

Cours Transmission série

Thierry Vaira

La Salle Avignon

© v.1.2 - 9 décembre 2018



Ligne de transmission

Une ligne de transmission est **un ensemble de conducteurs acheminant un signal électrique d'un émetteur vers un récepteur.**

Les lignes de transmission les plus courantes sont **les câbles coaxiaux, les liaisons filaires (fil à fil), les paires torsadées, la fibre optique.**



Signal électrique

Un signal électrique est **une grandeur électrique dont la variation dans le temps transporte une information, d'une source à une destination.**

La grandeur électrique que l'on considère pour la transmission et le traitement du signal peut être directement :

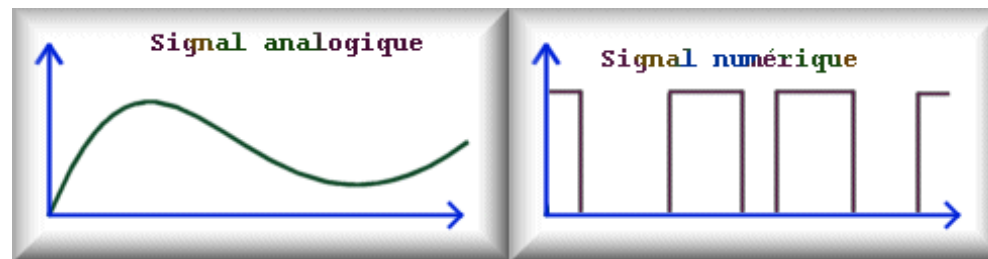
- la différence de potentiel (une tension) ou
- l'intensité d'un courant électrique ou bien
- une modulation de l'amplitude, de la fréquence ou de la phase d'une variation périodique de ces grandeurs, qu'on appelle porteuse.



Classes de signaux électriques

On distingue généralement les signaux électriques par la nature de l'information qu'ils transmettent :

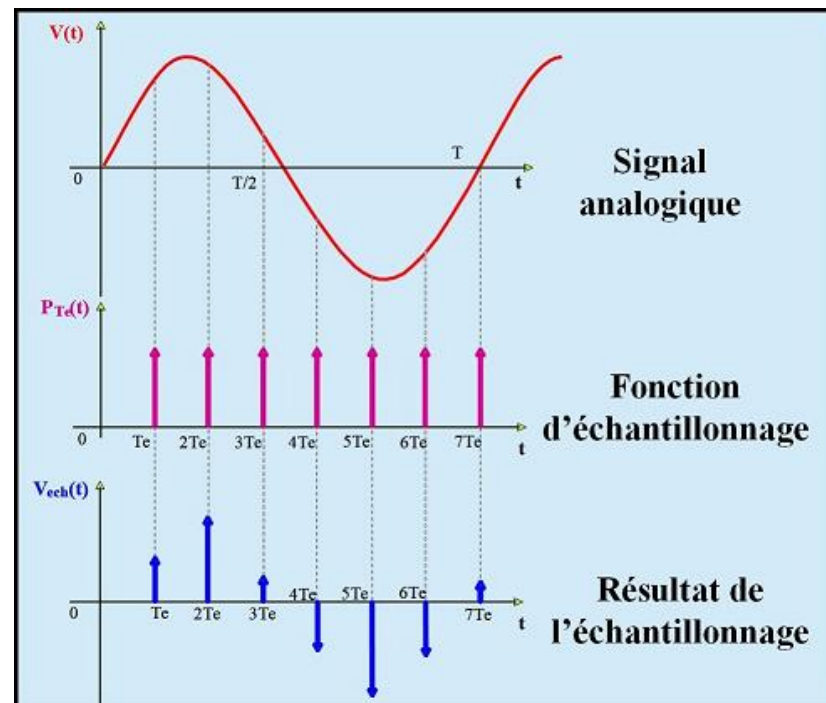
- **un signal analogique** transmet des valeurs à variation continue
- **un signal logique** transmet une information qui ne peut avoir que deux valeurs (vrai ou faux)
- **un signal numérique** transmet une information qui peut prendre plusieurs états définis à l'avance (par exemple, -1, 0, +1)



Analogique vs Numérique

L'information n'est pas transcrite de la même façon dans les circuits analogiques et numériques.

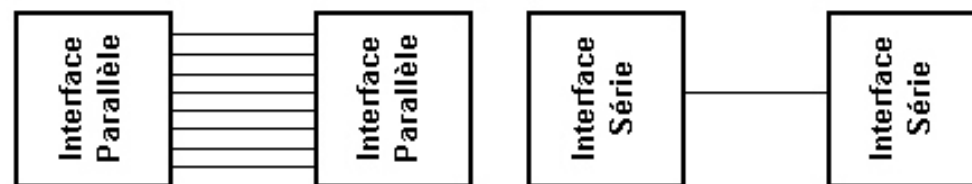
Les systèmes numériques utilisent la quantification et un codage de l'information tandis que les systèmes analogiques travaillent sur des valeurs à variation continue.



Transmission série ou parallèle

Un signal électrique numérique peut se transmettre :

- en **parallèle** sur plusieurs conducteurs
- en **série**, les bits à la suite l'un de l'autre sur un seul conducteur ou une seule paire de conducteurs



La transmission série est privilégiée dans le cadre des réseaux.

