

Cours d'Électronique pour l'Option Réseaux Locaux et Informatique Industrielle.

Chapitre 1 :

Les bases du transport de l'information et notion de réseaux.

1-0 Quelques conseils concernant le cours d'Electronique du Tronc Commun S3 S4.

Le minimum à savoir : les définitions, les schémas de principe, quelques rares formules de base, les encadrés etc. seront systématiquement vérifiés en QC et DS.

Cours et TD pris sur support unique ou classeur, ainsi les acquis seront toujours disponibles en cours et TD, **les feuilles volantes sont déconseillées.**

Les outils utilisés en S3 S4 sont les outils vus en Math et Physique S1, S2.

Attention il faut être vigilant sur l'écoute et la compréhension.

A la première impression de 'décrochage' ne pas attendre pour venir en parler.

L'expérience des années précédentes (EN RLI) montre que la grande majorité des élèves dépasse 10/20 avec un travail régulier, ce qui contribue à remonter la moyenne générale plus facilement que dans les matières purement théoriques (Math. Physique).

Les règles sont classiques concernant l'absentéisme (émargement en amphi, appel en TD).

La ponctualité est une politesse souhaitée, si l'autodiscipline est impuissante les retardataires auront des surprises !

Pour la poursuite d'étude je ne pratique que la lettre d'évaluation (et non de recommandation)!

1-1 Objet du cours ENRLI.

Il concerne les techniques du transport de l'information (message analogique numérique) dans sa forme la plus générale.

C'est une vieille histoire ! Depuis l'antiquité c'est l'objet de l'ingéniosité humaine. (signaux directement détectable par les sens). Les deux siècles précédents ont ajouté les progrès de la science physique, en particulier grâce à l'électricité. **Actuellement le globe entier est enfermé dans un filet serré de supports de transmission de toutes natures et de toutes tailles.**

La technique actuelle permet d'exploiter les '**supports**' ou **média les plus divers** pour porter de l'information sous forme numérique:

Le cuivre sous formes variées de deux conducteurs, les ondes EM depuis le MHz jusqu'au THz (ondes radio à 10^{12} Hz), le guide ou tuyau de lumière appelé FO, la lumière en propagation libre etc.

Pour illustrer la complexité des techniques du transport, prenons un exemple classique : **La communication téléphonique via le Réseau Téléphonique Commuté RTC entre deux points quelconques du globe, par le téléphone fixe avec 'poste analogique' chez l'abonné.**

L'intérêt de survoler un tel synoptique est de découvrir la complexité d'une opération aussi simple que le transport de la voix ! Il nous permet aussi d'introduire quelques nouveaux termes courants dans le monde des télécommunications.

Ce transport existe depuis les années 70 / 80, début de l'ère du numérique, introduit en France par le CNET et utilisant l'unique paire de fil reliant l'abonné au central et passant 3kHz jusqu'à 15km. Voir figure1-1.

On y note les opérations essentielles en transport de l'information, **ici la voie humaine dont le spectre en fréquence est volontairement limitée de 300 à 3400 Hz.**

D'abord, émission par le microphone du signal analogique qui part vers le central grâce à la paire de fils (support bifilaire), et simultanément réception du signal analogique circulant en sens inverse sur la même paire de fils.

On découvre ici l'importante nécessité de communiquer dans les deux sens simultanément sur l'unique support de transmission (une paire de fils), ou duplexage du support unique . Matériellement cela impose une fonction de Multiplexage/ Démultiplexage aux deux extrémités.

Dans ce cas on parle de duplexeur 4fils/2fils.

C'est une liaison duplexe.

Puis on entre dans le domaine 'numérique' avec l'échantillonnage du signal analogique du microphone $m(kT_e)$, le maintient, la conversion CAN : c'est la numérisation du signal analogique.

Le groupe de bit, souvent octet, représente un nombre n_k (0 à 255), qui est l'image du signal à l'instant kT_e .

On vient d'associer le signal physique (tension) $m(kT_e)$ au nombre n_k (0 à 255).

Puis formation des groupes de bits en parallèle ou série selon le traitement à effectuer avant transport.

Plus loin apparaît la notion de partage entre utilisateurs : 32 communications traitées et transportées simultanément par le RTC. Ainsi le flot binaire est porté à débit plus élevé assurant ainsi une utilisation efficace du support ou media unique : à 2048 kbits/s pour 32 communications simultanées.

Il s'agit d'un accès multiple et synchrone au media par méthode TDMA.(Time Domaine Multiple Acces)

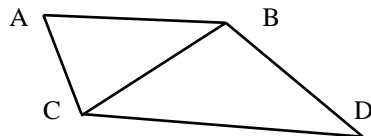
Avant d'accéder au support physique, il faut transformer les valeurs binaires ou bits en signaux physiques compatibles avec le support de communication, ondes hertziennes, paire de fils, FO etc :

C'est l'opération importante du codage de transmission ou codage de canal.

L'introduction du RTC depuis une trentaine d'années a entraîné l'explosion de la demande et des performances des techniques numériques associées au transport sur tout le globe par grand réseaux WAN . Il est apparu urgent de mettre un peu d'ordre ! C'est ainsi que la "science des réseaux" est devenu une discipline rigoureuse et dominante.

1-2 Notion de réseaux.

Un réseau assure le partage de ressources de type données ou logiciels, il est bâti sur un ensemble de liaisons point à point, offrant des services variés instantanés ou différés. (Notion de contraintes de temps réel ou non).



On imagine qu'il y a autant de type de réseaux que de besoins spécifiques.

Les besoins des professionnels et du public sont très variés : création de documents techniques, commerciaux, entretien et utilisation de base de données, CAO, conduite de machines, automates, échange d'image et son, messagerie, diffusion à un vaste public etc.

On obtient 4 types principaux de services :

Conversationnels : (gestion automate distant, téléphonie, télésurveillance, CAO, télétravail etc.)

Messagerie : (dépôt et lecture différée dans boîte aux lettres : courriel)

Consultation : (vidéo, base de données à la demande)

Distribution ou diffusion: (une source diffuse à un nombre illimité d'utilisateurs)

Les 3 premiers sont interactifs le dernier non.

On voit apparaître la **variété extrême des contraintes sur le débit, sur les distances, sur l'instantanéité, le TEB, sur la qualité de service (QOS), l'accès au réseau par de multiples utilisateurs etc.**

En ce qui concerne le partage du réseau entre utilisateurs deux méthodes principales sont utilisées.

L'accès aléatoire au réseau utilisé par Ethernet par exemple. (802.3 Sur bifilaire)

L'accès déterministe utilisé sur les petits réseaux industriels ou le RTC.(mode commuté)

A propos de débit, ceux-ci peuvent s'étendre de **quelques bit/s jusqu'à plusieurs Gigabit/s.**

A propos de distance, l'étendue d'un système de communication peut aller de **quelques millimètres à l'échelle du globe terrestre, voir au delà (Deep Space Network).**

A l'échelle du millimètre l'exemple est classique :

L'architecture des systèmes microinformatiques montre clairement la nécessité de communication entre unité d'exécution ou de "calcul", mémoire de programme, mémoire de données et séquenceur. Apparaît alors la nécessité d'**interface** et de **protocole** d'échange entre ces éléments. C'est déjà une illustration de l'idée de réseaux à l'échelle macroscopique.

A l'échelle du globe :

Nous avons l'exemple du téléphone qui permet de joindre en moins d'une seconde un correspondant dans l'autre hémisphère.

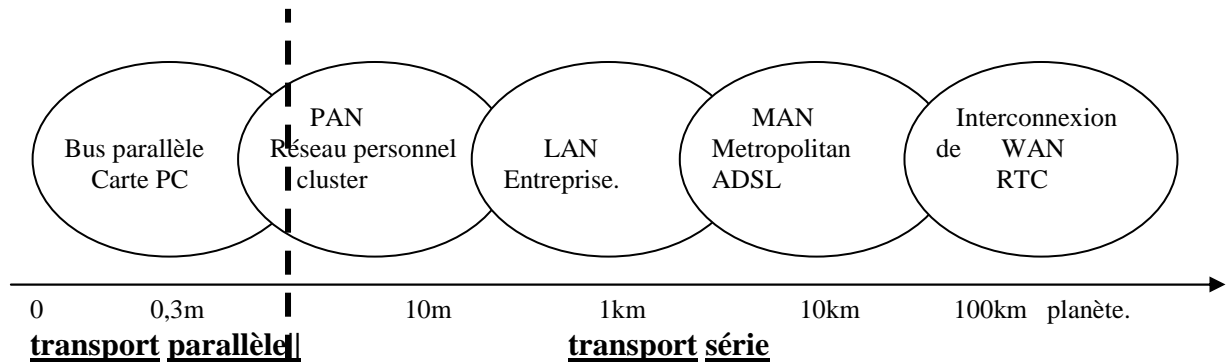


Figure 1-2 : Coup d'œil sur les étendues de réseaux: de la puce à la planète !

Distance entre processeurs.	Localisation des processeurs.	Exemple.
0,1m	Petite carte imprimée.	Machine à flot de données.
1m	Ordinateur.	Multiprocesseur.
10m	Salle.	Réseau local : LAN.
100m	Immeuble.	§
1km	Campus.	§
100km	Ville.	Réseau longue distance : WAN.
1000km	Région.	§
10 000km	Continent.	Interconnexion de WAN.
	Globe.	§

A cette partition géographique s'ajoute 2 exigences majeures caractérisant les réseaux :

On a vu la diversité des divers services demandés aux réseaux :

En simplifiant à l'extrême on peut diviser les exigences en **deux catégories à priori inconciliables** :

Soit l'exigence principale est le délai de transmission garanti et stable, mais alors on ne peut garantir l'absence d'erreurs: c'est **l'intégrité temporelle**.

(cas du temps réel, image, automates,.....possibles sur LAN ou WAN privés, ou la communication sur RTC). Nécessairement méthode d'accès au réseau déterministe synchrone.

L'exemple type de l'intégrité temporelle est le téléphone (RTC). (il fonctionne encore avec un taux d'erreur de 10^E-3 . On note que c'est la "couche application" qui corrige.

Soit l'exigence principale est l'absence d'erreurs, mais le délai de transmission ne peut être garanti : c'est **l'intégrité sémantique**.

(cas des fichiers informatiques, bases de donnéespossibles sur grands réseaux).

L'exemple type dans le deuxième cas est l'échange de base de données entre banque.(qui ne tolère pas d'erreur 10^E-15).

On comprend la variété et le nombre des interfaces, des protocoles, des distances et par conséquent des techniques et matériels.

On dira que toute cette science des réseaux ne fonctionne que grâce à la réalité du support de communication appelé MEDIA. (cable, FO, Ondes hertziennes)

En langage de spécialiste réseaux on dit que tout s'appuie sur la **COUCHE PHYSIQUE**.

Le but du cours d'Électronique EN-RLI est d'analyser et comprendre tout ce qui touche à la couche physique.

1-3 Nécessité d'une organisation universelle englobant tous les types de réseaux.

A partir des **années 1970**, les experts des différents constructeurs de matériel informatique se sont inquiétés de la prolifération des protocoles, des interfaces et des matériels, ils ont alors collaboré avec l'**ISO (International Standard Organisation)** pour mettre de l'ordre. Ils ont ainsi abouti à un modèle hiérarchisé universel auquel on peut faire "coller" tous les types de réseaux : le **modèle OSI (Open System Interconnection)**.

Système ouvert dans le sens où il peut être adopté par tous en évitant tout problème d'évolution de matériel et de propriété industrielle.

Cette structuration universelle aboutit à un modèle en 7 couches logiques dont la fonction est bien définie.

A cette nécessité de structuration s'ajoute une nécessité d'interconnexion de tous les types de réseaux.

