

**Cours de téléinformatique et protocoles de
communication**

Professeur : Mme Stella Marc-Swecker

Université Louis Pasteur
Strasbourg

Chapitre 1 - Introduction aux réseaux informatiques	3
1. Historique et évolution des réseaux (informatiques)	3
1.1 Historique.....	3
1.2 Objectif des réseaux.....	4
1.3 Classement des réseaux.....	4
1.4 Evolution des réseaux	4
2. Topologies et communications	5
2.1 Topologie.....	5
2.2 Commutation.....	6
2.2.1 Commutation de circuits.....	6
2.2.2 Commutation de message	6
2.2.3 Commutation par paquets	7
2.2.3.1 Commutation par paquet en mode circuit virtuel (CV)	7
2.2.3.2 Commutation par paquets en mode datagramme.....	8
2.2.4 Commutation de cellules.....	8
3. Protocoles et normalisation.....	8
3.1 Protocoles.....	8
3.2 Organismes et normalisation.....	8
4. Modèle OSI de l'ISO	9
4.1 Exemple de communication linéaire.....	9
4.2 Exemple de communication dans un réseau	9
5. Modèle TCP/IP d'Internet.....	13
5.1 Objectifs.....	13
5.2 Historique et principes	13
5.3 Normalisation.....	14
6. Comparaison OSI/Internet	14
Chapitre 2 – La couche physique.....	15
1. Bases théoriques de la transmission de données.....	15
1.2 Bande passante.....	16
1.3 Relation entre le débit binaire et les harmoniques	18
1.4 Rapidité de la transmission	18
1.5 Théorème d'échantillonnage.....	19
1.6 Débit maximum d'un canal.....	19
2. Représentation (ou codage) des bits	21
2.1 Transmission en bande de base.....	21
2.1.1 Code NRZ (non retour à zéro)	21
2.1.2 Code biphasé ou Manchester	22
2.1.3 Code biphasé (ou Manchester) différentiel.....	23
2.1.4 Code bipolaire.....	23
2.1.5 Code BHDn (Bipolaire à Haute Densité d'ordre n).....	24
2.2 Transmission à large bande.....	24
2.2.1 Modulation d'amplitude.....	24

Chapitre 1 - Introduction aux réseaux informatiques

1. Historique et évolution des réseaux (informatiques)

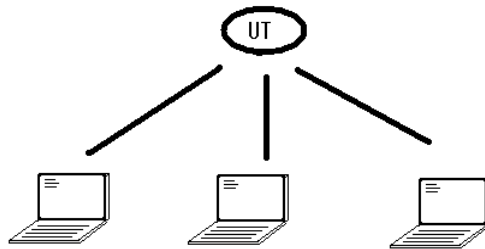
1.1 Historique

Téléinformatique : mariage télécom et informatique

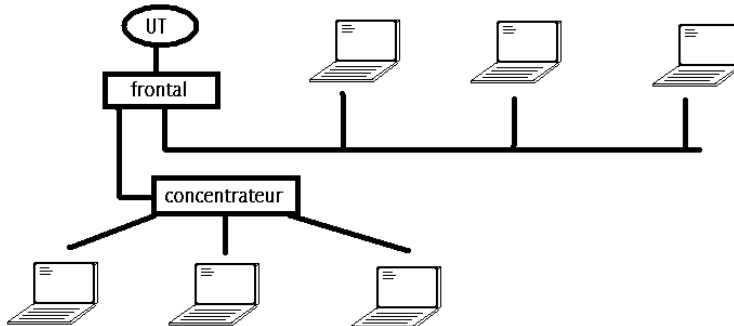
Système de télétraitement (année 70)

UT=Unité de Traitement

Différents type de connexions



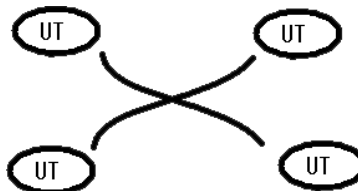
Type 1 : On perdait beaucoup de temps dans la gestion des terminaux de l'UT.



Type 2 : Avec un serveur intercalé.