Canal de communication

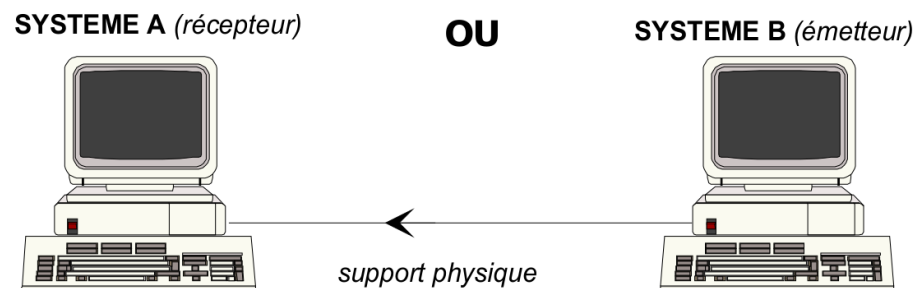
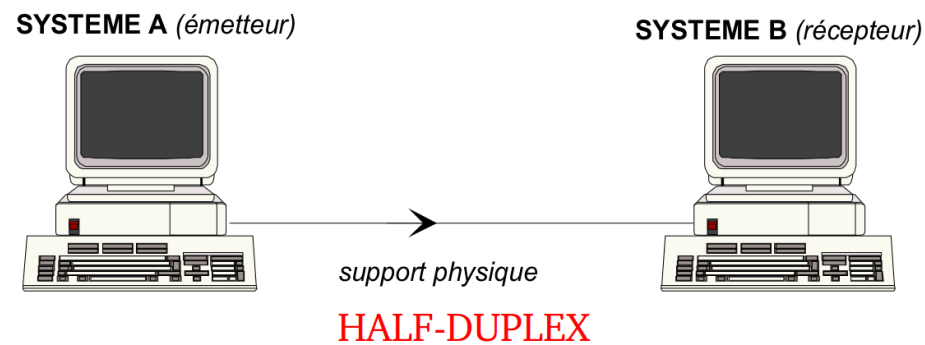
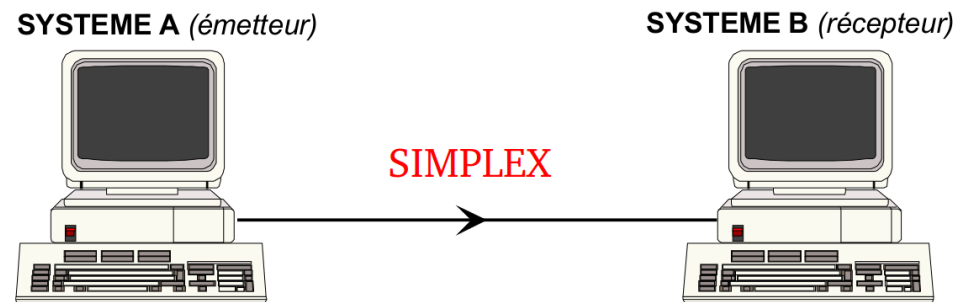
En télécommunications, un canal de communication peut être :

- **simplex** : l'information est transportée dans un seul sens (unidirectionnel)
- **duplex** : l'information est transportée dans les deux sens (bidirectionnel)

Selon que l'information peut être transportée simultanément dans les deux sens ou non, on parle respectivement de canal **full-duplex** ou **half-duplex**.



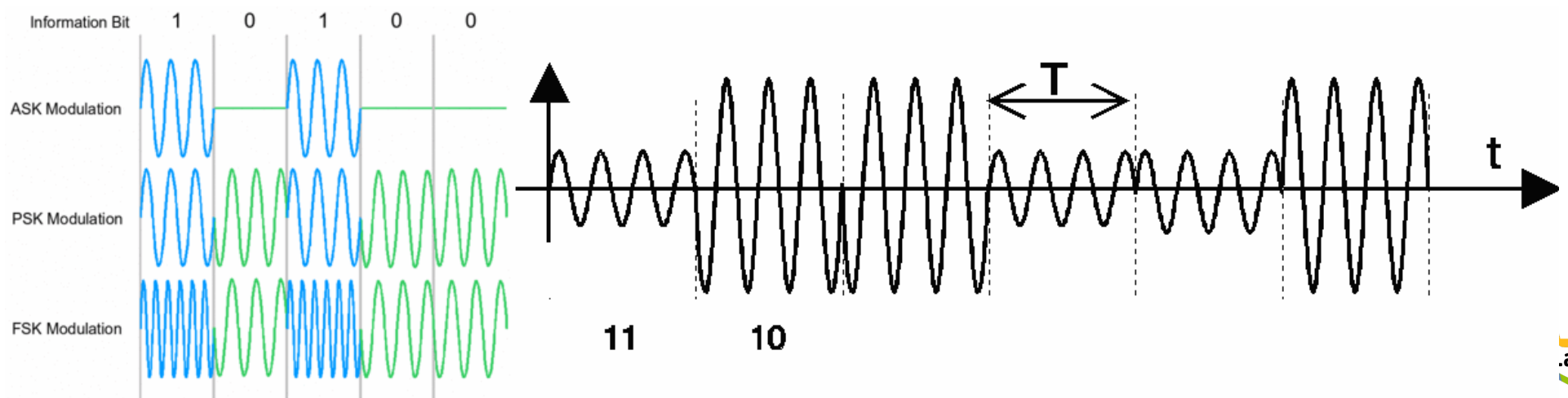
Simplex vs Duplex



Modem

Le modem (pour **modulateur-démodulateur**) est un périphérique servant à **convertir les données numériques de l'ordinateur en signal modulé, dit « analogique », transmissible par un réseau analogique et réciproquement.**

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.



Modulation

Il existe différents types de modulation utilisés dans les modems :

- la modulation d'amplitude **AM** (*Amplitude Modulation*)
- la modulation de fréquence **FSK** (*Frequency Shift Keying*)
- la modulation de phase différentielle **DPSK** (*Differential Phase Shift Keying*)

Il est possible de combiner deux type de modulation (modulation d'amplitude et de phase combinées **QAM** (*Quadrature Amplitude Modulation*)).