STRUCTURATION ET INTERCONNEXION = MODELE OSI DE L'ISO.

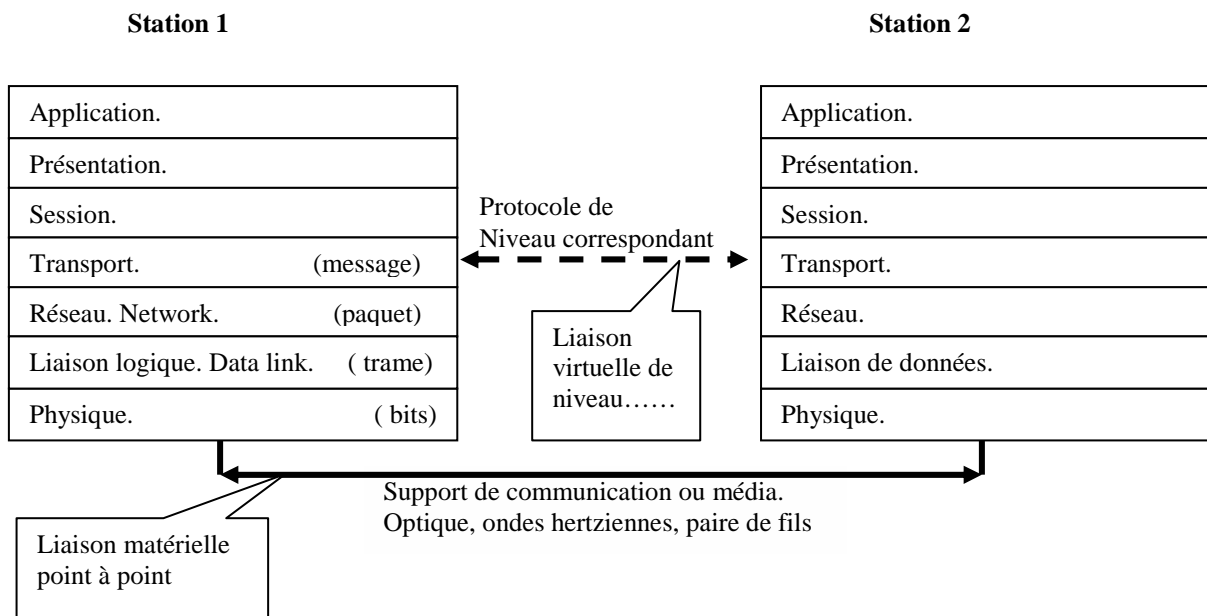


Figure 1-3 : les 7 niveaux du modèle OSI d'interconnexion des systèmes ouverts.

Dans cette modélisation c'est l'électronicien RLI qui est chargé d'assurer le fonctionnement de la couche physique : c'est à dire d'assurer le transport des éléments binaires (bit) sous forme électrique ou optique ou hertzienne au débit souhaité et à la distance souhaitée.

Indiquons sommairement le rôle des 3 couches basses qui intéressent essentiellement les spécialistes RLI.

La couche Physique, ou couche Φ , a pour rôle d'assurer la **transmission brut des bits** sur le support.

Il faut tout mettre en œuvre pour que le "1" soit compris comme un "1", c'est à dire, choix de la forme du signal représentant le bit (durée, amplitude) des connecteurs et composants, de la possibilité de duplexer, de l'initialisation et du relâchement de la transmission, du brassage éventuel etc.

La couche physique traite des signaux, des transmetteurs, des récepteurs et du support de transmission. En bref adapte le binaire aux caractéristiques du support de communication.

La couche Liaison de Données, ou couche Data Link, fractionne le flot de bits sous forme de trames, traite les trames d'acquittement renvoyées par le récepteur, elle ajoute des groupes spécifiques de bits en début et fin de trame (encadrement par des délimiteurs), reémet la trame si nécessaire, et régule le trafic en évitant l'engorgement d'un récepteur plus lent que l'émetteur.

En bref gère les erreurs et régule le flux de données. (sauf si RLI)

La couche Réseau, ou couche N, gère le choix des routes de manière définie pour une session (exemple du RTC déjà vu), ou bien de manière dynamique si la charge du réseau l'exige. Elle gère aussi les engorgements dus à l'ensemble des communications simultanées. C'est la couche réseau qui gère aussi les problèmes d'interconnexions entre réseaux hétérogènes.

En bref assure le transport des paquets binaires d'un réseau à l'autre, et de la source au destinataire, en optimisant le routage de chaque paquet.

La couche Transport assure le transport d'un message complet de la source au destinataire. (nécessité de remise en ordre des paquets)

Le modèle OSI permet l'interconnexion entre réseaux :

Dans le cas de deux réseaux LAN-1 et LAN-2 de même protocole, un répéteur suffit.

Dans le cas de deux réseaux LAN-1 et LAN-2 de même protocole, mais avec filtrage d'adresse, un pont est nécessaire.

Dans le cas de deux réseaux LAN-1 et LAN-2 de protocoles différents, un routeur est nécessaire.

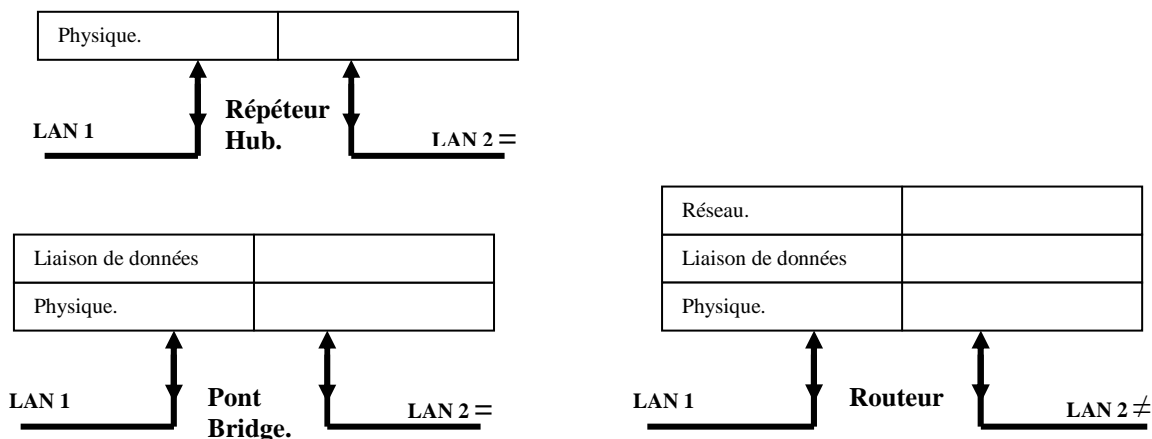


Figure 1-4 : L'interconnexion de réseaux.

Dans la liaison virtuelle entre couches de même niveau (processus pairs) les entêtes H_n sont ajoutés dans l'échange de service descendant puis successivement retirés dans l'échange de service montant.

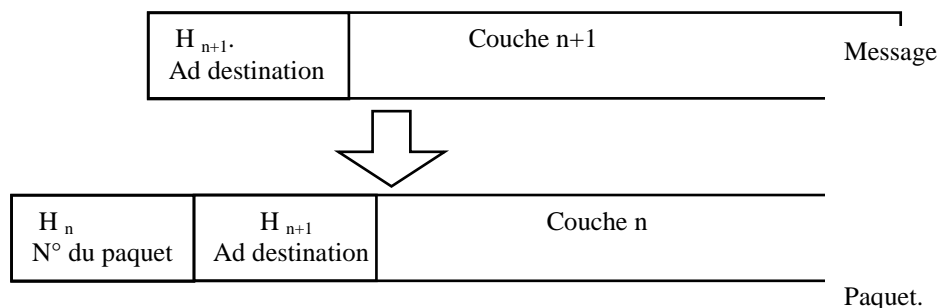


Figure 1-5 : organisation des en-tête dans l'échange de service pour l'expédition de message. (Encapsulation.)

1-4 Les limites de la structure parallèle, illustrées par deux exemples.

La figure 1-2 montre que l'utilisation des échanges de mots binaires sous forme parallèle n'est pratiquement **jamais utilisée au-delà de la taille d'une carte de PC** (des bus d'instrumentation échappent à la règle). Deux exemples vont illustrer les limites de la structure parallèle :

Le bus **PCI** (Peripheral Component Interconnect) interconnectant tous les éléments autour de l'unité centrale d'une carte mère de PC.

Le bus d'instrumentation **IEEE488** ou GPIB, permettant le contrôle centralisé d'appareils intelligents.

1-4-1 Le bus d'interfaçage microsystème, Periphral Component Interconnect (PCI).

C'est l'élément de mise en relation entre les différentes zones d'un microsystème : microprocesseur, mémoire, écran, disque dur, port USB, connexion vers l'extérieur etc. **Chaque entité communicante ne connaît que son langage, ce qui entraîne la nécessité de créer des interfaces traducteurs de protocoles : c'est le rôle de PCI.** PCI est essentiellement un bus qui multiplexe adresses et données, associé à des lignes de contrôle.

Son fonctionnement est géré par un contrôleur d'échange qui fixe à tout moment qui est maître et qui est esclave.

Dans sa première version c'est un bus cadencé à 33,3MHz, portant des mots de 32bits (adresses ou données).

On obtient donc un débit de $33,3 \cdot 10^6 \times 4$ octets/s soit 133 Mcoctets/s.

On obtient donc un débit de $33,3 \cdot 10^6 \times 32$ bits/s soit **1056 Mbits/s.** soit environ le Gigabits/s.

Plus récemment, avec PCI1.0, la fréquence d'horloge est portée à 66,6MHz, avec une taille de bus portée à 64bits. Soit en gros des transferts au débit de **4,2Gbits/s.**

D'autres architectures de système portent le cadencement à 400MHz avec un bus de 32bits (Hyper Transport).

Ce qui conduit à un débit global de environ 12 Gbits/s

La figure 1-6 donne un aperçu des liaisons autour du contrôleur PCI.