Dans les années 70, interconnexion des UT :

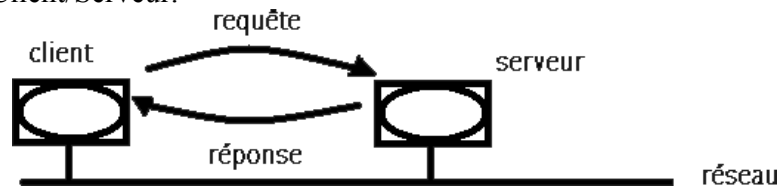
- au sein d'un réseau local



- au sein d'un réseau large distance. Réseau dédié aux transferts de données numériques (TRANSPAC par exemple)

1.2 Objectif des réseaux

Partage des ressources
Fiabilité (par exemple : copies multiples, décentralisation)
Réduction des coûts
Modularité (ajout graduel de performances)
D'où le modèle Client/Serveur.



Conclusion : Dans les années 80 les réseaux sont vu pour des motivations utilitaires (entreprise). Puis dans les années 90 les motivations sont plus sociologiques (Internet).

1.3 Classement des réseaux

Du plus petit au plus grand.

- Serveur locaux LAN (Local Area Network) :
 - géographiquement restreint.
 - débits élevés.
- Réseau Métropolitain MAN (Metropolitan Area Network)
- Réseau longue distance WAN (Wide Area Network)
 - Echelle du pays
 - Plus lent que les LAN

1.4 Evolution des réseaux

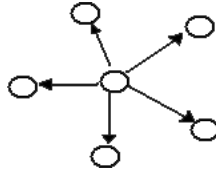
Réseau à intégration de service : véhicule données multimédia.
(Ex : différence entre ftp au débit "saccadé", et la transmission de la voix, du son et de l'image.)
Exemple : NUMERIS débit de 64kbps (insuffisant actuellement, car c'est un RNIS à bande étroite)
RNIS : Réseaux Numériques à Intégration de Services
On passe donc au RNIS à large bande implémenté par la technologie ATM (Asynchronous Transfer Mode). C'est une commutation de cellules.
Depuis l'apparition du haut débit de nouveaux protocoles se sont développés :

- FDDI (Fibre Distributed Data Interface)
- ATM (déjà vu plus haut)

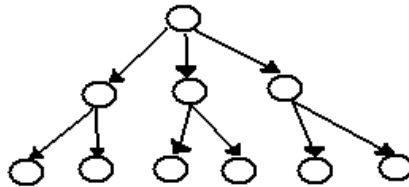
2. Topologies et communications

2.1 Topologie

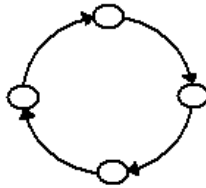
- En étoile : noeud central, d’où un problème de fiabilité. Avantage : simplicité à mettre en oeuvre.



- En arbre : structure hiérarchique. Exemple : STARLAN, EtherNet.

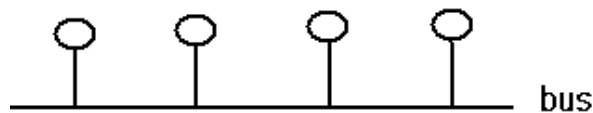


- En Structure d’anneau :



Exemple : Réseaux locaux IBM (Token Ring). Diffusion active (par rapport aux stations)

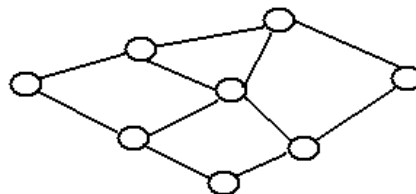
- Par bus :



Exemple : Réseaux locaux Ethernet 10 Base 5.

Diffusion “passive” de la part des stations.

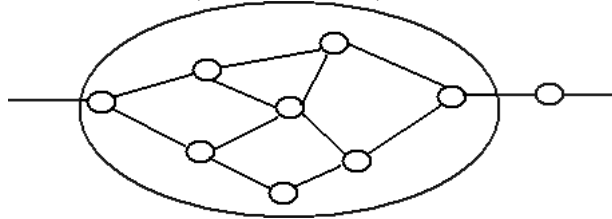
- Par Maille :



WAN classique.

2.2 Commutation

Dans un grand réseaux, noeuds dédiés (commutateurs) au relais des messages.