Vitesse de transmission

On distingue :

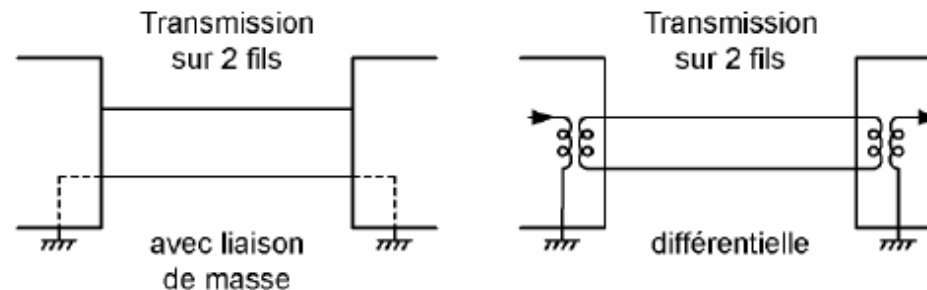
- Le **baud** est l'unité de mesure du **nombre de symboles transmissibles par seconde**. Dans le cas d'un signal modulé utilisé dans le domaine des télécommunications, le baud est l'unité de mesure de la **rapidité de modulation**. Le terme "baud" provient du patronyme d'Émile Baudot, l'inventeur du code Baudot utilisé en télégraphie.
- Le **bit par seconde (bit/s)** est l'unité de mesure du nombre d'informations effectivement transmises par seconde.

Il ne faut pas confondre le baud avec le bit par seconde (bit/s) car il est souvent possible de transmettre plusieurs bits par symbole. Dans une transmission numérique, **le baud sera équivalent à bit/s**.

Types de transmission

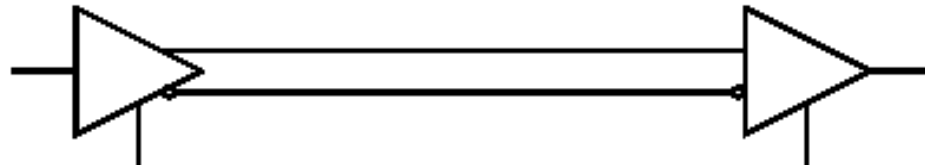
On distingue deux types de transmission pour un signal numérique :

- la **transmission filaire** où le signal est transmis par rapport à une tension de référence de 0V (la masse). Elle est utilisée par exemple pour la liaison série RS-232.
- la **transmission différentielle** est une méthode de transmission de signaux sur une ligne symétrique, c'est-à-dire utilisant deux conducteurs différents (une paire) pour transmettre l'information (généralement des fils).



Transmission différentielle

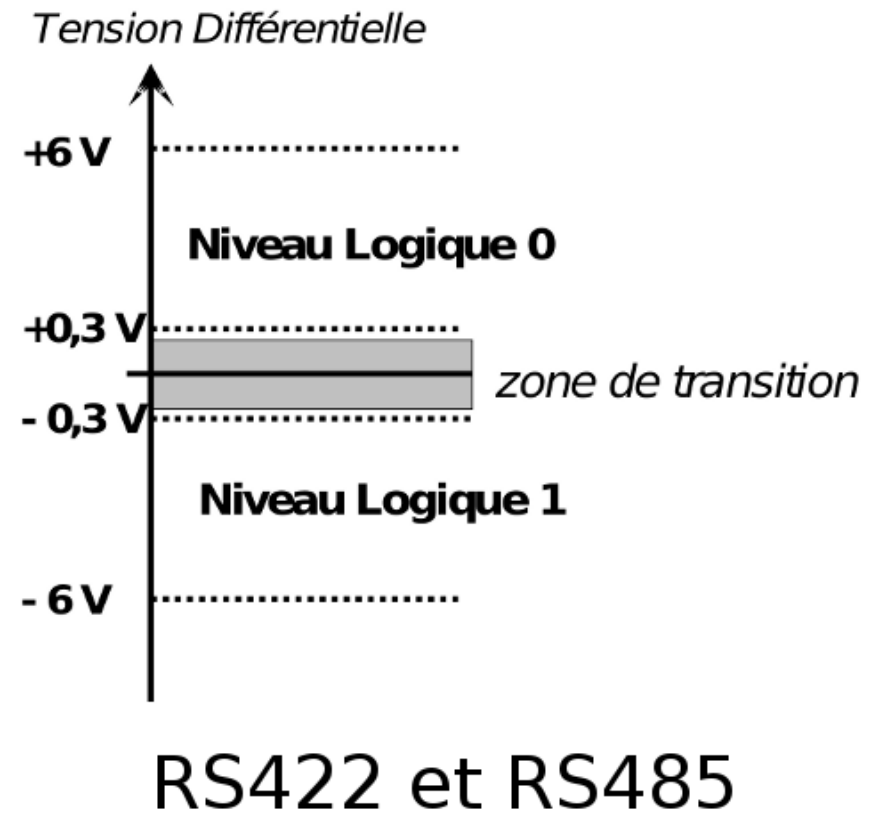
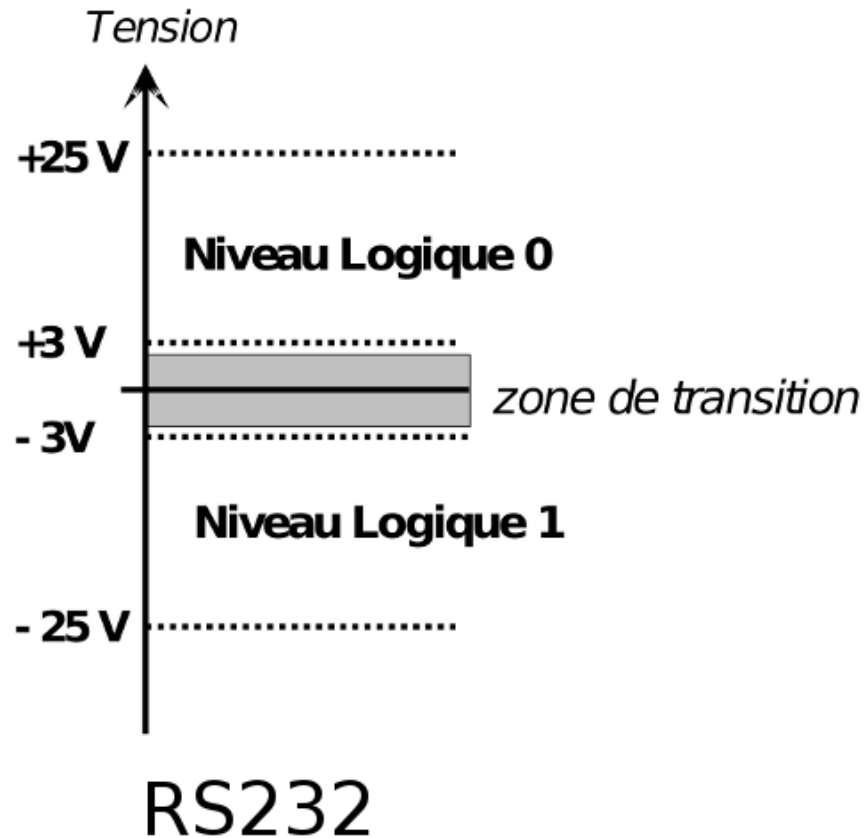
La transmission différentielle consiste à envoyer sur un fil le signal et sur l'autre le signal opposé. On reconstitue le signal à l'arrivée en effectuant la différence des signaux.



