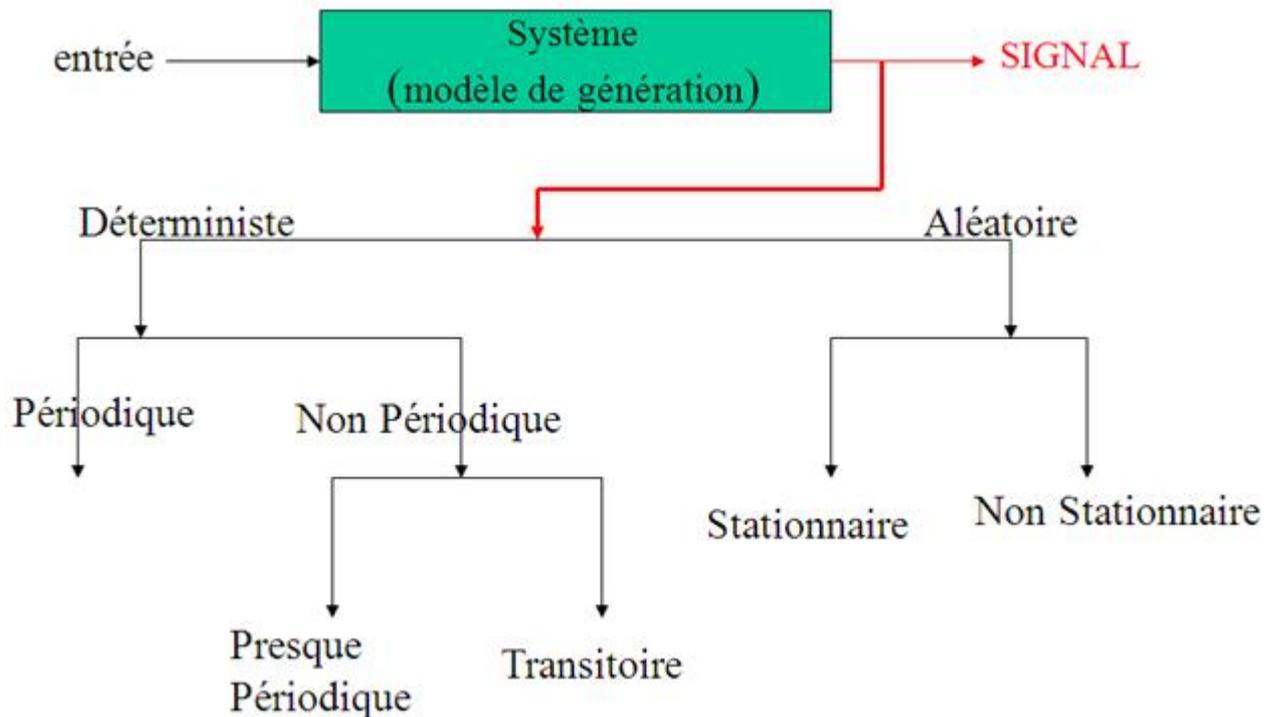
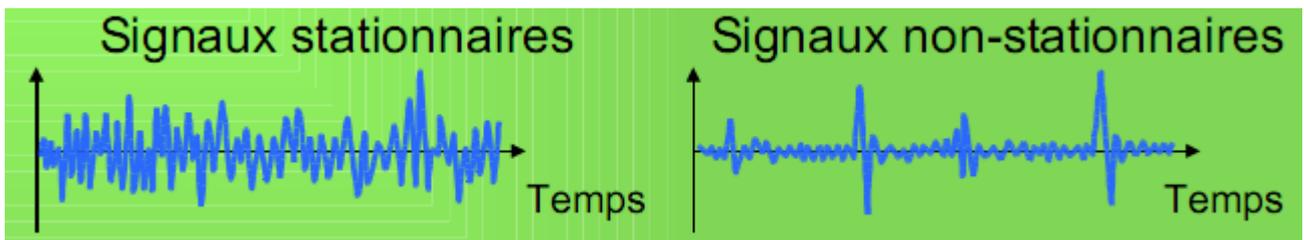
Signaux 'presque' périodiques: exemple



signaux déterministes NON périodiques (Transitoire): exemple



- **Les signaux aléatoires** : leur comportement temporel est imprévisible. Il faut faire appel à leurs propriétés statistiques pour les décrire. Si leurs propriétés statistiques sont invariantes dans le temps, on dit qu'ils sont stationnaires.



2 Classification morphologique

On distingue les signaux à **variable continue** des signaux à **variable discrète** ainsi que ceux dont **l'amplitude est discrète ou continue.**

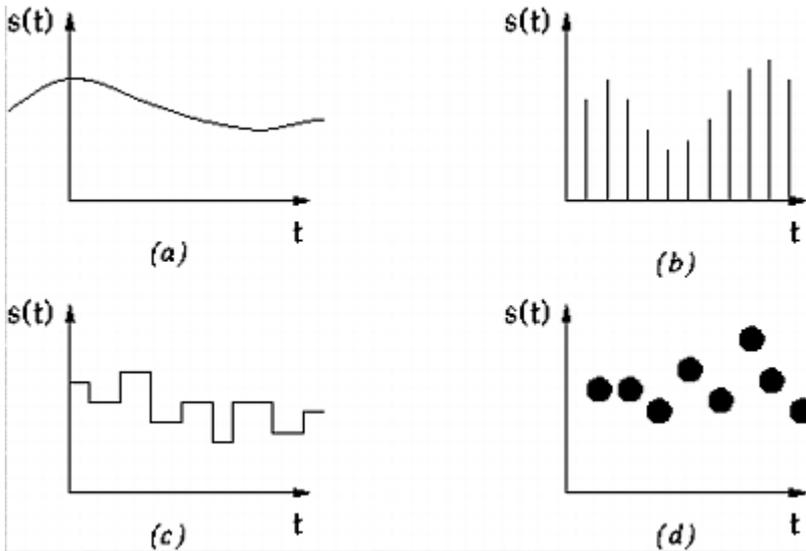


Figure : *Continuité et discrétisation d'un signal.*

Les signaux peuvent être continus à temps continu (a) ou à temps discret (b), ou alors ils peuvent avoir des variations discrètes à temps continu (c) ou à temps discret (d).

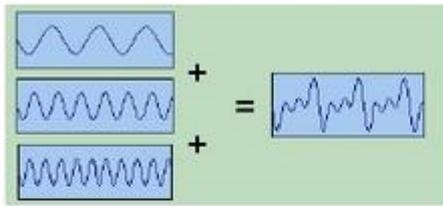
Principales fonctions du traitement du signal

Les fonctions du traitement du signal peuvent se diviser en deux catégories : *l'élaboration des signaux* (incorporation des informations) et *l'interprétation des signaux* (extraction des informations). Les principales fonctions intégrées dans ces deux partis sont les suivantes :

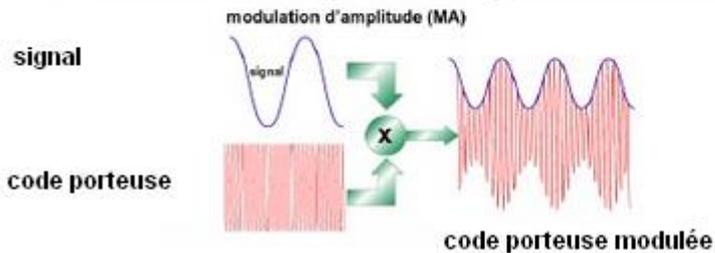
-Élaboration des signaux :

- **Synthèse** : création de signaux de forme appropriée en procédant par exemple à une combinaison de signaux élémentaires ;
- **Modulation** : changement de fréquence : moyen permettant d'adapter un signal aux caractéristiques fréquentielles d'une voie de transmission ;
- **Codage** : traduction en code binaire (quantification), etc.

- Synthèse: création de signaux par combinaison de signaux élémentaires



- Modulation : adaptation du signal au canal de transmission



-Interprétation des signaux :

- filtrage : élimination de certaines composantes indésirables ;

En électronique, le terme filtre désigne à l'origine, par analogie avec les filtres de fluides, un circuit qui rejette une partie indésirable de la tension; par extension, un circuit qui réalise une opération de traitement du signal. On trouve notamment des filtres passe-bas (qui coupent les hautes fréquences) et passe-haut (qui coupent les basses fréquences).

Par extension, on appelle également filtre un outil logiciel dont le but est la séparation des fréquences contenues dans un signal numérisé (son, profil d'état de surface...) ou dans une image physique (topographie...), dans ce cas le filtrage est souvent réalisé à l'aide de **la Transformée de Fourier discrète**.

- détection : extraction du signal d'un bruit de fond (corrélation).

L'autocorrélation est un outil mathématique souvent utilisé en traitement du signal. C'est la corrélation croisée (La corrélation croisée est parfois utilisée en statistique pour désigner la covariance $Cov(X,Y)$) d'un signal par lui-même. L'autocorrélation permet de détecter des régularités, des profils répétés dans un signal comme un signal périodique perturbé par beaucoup de bruit, ou bien une fréquence fondamentale d'un signal qui ne contient pas effectivement cette fondamentale, mais l'implique avec plusieurs de ses harmoniques. L'autocorrélation peut donner une information sur des événements répétés.

- identification : classement d'un signal dans des catégories préalablement définies ;

- analyse : isolement des composantes essentielles ou utiles d'un signal de forme complexe (transformée de Fourier) ;

- mesure : estimation d'une grandeur caractéristique d'un signal avec un certain degré de confiance (valeur moyenne, etc.).

2- L'analogique et le numérique

1- Analogique

Le terme analogique désigne les phénomènes, appareils électroniques, composants électroniques et instruments de mesure qui représentent une information par la variation d'une grandeur physique (ex. une tension électrique). Ce terme provient du fait que la mesure d'une valeur naturelle (ou d'un élément de signal électrique ou électronique) varie de manière **analogue** à la source.

Ainsi par exemple, un thermomètre indique la température à l'aide d'une hauteur de mercure ou d'alcool coloré sur une échelle graduée. Ceci est un système analogique.

Par extension du sens premier du mot analogique, une grandeur est dite analogique si sa mesure donne un nombre réel variant de façon continue. Il existe une infinité de valeurs pour une grandeur analogique.

Quelle est la différence entre analogique et numérique ?