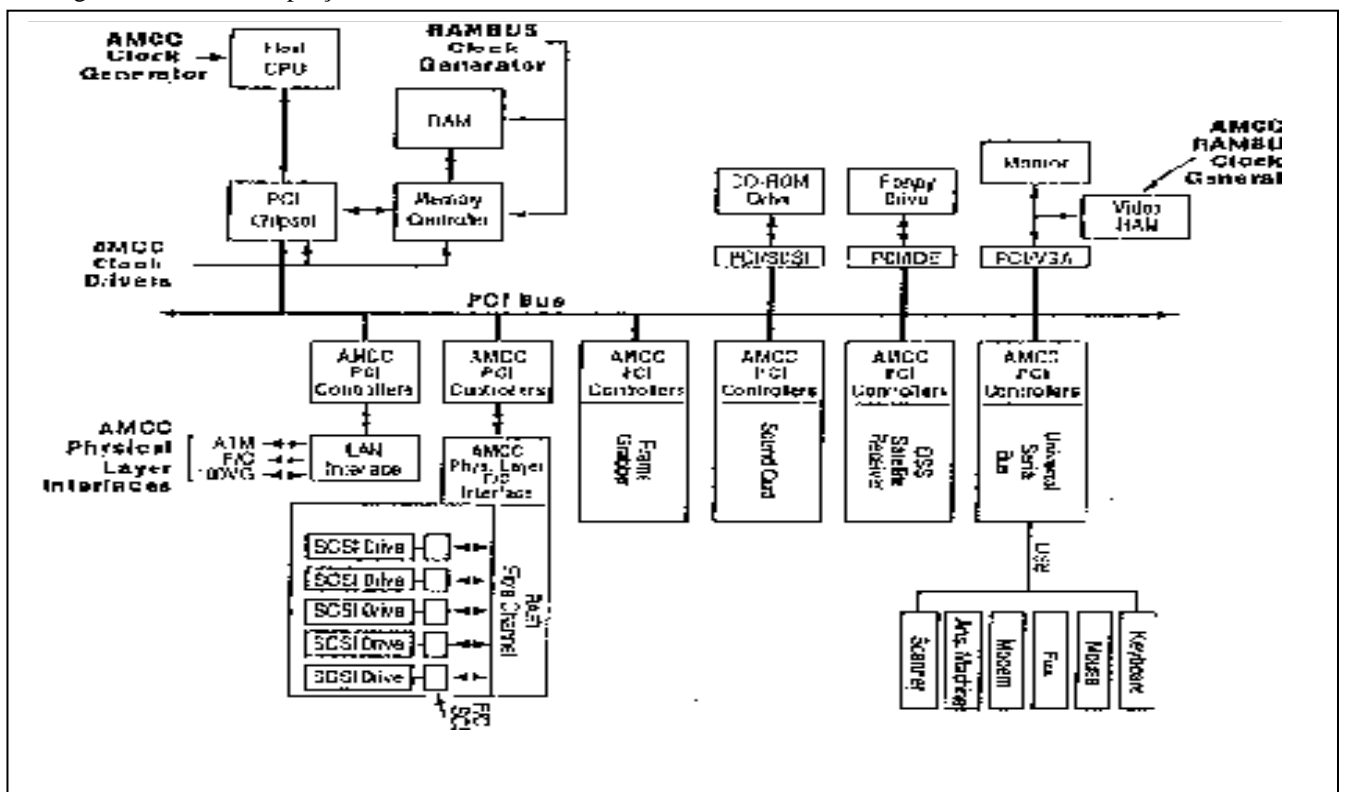


Figure 1-6 : L'architecture du bus parallèle PCI.

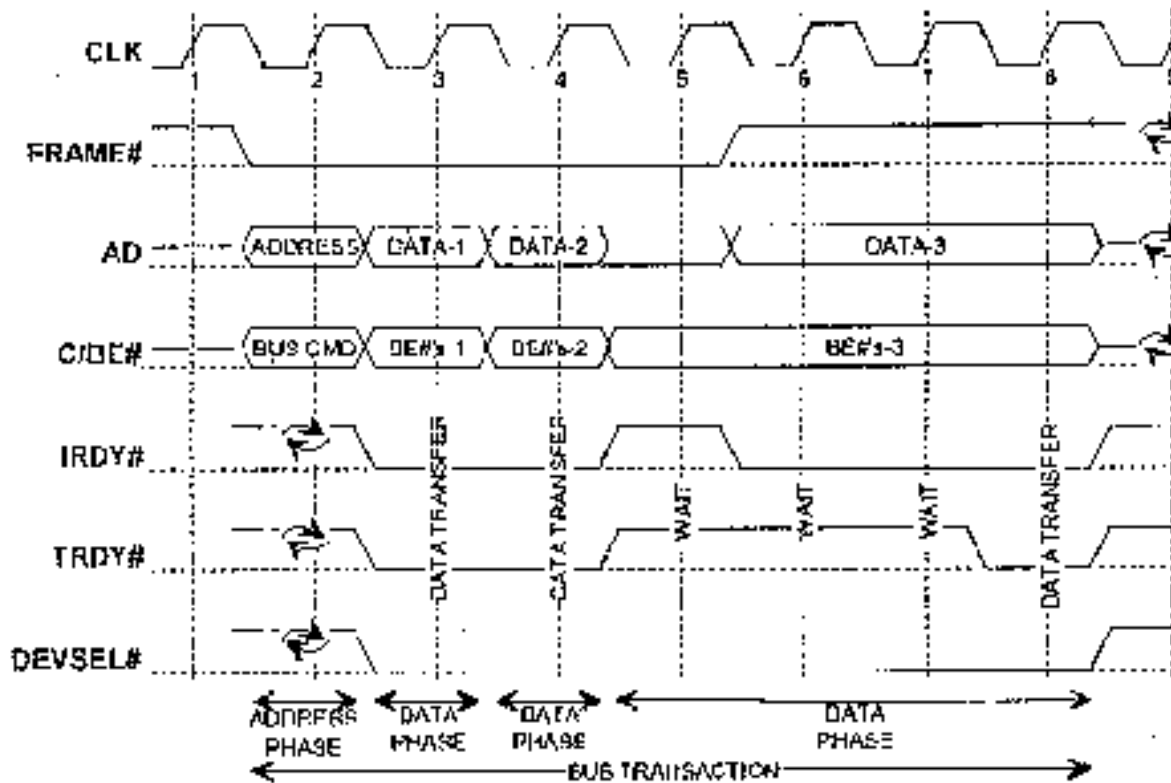


Figure 1-7 : Chronogramme du bus PCI.
L'horloge du bus CLK est définie par sa période T_b et cadence les échanges.

La figure 1-7 définit la période de l'horloge, et par conséquent la durée du bit T_b (30ns), et par conséquent le débit binaire D_b en bits/s pour chaque fils du bus D0 à D31. Dans la figure 1-7 c'est le front montant qui valide les données présentes sur le bus.

A chaque cycle d'horloge l'état du bus PCI est validé sur un moment caractéristique (front) de celle-ci. Des bits de contrôles gèrent les transactions et le contenu du bus, qui porte soit une adresse (32bits) soit des rafales de données (32 bits).

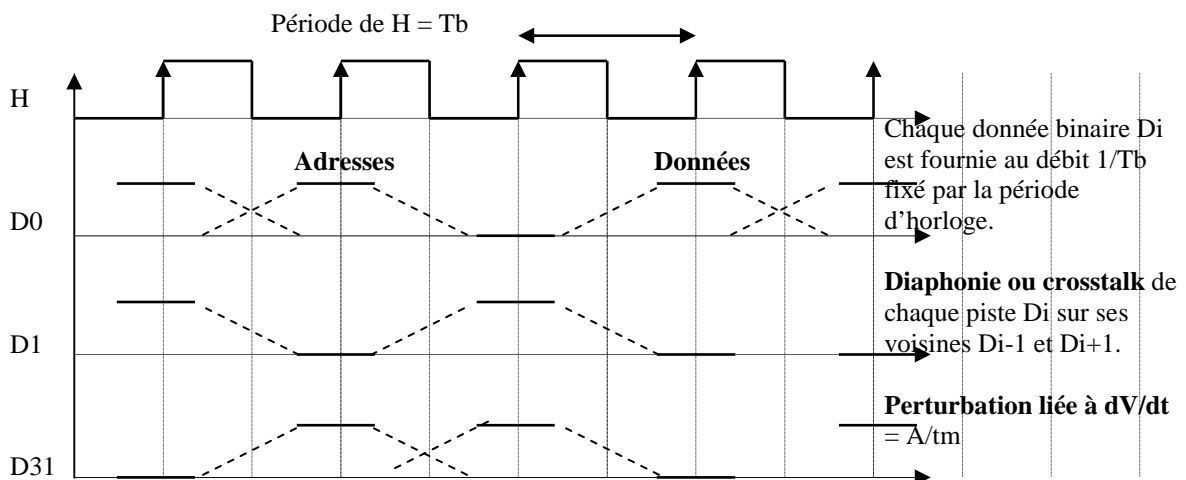


Figure 1-8 : Les différents états du bus synchronisé PCI.

Pour résumer, en introduisant quelques mots clé, nous dirons que le bus PCI est caractérisé par:

Un bus d'interconnexion multipoints.

Un bus multiplexé (adresses et données).

A contrôle d'accès centralisé (PCI chipset) de type aléatoire, avec gestion des interruptions.

Il transporte les données en bande de base avec un débit binaire de l'ordre du Gigabit/s.

Et c'est un bus synchronisé par une horloge ($T_b = 30\text{ns}$).

De plus il reconnaît les périphériques présents au démarrage, indépendamment du microprocesseur.

Il autorise de plus le branchement à chaud (plug and play).

Causes physiques de la limitation de longueur d'un bus rapide comme PCI.

Sur la carte multicouche nous avons un routage 64 pistes parallèles à $\sim 0,1\text{mm}$ d'écartement sur quelques dizaines de centimètres. **N'espérons pas étendre la structure de bus au-delà avec cette fréquence d'horloge !**

Chaque piste D_i influence les voisines D_{i-1} et D_{i+1} , par la vitesse de variation des signaux $dV/dt = A/T_m = \sim 1\text{kV}/\mu\text{s}$ soit 1 G V/s !

C'est le phénomène de **DIAPHONIE** ou **CROSSTALK**, qui croît avec la longueur du bus et la rapidité des signaux. On comprend mieux, maintenant, la poussée des technologies logiques rapides vers les basse tensions lorsque l'on augmente les fréquences d'horloge. (sans parler de l'objectif consommation).

Par conséquent les bus parallèles rapides se limitent à la taille d'une carte électronique.

Passons à un deuxième exemple de bus parallèle plus étendu, mais beaucoup plus lent.(TP)

1-4-2 Bus d'interconnexion et gestion d'appareils programmables IEEE488.

(Exemple détaillé car TP sur ce thème)

Appelé également bus HPIB (HP Interface Bus), ou GPIB (General Purpose...).

Il est défini pour raccorder jusqu'à **30 appareils compatibles GPIB** pour réaliser des chaînes de mesure et de contrôle automatisées grâce à des appareils sophistiqués dits GPIB. Un PC contrôleur assure une gestion centralisée des appareils et du transfert des données. **L'extension du réseau est limitée à 20m.**

Le bus parallèle comprend 8 paires de fils pour les données ou instruction (un fil de chaque paire à la masse) il comprend également 3 fils de synchronisation des échanges du bus de données et 5 fils de gestion globale de tous les appareils. Le câblage est matérialisé par une connectique gigogne à 24 fils, très coûteuse et lourde.

Le débit est limité à 1 ou 2Mbits/s. **Le format des signaux est TTL en logique négative. (V < 0,8V pour 1 et V > 2V pour 0)**

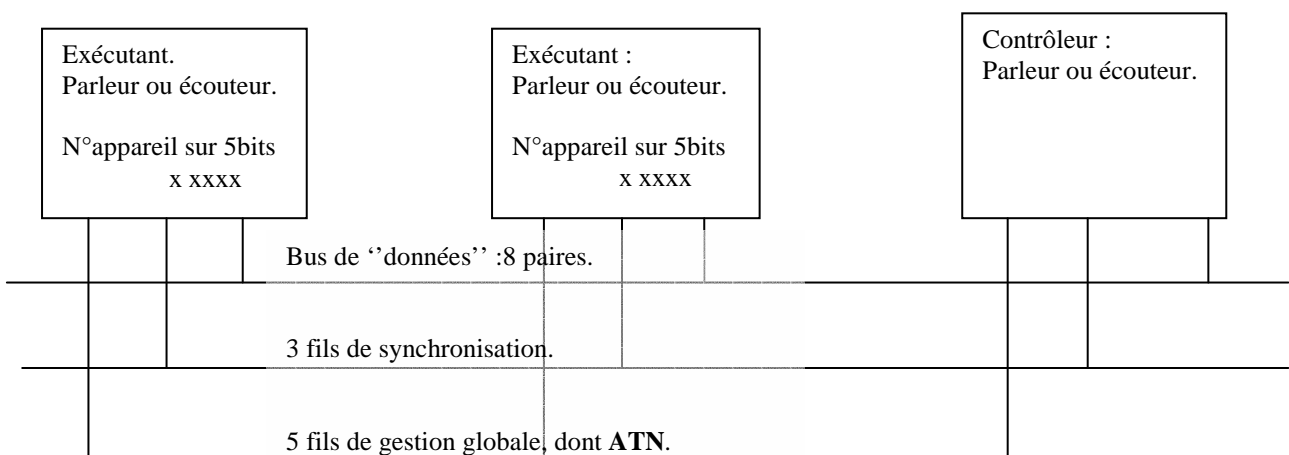


Figure 1-9 : Architecture du bus IEEE488.