Même si une perturbation électromagnétique dégrade le signal d'un fil, la différence est inchangée, car on suppose que cette perturbation dégrade de la même manière l'autre fil. On réalise ainsi une transmission avec une meilleure immunité au bruit.

Cette méthode est notamment utilisée par les couches matérielles EIA-485 et EIA-422, ainsi que par les bus informatiques USB, SATA, FireWire.

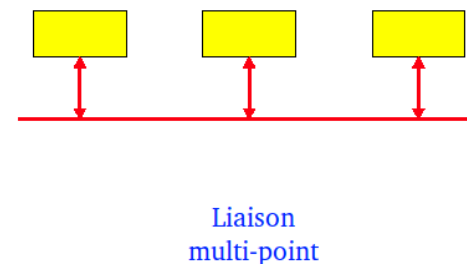
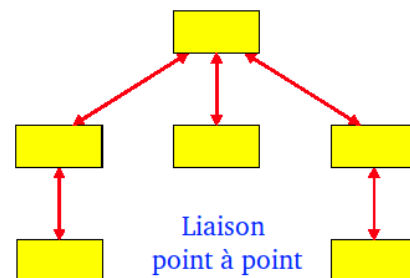
Codage de l'information



Types de liaison

On distingue deux types de liaison :

- la **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, ...).
- la **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).

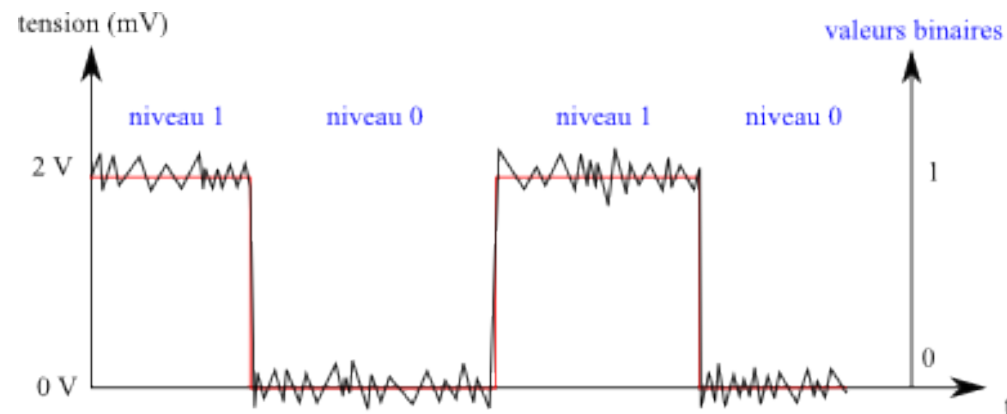


Caractéristiques d'une ligne

- Impédance (en Ohms) : impédance qu'aurait la ligne non fermée si elle possédait une longueur infinie
- Atténuation (en dB/m) : une décroissance exponentielle du signal sur la liaison. Elle doit être la plus faible possible
- Vitesse de propagation : en m/s ou un coefficient de vélocité (NVP) facteur de la vitesse de la lumière dans le vide (2.10^8 m/s)
- Bande passante (en Hz) : la bande de fréquences (spectre) dans laquelle les signaux transportés sont reçus avec une amplitude suffisante
- Réflexion : l'onde est réfléchiée lorsqu'elle atteint l'extrémité d'une ligne non terminée par un élément de résistance caractéristique (appelé souvent "bouchon" ou "terminator") égale à l'impédance de la ligne
- Rapport Signal/Bruit (*Signal/Noise* en décibels) : quantifie la proportion de bruit par rapport au signal utile. Il doit être le plus élevé possible
- 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

Le bruit

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



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 (écrantage) améliorent encore l'immunité aux perturbations