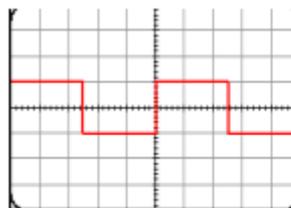
Les phénomènes qui nous entourent sont quasiment tous continus, c'est-à-dire que lorsque ces phénomènes sont quantifiables, ils passent d'une valeur à une autre sans discontinuité.

Ainsi, lorsque l'on désire **reproduire** les valeurs du phénomène, il s'agit de l'enregistrer sur un support, afin de pouvoir l'interpréter pour reproduire le phénomène original de la façon la plus exacte possible. **Lorsque le support physique peut prendre des valeurs continues, on parle d'enregistrement analogique.** Par exemple une cassette vidéo, une cassette audio ou un disque vinyle sont des supports analogiques.

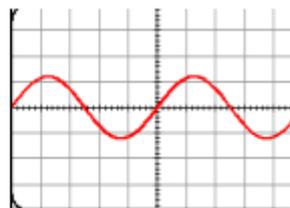
Par contre, lorsque le signal ne peut prendre que des valeurs bien définies, en nombre limité, on parle alors de signal numérique.

La représentation *d'un signal analogique* est donc *une courbe*, tandis *qu'un signal numérique* pourra être visualisé par un *histogramme*.

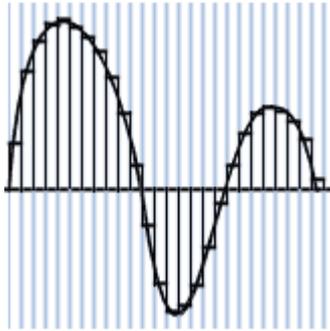
- Un signal analogique est de type *sinusoïdal*.
- Un signal numérique est un *signal discret*.



signal numérique



signal analogique



Un système analogique est direct, rapide, et représentatif de la source. Cependant il ne peut pas mémoriser les informations et les traitements des signaux sont limités.

De cette façon, il est évident qu'un signal numérique est beaucoup plus facile à reproduire qu'un signal analogique (la copie d'une cassette audio « analogique » provoque des pertes...).

Numérisation

L'importance des systèmes numériques de traitement de l'information ne cesse de croître (radio, télévision, téléphone, instrumentation...). Ce choix est souvent justifié par des avantages techniques tels que la grande stabilité des paramètres, une excellente reproductibilité des résultats et des fonctionnalités accrues. Le monde extérieur étant par nature "analogique", une opération préliminaire de conversion analogique numérique est nécessaire. La conversion analogique numérique est la succession de trois effets sur le signal analogique de départ :

- *l'échantillonnage* (en anglais *sampling*) pour rendre le signal discret
- *la quantification* pour associer à chaque échantillon une valeur
- *le codage* pour associer un code à chaque valeur.

1- Echantillonnage

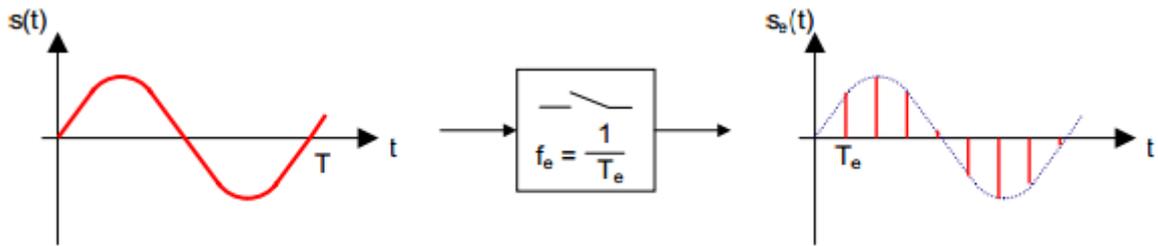
L'échantillonnage consiste à prélever périodiquement des échantillons d'un signal analogique.

Définition

L'échantillonnage consiste à prélever à des instants précis, le plus souvent équidistants, les valeurs instantanées d'un signal.

L'échantillonnage transforme un signal continu $S(t)$ en un signal discret S_i composé de plusieurs mesures du signal continu, relevées à des instants successifs séparés par un **pas temporel** constant. Ainsi : $S_i = S(i \cdot T_e)$ où T_e est la période d'échantillonnage. $F_e = 1/T_e$ est la fréquence d'échantillonnage.

Cette opération est réalisée par un échantillonneur souvent symbolisé par un interrupteur.



Le théorème de SHANNON montre que la reconstitution correcte d'un signal nécessite que la fréquence d'échantillonnage f_e soit au moins deux fois plus grande que la plus grande des fréquences f_M du spectre du signal :

$$f_e > 2 f_M$$

2- Quantification

La quantification consiste à affecter une valeur numérique à chaque échantillon prélevé.

Définition

La quantification consiste à associer à une valeur réelle x quelconque, une autre valeur x_q appartenant à un ensemble fini de valeurs et ce suivant une certaine loi : arrondi supérieur, arrondi le plus proche, etc...

L'écart entre chaque valeur x_q est appelé « pas de quantification ».

Le fait d'arrondir la valeur de départ entraîne forcément une erreur de quantification que l'on appelle le bruit de quantification.

3 Codage

Le codage consiste à associer à un ensemble de valeurs discrètes un code composé d'éléments binaires. Les codes les plus connus : code binaire naturel, code binaire décalé, code complément à 2, code DCB, code Gray...

Exemple sur 4 bits :

Nbre	Binaire	Binaire décalé	DCB	Gray	Complément à 2
-8	/	0000	/	/	1000
-3	/	0101	/	/	1101
0	0000	1000	0000	0000	0000
1	0001	0001	0001	0001	0001
5	0101	0101	0101	0111	0101
10	1010	/	0001 0000	1111	/
15	1111	/	0001 0101	1000	/

La qualité du signal numérique dépendra de deux facteurs :

- *La fréquence d'échantillonnage (appelé taux d'échantillonnage)* : plus celle-ci est grande (c'est-à-dire que les échantillons sont relevés à de petits intervalles de temps) plus le signal numérique sera fidèle à l'original ;
- *le nombre de bits sur lequel on code les valeurs (appelé résolution)* : il s'agit en fait du nombre de valeurs différentes qu'un échantillon peut prendre. Plus celui-ci est grand, meilleure est la qualité.

Convertisseurs analogique numérique

Un convertisseur analogique numérique (CAN) est un appareil permettant de transformer en valeurs numériques un phénomène variant dans le temps. Lorsque les valeurs numériques peuvent être stockées sous forme binaire (donc par un ordinateur), on parle de données multimédia.

Un ordinateur dit « multimédia » est une machine capable de numériser des documents (papier, audio, vidéo...). Les principaux périphériques comportant des convertisseurs analogique numérique sont :

- les cartes d'acquisition vidéo
- les scanners
- les cartes de capture sonore (la quasi-totalité des cartes-sons)
- la souris, l'écran et tout mécanisme de pointage
- les lecteurs (optiques comme le lecteur de CD-ROM, magnétiques comme le disque dur)
- les modems (à la réception)

Convertisseurs numérique analogique

Les convertisseurs numérique analogique permettent de restituer un signal numérique en signal analogique. En effet, si une donnée numérique est plus facile à stocker et à manipuler, il faut tout de même pouvoir l'exploiter. A quoi servirait un son numérique si l'on ne pouvait pas l'entendre...

Il est possible de reconstituer le signal continu à partir des valeurs discrètes. La fonction interpolant utilisée à cette fin est le sinus cardinal (noté sinc) :

$$S(t) = \sum_i S_i \cdot \text{sinc} \left(\pi \left(\frac{t}{T_e} - i \right) \right)$$

Ainsi, sur un ordinateur multimédia on trouve des convertisseurs numérique analogique pour la plupart des sorties :

- sorties audio des cartes-sons
- synthétiseur musical
- imprimante
- modem (à l'émission)

Avantages et limites du traitement numérique

En comparaison du traitement du signal analogique, le traitement numérique présente un certain nombre **d'avantages** :

- Immunité au bruit : un signal codé numériquement n'est pas bruité lors de son traitement. On peut donc réaliser des calculs de précision arbitraire et mettre en cascade un grand nombre d'opérations.
- Souplesse : un traitement numérique est facilement ajustable ou paramétrable en cours de fonctionnement. Le traitement peut même s'adapter de lui même à la situation (évolution du signal d'entrée au cours du temps). L'aptitude des machines numériques à enchaîner des séquences d'opérations facilite également la réalisation d'algorithmes de traitement complexes ; un exemple important est la transformée de Fourier.
- Mémorisation : la facilité de mettre un signal en mémoire permet de réaliser des retards facilement et donc une grande variété de filtres ou des opérations de corrélation.

Ainsi, grâce à la numérisation on peut garantir la qualité d'un signal, ou bien la réduire volontairement pour :

- diminuer le coût de stockage
- diminuer le coût de la numérisation
- diminuer les temps de traitement
- tenir compte du nombre de valeurs nécessaires selon l'application
- tenir compte des limitations matérielles

Ces avantages sont tempérés par quelques limites :

- La numérisation en elle-même peut dégrader le signal, du fait d'une quantification ou d'un échantillonnage insuffisants. De plus, les calculs numériques ne sont pas exempts d'erreurs, du fait des arrondis. Les calculs effectués en virgule fixe sont particulièrement vulnérables à ces problèmes.
- Le traitement numérique est nécessairement plus lent, plus consommateur et plus gourmand en ressources matérielles que l'approche analogique

Spécificités analytiques du traitement numérique

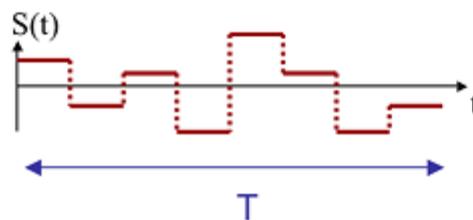
Alors qu'un signal analogique peut être représenté mathématiquement par une fonction continue d'une variable continue (par exemple, modélisation d'une tension électrique variable au cours du temps), un signal numérique est une suite de nombres. Il faut donc des outils mathématiques différents pour les manipuler. Citons :

- la transformée en Z — La transformation en z permet de représenter un signal possédant une infinité d'échantillons par un ensemble fini de nombre ;

Sa définition mathématique est la suivante : la transformation en Z est une application qui transforme une suite (définie sur les entiers) en une fonction S d'une variable complexe nommée z

- la transformée de Fourier discrète (TFD) — elle a de nombreuses applications en analyse spectrale et en filtrage, du fait de l'existence d'algorithmes de calcul rapide regroupés sous le vocable de transformée de Fourier rapide.