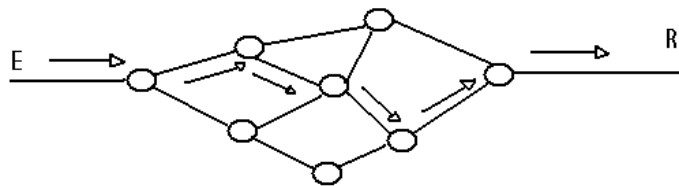


2.2.1 Commutation de circuits

Inventeur des commutateurs automatiques : Strowger USA 19eme siècle.

Circuit : suite de lignes réservées pour la durée de la communication entre un émetteur (E) et un récepteur (R).

RTC : Réseau Téléphonique Commuté.



En 3 temps :

- établissement du circuit (appel) : ouverture de connexion
- phase de transfert des données
- fermeture du circuit (raccrochage) : fermeture de connexion

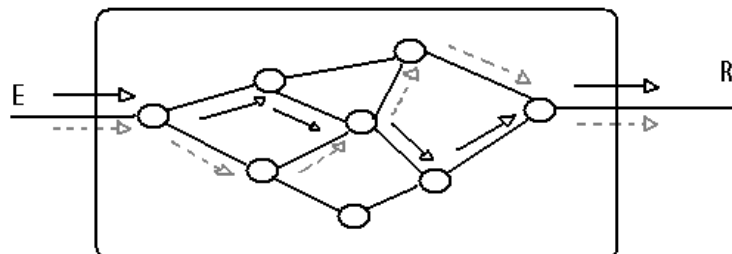
Temps d'établissement/fermeture du circuit "long"

Temps de transfert des données court (toutes les données suivant le meme chemin)

Inconvénient : gaspillage des ressources si communications à débit variable.

2.2.2 Commutation de message

Message unité d'information "sémantique", ex : télégramme fichier complet.



Pas de communication entre E et R

Le message (de taille arbitraire) progresse de proche en proche dans chaque commutateur.

Messages indépendants les uns des autres et pouvant suivre des chemins différents.

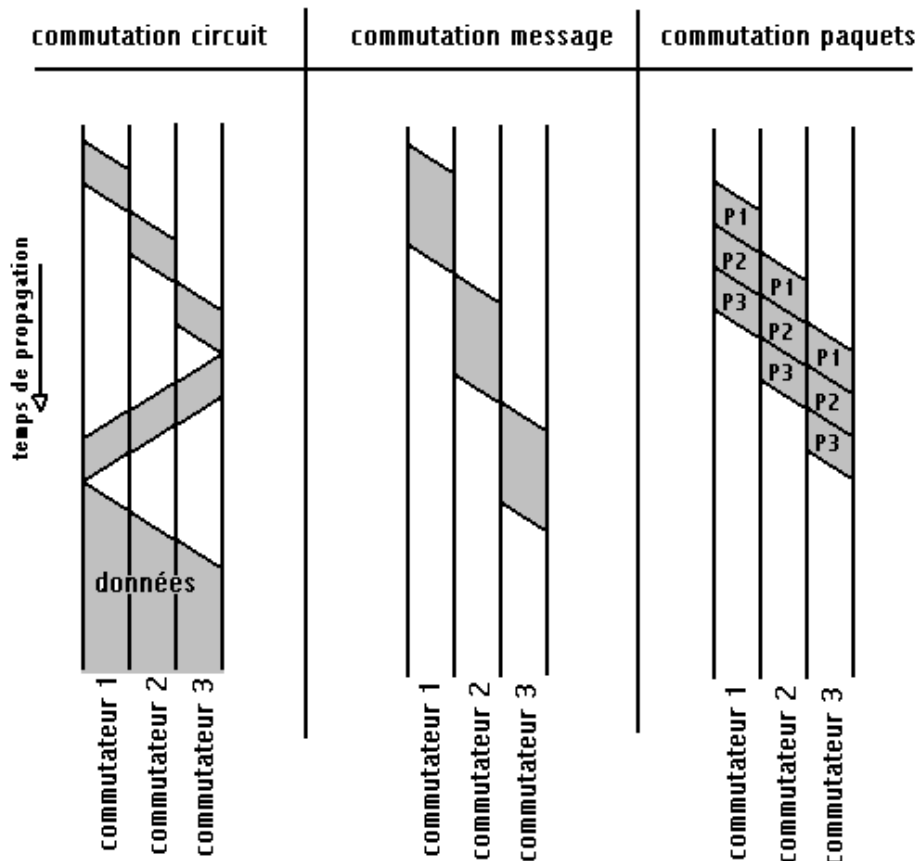
1er système : Système télégraphique.