Mécanisme d'échange sur le bus IEEE488.

Détaillons une opération simple comme le transfert de l'écran d'un oscilloscope numérique vers la mémoire du PC contrôleur. Les trois signaux de synchronisation vont être utilisés.

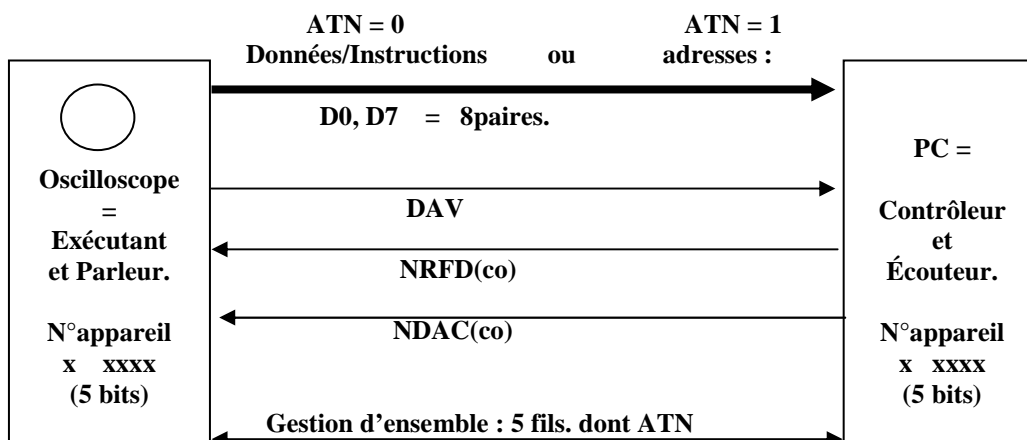


Figure 1-10 Les signaux qui synchronisent l'échange entre parleur et écouteur.

Rôle des 3 signaux de synchronisation.

DAV ou DATA Valid : le parleur signale la présence de données sur le bus de données / instructions.

NRFD ou Not Ready For Data : l'écouteur indique qu'il est occupé par une tâche interne ou en cours d'acquisition.

NDAC ou Not Data Accepted : l'écouteur indique qu'il est en cours d'acquisition, et que la donnée n'est pas enregistrée. **La fin de NDAC indique que les données ont été acceptées.**

Une suite d'instructions du contrôleur (BOUCLE) va lancer le transfert d'un écran complet, soit 4000 octets, le chronogramme de la figure 1-11 montre les phases du transfert pour un octet.

- 1 L'écouteur (PC) annonce sa disponibilité au parleur par la fin de NRFD.
- 2 Après teste de NRFD, le parleur (oscilloscope) place l'octet sur le bus de données, donc DAV = 1.
- 3 Immédiatement l'écouteur signale qu'il est occupé avec NRFD = 1 (réponse "hard" donc instantanée).
- 4 En fin d'acquisition, l'écouteur indique que les données ont été entièrement acceptées par NDAC = 0.
- 5 Le parleur arrête immédiatement DAV = 0. (réponse "hard").
- 6 Ce qui a pour effet de bloquer à nouveau l'écouteur qui remet immédiatement NDAC = 1
- 7 De 6 à 7 le PC traite ce qu'il vient d'acquiescer et indique qu'il est prêt pour l'octet suivant NRFD = 0.

Ce dialogue de ~6µs est répété 4000 fois pour le transfert d'un écran complet.

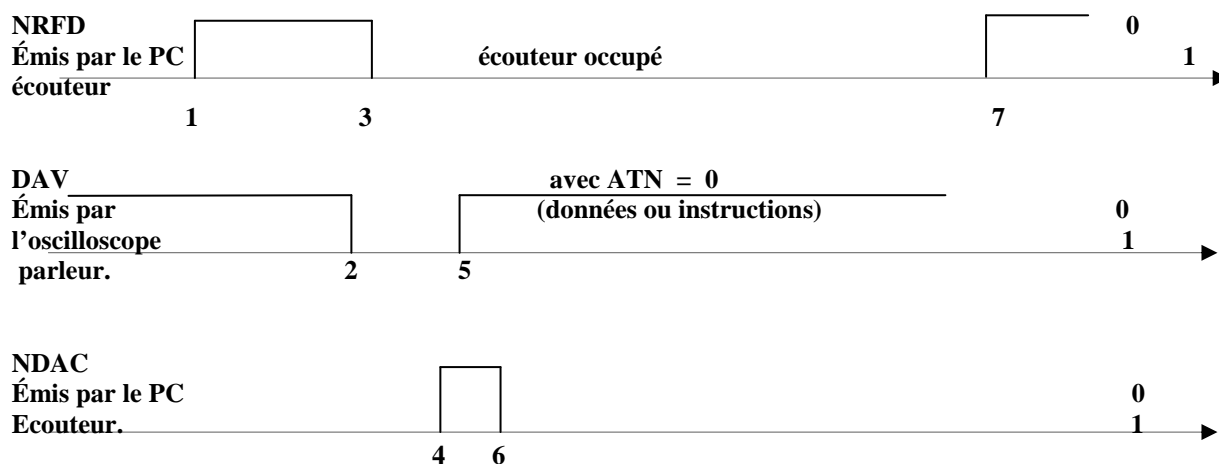


Figure 1-11 Un chronogramme typique d'échange de données (un octet) entre parleur et écouteur.
Aspect électrique des signaux au format TTL/CMOS en logique inverse.

Nature des informations circulant sur le bus de "données" :

Un des 5 fils de gestion générale, ATN indique la nature des octets circulant.

ATN = 0 > Données/instructions : code ASCII (ISO 7bits) portant des instructions aux exécutants, des caractères de contrôle, ou des résultats de mesure (nombres de 0 à 255).

ATN = 1 > Adresses / commandes générales du bus:

Adresse pour les écouteurs = numéro appareil + 32_D ou + 20_H. → 001x xxxx
Adresse pour les parleurs = numéro appareil + 64_D ou + 40_H. → 010x xxxx

(x xxx est un repère d'appareil dit adresse de l'appareil)

Commandes aux appareils adressés: GTL, SDC, PPC, GET, TCT.
 Commandes à tous les appareils : LLO, DCL, PPU, SPE, SPD.
Enfin 4 autres fils de gestion générale complètent l'ensemble :

REN : met l'appareil sous contrôle GPIB, donc plus de face avant.
 IFC : réinitialise tous les appareils.
 SQR : demande d'interruption de transfert par un exécutant.
 EOI : demande d'identification de l'émetteur du SQR.

L'arbitrage de l'accès au support partagé.

Le bus, support ou media, est donc utilisé par un ensemble d'appareils tantôt parleurs ou écouteurs, il est nécessaire de gérer les échanges, c'est le rôle du contrôleur (ici le PC).
 Il impose le rôle de chaque appareil à tout moment, en fournissant des instructions (passant sur l'unique bus de 'données') qui définissent l'adresse du parleur et l'adresse du ou des écouteurs.
 Remarque : les signaux NRFD et NDAC sont fournis par des collecteurs ouverts et aucun parleur ne peut émettre que si tous les autres communicants ont libéré le bus. Tous les NRFD doivent être inactifs pour qu'un parleur puisse utiliser le support.

Il s'agit d'une architecture de bus ou existe un gestionnaire.

C'est un exemple d'accès contrôlé par gestion centralisée.

Pour résumer, en introduisant quelques mots clé, nous dirons que le bus IEEE488 est caractérisé par:

Un bus d'interconnexion multipoints.

Un bus 8 bits, multiplexé (adresses, données, commandes).

A contrôle d'accès centralisé (contrôleur) de type aléatoire.

Il transporte les données en bande de base avec un débit binaire de l'ordre du Megabit/s.

Il n'est pas synchronisé par une horloge, c'est un bus asynchrone.

Ajoutons qu'il est très coûteux : ~45\$ le mètre.

C'est grâce à la mise en paires torsadées et au débit très modeste que la distance a pu être portée à 20 mètres.

Comparaison des liaisons parallèles en bande de base : abandon pour les réseaux !

Hormis la complexité de la connectique, le coût, le parasitage mutuel ou diaphonie, la sensibilité aux agressions EM (CEM), il apparaît une limite physique rédhibitoire sur le produit distance débit.

Cela devient évident dans le tableau où nous comparons les bus de microsysteme, le Centronics, le IEEE488.

	PCI	Centronics	IEEE488
Distance	0,3m	5m	20m
Débit	1 Gbits/s ou +	2 Mo/s ou 16Mbits/s	1 Mbits/s
Distance . débit	300 m.Mbits/s ou +	80 m.Mbits/s	20 m.Mbits/s

Plus d croit plus le produit distance * débit décroît.

Dés qu'il s'agit de porter des données binaires sur des distances conséquentes, nous utiliserons la liaison un bit à la fois. C'est à dire la liaison série.

1-5 La liaison série Point à Point par circuit de données, élément de base des réseaux MAN et WAN.

Il est maintenant question du maillon "liaison point à point" unique élément physique de tous les réseaux, il transporte le flot de bit avec un débit fixé, entre deux entités communicantes, ou Équipement Terminal de Traitement de Données **ETTD** ou DTE (data terminal equipment) (ex. ordinateur).

L'ETTD transforme les données ou mots binaires en suite de bits (TD) fournis régulièrement à un débit binaire D_b fixé, c'est à dire sous forme série, il fournit l'horloge H_b qui cadence la sortie des bits.

Les valeurs binaires 0 et 1 doivent être traduites en signaux physiques (électriques, optiques, ondes radio) pour être transportables sur le support choisi, c'est le rôle de l'Équipement Terminal de Circuit de Données **ETCD**.

Définition : rôle de l'ETCD ou DCE (data communication equipment).(ex : modem).

L'ETCD traduit les données binaires (TD) en signaux physiques compatibles avec le support de communication, grâce aux opérations de CODAGE et MODULATION.

Ces transformations constituent le CODAGE de CANAL.

La liaison point à point entre deux ETTD est décrite par le synoptique de la figure 1-12.

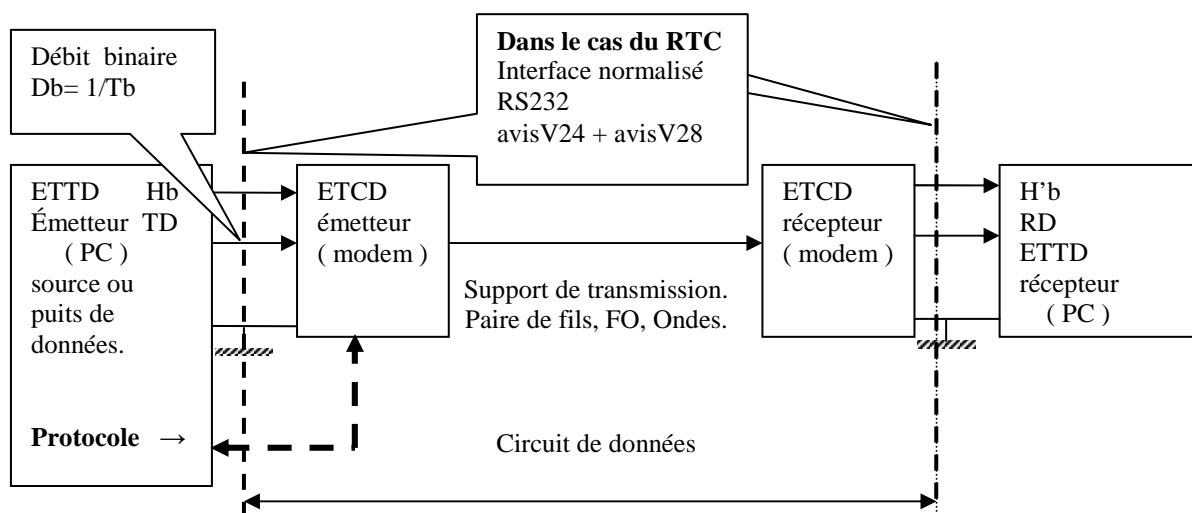


Figure 1-12 Mise en relation de deux entités communicantes par circuit de données point à point en simplex. Dans le cas général du duplex il faut un groupe émetteur + récepteur aux deux extrémités, et procéder à un duplexage pour l'accès au support. La figure rappelle que dans le cas du Réseau Téléphonique Commuté, l'interface est soumise à la norme RS232

En fonction du support exploité les ETCD seront très différents et il est impératif de prévoir une interface normalisée entre ETTD et ETCD. La normalisation fixe la nature du support, les signaux de l'interface (TD, H_b , signaux du protocole de début et fin de transmission) et les signaux émis sur le support.