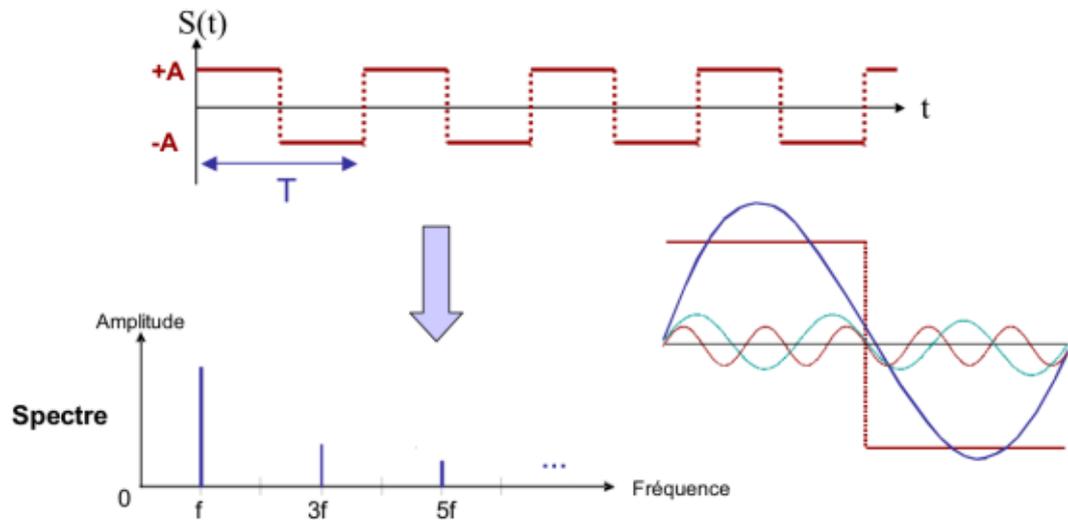
• Tout signal numérique est un signal périodique



• Joseph Fourier, 1822 → séries de Fourier

- Toute fonction périodique $g(t)$ est décomposable en une somme théoriquement infinie de fonctions sinusoïdales (harmoniques)

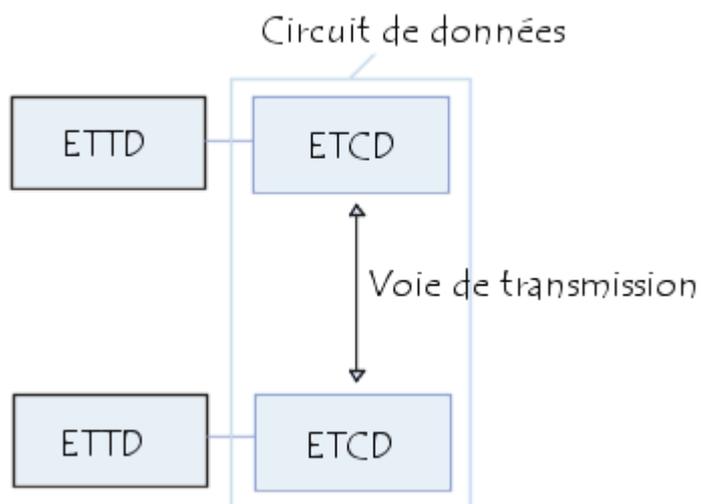
- **Transformée de Fourier** = passage du **signal** au **spectre**



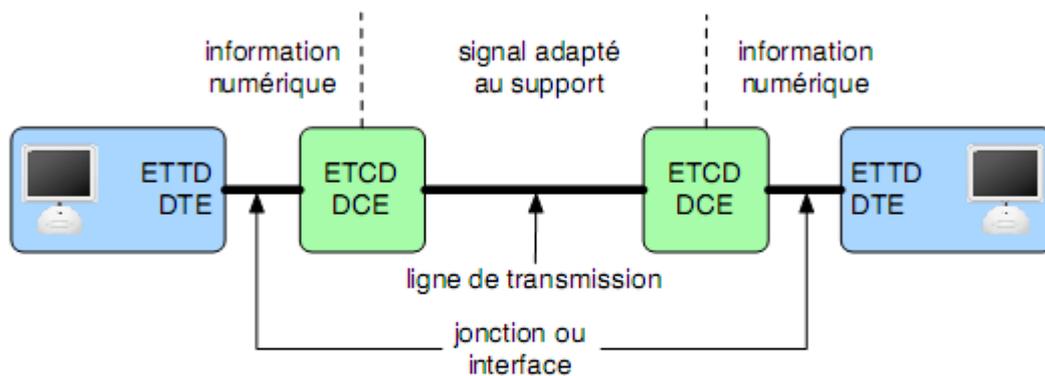
Qu'est-ce qu'un canal de transmission ?

Une ligne de transmission est une liaison entre les deux machines. **On désigne généralement par le terme émetteur la machine qui envoie les données et par récepteur celle qui les reçoit**. Les machines peuvent parfois être chacune à son tour réceptrice ou émettrice (c'est le cas généralement des ordinateurs reliés par réseau).

La ligne de transmission, appelée aussi parfois canal de transmission ou voie de transmission, **n'est pas forcément constituée d'un seul support physique de transmission**, c'est pourquoi les machines d'extrémités (par opposition aux machines intermédiaires), appelées **ETTD** (équipement terminal de traitement de données, ou en anglais **DTE, Data Terminal Equipment**) possèdent chacune un équipement relatif au support physique auxquelles elles sont reliées, appelé **ETCD** (équipement terminal de **circuit de données**, ou en anglais **DCE, Data Communication Equipment**). On nomme circuit de données l'ensemble constitué des ETCD de chaque machine et de la ligne de données.



Une transmission de données met en oeuvre des calculateurs d'extrémité et des éléments d'adaptation du signal.



- ▶ Un **Équipement Terminal de Traitement de Données (ETTD)** ou Data Terminal Equipment (DTE) contrôle les communications.
- ▶ Un **Équipement Terminal de Circuit de Données (ETCD)** ou Data Circuit Equipment (DCE) réalise l'adaptation du signal entre l'ETTD et le support de transmission.

Les caractéristiques des ETCD sont liées à l'organisation fonctionnelle et physique des échanges. Il faut prendre en compte :

le sens de transmission : **unidirectionnelle** (simplex), à **l'alternat** (half duplex) ou **bidirectionnelle** (full duplex).

le nombre de bits transmis en même temps : **transmission parallèle** (efficace mais problèmes de diaphonie et de propagation non homogène) ou **transmission série** (qui est plus adaptée aux longues distances).

le type de synchronisation des horloges : une transmission correcte des données nécessite la synchronisation de l'horloge du récepteur sur celle de l'émetteur. Deux possibilités, la transmission **synchrone** ou **asynchrone**. Besoin de protocoles spécifiques (SLIP, PPP, HDLC, ...).

le mode de transmission électrique : **asymétrique** ou **symétrique**.

Transmission en parallèle

Les bits sont émis en parallèle sur des fils distincts (8, 16, 32, 64, voire parfois plus) :



Pose des problèmes de synchronisation

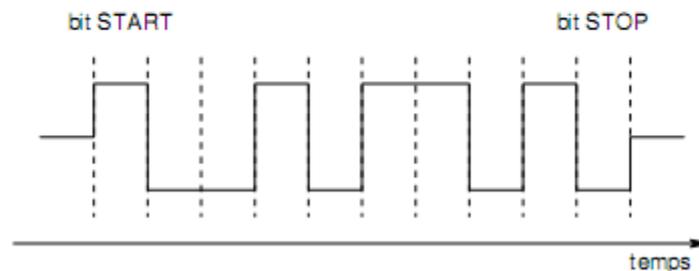
N'est utilisée que sur de **très courtes distances** (ex : bus interne d'un ordinateur)

Transmission en série

- Les bits sont émis les uns après les autres
- Deux modes possibles : asynchrone et synchrone

Mode asynchrone :

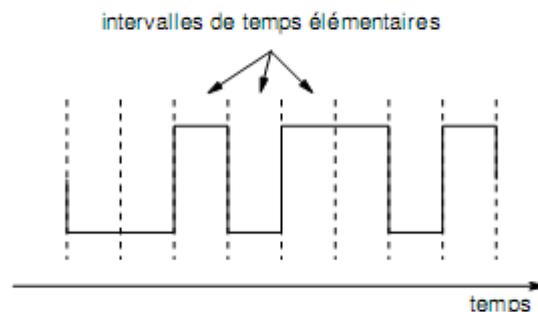
- transmission a lieu n'importe quand
- début et fin de la transmission par bits START et STOP :



Transmission en série

Mode synchrone :

- émetteur et récepteur sont d'accord sur un intervalle de temps élémentaire constant qui se répète sans cesse
- transmission en début d'intervalle pour une durée d'un intervalle par information (ex : 1 bit)

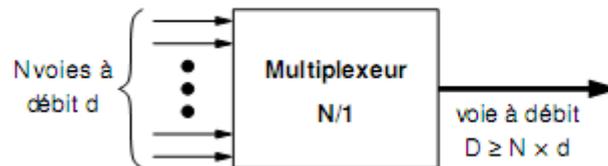


C'est le mode utilisé pour les très forts débits

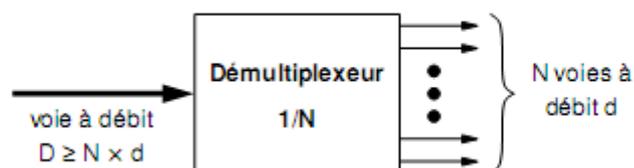
Multiplexage

Mélanger l'information provenant de plusieurs entrées sur une seule ligne de sortie.

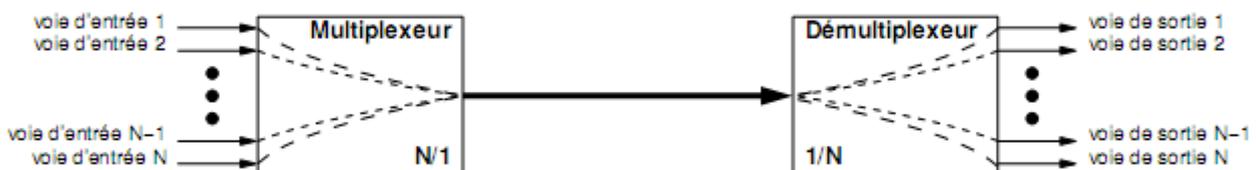
Multiplexeur : matériel effectuant le multiplexage



Démultiplexeur : matériel effectuant le démultiplexage



Connexion d'un multiplexeur et d'un démultiplexeur :



Les lignes sont souvent utilisées en full-duplex.