Inconvénient : taille des messages non bornés. Les besoins de stockage des commutateurs deviennent inacceptables. Il n'existe donc pas dans els réseaux informatiques.

2.2.3 Commutation par paquets

Paquet : message de taille bornée par découpage des données.

Comparaison du temps de transfert pour 3 techniques :



Commutation = routeur

2.2.3.1 Commutation par paquet en mode circuit virtuel (CV)

Emulation de circuit.

Quand le paquet arrive dans le routeur celui-ci consulte une table et achemine le paquet en fonction de son numéro de circuit virtuel.

3 phases : établissement CV, transfert de données, fermeture du CV

Tous les paquets du même CV suivent le même chemin.

L'établissement d'une connexion permet :

- de numériser les paquet en séquences

- de mettre en oeuvre les mécanisme de contrôle d'erreur, d'où une plus grande fiabilité (lourdeur). Ce système est utilisé par X25 (TRANSPAC).
Service et protocoles orientés connexions.

2.2.3.2 Commutation par paquets en mode datagramme

Equivalent à la poste (cf. TD).

Qu'une phase de transfert de données?

Les paquets sont acheminés indépendamment les uns des autres.

Un service en mode datagramme ne garantit pas une remise fiable des données.

Avantage : efficacité

Service et protocoles sans connexion.

Livraison "best effort" utilisé dans IP (Internet Protocol)

2.2.4 Commutation de cellules

ATM

Cellule : paquet de taille fixe (53 octets). La petite taille des cellules permet de les traiter de façon optimale dans les routeurs.

3. Protocoles et normalisation

3.1 Protocoles

Problème dans la communication entre équipements distants :

- Moyen de transmission pas fiable (altération ou perte de données),
- Pas de mémoire commune (infos partielles et différés sur l'état d'un composant),
- Evénement inattendus (indéterminés),
- Hétérogénéité des matériels, systèmes, logiciels et données.

Une procédure de communication est l'ensemble des règles d'émission et de réception des messages et a pour rôle :

- de structurer l'information (différencier "données utiles" des "données du service")
- de superviser les liaisons (connexion/déconnexion, détection et reprise des erreurs,...)

Un protocole est la spécification d'un couple de procédures non nécessairement identiques (si la liaison est dissymétrique) assurant un service donné.

Exemple : Transmission fiable de données entre deux correspondants.

3.2 Organismes et normalisation

Compatibilité au niveau mondial.

- Norme : documents formels adoptés par instance commune.

- Standard : a fait l'objet d'un consensus sans démarche formelle (ex : UNIX, RFC (Request For Comment) d'Internet)

Organisme Internationaux chargé de la normalisation :

- CCIT (1865) : UIT (Union International des Télécom) puis en 1993 UIT-T

- UIT émet des recommandations techniques (ex avis V24 sur la norme RS232-C)

- ISO (International Standardisation Organisation) 1946 dont les membres sont ATNOR, OIN, ANSI, BSI,...

ISO/CEI et UIT-T Conférent

IEEE (Institute of Electrical and Electronical Engineers)

4. Modèle OSI de l'ISO

Objectif : dégager les principales fonctions liées à la communication et les hiérarchiser en couches logicielles.

4.1 Exemple de communication linéaire

- Hiérarchie de fonctionnement : couches ou niveaux

- Un niveau fournit un service au niveau supérieur. Pour ceci ce niveau utilise le service du niveau inférieur. Les règles de coopération entre les éléments (entités) d'un même niveau constituent le protocole du niveau.

Un service est caractérisé par des requêtes (flèche descendante) et des indications (flèche montante) et par une encapsulation/désencapsulation.

Cf. schéma.

4.2 Exemple de communication dans un réseau

- "Données entre processus utilisateur": on supervise l'échange des données entre les processus utilisés de bout en bout (transporter les données) indépendamment de la nature de l'application.

- "Données entre site" : on achemine les données sur le réseau sans se soucier des utilisateurs du bout au bout.