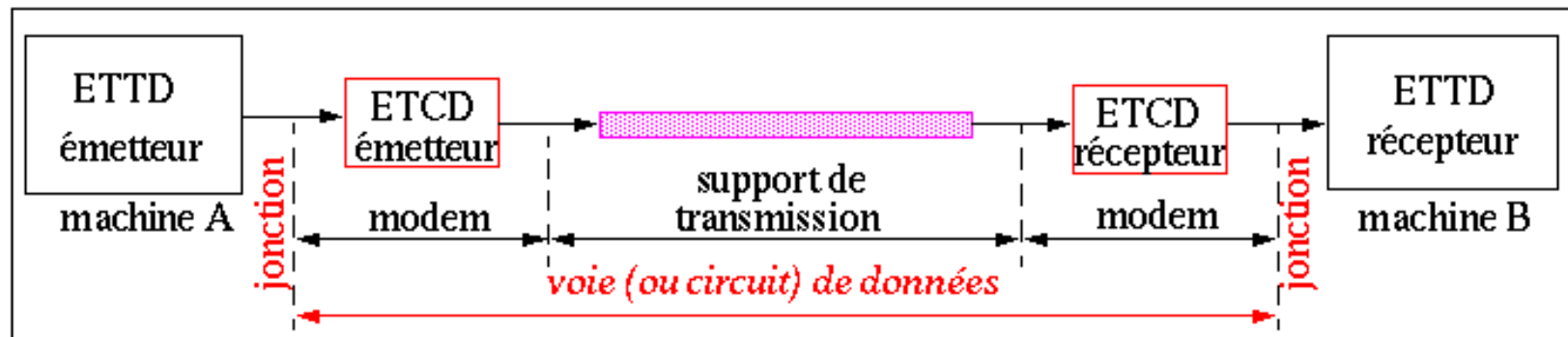
Qualité d'un câble

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

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

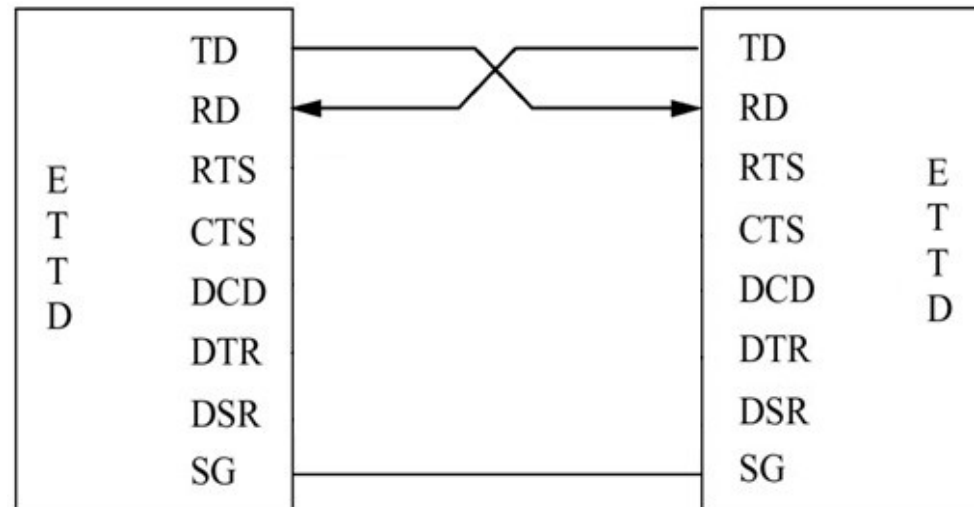
Éléments d'une transmission

- ETCD (équipement terminal de communication de données) :
équipement spécifique chargé d'adapter les données à transmettre au support de communication (un modem par exemple)
- ETTD (équipement terminal de traitement de données) : l'ordinateur !

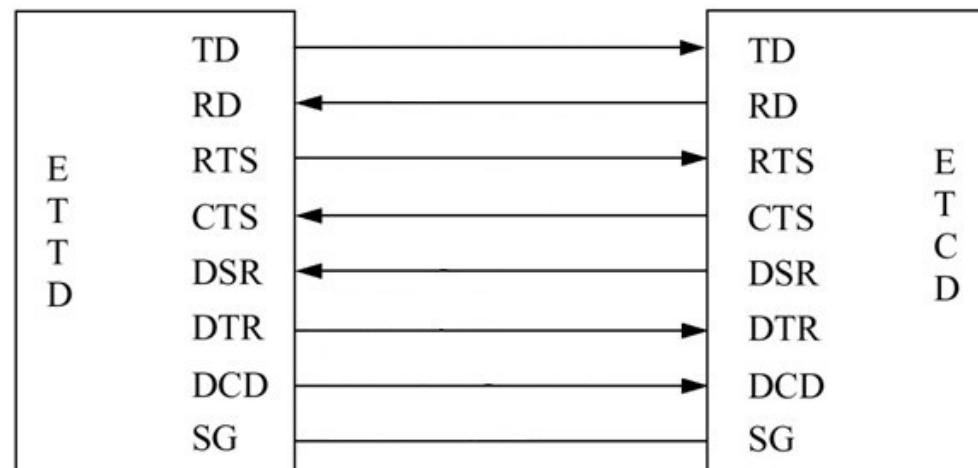


Cablage

Liaison « croisée » entre 2 ETTD ou 2 ETCD (ici une liaison min. à 3 fils) :



Par contre, liaison « droite » entre ETTD et ETCD :



Répéteur (*transceiver*)

Le répéteur (*transceiver*) est un équipement d'interconnexion (de niveau 1 dans le modèle OSI) qui **assure la répétition des bits d'un segment sur l'autre (régénération du signal pour compenser l'affaiblissement)**.

Le répéteur (*transceiver*) permet :

- d'augmenter la distance d'un segment physique
- le changement du support physique

La trame n'est jamais modifiée lors de la traversée d'un répéteur.

La transmission série

- La transmission série est un mode de transmission de données dans lequel les éléments d'information se succèdent les uns après les autres sur une seule voie entre deux points.
- La transmission série domine dès que les composants ou périphériques à relier sont à quelque distance. L'ensemble des télécommunications s'établit sur des liaisons « série ».
- La transmission série est très présente dans le monde industriel :
 - pour relier des capteurs/actionneurs (*sensor bus*) ou des composants de bas niveau, on utilise des technologies comme le bus **TWI/I2C**, **1-Wire**, **AS-i**, ...
 - pour relier des périphériques (appareils divers, système de commande, ...), on utilise des bus de terrain (*field bus*) comme le **bus CAN**, **DMX**, les liaisons **RS-232**, **RS-485** ou **RS-422**, ...

La transmission série se fait généralement par **trames** et nécessite la mise en œuvre de **protocoles**.