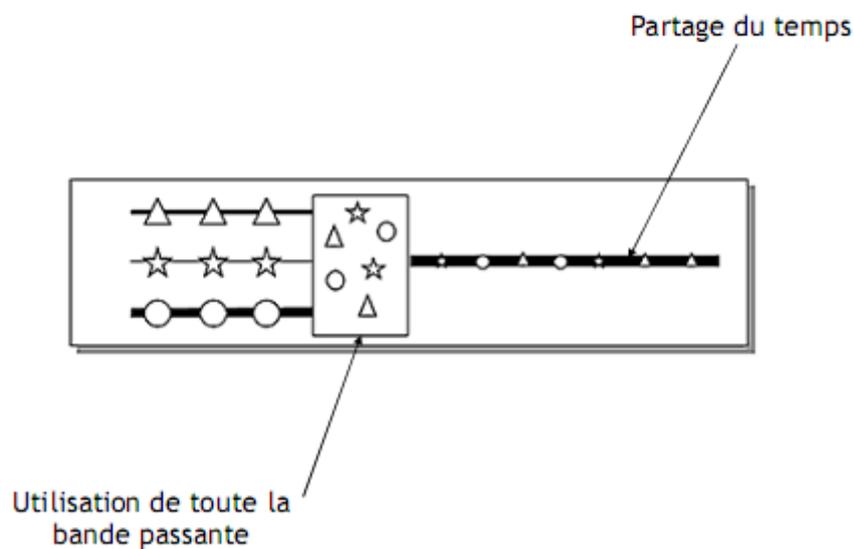
Techniques de multiplexage

- multiplexage fréquentiel : affecter une plage de fréquences pour chaque voie bas débit
- multiplexage temporel : affecter une période de temps (slot) pour chaque voie bas débit
- multiplexage statistique : meilleur emploi de la ligne haut débit pour le multiplexage temporel. Nécessite des mémoires dans les mux.

Multiplexage temporel

- Multiplexage temporel
 - TDM : Time Division Multiplexing
- Principe:
 - Le temps est partagé entre chaque voie.
- Le signal composite
 - Est un train de bits constitué par la succession des suites de bits de chaque voie.
 - Est découpé en intervalles de temps
- Sensible aux pertes

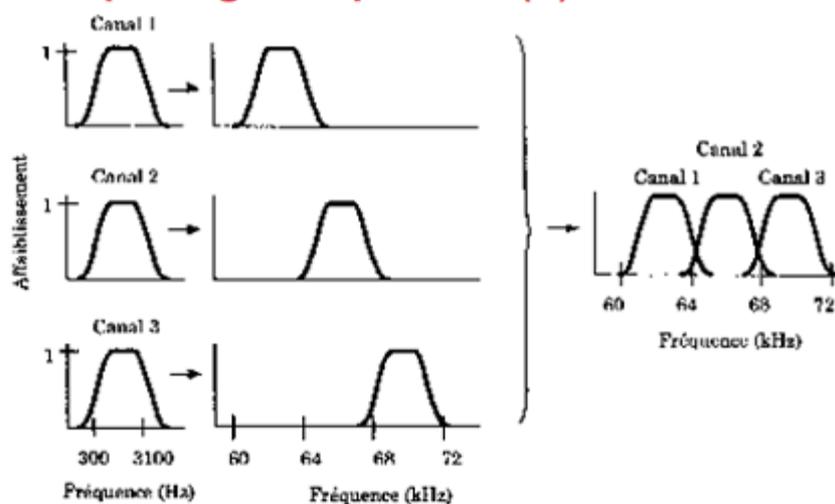
Multiplexage temporel (2)



Multiplexage fréquentiel

- Multiplexage fréquentiel ou spatial
 - FDM : Frequency Division Multiplexing
- Principe :
 - Partage de la bande passante en sous-bandes
 - Superposition des signaux dans le temps
- Chaque sous-bande passante ou voie est modulée avec une porteuse différente.
- Démultiplexage = extraction de chaque voie par filtrage puis démodulation.
- Surtout utilisé pour le réseau téléphonique.

Multiplexage fréquentiel (2)



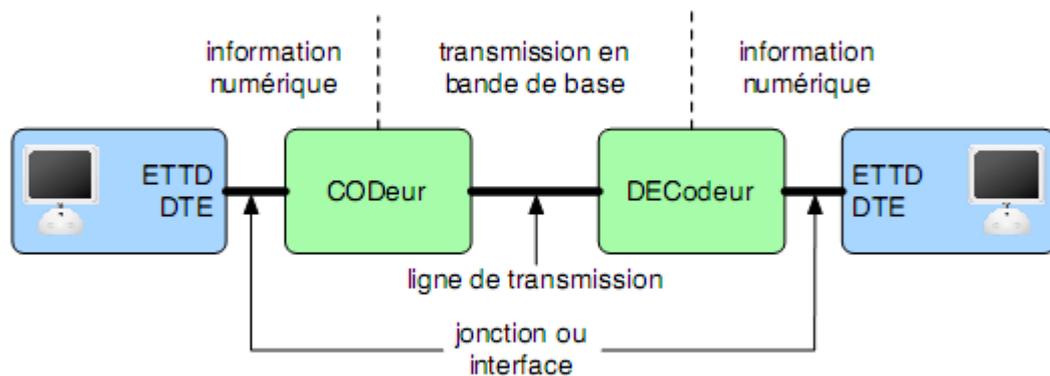
- Pour éviter les recouvrements de fréquence, utilisation d'une bande de garde.

Multiplexage statistique

- Principe:
 - Les voies actives récupèrent les temps et fréquences des voies inactives.
- Se fonde sur un calcul statistique des arrivées sur des débits moyens.
- Nécessite une mémoire importante.

Deux modes d'adaptation du signal (bis)

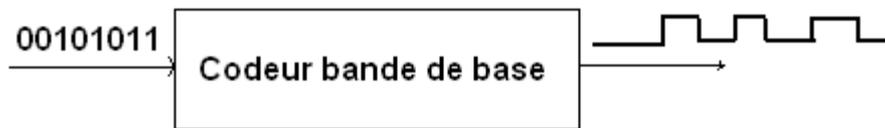
La transmission en **bande de base** consiste à modifier légèrement (on dit transcoder) le signal émis par l'ETTD. Ce mode de transmission est peu adapté aux longues distances.



L'ETCD est un **codeur/décodeur**. Il a essentiellement pour objet de coder le signal pour supprimer les composantes continues et de maintenir la synchronisation de l'horloge de réception.

Transmission numérique (ou bande de base)

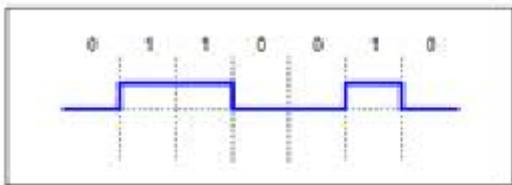
La transmission en bande de base (base band), typiquement de la plupart des réseaux locaux, **consiste à transmettre directement les signaux numériques sur le support de transmission**. La figure suivante résume le principe de la transmission en bande de base :



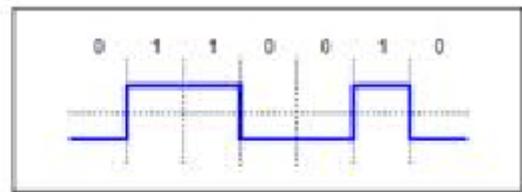
En bande de base, les 0 et les 1 binaires sont directement représentés par des valeurs de tensions. L'avantage est **la simplicité**, mais les distances sont **limitées à quelques kilomètres**.

- signal de forme carrée
- obtenu par une modification brutale d'une caractéristique (ex : tension, intensité lumineuse)
- se dégradent rapidement avec la distance : des répéteurs peuvent amplifier le signal
- la fibre optique est la plus adaptée (100 km sans répéteur avec plusieurs Gbit/s)