Précisons le synoptique dans le cas très classique de la consultation du courriel ou de Internet sur un PC.

Le PC contient une carte de communication distante, en duplex, qui prend le nom de **MODulateur DEModuleur**, et qui est l'ETCD, et l'interface normalisée RS232 n'a donc plus de localisation extérieure. L'accès au PC se fait donc directement par la paire téléphonique avec RJ11.

La paire de fils de l'abonné à poste 'analogique' ne supporte pas le continu ni les signaux en dessous de 300Hz, et il est impossible de transmettre la logique aux formats classiques. **C'est le modem (ETCD) qui groupe les bits par deux ou trois ou plus et les transmet sous forme d'un signal électrique sinusoïdal en BANDE TRANSPORTEE.** Les différentes valeurs du groupe de bits modifient la fréquence ou la phase de la sinusoïde.

Une terminologie importante à partir de ce jour :Bande de Base et Bande Transposée :

Si l'ETCD émet des niveaux de durée et amplitude constante pour un groupe de bits : c'est un **ETCD en Bande de Base**.

Si l'ETCD émet une sinusoïde pour un groupe de bits, c'est un **ETCD en Bande Transposée**, il y a Modulation puis Démodulation, il prend le nom de MODEM.

Le synoptique de la figure 1-12 est fait dans le cas le plus simple de communication de gauche à droite, c'est à dire en **SIMPLEX**.

Mais généralement c'est la liaison **DUPLEX** qui est indispensable. On disposera alors, soit d'un support commun aux deux sens, muni de **DUPLEXEURS** aux extrémités, soit de deux supports, un pour chaque sens. Il existe aussi le mode **ALTERNAT ou SEMI-DUPLEX** pour un seul support.

1-6 Rôle détaillé de l'ETCD, bits, symboles, signaux, valence etc.

Détaillons le rôle de l'ETCD :

Les bits sont fournis chronologiquement avec un débit binaire $D_b = 1/T_b$, aux instants kT_b , nous les nommerons en fonction de leur n° d'apparition $d(kT_b)$ ou simplement dk .

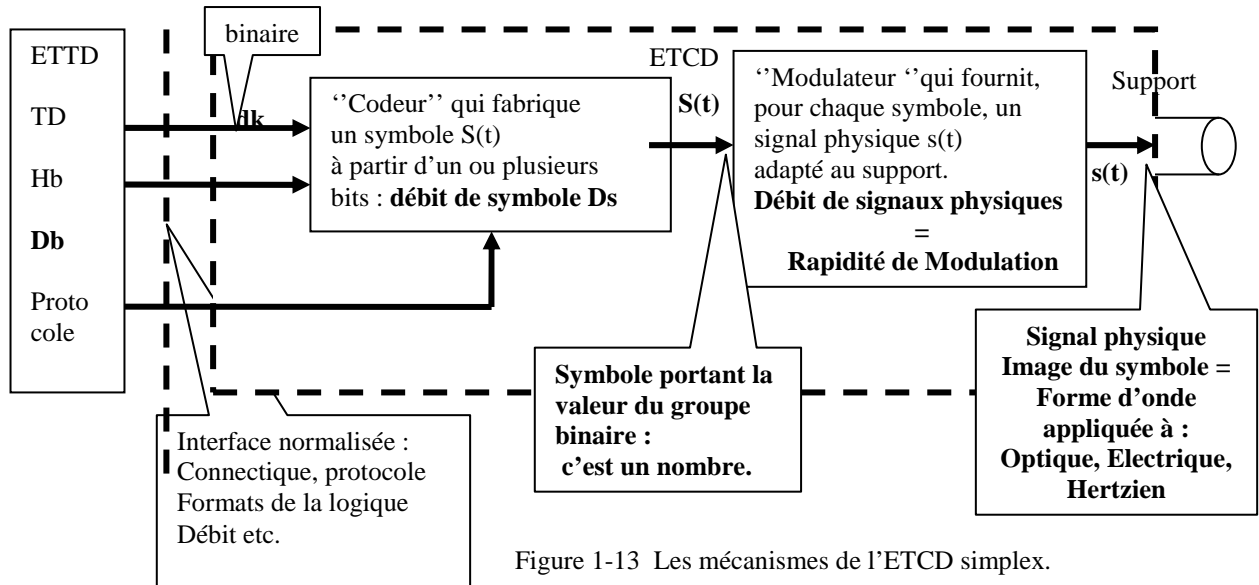


Figure 1-13 Les mécanismes de l'ETCD simplex.

Le modèle ETCD fait apparaître les notions successives de **bit dk** au **débit binaire D_b** , puis de **symbole $S(t)$** , et de **signal physique élémentaire $s(t)$** émis en ligne.

Symbole $S(t)$ = valeur numérique obtenue par groupement de L bits consécutifs fournis par l'ETTD.
Les groupements opérés sont de taille L de 1 à 8 bits. On obtient ainsi un ensemble de 2^L valeurs de symbole.
Chaque symbole est défini sur une durée $T_s = LT_b$.

Signal physique élémentaires émis en ligne $s(t)$ = par exemple un niveau de tension $A > 0$ pendant la durée LT_b du symbole.

Il y a autant de valeurs différentes de niveaux (ou d'états physiques) que de valeurs de symboles, c'est à dire 2^L niveaux différents (ou états physiques différents).

Attention la durée d'un état physique n'est pas toujours celle du symbole, elle est parfois plus courte !
(Manchester, HDB3, etc).

Attention il ne faut pas confondre la valence V avec le nombre de niveaux du signal physique. (codes demi bit !).

Définition de la Valence V :

Le nombre de valeurs prises par le symbole définit la VALENCE du CODAGE de CANAL : $V = 2^L$.

Réciproquement un signal de valence V nécessitera des symboles construits sur L bits, avec $L = \log_2 V$

On ne confondra jamais le nombre de niveaux physiques avec la valence !

Forme générale du signal physique élémentaire.

Lorsqu'il s'agit de Bande De Base (ou BDB : cas du chapitre 1), les signaux physiques élémentaires émis sont toujours construits à partir de la forme rectangulaire, appelée PORTE, de hauteur A, de durée $T_s = LT_b$, notée : $A \cdot \Pi_{T_s}(t)$.

Par définition la porte est centrée sur la valeur 0 de sa variable entre parenthèses.

Ainsi ; $A \Pi_{T_s}(t)$ est centré sur $t = 0$,

et $A \Pi_{T_s}(t-t_0)$ est centré sur $t = t_0$.

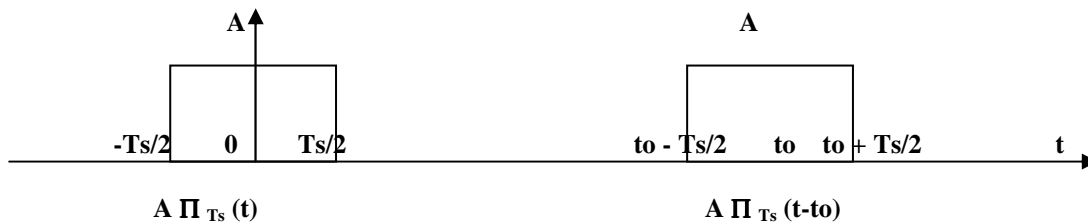


Figure 1-14 : Le signal porte de hauteur A et de durée T_s ou modèle de signal élémentaire.

La figure 1-15 montre deux exemples de codage, l'un très simple, bivalent et puis un codage quadrivalent. (le rapport cyclique de H_b est quelconque).

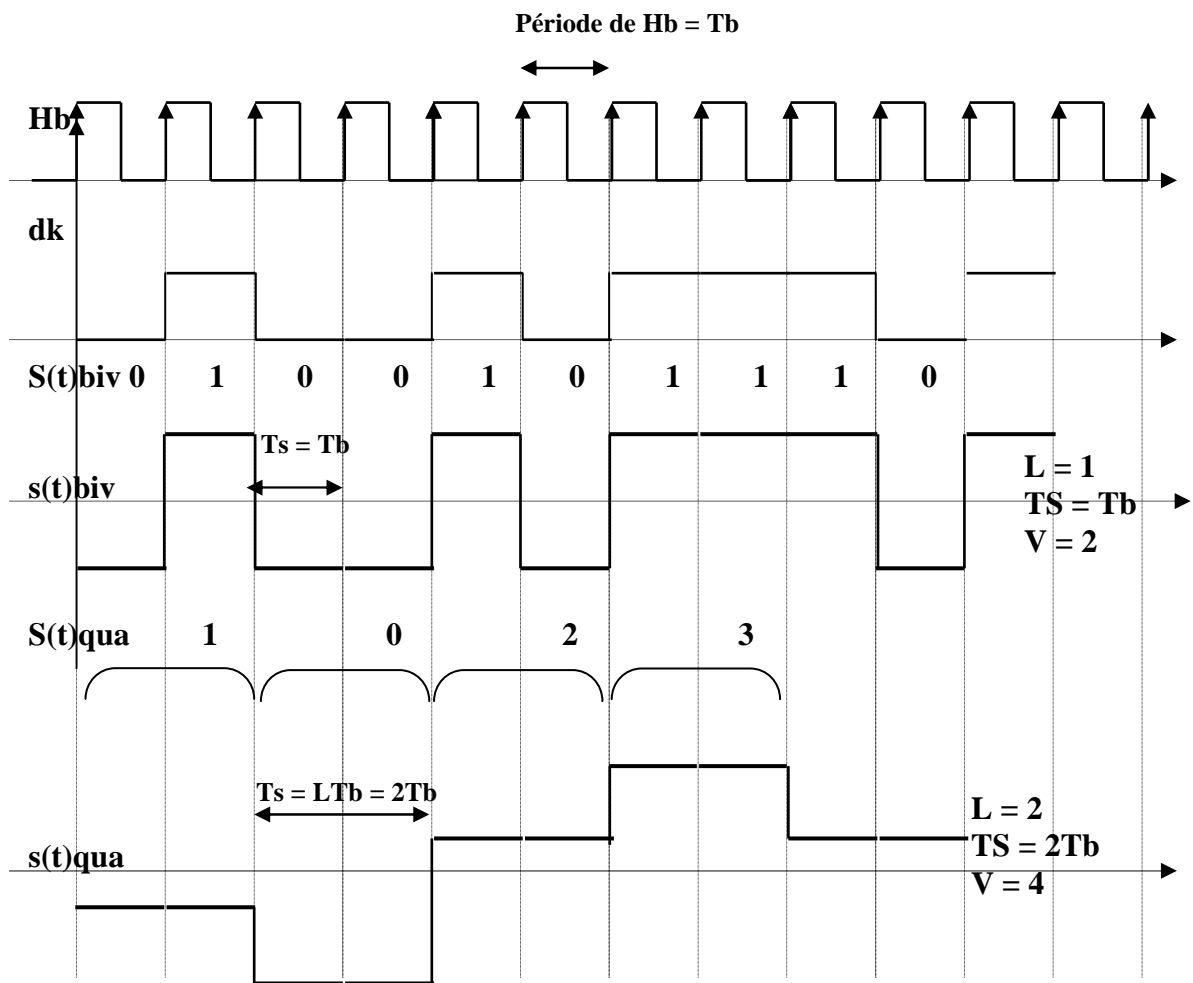


Figure 1-15. Codage de transmission en bande de base bivalent et quadrivalent.