UART et USART

La transmission série est assurée par un circuit électronique qui permet de mettre en série (sérialiser) les octets à transmettre. Cela signifie que les bits constituant l'octet sont transmis les uns après les autres. On distingue :

- UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*) est le composant utilisé pour réaliser une transmission **asynchrone**.
- USART (*Universal Synchronous & Asynchronous Receiver Transmitter*) est un circuit électronique permettant de communiquer de manière **synchrone**.

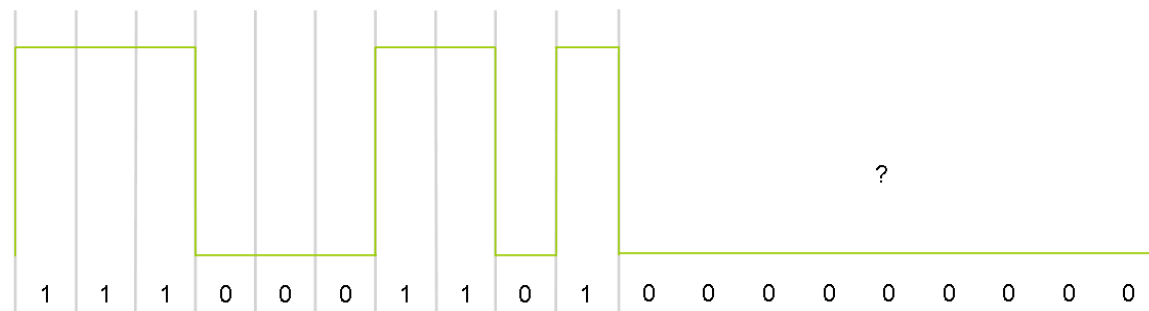
Pour ces circuits, les vitesses de transmission sont normalisées par multiples et sous-multiples de 9600 bauds, l'unité baud correspondant à un bit par seconde.



Transmission asynchrone

Dans une transmission asynchrone, seules les données sont transmises au récepteur. Chaque équipement utilise son horloge pour traiter les bits transmis.

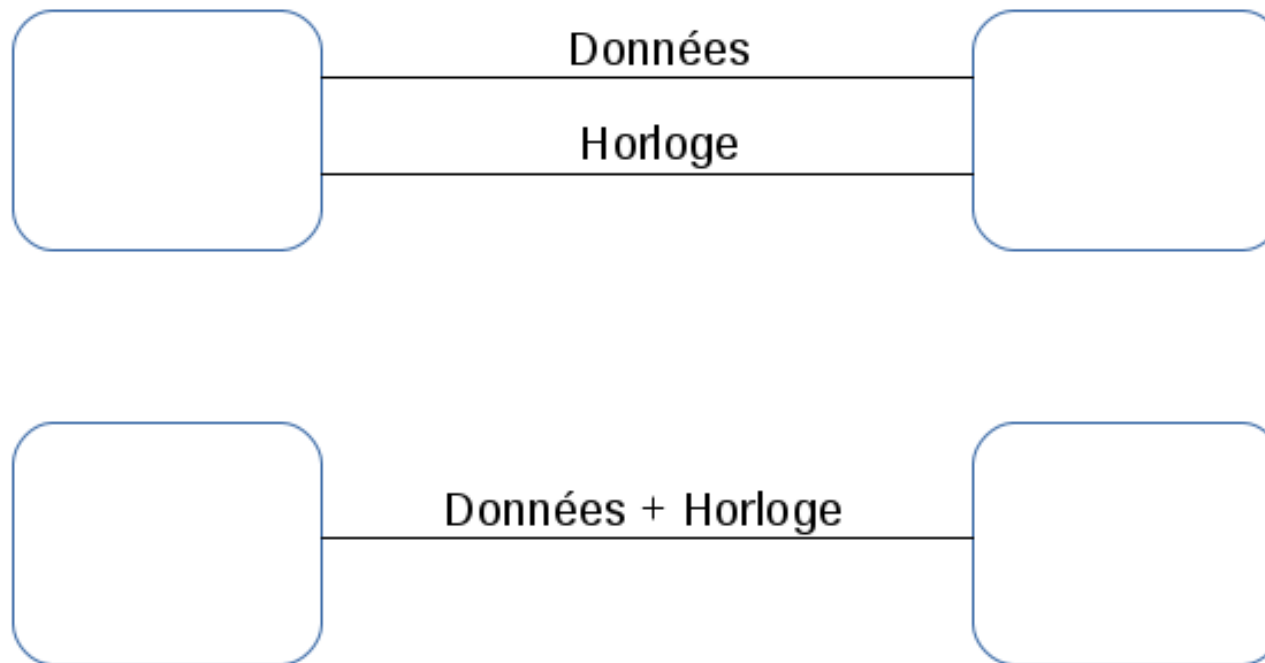
Exemple du **code NRZ (*Non-Return-to-Zero*)** : le bit 1 est représenté par un état significatif (par exemple, une tension clairement positive), et le bit 0 par un autre état significatif (par exemple, une tension clairement négative). Il n'existe pas d'état intermédiaire.



On remarque qu'il n'y a pas de transition générée lors d'une longue séquence de 0 (ou de 1), ce qui rend la synchronisation difficile, voire impossible. Combien de 0 seront lus ? Cette transmission limite le nombre de bits transmis (généralement un octet ou un caractère).