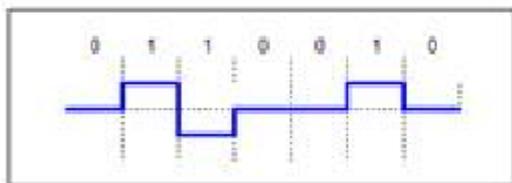
Exemples de codage en bande de base



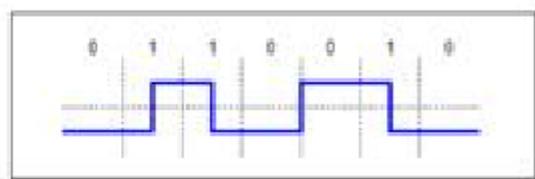
tout ou rien



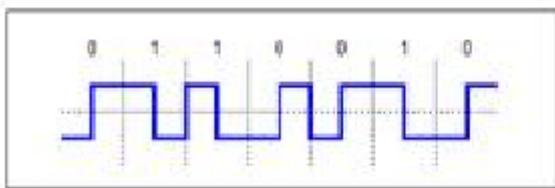
NRZ



bipolaire

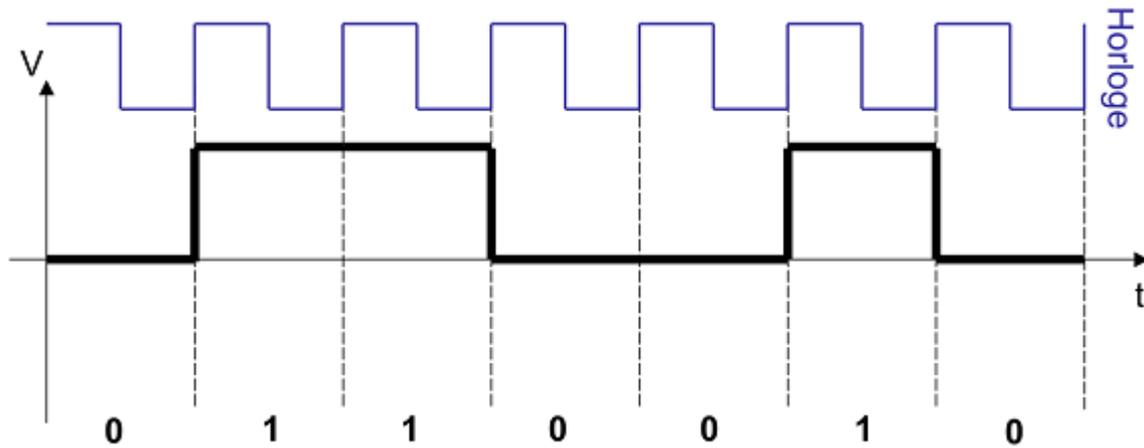


Miller



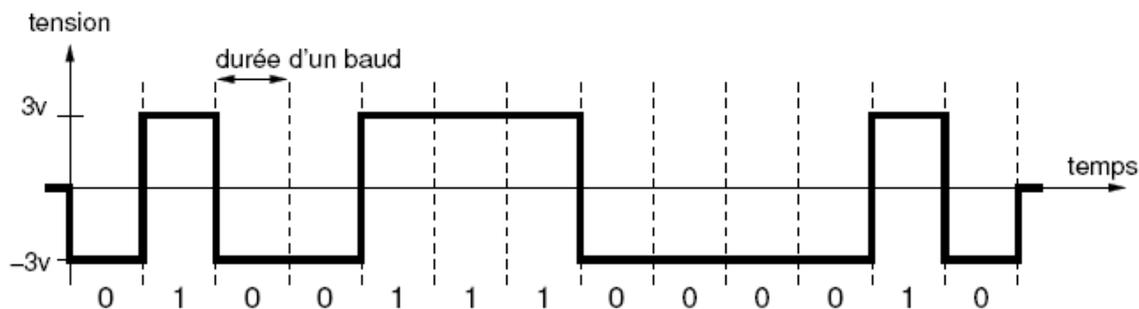
Manchester

Codage Tout-ou-rien



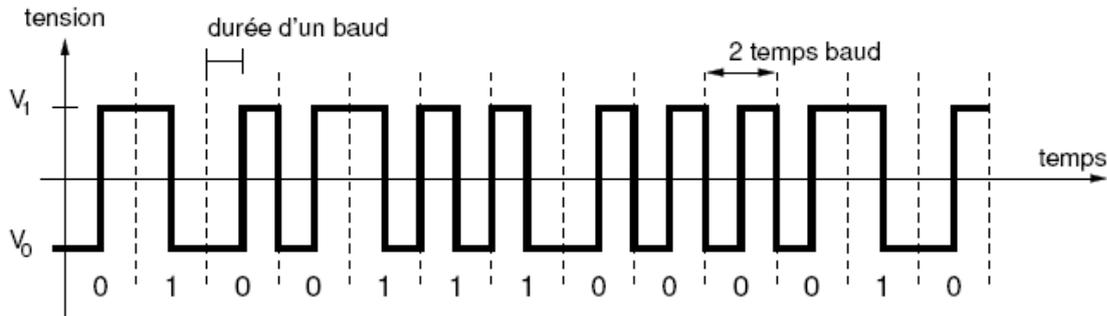
- Information binaire transmise « telle quelle »
- Pb : Composante continue non nulle → échauffement par effet Joule
- Pb : Pas de différence entre 0 et l'absence d'information (pas de transmission).

Codage NRZ (non-retour à zéro)



- Transposition en tension
Les 1 sont codés par une tension positive, les 0 par l'opposé.,
- Toutefois les longues séries de bits identiques (0 ou 1) provoquent un signal sans transition pendant une longue période de temps, ce qui peut engendrer **une perte de synchronisation**.
Pb : Désynchronisation possible sur séquence longue de 0 ou 1
- Pb : Dépendance vis-à-vis de la polarité
- il est difficile de garder un courant continu

Codage Manchester (biphasé)



- Il faut 2 bauds pour coder 1 bit.
Le signal doit changer de polarité au milieu du temps bit. (Transition au milieu de chaque bit. **Les 0 sont codés par un front montant, les 1 par un front descendant**)
- Transmission d'un 1 : le signal part de V_1 pour finir en V_0
- Transmission d'un 0 : le signal part de V_0 pour finir en V_1
- La synchronisation des échanges entre émetteur et récepteur est toujours assurée, même lors de l'envoi de longues séries de 0 ou de 1. **Par ailleurs, un bit 0 ou 1 étant caractérisé par une transition du signal et non par un état comme dans les autres codages, il est très peu sensible aux erreurs de transmission.** La présence de parasites peut endommager le signal et le rendre incompréhensible par le récepteur, **mais ne peut pas transformer accidentellement un 0 en 1 ou inversement.**

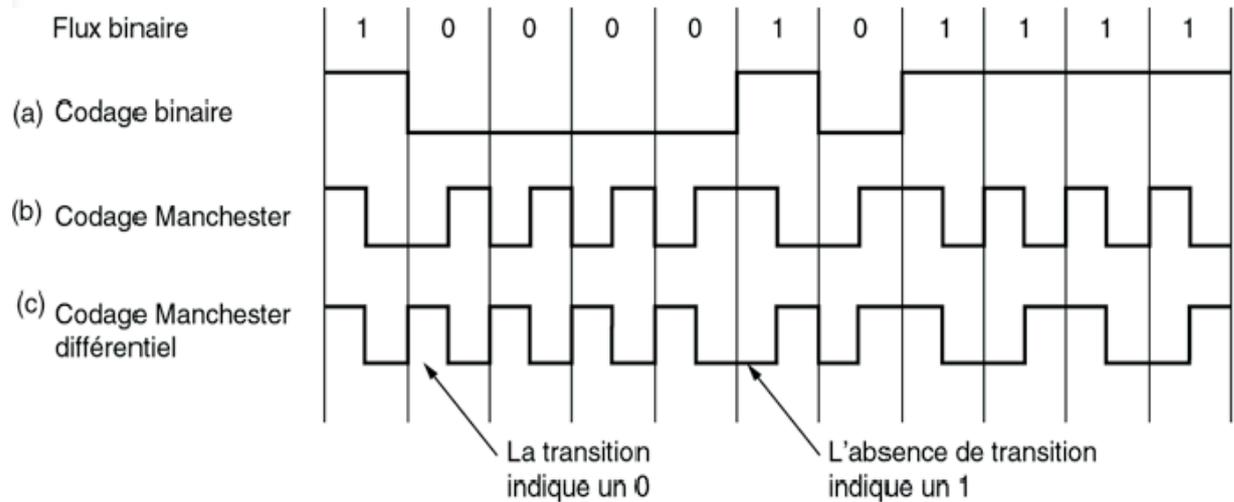
Toutefois, **le codage Manchester présente un inconvénient** : il nécessite un débit sur le canal de transmission deux fois plus élevé que le codage binaire. Pour 10 Mbit/s transmis, on a besoin d'une fréquence à 10 Mhz

- **Utilisation : Ethernet 10Base5, 10Base2, 10BaseT, 10BaseFL**

– Manchester Différentiel:

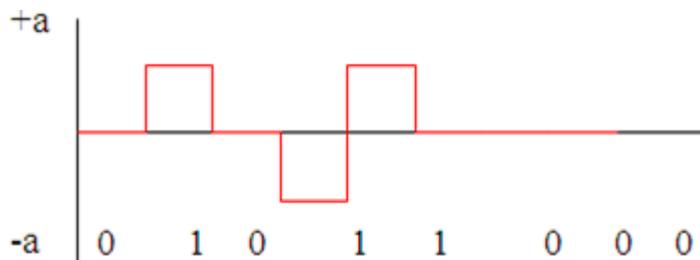
Principe : c'est la présence ou l'absence de transition au début de l'intervalle du signal d'horloge qui réalise le codage. Un 1 est codé par l'absence de transition, un 0 est codé par une transition au début du cycle d'horloge.

Exemple de codage en base de base



Codage bipolaire simple (d'ordre 1)

Principe : Les 0 sont représentés par des potentiels nuls, les 1 par $+V$ et $-V$ en alternance.

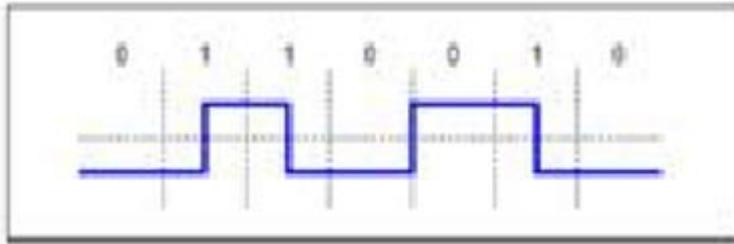


- Plus sensible au bruit que le codage à 2 niveaux.
- Ici encore, il peut y avoir de longues séquences sans potentiel et donc perte de synchronisation.

Codage de Miller

Décodage :

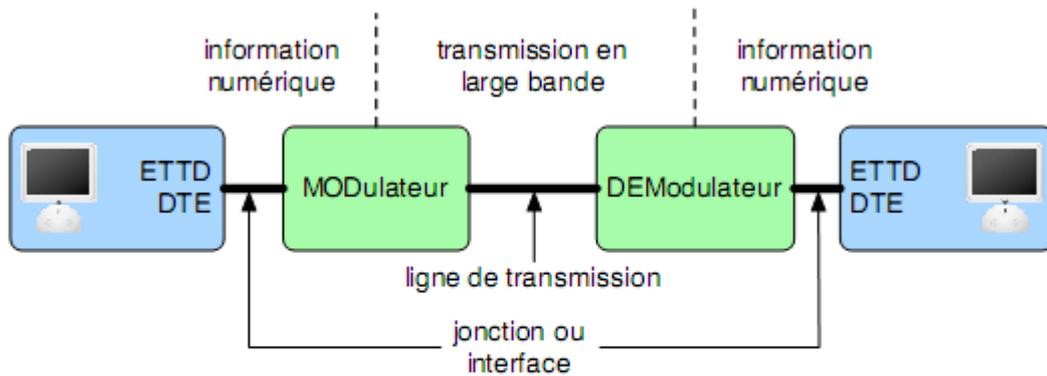
- Si sur un intervalle Δ , le signal ne présente pas de transition, la donnée vaut 0 ($a_i = 0$).
- Si sur un intervalle Δ , le signal présente une transition, la donnée vaut 1 ($a_i = 1$).