Les symboles $S(t)$ sont associés aux signaux physiques $s(t)$ de la manière suivante :

Codage bivalent : $T_s = T_b$ '0' => $-1V$ '1' => $1V$

Codage quadrivalent : $T_s = 2T_b$ '0' => $-3V$ '1' => $-1V$ '2' => $+1V$ '3' => $+3V$

Le traitement réalisé par l'ETCD qui passe du monde binaire au monde réel des signaux $s(t)$ physiques, capables de se propager sur le média choisi, est le **CODAGE de TRANSMISSION ou CODAGE de CANAL** (dans ce chapitre 1 limité aux signaux en Bande Base).

Nous verrons au chapitre 3 (codage de canal) qu'il est parfois nécessaire d'insérer dans l'ETCD des fonctions de détection/correction d'erreurs et d'embrouillage.

L'embrouillage (ou brassage) apporte des transitions, permettant le maintien en synchronisme de l'horloge de l'ETCD récepteur.

Ces fonctions simples sont associées à la couche physique. Les traitements plus sophistiqués, comme la compression, l'ajout de redondances en vue de la détection et correction d'erreur, le cryptage etc. sont faits en amont et sont associés au **CODAGE de SOURCE**.

On notera également que le mot "modulateur" est pris ici dans un sens général quelque soit la forme des signaux physiques en bande de base ou en bande transposée.

Lien entre DEBIT BINAIRE D_b , DEBIT DE SYMBOLES D_s et RAPIDITE de MODULATION RM.

Le débit binaire est le nombre de bits transmis par seconde, soit $D_b = 1/T_b$, exprimé en bits/s.

La rapidité de modulation RM est le nombre de signaux physique élémentaires émis par seconde, soit $RM = 1/LT_b = 1/T_s = D_b / L$ exprimé en Bauds.

On obtient la RM également par le nombre de transitions du signal physique par seconde (souvent plus facile à "voir").

Ainsi la RM est généralement L fois plus faible que le débit binaire D_b .

Ainsi dans la figure 1-15 , si le débit binaire vaut 1000 bits/s, le signal bivalent $s(t)$ biv présente une RM de 1000 Bauds et le signal $s(t)$ qua présente une RM de 500 Bauds.

On notera le fait capital que pour un même débit binaire $1/T_b$, les signaux quadrivalents présentent une Rapidité de Modulation ($RM = D_b / 2$) deux fois plus faible que les signaux bivalents.

Cette propriété a pour effet de limiter les hautes fréquences dans le signal en ligne (voir chapitre codage de transmission).

Remarque sur les codes fournissant des signaux physiques de durée inférieure à T_b (souvent $T_b / 2$).

Le signal physique élémentaire émis dure généralement $T_s = LT_b$, comme le symbole. Mais certains codes bivalents génèrent des signaux physiques élémentaires de durée $T_b/2$.

Débit binaire. En bits/s.	Durée du symbole. En secondes.	Valence du codage de transmission.	Débit de symboles.	Rapidité de modulation : RM = Nombre de transitions du signal physique par seconde. En Bauds.
Db = 1/Tb	Symboles définis par groupe de L bits. 1 ≤ L ≤ 8 Ts = L .Tb Ds = Db / L	V = 2^L 2 < V < 256 L = log₂ V	Ds = 1/Ts = Ds = 1 / L.Tb Ds = Db / L	Généralement : RM = 1/Ts = Db / L Ds = RM Sauf cas de quelques Codes bivalents, Voir cas particulier Ci-dessous.

Cas particulier de quelques codes bivalents, utilisant des signaux de durée demi bit Tb/2

Db = 1/Tb En bits/s.	L = 1 Ts = Tb	V = 2	Ds = Db	RM = 2 Db En Bauds.
--------------------------------	------------------	-------	---------	-------------------------------

Le tableau montre que Rapidité de Modulation et Débit de Symboles peuvent être confondus, sauf dans le cas particulier cité.

Mais compte tenu de la remarque précédente concernant les signaux de durée Tb/2, dans ce cas la RM est double du débit binaire, fait contradictoire avec la limitation des hautes fréquences, mais c'est parce que d'autres propriétés sont mises en avant. (ce sera le cas du codage Manchester, RZ, RZI, AMI etc, qui seront décrits dans le chapitre 3 "codages de transmission").

NB : dans le chapitre 3 nous exploiterons la formule de Mr Bennett, sa base temporelle sera toujours Ts quelque soit la durée du signal physique élémentaire.

1-7 Les contraintes de la transmission série asynchrone TSA et de la transmission série synchrone TSS.

Nous revenons au synoptique de la liaison point à point, vu globalement, dans sa fonction de transport de données binaire à un débit défini par Db = 1/Tb. Au delà de quelques mètres nous abandonnons l'idée de liaison parallèle, au profit de la TRANSMISSION SERIE. Les ETTD doivent échanger des fichiers c'est à dire des suites de mots binaires qui peuvent être très longues, appelées TRAMES.

Il y a donc nécessité, coté émetteur, d'évacuer les suites binaires bit après bit chronologiquement, c'est à dire opérer une SERIALISATION sous contrôle du rythme de l'horloge binaire Hb.

Coté ETTD récepteur (destinataire ou non) il faut reconstituer les mots dans leur forme parallèle d'origine, c'est à dire opérer une DESERIALISATION.

La figure 1-16 montre simplement le mécanisme global de sérialisation / désérialisation, en faisant abstraction des normalisations, interfaces, ETCD, duplexeur etc.

Cette figure insiste sur l'obligation de disposer d'une horloge bit commune pour opérer la sérialisation et la désérialisation. On pense immédiatement à utiliser deux supports de transmission indépendants, l'un réservé aux signaux de données, l'autre réservé au signal d'horloge. (2 paires cuivre, 2 Fo etc.).

Mais on ne matérialise jamais le support du signal d'horloge Hb (trop coûteux et contraignant !). C'est le signal de données qui permet de reconstituer une horloge bit H'b dans l'ETCD récepteur, grâce aux transitions du signal physique.

En clair l'ETCD récepteur possède une fonction horloge locale H'b, réglée à la même fréquence que Hb, mais qui est remise à l'heure le plus souvent possible par les sauts de l'unique signal de données. En effet si la

transmission concerne des blocs de données de plusieurs octets, la moindre dérive de fréquence entraîne une erreur de numérotation des bits dans le désérialisateur. (avance ou retard de l'instant d'échantillonnage)
 Si $H'b$ est plus rapide que H_b , un bit (doublet) sera ajouté de temps en temps, et inversement si $H'b$ est plus lente.

Donc il y aura deux cas de gestion de l'horloge $H'b$ du récepteur:

Cas des trames longues :TSS.

Pour la transmission de longues TRAMES binaires (blocs longs), l'horloge $H'b$ du récepteur doit être maintenue en synchronisme avec celle de la source H_b .

Dans ce cas on est en TRANSMISSION SERIE SYNCHRONES ou TSS.

Cas de blocs courts :TSA.

Certaines transmissions concernent l'envoi de blocs courts indépendants les uns des autres, c'est le cas de la transmission des caractères frappés sur un clavier. **Chaque bloc court est constitué de quelques bits, il suffit alors que l'horloge $H'b$ soit pré-réglée à la même fréquence que H_b , et déclenchée par l'arrivée du premier bit de chaque bloc.** L'éventuelle dérive de $H'b$ n'a pas d'effet sur un faible nombre de bits.

Dans ce cas on est en TRANSMISSION SERIE ASYNCHRONES ou TSA.

Puisque dans les deux cas de transmission, l'ETCD récepteur possède une horloge bit $H'b$ locale, le schéma du récepteur sera quasi identique pour la TSA et la TSS (figure 1-17). Seul le fonctionnement de l'horloge récepteur est différent.

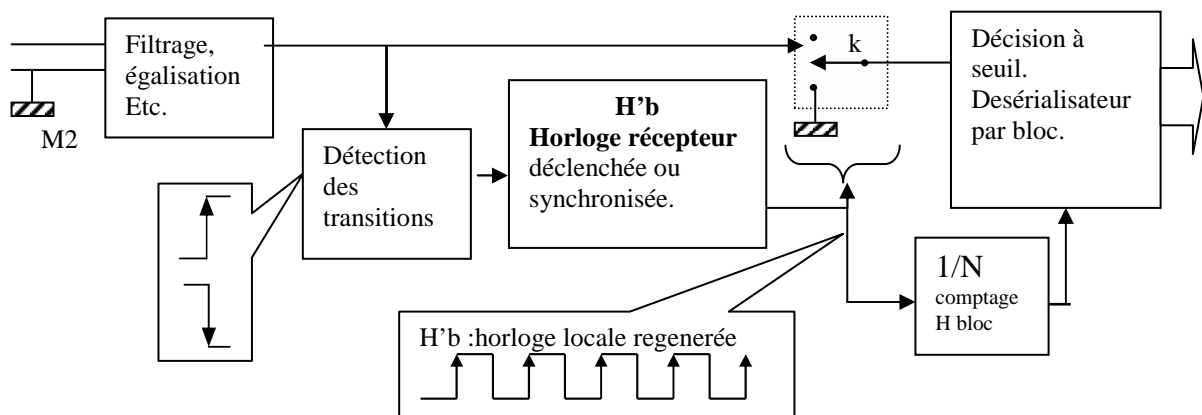


Figure 1-17 : Schéma de principe de l'ETCD récepteur en TSA et TSS et en Bande de Base. Dans la réalité les fonctions sont réalisées numériquement.

Le synoptique de l'ETCD récepteur montre la fonction régénérateur de rythme qui groupe la détection des transitions et l'horloge $H'b$.

**En TSS $H'b$ est synchronisée par le détecteur de transitions :
 L'horloge bloc est synchronisée sur l'horloge bit.**

**En TSA $H'b$ est déclenchée par la transition du bit START :
 L'horloge bit est synchronisée sur l'horloge bloc.**

L'horloge $H'b$ régénérée permet l'échantillonnage du signal physique au moment optimum, donc lorsque les symboles sont identifiables sans ambiguïté.

1-8 Un exemple de TSA : la transmission orientée caractère.

Cette transmission concerne l'émission de caractères issus d'un clavier, codés au standard universel ASCII sur 7 bits. Ce type de transmission a fait l'objet depuis longtemps de standardisations découlant de l'expérience et concernant les aspects suivants :

Pour les grandes distances, bien entendu, on pense au réseau téléphonique disponible partout (RTC). Par conséquent il est obligatoire d'utiliser les services d'un ETCD générant pour chaque bit un signal élémentaire physique compatible avec le réseau téléphonique, construit historiquement pour le domaine vocal dans la bande de fréquence 300Hz à 3400Hz.

Nous trouverons donc une interface entre la source de caractères interne à l'ETTD et l'ETCD. Bien entendu cette interface fait l'objet d'une standardisation universelle (vers les années 1970), c'est l'**interface RS232**. (voir figure 1-12)

L'interface RS232 est défini sur 3 aspects : l'aspect des signaux électriques **avis V28**, l'aspect connectivité qui définit chaque borne et l'aspect gestion de la mise en relation avec le destinataire, le maintient et la déconnection, **avis V24**.