- "Données entre ordinateurs voisins" :

4.3 Architecture en couches OSI (78-80)

OSI : Open System Intercommunication

7 couches :

7. Couche application

6. Couche présentation

5. Couche session

4. Couche Transport

3. Couche Réseau

2. Couche liaison de données

1. Couche Physique

Les couches 1 à 4 sont orientées communication, alors que les couches 5 à 7 sont plus orientées applications.

Les nœuds ou commutateurs sont symbolisés par les couches 1, 2 et 3.

Rôles des différentes couches :

Physique : transfert de bites sur un canal physique (exemple : signal électrique)

Liaison : transfert de trames sur une « ligne » entre deux ordinateurs voisins.

Format de trames (construction, interprétation)

Supervision de l'échange

Réseau : transfert de paquets entre sites d'extrémités (d'où un routage des paquets)

Transport : transfert de données entre applications utilisatrices.

Contrôle « bout en bout » du dialogue

Fournit un canal « logique » éventuellement exempt d'erreurs.

(Session : établissement d'une session entre utilisateurs). Analogie au **RPC (Remote Control Call)**

(**Présentation** : Syntaxe de transfert commune). Analogie au **XDR (eXternal Data Representation)**

Application : gestion des aspects des applications utilisatrices relatifs à la communication sur le réseau.

Exemple : transfert de fichiers (**ftp**), terminal virtuel (**telnet**), mail,...

Cf. schéma : « Modèle à 3 niveau »

Entité (N)=Processus de la couche (N)

Les entités de la couche (N) **fournissent un service** aux entités (N+1)

Pour fournir le service (N), les entités (N) réalisent un protocole (N)

Pour réaliser le service (N), les entités (N) utilisent le service (N-1)

La séparation « service/protocole » permet de cacher le fonctionnement interne d'une couche aux couches adjacentes.

: Requête (N) ↓ :

Adr(N)₁ →identifie entité (N+1)₁

Adr(N)₂ →identifie entité (N+1)₂

: Indication (N) ↑

Remarque : (2') est un acquittement local au protocole (N).

$$\begin{array}{l} (1'_1) \text{ Requête (N-1)} \\ (1'_3) \text{ Indication (N-1)} \end{array} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Adr(N)}_1 \\ \text{Adr(N)}_2 \end{array} \right\} \quad (1')$$

PDU (N) : unité de données du protocole (N)

SDU (N) : unité de données du service (N)

PCI (N) : Information du contrôle du protocole (N)

Encapsulateur :

$SDU(N) = PDU(N+1)$

Car : $PDU(N) = PCI(N) + PDU(N)$

Remarque : Dans le cas des réseaux locaux, la couche liaison est divisée en 2 sous couches :

LLC (Logical Link Control)

MAC (Medium Acces Control)