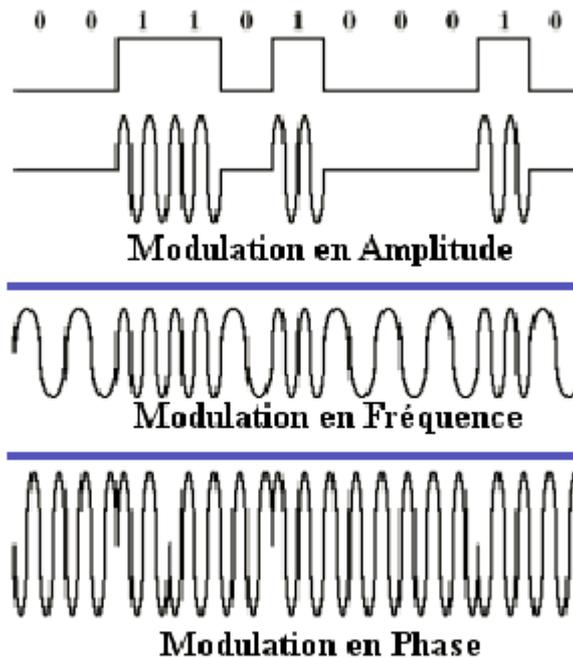
Miller

Autre codages : Codage MLT3 ; Codage 2B1Q ; Codage NRZI ; Codage nB/mB...

La transmission en **large bande** translate le spectre du signal à émettre dans une bande de fréquence mieux admise par le système.



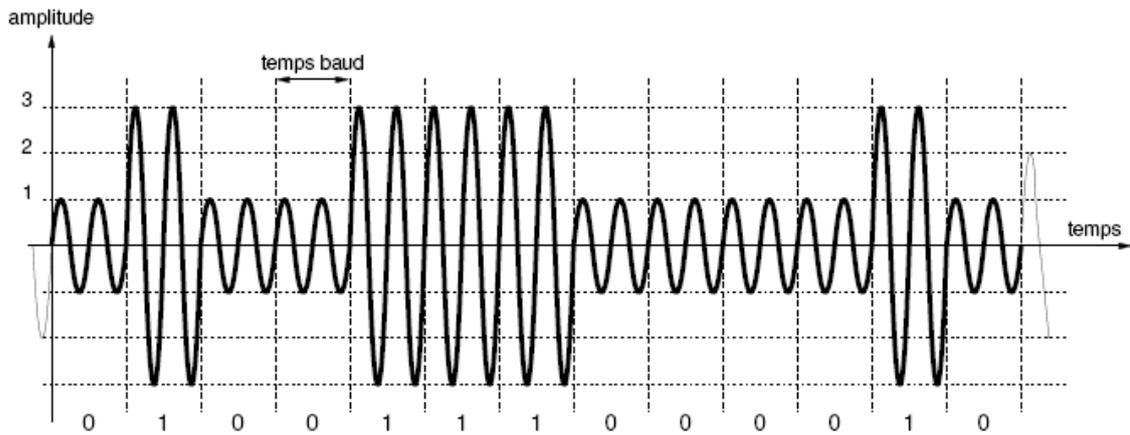
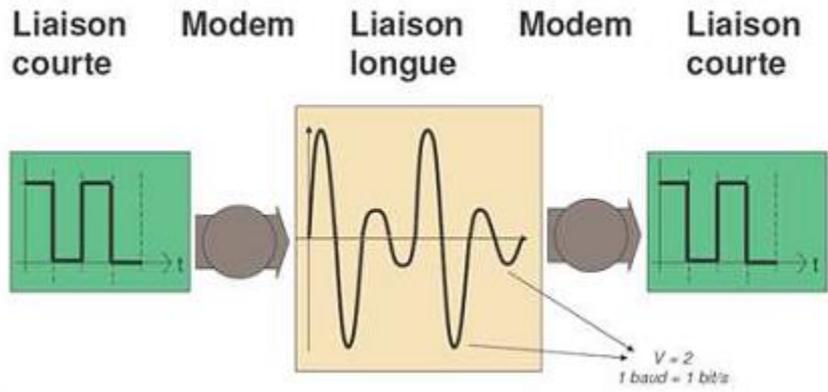
L'ETCD est un **modulateur/démodulateur**. Il transforme le signal numérique en un signal sinusoïdal modulé (par fréquence/amplitude/phase) plus résistant que le signal en bande de base. Il permet donc d'atteindre des distances plus importantes. De plus, une transmission en large bande permet le multiplexage spatial.



Les différentes techniques de modulation peuvent être combinées.

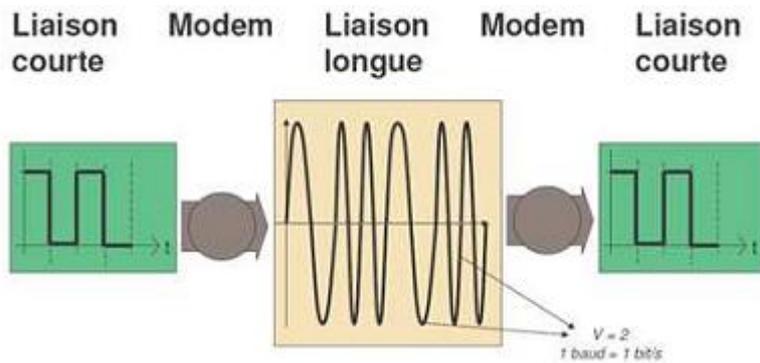
Transmission analogique

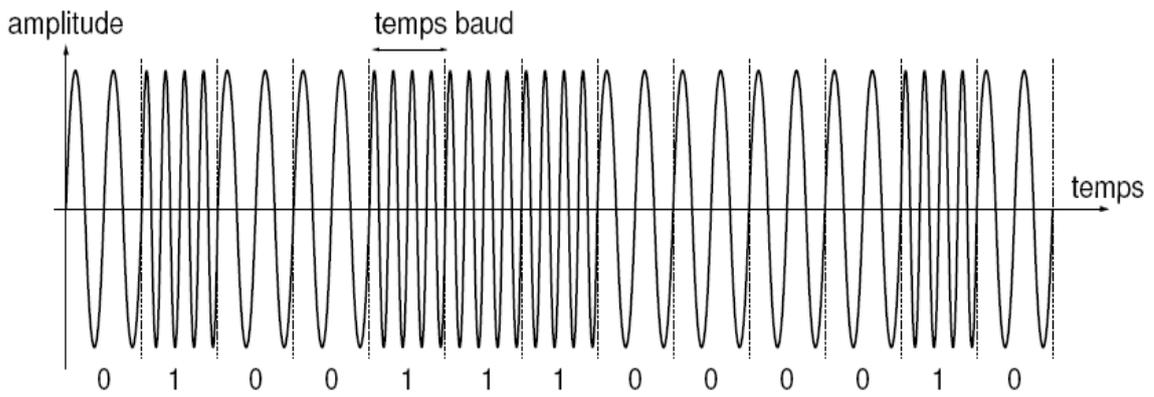
- La transmission numérique est difficile sur de longues distances, ainsi que sur un support de faible bande passante (comme le réseau téléphonique).
- En transmission analogique, le signal a une forme sinusoïdale : $s(t) = A \sin(2\pi ft + \Phi)$
- ou :
 - A est l'amplitude
 - f est la fréquence
 - Φ est la phase
- En faisant varier (modulation) un ou plusieurs de ces paramètres.
- Le signal servant de référence est appelé signal porteur ou porteuse.
- **Modulation d'amplitude ou ASK (Amplitude-Shift Keying)**
- La différence entre le 0 et le 1 est obtenue par une différence d'amplitude du signal.



- **Modulation de fréquence ou FSK (Frequency-Shift Keying)**

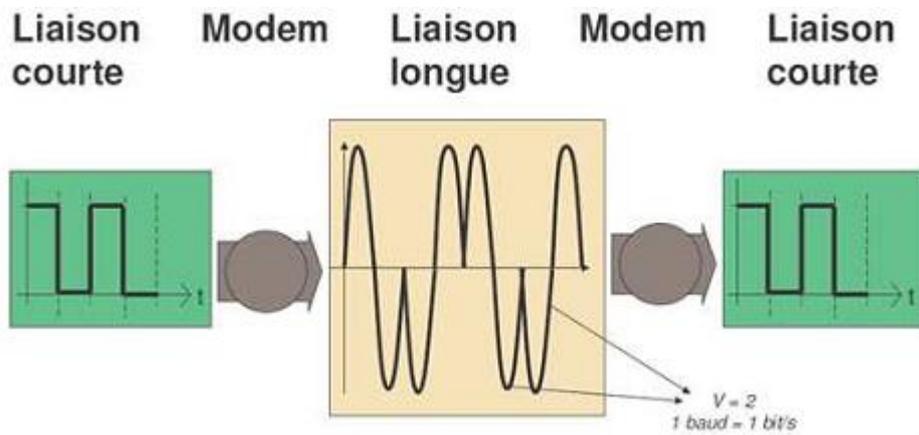
- La différence entre le 0 et le 1 est obtenue par une différence de fréquence du signal.