Transmission synchrone

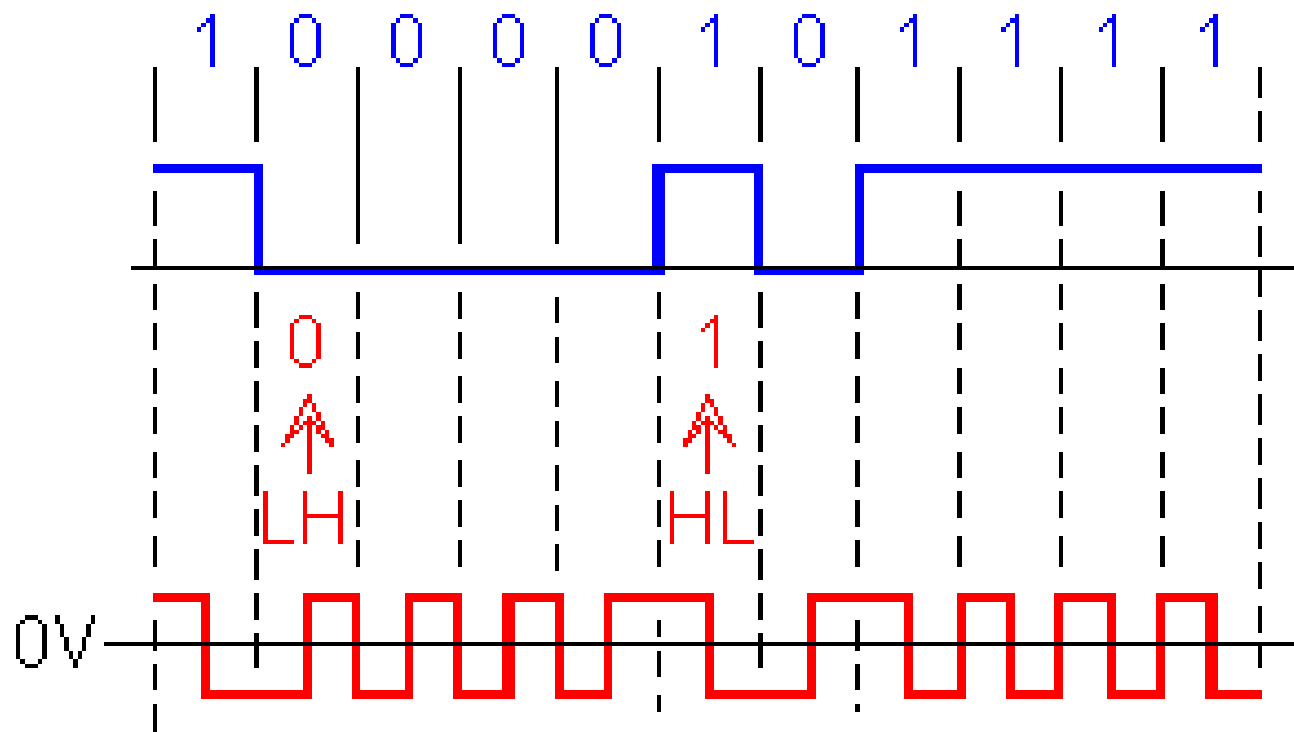
La transmission synchrone doit assurer la transmission des données ainsi que l'horloge de synchronisation nécessaire à leur décodage.



La transmission synchrone permet de transmettre des séquences de bits plus longues (n octets) appelées **trame**.

Exemple : Le codage Manchester

Le codage Manchester est un codage **synchrone** utilisé sur les réseaux **Ethernet à 10 Mbits/s** (10BASE5, 10BASE2, 10BASE-T, 10BASE-FL).



Les transitions du signal codé transmettent à la fois la valeur logique du bit (0 ou 1) et l'instant de son échantillonnage (l'horloge).

Le port série RS-232

- **RS-232** est une norme standardisant une voie de communication de type série sur trois fils minimum. Disponible sur presque tous les PC depuis 1981 jusqu'au milieu des années 2000, il est communément appelé le « **port série** ».
- Sur les systèmes d'exploitation MS-DOS et Windows, les ports RS-232 sont désignés par les noms COM1, COM2, etc. Cela leur a valu le surnom de « **ports COM** », encore utilisé de nos jours.
- On utilise maintenant des adaptateurs USB/RS-232 car les PC ne disposent plus d'interfaces physiques RS-232. Cela revient à exploiter un **port série virtuel**.



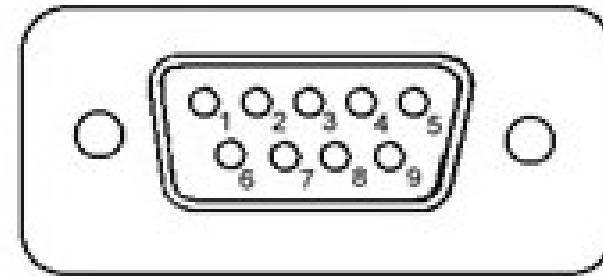
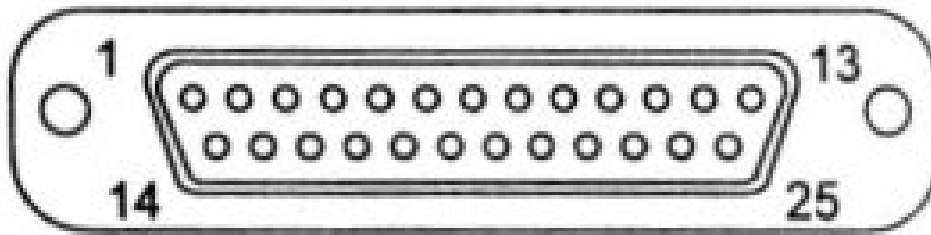
Le port série virtuel

Un port série virtuel est une **solution logicielle qui émule un port série standard**. Cela permet généralement :

- d'augmenter le nombre de ports série (sans installation de matériel supplémentaire mais dans les limites des ressources disponibles)
- de partager les données en provenance d'un périphérique entre plusieurs applications
- de **raccorder un périphérique série standard (RS232, ...) sur un port USB avec un adaptateur** (manque ou absence de ports série physiques disponibles)