En tant qu'électroniciens RLI nous réfléchissons surtout au choix des signaux électriques : **avis V28**.

Réfléchissons au choix intelligent des signaux en bande base représentant les bits 1 et 0 :

Les signaux de tension doivent être importants et bien différenciables. C'est un seuil de comparateur qui prend la décision entre le 0 et le 1, on peut remarquer que **le seul seuil indépendant de la dégradation des signaux est le seuil nul, par conséquent les niveaux de tension devront être choisis ANTIPOLAIRES**.

Ce choix permet également de détecter la coupure du support.

Les conventions qui ont été adoptées pour cette interface universelle sont décrites dans l'**avis V28** édité par le CCITT.

La distance pour cet interface est limitée à 15 mètres, avec un débit limité à 20kbits/s.

Le chapitre 2 reviendra en détail sur la norme RS232.

Les niveaux de tensions sont définis dans l'avis V28 pour le transport d'un caractère ASCII entre ETTD et ETCD :

'1' ⇒ -5V à -12V. niveau dit MARK

'0' ⇒ +5V à +12V. niveau dit SPACE

La transmission d'un caractère codé ASCII (7bits) est décrite par la figure 1-18.

Avec un débit classique de 75 bits/s (cas du Minitel) la transmission occupe 133ms.

Un caractère = 10Tb=133ms au minimum.

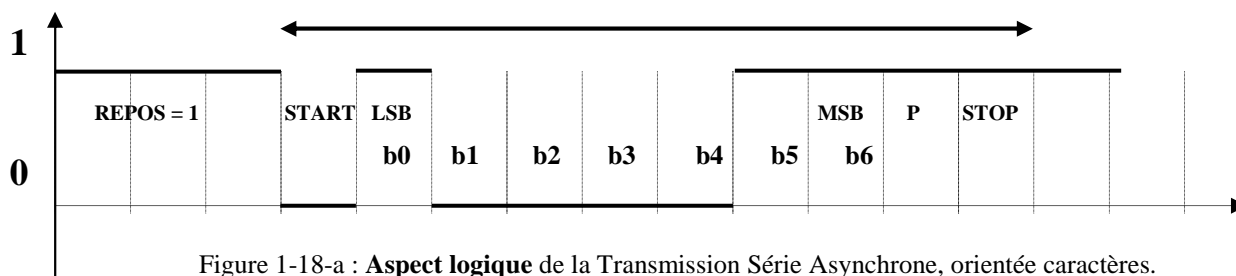


Figure 1-18-a : Aspect logique de la Transmission Série Asynchrone, orientée caractères. L'aspect électrique à l'interface RS232 est inversé ! (Caractère 'a' : 61h ou 97d).

SPACE ou 0

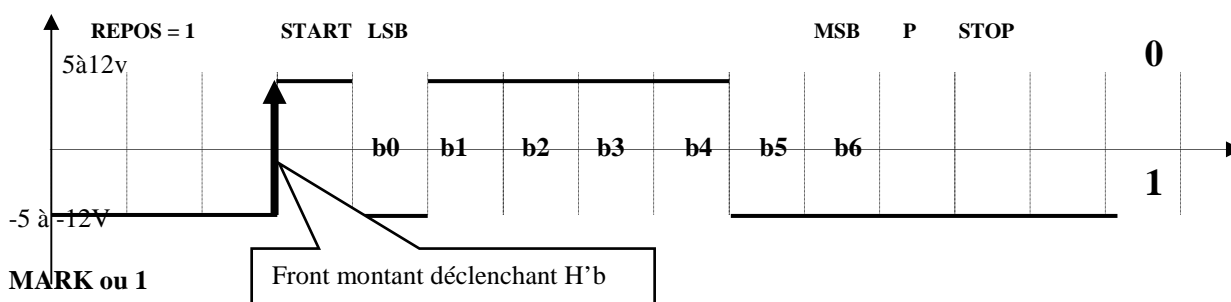


Figure 1-18-b : L'aspect électrique, au format V28, à l'interface RS232, de la Transmission Série Asynchrone, orientée caractères. (Caractère 'a' : 61h ou 97d).

On notera les caractéristiques suivantes :

La ligne au repos est au niveau "1" ou MARK (-3 à -12V).

On note l'ajout d'un bit START nécessairement à 0 ou SPACE, c'est donc une transition 1>0 qui déclenche l'horloge pré-réglée H'b du récepteur.

On note l'existence d'un dernier bit P dit de parité, qui permet de détecter la présence d'erreur de transmission. (Parité paire pour nombre total de 1 pair)

Enfin un bit ou deux, STOP remet la ligne à "1", c'est-à-dire au repos.

On obtient donc un bloc de 10 bits correspondant à 10 périodes de l'horloge H'b, qui fixe les instants de décision sur seuil du récepteur. L'ETTD peut ensuite exploiter les 7 bits significatifs du code ASCII.

On comprend que cet ensemble d'éléments soit imposé par une normalisation stricte assurée par la couche physique, en particulier le contrôleur de communication série (genre 8250) qui assure le protocole de transmission en TSA.

L'utilisation du support de transmission est loin d'être optimisée car les silences entre caractères ne sont pas exploités. Le rendement de la TSA est donc très mauvais : il est impossible de dépasser 70% !

Ainsi pour 802.3 la longueur maximum du bus est fixée par le slot time :

Sur bifilaire on estime tp à environ 5 ns /m, par conséquent le bit s'étale sur 20m et 512 bits s'étalent sur 10 240m)

En 10baseT 51,2 μs correspond à ~5000m.

En 100baseT 5,12 μs correspond à ~500m.

En Ethernet 1Gbits/s la trame minimum est fixée à 4096 bits, soit ~ 400m.

Dans la pratique les distances sont limitées par la qualité du support (pertes, diaphonie et IES)

Il est évident qu'une telle méthode d'accès non déterministe ne peut être utilisée pour des applications TEMPS REEL. (temps d'accès non borné) (voir cours de réseaux).

On montre que par cette méthode le temps d'accès est inversement proportionnel à la charge du réseau.

Nous verrons plus tard dans l'année un exemple majeur de partage de media par accès synchrone, propre aux applications TEMPS REEL : le réseau téléphonique commuté RTC.

Revenons à notre exemple de trame Ethernet pour illustrer la nécessité d'une horloge H'b de réception absolument synchrone de celle de transmission.

On y trouve tous les éléments caractéristiques de la TSS :

Un PREAMBULE qui synchronise l'horloge H'b (7 octets de 0 et 1 alternés).

Un délimiteur de TRAME (équivalent au START), qui annonce le début des champs utiles, Start Of Frame, SOF (1 octet ≠ du préambule).

L'ADRESSE DU DESTINATAIRE sur 6 octets, puisque le support est partagé.

L'ADRESSE DE LA SOURCE sur 6 octets, nécessaire au dialogue d'acquiescement.

La LONGUEUR du champ de données spécifiée sur deux octets.

Les DONNEES depuis 46 jusqu'à 1500 octets (sauf pour Ethernet 2 avec > à 1500 octets).

Enfin un teste permettant de détecter et corriger les erreurs de transmissions, dit codes à redondance cyclique ou CRC (4 octets), utilisant des propriétés de l'arithmétique binaire.

L'ADRESSE DU DESTINATAIRE ET L 'ADRESSE DE LA SOURCE permettant la création d'une liaison virtuelle point à point.

Cet ensemble forme un datagramme

Préambule de synchronisation de H'b	SOF	@destination	@source	longueur	données	CRC/FCS Résultat d'un calcul.
7 octets	1	6	6	2	46 à 1518	4

Datagramme de 64 octets minimum.

Partie utile de la trame = paquet autonome de 64 octets dit **datagramme**.

Figure 1-20 : Exemple de TSS :la trame Ethernet 10Base T.

La figure 1-20 montre une trame minimum de 64 octets, cette taille minimum assure un temps minimum d'émission nécessaire au partage du media par accès aléatoire. Ceci est un **datagramme** comportant toutes les informations nécessaires au routage.

Nécessité de la synchronisation :

Raisonnement la technique actuelle sur les horloges (synthétisées) permet de garantir une précision de 10^E-3 Et une stabilité de 10^E-4 qui conduit à un écart relatif maximum $\Delta f / f$ (ou $Tb / \Delta Tb$) entre les fréquences de Hb et H'b de $2,2^E-3$.

Ainsi, dans le pire des cas, $T'b = Tb + \Delta Tb = Tb + 2,2^E-3 .Tb$.

Au bout de N bits, le décalage vaut $2,2 \cdot 10^{-3} N Tb$, soit un retard de un bit au bout de 450 bits. Le 450 ième bit ne sera jamais vu, on imagine l'interprétation sur la nature des champs et leur valeur !

En TSS, une électronique particulière dite "régénérateur de rythme bit" assure le calage (ou synchronisme) de l'horloge bit H'b sur l'horloge source Hb (notion qui sera revue avec l'étude des PLL).

Des octets significatifs, comme SOF, permettent de délimiter les blocs ou champs spécifiques de la trame, par conséquent c'est bien par le comptage des bits que l'on peut définir une horloge dite HORLOGE BLOC.

EN TSS L'HORLOGE BLOC EST SYNCHRONISEE SUR L'HORLOGE BIT !

Tableau des longueurs maximum exploitées en 802.3.

Dans la pratique les distances sont limitées par la qualité du support (pertes, diaphonie et IES).

type	Débit Mbits/s	codage	support	topologie	Portée En m
Classique (obsolète)	10	Manchester.	Coax fin	Bus en ligne	500
10 B T	10	Manchester.	UTP	Etoile	100
10 B FX	10	Manchester.	UTP	≡	2000
100 B T	100	4 B 5 B	FO multimode	≡	100
100 B FX	100	4 B 5 B	FO multimode	≡	400
gigabit	1000	8 B 10 B	FO monomode	≡	5000

1-10 Bilan comparatif entre Transmission Série Asynchrone et Transmission Série Synchronne.

Transmission Série Synchronne.

Flot ininterrompu de bits. (trame)

H'b du désérialisateur maintenue en synchronisme avec celle de la source :

$$T'b = T_b$$

Donc transitions fréquentes nécessaires et fournies par l'unique signal de données.

Il est parfois nécessaire de brouiller ou brasser les données pour garantir une probabilité de transitions suffisantes.

Le support est exploité avec un rendement optimum. $D_b = 1/T_b$ en bits/s.

Jamais de support pour le signal d'horloge !

Transmission Série Asynchrone.

Transmission de blocs binaires courts :
Quelque octet maximum.

H'b du désérialisateur pré-réglée à T_b et déclenchée par un bit start.

$$T'b \neq T_b$$

Ce bit start définit l'horloge bloc.
L'horloge bit est synchronisée par l'horloge bloc.

Le rendement est déplorable.

Jamais de support pour le signal d'horloge !

Brassage inutile.

! Les conditions de travail pour toute l'année concernent la TSS.

1-11 Relation entre bande passante du support de communication et débit de signaux.

La figure 1-21 présente une suite de signaux de durée T_s de forme rectangulaire définis par la fonction porte. Dans la plupart des cas, le support à un comportement en fréquence comparable à une fonction de filtrage passe bas limitée à ΔF Hz.

On estime que le récepteur à seuil est capable de discerner deux niveaux, autour de 0V, tant que la sinusoïde de période $2T_s$ est transmise par le filtre de bande passante $\Delta F = F = 1/2T_s$.