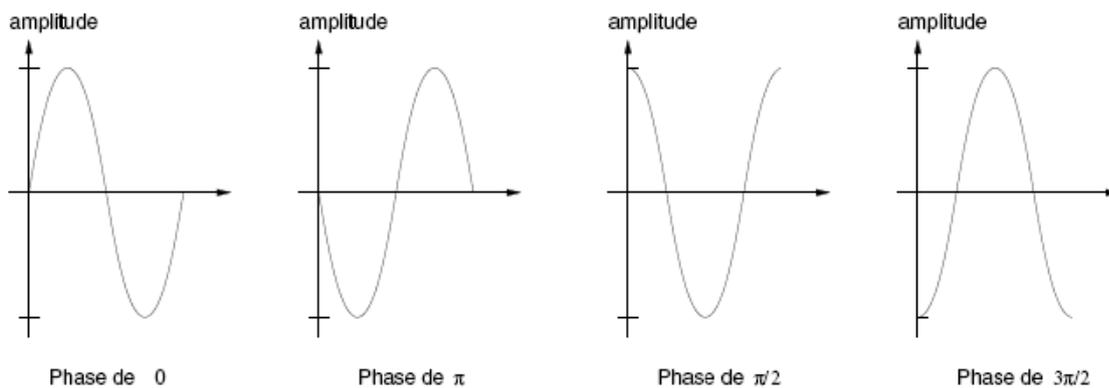


Modulation de phase ou PSK (Phase-Shift Keying)

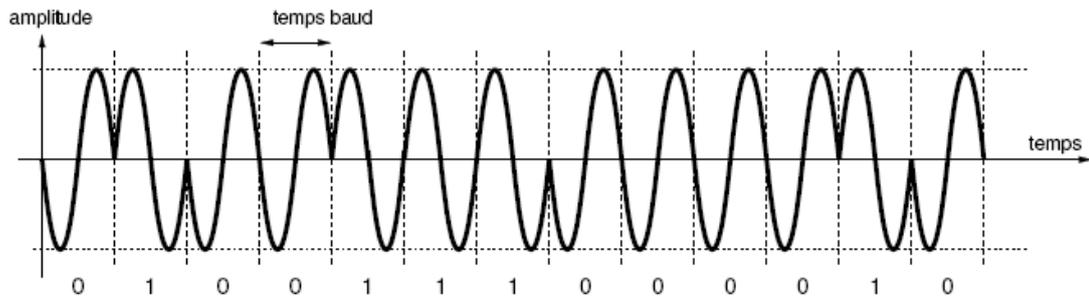
- La différence entre le 0 et le 1 est obtenue par une différence de phase du signal.
- Signal de forme plus saccadée.



- Les signaux suivants ont des phases respectives de 0 , $\pi/2$, et $3\pi/2$:

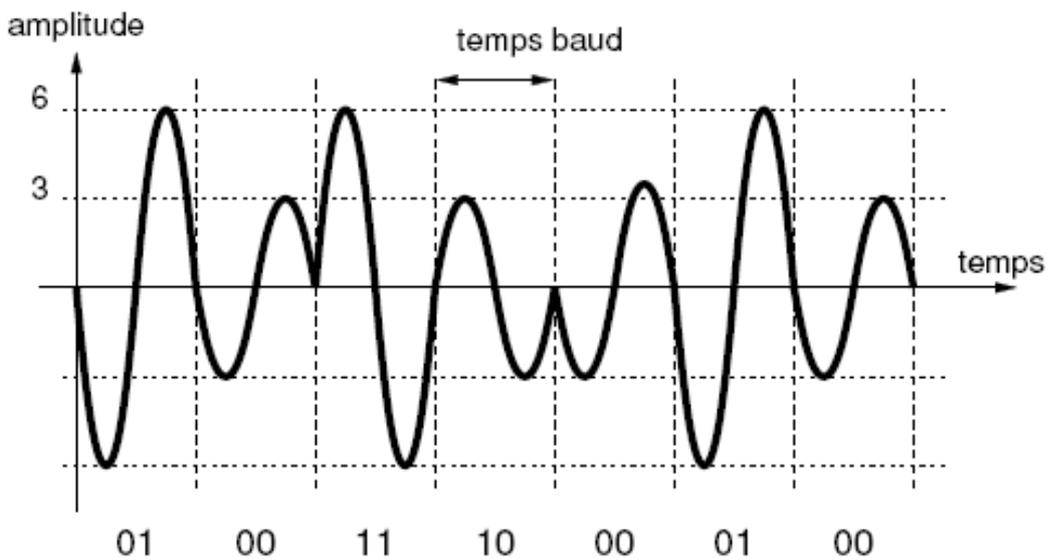


- **Exemple :**
Phase de 0 pour bit a 1, et de π pour bit a 0 :



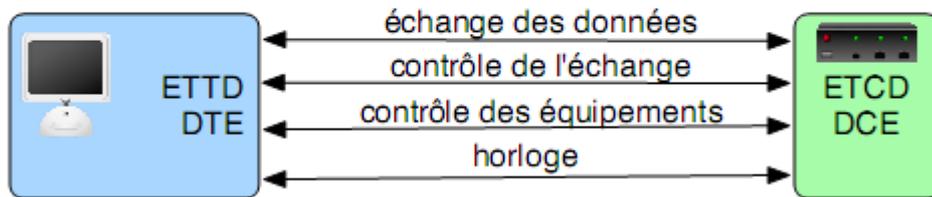
- **Combinaisons des modulations**

- Exemple : 2 phases et 2 amplitudes, soit 4 variations possibles
- valence de 2 (2 bit/ baud) :
 - 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



Jonction ETDD/ETCD (en bref)

La jonction ETDD/ETCD définit un ensemble de règles (protocole) destinées à assurer la connectivité et le dialogue entre ETDD et ETCD, la synchronisation des horloges, le transfert des données et le contrôle de celui-ci.



La normalisation de ces interfaces émane principalement de l'EIA et de l'UIT (V.24, X.21).

Modem

Le modem (mot-valise, pour modulateur-démodulateur), est un périphérique servant à communiquer avec des utilisateurs distants par l'intermédiaire d'un réseau analogique (comme une ligne téléphonique). Il permet par exemple de se connecter à Internet.

Techniquement, l'appareil sert à convertir les données numériques de l'ordinateur en signal modulé, dit « analogique », transmissible par un réseau analogique et réciproquement.

Technologie

C'est un dispositif électronique, **en boîtier indépendant ou en carte à insérer dans un ordinateur, qui permet de faire circuler (réception et envoi) des données numériques sur un canal analogique. Il effectue la modulation : codage des données numériques, synthèse d'un signal analogique qui est en général une fréquence porteuse modulée. L'opération de démodulation effectue l'opération inverse et permet au récepteur d'obtenir l'information numérique.**

On parle de modem pour désigner les appareils destinés à faire communiquer des machines numériques entre elles (ex: ordinateurs, systèmes embarqués) à travers un réseau analogique (réseau téléphonique commuté, réseau électrique, réseaux radios...). En automatisme industriel, on parle aussi beaucoup de modems pour les "machines" : machines d'emballage, chaudières collectives, stations d'épuration... Dans ce cas précis, on vient, via Internet, modifier à distance le programme des automates de gestion de ces "machines". Ceci se fait par le biais de modem-routeurs souvent associés à un logiciel assurant une liaison sécurisé (VPN). Exemples de produits permettant l'accès via modem : eWON avec Talk2M , Severa ...

Depuis la fin des années 1990, de nombreuses normes de télécommunications sont apparues et, donc autant de nouveaux types de modems : RNIS (ou ISDN), ADSL, GSM,GPRS, Wi-Fi, Wimax...

Caractéristiques

La principale caractéristique d'un modem, c'est sa vitesse de transmission. Celle-ci est exprimée en **bits** par seconde (bit/s, b/s ou bps) ou en kilobits par seconde (kbit/s, kb/s ou kbps).

Remarques :

- on trouve dans certains documents Kbit/s au lieu de kbit/s ; **le symbole correct est k** ; en effet, K est utilisé en informatique pour représenter 1 024 (2¹⁰).
- ne pas confondre bps (bits par seconde) et Bps (bytes par seconde, c'est-à-dire octets par seconde)

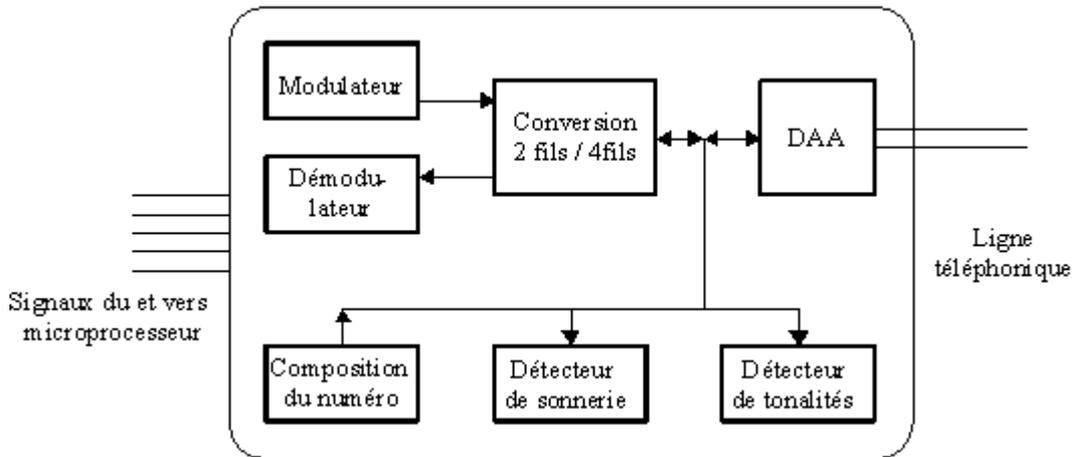
Il a existé des modems travaillant à 150, 300, 600, 1 200 bit/s, 4.8, 9.6, 14.4, 28.8, et 33,6 kbit/s. Depuis plusieurs années, la norme 56 kbit/s constitue le standard. À cette vitesse, on arrive près des limites théoriques de débit d'information pour une ligne téléphonique utilisant une seule fréquence porteuse. Pour des débits plus élevés, des systèmes utilisant des porteuses multiples ont été mis au point, tels l'ADSL. Ces techniques nécessitent bien évidemment l'utilisation de modems spécifiques.