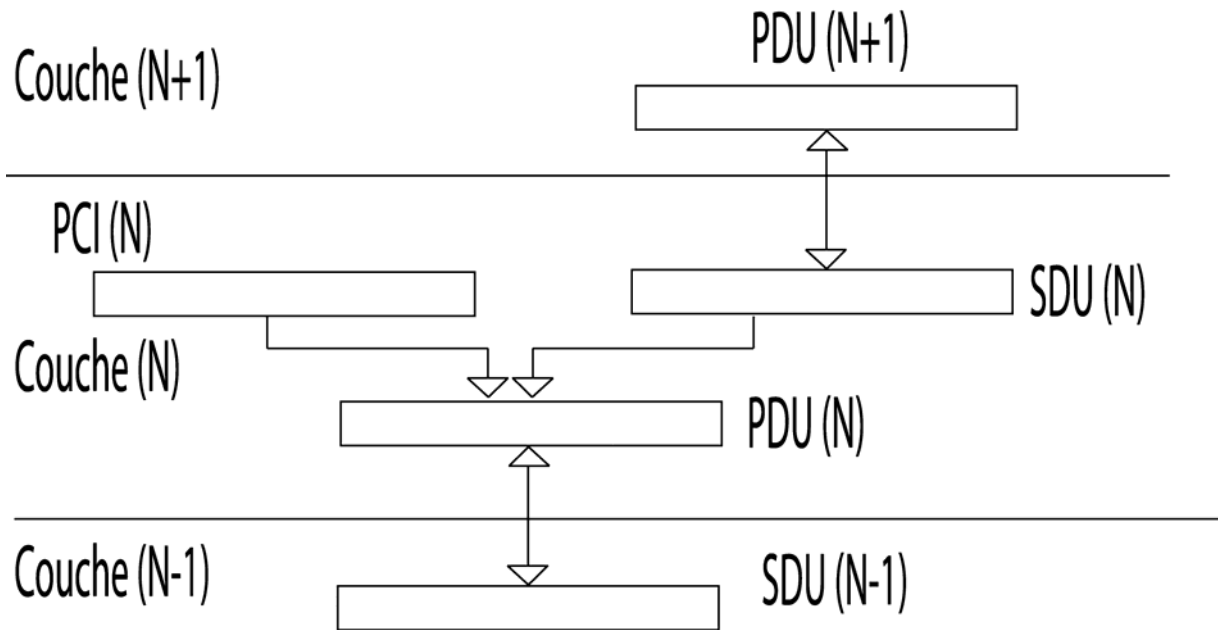
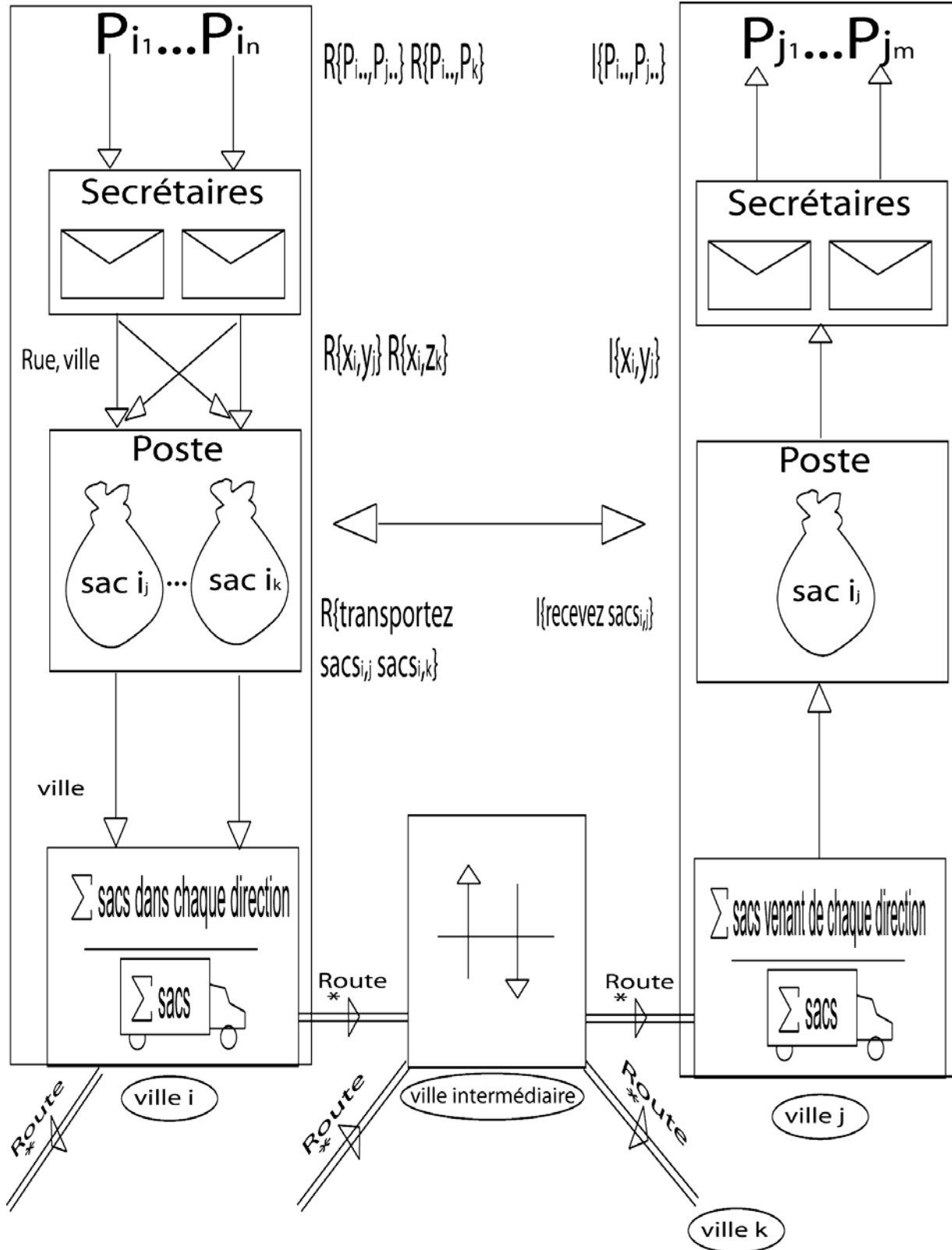
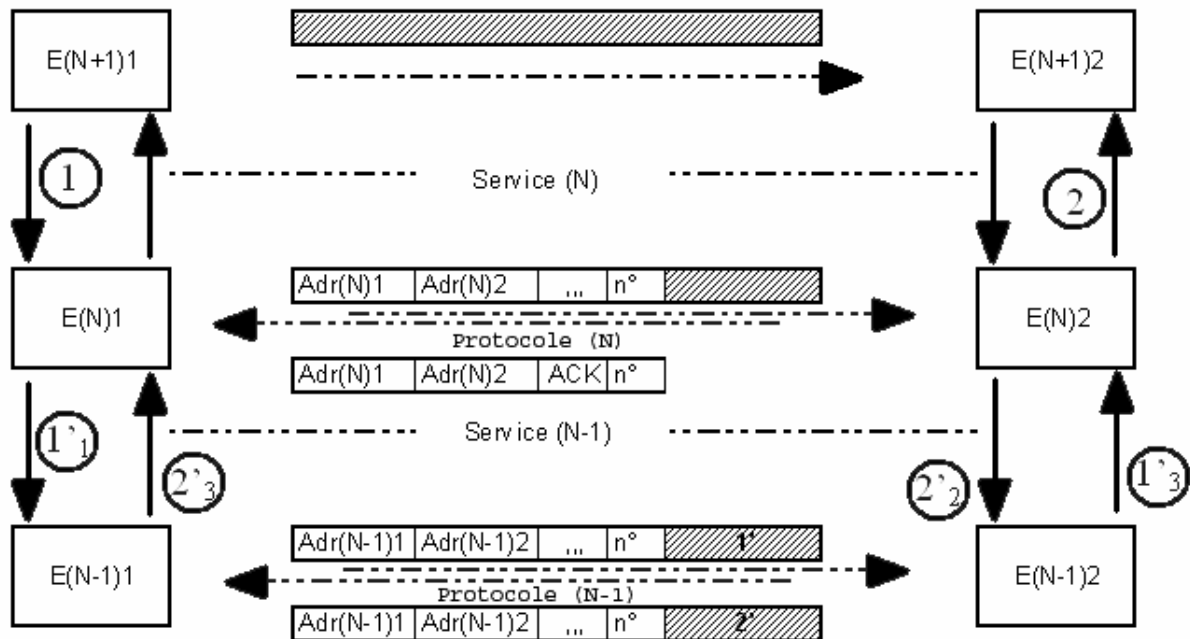