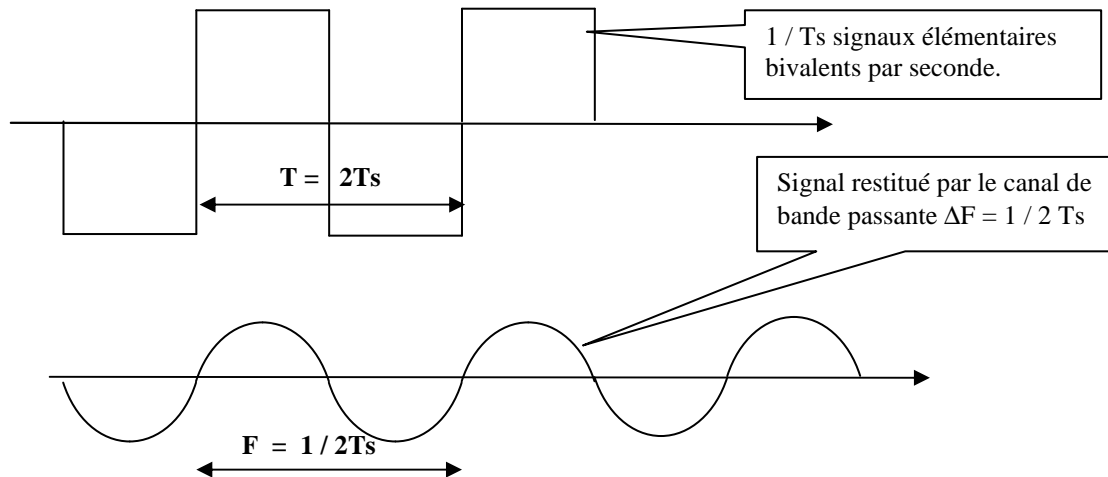


Figure 1-21 Le filtrage idéalisé, coupant à $F = 1/2T_s$, du signal carré.

Le canal présente donc la capacité de transmettre un sinusoïde de fréquence $\Delta F = 1/2T_s$, c'est-à-dire de transmettre aussi $1/T_s$ signaux détectables par seconde.

Ceci définit la capacité maximum C_{max} , en débit de signaux, soit $1/T_s = 2 \Delta F$.

Pour un signal bivalent le débit max est donc $C_{max} = 2 \Delta F$ en bits / s.

On dit aussi que la rapidité de modulation maximum passant dans la bande de largeur ΔF en Hz, vaut $RM = 2 \Delta F$

On sait aussi que pour passer L bits à la fois sur une durée de signal élémentaire T_s , il faut utiliser 2^L niveaux, c'est-à-dire un signal de valence $V = 2^L$.

Par conséquent, pour un signal élémentaire portant L bits la capacité en bits par seconde ou débit binaire vaut :

Pour un signal à 2^L niveaux alors $Db_{max} = 2 L \Delta F$ en bits / s

En introduisant la valence V liée à L par $L = \log_2 V$, on obtient :

$$Db_{max} \text{ (bits/s)} = 2 \Delta F \log_2 V = \Delta F \log_2 V^2$$

Bien entendu ce raisonnement idéalisé sur les signaux parfaits représentés en 1-21 ne tient plus avec des signaux bruités.

On montre que le nombre d'états détectables (quasi sans erreur) croît avec la puissance moyenne du signal nommée S , qui croît avec V^2 le carré de la valence.

Par contre la puissance moyenne de bruit B fait décroître le nombre d'états discernables.

Shannon (1948) a donné une forme plus réaliste à l'expression de la capacité d'un canal.

$$C_{max} \text{ (bits/s)} = \Delta F \log_2 V^2 = \Delta F \log_2 (1 + S/B) =$$

$$(\Delta F / 0,3) \text{Log}_{10} (1 + S / B)$$

On sera réaliste sur le sens de cette expression qui conduit à une capacité illimitée avec une puissance moyenne de signal infinie.

NB: $\log_{\alpha} x = \log_{\alpha} \beta \cdot \log_{\beta} x$.

$$\text{Log}_{10} (1 + S / B) = \log_{10} 2 \cdot \log_2 (1 + S / B) = 0,3 \log_2 (1 + S / B) .$$

Prudence: on augmente le débit binaire qu'à condition d'injecter une puissance de plus en plus grande !

Ex: la ligne bifilaire RTC présente une bande exploitable ΔF de 3kHz avec un S/B de 20dB on peut espérer une capacité de $C_{max} =$

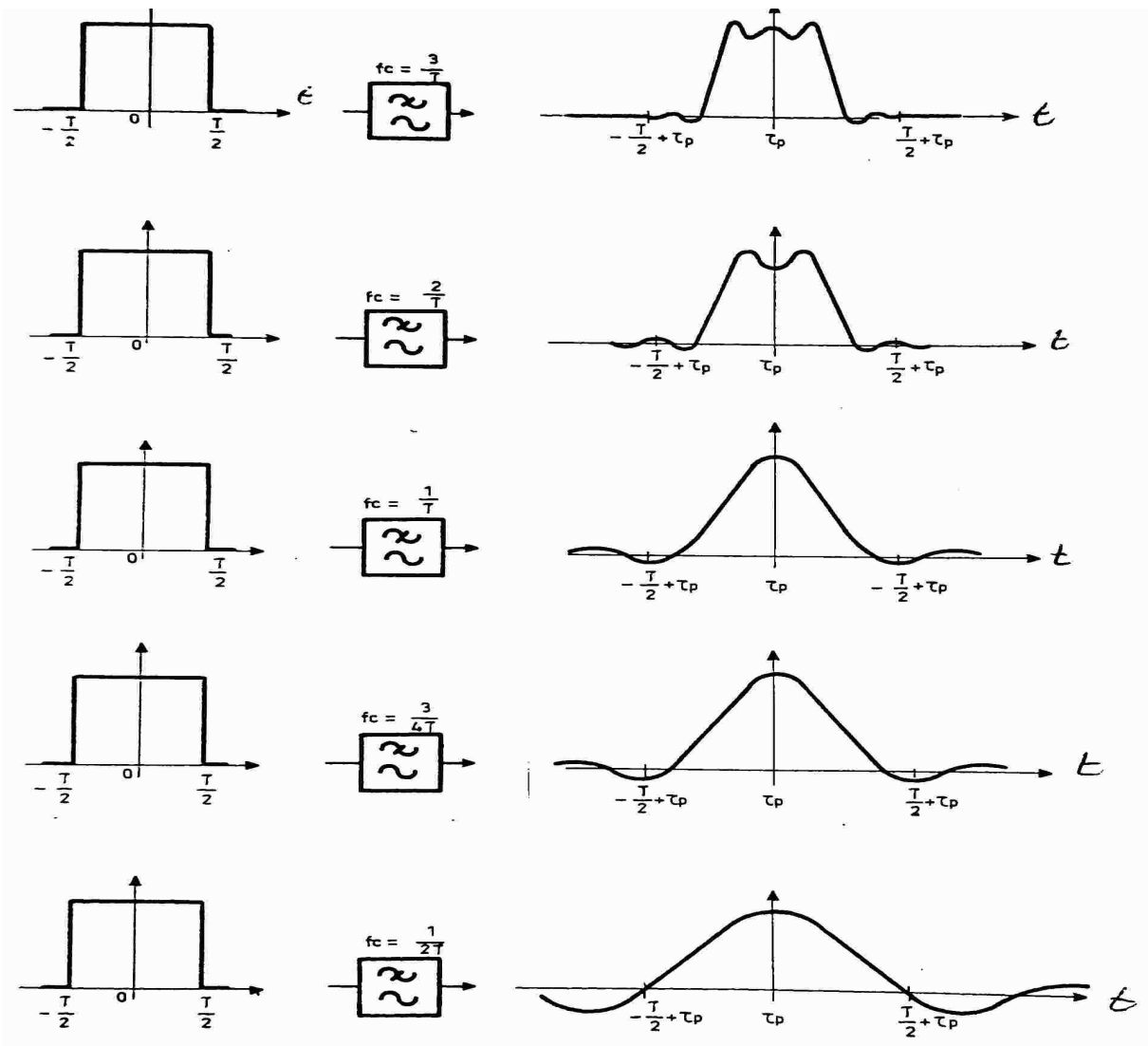


Fig 1-22 La porte de durée T filtrée par un passe bas idéal de coupure F_c .

La réponse de la porte filtrée montre qu'une rapidité de modulation $RM = 1/T$ passe avec une amplitude maximum dans une bande limitée à $F_c = 1/2T$

Annexe : L'essentiel de 802.3

Tableau récapitulatif des travaux de la commission IEEE 802 limité aux couches basses des réseaux normalisés

LLC		Couche liaison pure : IEEE 802.2 - LLC - Link Layer Control -		TOKEN BUS		TOKEN R
MAC	CMA/CD	Large bande	802.3	coaxial	802.4	802.5
		1, 5, 10 M bit / s	→	1, 5, 10 M bit / s	↑	↑
COUCHE PHYSIQUE		Bande de base coaxial 1, 10 M bit / s	→	Bande de base paires torsadées 10 & 100 M bit / s	↑	↑
				Fibre optique 5, 10, 20 M bit / s		Paires torses blindées 1,4 M bit

Autres travaux de la commission IEEE 802

Standard	Spécifications
IEEE 802.1	Réseaux pontés
IEEE 802.2	LLC Logical Link Control
IEEE 802.3	Standard technologie Ethernet
IEEE 802.4	Standard Token Bus
IEEE 802.5	Standard Token Ring
IEEE 802.6	Réseau Métropolitain (M.A.N.)
IEEE 802.7	Techniques " bande de base "
IEEE 802.8	Techniques Fibre Optique
IEEE 802.9	Intégration Voix-Données (V.D)
IEEE 802.10	Sécurité Réseau
IEEE 802.11	Réseaux locaux sans fil
IEEE 802.12	100 VGF-AnyLAN

Dénomination	Débit (Mbit/s)	Codage ligne	Support physique	Topologie	Portée (m)
Classique	10		coaxial fin	bus en ligne	500 m
10baseT	10	biphase	paires torsadées non blindées		100 m
10baseFx	10		fibre optique multimode		2 000 m
100baseT	100		paires torsadées non blindées	étoile	
100baseFx	100	4B5B	fibre optique multimode		400 m
Gigabit	1 000	8B10B	fibre optique monomode		5 000 m

→ L'organisme américain d'études de standards industriels IEEE (Institut of Electric and Electronic Engineers) avait nommé, en février 1980, une commission réunissant de nombreux membres de compétences complémentaires pour statuer sur une norme pour les réseaux locaux afin d'éviter la mise sur le marché d'innombrables systèmes disparates.

→ Cette commission prit le nom de IEEE 802 eu égard à la date de sa fondation. Elle dut tenir compte des exigences de l'industrie qui n'étaient pas toutes convergentes, surtout pour la réalisation des couches basses.

→ Elle opta pour la normalisation de trois couches physiques dont elle chargea trois sous-commissions :

- IEEE 802.3 pour Ethernet
- IEEE 802.4 pour Token Bus
- IEEE 802.5 pour Token Ring

Une seule couche de liaison commune en trois versions fut proposée pour les trois réseaux physiques sous la responsabilité de la commission IEEE 802.2.

Cette couche s'appelle LLC (Logical Link Control) dont les trois versions LLC 1, LLC 2, et LLC 3, assurent des degrés de sécurité différents.

Pour adapter les différentes couches physiques à l'unique couche liaison, il fut créé une couche intermédiaire dite MAC (Media Access Control) pour chacune des couches physiques.

IEEE 802

Différencie deux niveaux de couche physique pour chaque type de réseau :

- une couche d'interface électronique ou optique au médium de transmission

- une couche MAC d'accès multiple au réseau

Une couche liaison unique LLC - en trois versions 1 - 2 - 3