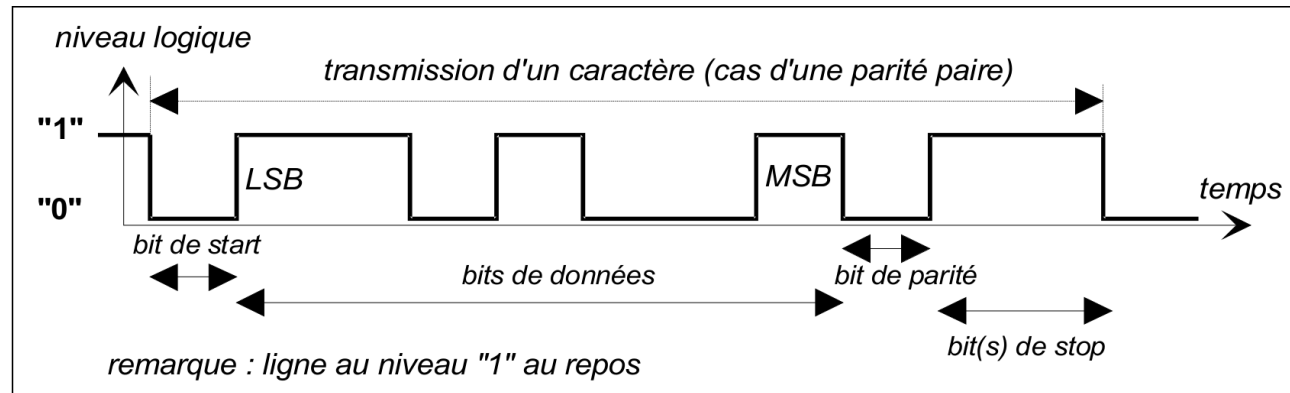


Brochage



N° broche DB9	N° broche DB25	Signal	Commentaire
3	2	TD	Trasmission de données
2	3	RD	Réception de données
7	4	RTS	Demande émission
8	5	CTS	Prêt à émettre
6	6	DSR	Data Set Ready
5	7	GND	Masse
1	8	DCD	Détection de porteuse
4	20	DTR	Data Terminal Ready
9	22	RI	Indicateur d'appel

Trame série (UART)



- Bit de **START** : le front descendant indique le début de la trame ce qui doit permettre au récepteur de se synchroniser
- Bits de **DONNÉES** dont le nombre varie normalement entre 5 et 8, en fonction du codage du caractère (ASCII, ...)
- Bit de **PARITÉ** (facultatif) : bit généré lors de l'émission et testé lors de la réception pour détecter une erreur de transmission. La parité est paire (*even*) lorsque le nombre de bits (donnée + parité) est pair. La parité est impaire (*odd*) lorsque le nombre de bits (donnée + parité) est impair
- Bit(s) de **STOP** : durée (1, 1.5 ou 2 *bit-time*) inter-trame pour dissocier la fin d'émission du caractère courant du début du caractère suivant (bit de start).

Détection d'erreur

La détection d'erreur de transmission est basée sur l'utilisation d'une **somme de contrôle (*checksum*)**. La somme de contrôle (*checksum*) est un nombre qu'on ajoute à un message à transmettre pour permettre au récepteur de vérifier que le message reçu est bien celui qui a été envoyé. Par exemple :

- Le **bit de parité** d'une trame UART
- Le **Contrôle de Redondance Cyclique (*Cyclical Redundancy Check*)** est utilisé dans les trames pour détecter une erreur de transmission. Il est généralement codé sur 16 bits ou 32 bits. Le CRC est calculé par l'émetteur avant d'être transmis. Le récepteur calcule aussi un CRC avec la trame reçue et le compare avec le CRC reçu : des valeurs différentes indiqueront une erreur dans la transmission du message. Dans les systèmes industriels, le calcul du CRC est souvent basé sur l'utilisation du OU EXCLUSIF (XOR), soit l'opérateur \wedge en langage C.

Contrôle de flux

Le contrôle de flux, dans un réseau informatique, représente un asservissement du débit binaire des données transmises de l'émetteur vers le récepteur. Le *stop and wait* est la forme la plus simple de contrôle de flux. En communication série asynchrone RS-232, deux modes de contrôle de flux sont proposés :

- **matériel (*hardware*)** via les lignes **RTS/CTS** (*Ready To Send/Clear To Send*). Lorsque le buffer de réception est plein, RTS est désactivé. Il sera réactivé lorsque les données du buffer auront été lues (DTR et DSR peuvent être utilisés selon le même principe). L'émetteur doit donc scruter son CTS pour savoir s'il peut émettre ou non. Le contrôle de flux *hardware* en RS-232 nécessite **5 fils (Rx, Tx, Gnd, RTS, CTS)**.
- **logiciel (*software*)** via les caractères ASCII **XON/XOFF**. Ce protocole basé sur le même principe que le précédent si ce n'est que Xon et Xoff sont des caractères qui valent respectivement 0x10 et 0x13 en hexadécimal. Le récepteur signale que son buffer de réception est plein en envoyant un caractère Xoff à l'émetteur. Lorsqu'il peut à nouveau accepter des caractères en réception, il envoie Xon. Le contrôle de flux logiciel ne nécessite que **3 fils (Rx, Tx, Gnd)**.



Comparaison : RS-232, RS-422 et RS-485

- **RS232** (ou V24) : norme électrique caractérisant la transmission d'un signal sur un seul fil référencé par rapport à la masse (liaison point à point).
- **RS422** et **RS485** : norme électrique caractérisant la transmission d'un signal sur un support **différentiel** (liaison multi-point ou bus). Deux fils correspondant à des niveaux complémentaires sont utilisés pour coder l'information.

Spécifications	RS 232	RS 422	RS 485
Type de communication	Unipolaire	Différentiel	Différentiel
Connexions électriques minimales	3 fils Tx, Rx et masse	5 fils Paire Tx, Paire Rx et masse	3 fils Paire Tx/Rx, et masse
Nombre de transmetteurs et récepteurs alloués par la ligne	1 transmetteur 1 récepteur	1 transmetteur 31 récepteurs	32 transmetteurs 32 récepteurs
Longueur maximum de câble	16,5 m	1320 m	1320 m
Débit maximum	64 Kbits/s	10 Mbits/s	10 Mbits/s