Schéma de la communication humaine



Modèle à 3 niveaux



5. Modèle TCP/IP d'Internet

5.1 Objectifs

Indépendance technique vis-à-vis des réseaux. Niveau réseau IP (Internet Protocol) qui permet n'importe quel type de service de liaison.

Connectivité universelle : tout couple d'ordinateur connecté à Internet peut communiquer. Chaque ordinateur reçoit une adresse IP (temporaire ou permanente). Chaque paquet émis contient les adresses source et destinataire.

Protocoles d'application standard : haut degré d'intégrabilité. ie : d'exécution sans besoin de connaître TPC/IP ou l'organisation de sous réseau sous jacent.

5.2 Historique et principes

Création du DARPA et d'ARPANET (milieu des années 70 pour l'armée américaine). Principe : interconnexions connexion de LAN, et communication par paquets en mode datagramme.

Internet : années 80 avec le protocole TCP/IP.

IP : protocole de niveau réseau non fiable. (Simplicité implique efficacité)

TCP (Transmission Control Protocol) : protocole au niveau transfert en mode connecté et fiable. Par un contrôle d'erreurs. Le TCP va décomposer le flot de données utilisateur en segments et va superviser l'échange. (cf. instruction C : SOCK_STREAM)

UDP (User Data Protocol) : problème au niveau du transfert non connecté. Il n'est donc pas très fiable. Les applications en temps réel préférant le service minimal et plus fiable.