Types de modulation

Différents types de modulation sont utilisés dans les modems :

- la modulation d'amplitude (AM, Amplitude Modulation) ; celle-ci sera par exemple réalisée à l'aide d'un multiplicateur analogique recevant sur une entrée la porteuse, sur l'autre le signal numérique à transporter ;
- la modulation de fréquence (FSK, Frequency Shift Keying) ; les diverses fréquences peuvent être obtenues à l'aide d'un VCO (Voltage-Controlled Oscillator, peu précis) ou par traitement numérique d'un signal produit par une horloge à quartz (division de fréquence, synthèse numérique...) ;
- la modulation de phase différentielle (DPSK, Differential Phase Shift Keying) : à la fin de chaque cycle de la porteuse, un changement de phase de 180° représente un bit 0, pas de changement de phase un bit 1 ; ceci peut être obtenu en plaçant à la sortie de l'oscillateur générant la porteuse un inverseur et un commutateur qui sélectionne, à chaque passage par 0 de la porteuse, soit la sortie directe, soit la sortie inversée ;
- modulation d'amplitude et de phase combinées (QAM, Quadrature Amplitude Modulation) : on crée deux sinusoïdes de même fréquence mais déphasées de 90° ; les deux signaux sont combinés en leur donnant des amplitudes adéquates ; une des normes précise seize combinaisons possibles (trois niveaux d'amplitude, douze déphasages) ; l'ensemble des combinaisons constituent ce que l'on appelle une constellation ; une constellation de 16 points permet de transmettre l'état de 4 bits simultanément, c'est ce qui permet une cadence plus élevée que les autres systèmes décrits ci-dessus, qui ne transmettent qu'un bit à la fois ;
- une variante de la QAM est le codage en treillis ; on utilise ici une constellation de 32 états, ce qui devrait permettre la transmission simultanée de 5 bits ; mais le 5e bit est un bit de vérification, qui assure une protection renforcée contre les erreurs de transmission ; on transmet donc, comme en QAM, l'état de 4 bits.
- les modems 56 kbit/s sont conçus pour travailler dans l'environnement des réseaux numériques ; ils utilisent la modulation par impulsions codées (PCM, Pulse Code Modulation) pour convertir le signal modulé en séquence numérique : l'amplitude est mesurée 8 000 fois par seconde, avec une résolution de 8 bits ; le débit théorique devrait atteindre 64 kbit/s, mais le débit réel se situe généralement entre 40 et 56 kbit/s, selon l'état de la ligne de transmission.

▪ Structure d'un modem



Un modem comporte les blocs suivants :

- un modulateur, pour moduler une porteuse qui est transmise par la ligne téléphonique ;
- un démodulateur, pour démoduler le signal reçu et récupérer les informations sous forme numérique ;
- un circuit de conversion 2 fils / 4 fils : le signal du modulateur est envoyé vers la ligne téléphonique alors que le signal arrivant par la ligne téléphonique est aiguillé vers le démodulateur ; c'est grâce à ces circuits, disposés de part et d'autre de la ligne téléphonique, que les transmissions peuvent se faire en duplex intégral (full duplex, c'est-à-dire dans les deux sens à la fois) ;
- un circuit d'interface à la ligne téléphonique (DAA, Data Access Arrangement) constitué essentiellement d'un transformateur d'isolement et de limiteurs de surtensions.

Ces circuits seraient suffisants pour transmettre des informations en mode manuel ; toutes les opérations telles que décrochage de la ligne, composition du numéro... sont alors effectuées par l'utilisateur. Afin de permettre un fonctionnement automatisé, où toutes les tâches sont effectuées sous le contrôle d'un logiciel de communication, les modems comportent généralement quelques circuits auxiliaires :

- un circuit de composition du numéro de téléphone ; on peut généralement spécifier composition par impulsions ou par tonalités (DTMF, Dual Tone Multiple Frequency) ;
- un circuit de détection de sonnerie ; ce circuit prévient l'ordinateur lorsque le modem est appelé par un ordinateur distant ;
- un détecteur de tonalités, qui détecte les différentes tonalités indiquant que la ligne est libre, occupée, en dérangement...
- un circuit d'identification de l'appelant ou caller-ID

Signaux de contrôle d'un modem

Les différents signaux échangés entre un ordinateur (DTE, Data Terminal Equipment) et un modem (DCE, Data Communications Equipment) sont précisés dans la norme RS.232/V.24 :

- les données à transmettre arrivent au DCE par la ligne Émission
- les données reçues par le DCE apparaissent sur la ligne Réception
- DSR (Data Set Ready, modem prêt) est au niveau actif quand le DCE est alimenté et raccordé à une ligne téléphonique
- DTR (Data Terminal Ready, ordinateur prêt) est actif quand le DTE est prêt
- RTS (Request To Send, demande d'émission) est activé par le DTE lorsqu'il veut envoyer des données
- CTS (Clear To Send, prêt à émettre) est activé par le DCE lorsqu'il a établi la liaison et est prêt à recevoir les données à transmettre
- CD (Carrier Detect, porteuse détectée) est activé par le DCE lorsqu'il reçoit une porteuse provenant d'un autre DCE
- RI (Ring Indicator, indicateur d'appel) est activé par le DCE lorsqu'il reçoit un signal de sonnerie
- la norme prévoit aussi deux connexions de masse, une pour le signal (obligatoire), l'autre pour un blindage (facultatif).

Le connecteur prévu initialement était un connecteur série RS-232 25 broches, le DB-25. Toutefois, comme de nombreuses broches étaient inutilisées, la tendance actuelle est d'utiliser des connecteurs avec moins de broches, tels le DB-9 qui compte 9 broches.

Procédure typique d'émission

À titre d'exemple, montrons comment ces différents signaux peuvent être utilisés :

- avant de démarrer une transmission de données, l'ordinateur A vérifie que le modem A est sous tension en vérifiant le niveau de DSR
- l'ordinateur A donne l'ordre au modem A de former le numéro de téléphone
- le modem appelé, que nous nommerons B, détecte la sonnerie et prévient l'ordinateur B auquel il est raccordé en activant sa ligne RI
- quand l'ordinateur B est prêt à recevoir les données, il active sa ligne RTS
- le modem B active alors sa porteuse
- le modem A détecte la porteuse et prévient l'ordinateur A en activant CD
- l'ordinateur A active RTS pour demander s'il peut commencer la transmission
- le modem A répond en activant CTS, et la transmission des données peut commencer

Modem nul

- Pour transmettre des informations entre deux ordinateurs se trouvant dans la même pièce, il suffit de déconnecter les deux modems et de placer entre les deux ordinateurs un boîtier muni de deux connecteurs DB-25 ou DB-9 ; ce boîtier, dont la fonction est de remplacer les deux modems est appelé modem nul (Null Modem). À l'intérieur du boîtier, les broches des deux connecteurs sont reliées de la façon suivante² :
- la broche émission A est raccordée à la broche réception B
- la broche émission B est raccordée à la broche réception A
- les broches CTS et RTS sont court-circuitées de chaque côté
- DTR A va vers DSR B
- DTR B va vers DSR A

- la masse signal A va vers la masse signal B
- parfois RTS A va aussi vers CD B et RTS B vers CD A
- parfois, DTR A va aussi vers RI B et DTR B vers RI A

Terminologie :

La modulation d'un signal : La modulation peut être définie comme le processus par lequel le signal est transformé de sa forme originale en une forme adaptée au canal de transmission, par exemple en faisant varier les paramètres d'amplitude et d'argument (phase/fréquence) d'une onde sinusoïdale appelée porteuse.

La fréquence : En physique, la fréquence désigne en général la mesure du nombre de fois qu'un phénomène périodique se reproduit par unité de temps. Ainsi lorsqu'on emploie le mot fréquence sans précision, on sous-entend la plupart du temps une fréquence temporelle. Par extension le terme est également utilisé lorsqu'un phénomène est périodique dans l'espace : on parle alors de fréquence spatiale.

L'amplitude : En physique classique, on nomme amplitude la mesure scalaire (une coordonnée) d'un nombre positif caractérisant *l'ampleur des variations d'une grandeur*. Le plus souvent il s'agit de l'écart maximal par rapport à la valeur médiane¹ (qui est aussi la valeur moyennesi la variation est symétrique). Cette définition diffère du langage courant, dans lequel l'amplitude désigne généralement l'écart entre les valeurs extrêmes d'une grandeur.

La phase : indique la situation instantanée dans le cycle, d'une grandeur qui varie cycliquement.

Le déphasage : entre deux ondes est la différence entre leurs phases. Souvent, on mesure cette différence de phases à un même instant pour les deux ondes, mais pas toujours au même endroit de l'espace.

Les séries de Fourier : En analyse, les séries de Fourier sont un outil fondamental dans l'étude des fonctions périodiques. C'est à partir de ce concept que s'est développée la branche des mathématiques connue sous le nom d'analyse harmonique.

L'étude d'une fonction périodique par les séries de Fourier comprend deux volets :

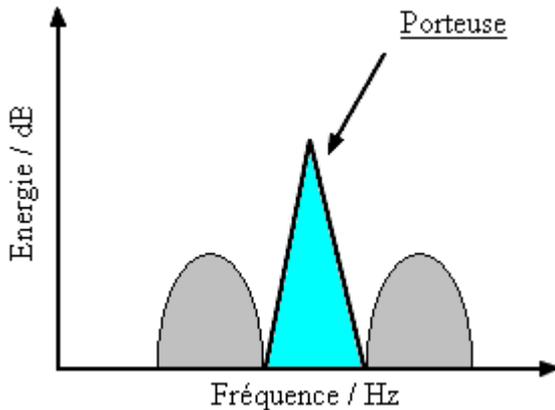
- **l'analyse**, qui consiste en la détermination de la suite de ses coefficients de Fourier ;
- **la synthèse**, qui permet de retrouver, en un certain sens, la fonction à l'aide de la suite de ses coefficients.

Les séries de Fourier se rencontrent principalement dans la décomposition de signaux périodiques, dans l'étude des courants électriques, des ondes cérébrales, dans la synthèse sonore, le traitement d'images, etc.

Porteuse :

Une porteuse est un signal sinusoïdal de fréquence et amplitude constantes. Elle est modulée par le signal utile (audio, vidéo, données) en vue, soit de sa diffusion au moyen d'un émetteur, soit de son intégration au sein d'autres signaux.

Il est beaucoup plus simple et remarquable de caractériser simplement une porteuse dans le domaine fréquentiel. En effet, le spectre d'une émission en modulation d'amplitude (ou AM) a la forme d'un pic fixe (la porteuse) entouré de deux lobes en domaine des fréquences .



Le baud : est une unité de mesure utilisée dans le domaine des télécommunications en général, et dans le domaine informatique en particulier, notamment dans le contexte de communications avec certains périphériques externes (exemple : modem). **Le baud est l'unité de mesure du nombre de symboles transmissibles par seconde.** Dans le cas d'un signal modulé utilisé dans le domaine des télécommunications, le baud est l'unité de mesure de la rapidité de modulation.

Il ne faut pas confondre le baud avec le bps ou bit par seconde, ce dernier étant l'unité de mesure du nombre d'informations effectivement transmises par seconde. **Il est en effet souvent possible de transmettre plusieurs bits par symbole. La mesure en bps de la vitesse de transmission est alors supérieure à la mesure en baud.**

Les mesures en bauds et en bits par seconde sont égales lorsque le signal est bivalent (seulement 2 valeurs, 0 ou 1, alors la valence vaut 2).