Vers le milieu des années 70, l'université de Berkley (USA) développe sa version de UNIX Free BSD 4.2 qui intègre la pile des protocoles TCP/IP comprenant :

socket (n°socket = n° IP (globale) + n° port (local à chaque machine))

protocoles d'applications standard.

Dans les années 80, création de NFS et de NFSNET par des universitaires et de ANS et ANSNET par des industriels.

En France, UUCP et USENET connectent les universitaires à Internet (par le CNAM en 1983).

La première connexion aux USA via Amsterdam par liaison téléphonique (X25) à lieu en 1988. C'est l'INRIA qui envoie le 1^{er} paquet IP (liaison satellite entre Sophia et Princeton).

En 1992 création de RENATER (par France Télécom pour l'exploitation) qui est un réseau dédié à la recherche universitaire. Puis en 1995 pour les industriels.

On arrive ainsi très vite à un phénomène de saturation (espace d'adressage insuffisant) du à l'IPv4 (sur 32bits) et qui sera résolu par l'IPv6 (sur 128bits).

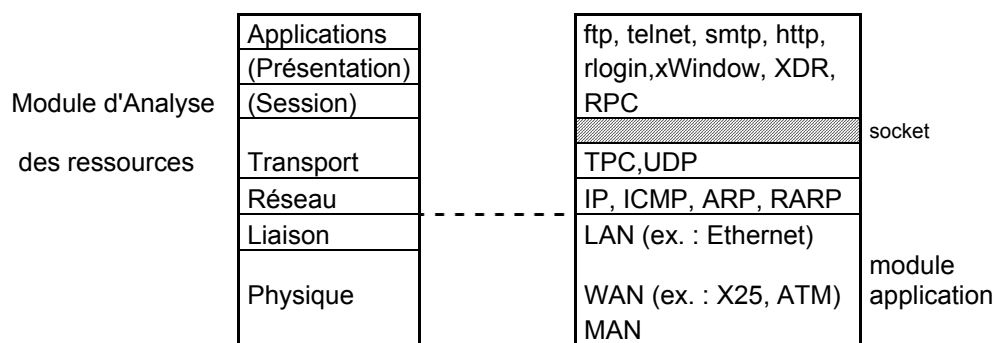
5.3 Normalisation

- ARPANET (IAB) : RFC

- IRTF et IETF (Internet Research/Engineering Task Force) + Internet Society (ISrc)

RFC → Proposed Standard → Draft Standard → Internet Standard

6. Comparaison OSI/Internet



Chapitre 2 – La couche physique

1. Bases théoriques de la transmission de données

Introduction et présentation du problème :

Les données sont transmises sous la forme de signaux sur un support (canal, média) en faisant varier les paramètres physiques des signaux par lesquels on représente les bits. (par exemple : une tension $+V=0$ et $-V=1$)

Séries de Fourier

XIX^{ème} siècle : n'importe quelle fonction périodique peut s'exprimer comme une somme de sinusoides de différentes fréquences.

Définition : Soit $g(t)$ une fonction périodique quelconque de période T . Sa décomposition en série de Fourier est :

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \left(\sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) \right) + \left(\sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft) \right)$$

$f=1/T$: fréquence fondamentale du signal $g(t)$

$c/2$: composante continue (valeur moyenne du signal)

a_n et b_n : coefficients de Fourier (donnent les amplitudes respectives des sinus et cosinus de rang n)

fréquence temporelle : s'exprime en Hertz (nombre de périodes par seconde)

fréquence spatiale (exemple : la lumière) : s'exprime en nombre d'onde (inverse de la longueur d'onde)

Chaque terme de rang n est une harmonique du signal de fréquence nf (f : fréquence fondamentale)

On peut reconstituer le signal d'origine d'autant plus fidèlement que le nombre d'harmonique est élevé.

On peut exprimer a_n , b_n et c en fonction de $g(t)$. Ainsi :

$$a_n = 2 \frac{\int_0^T g(t) \sin(2\pi nft) dt}{T}$$

$$b_n = 2 \frac{\int_0^T g(t) \cos(2\pi nft) dt}{T}$$

$$c = 2 \frac{\int_0^T g(t) dt}{T}$$

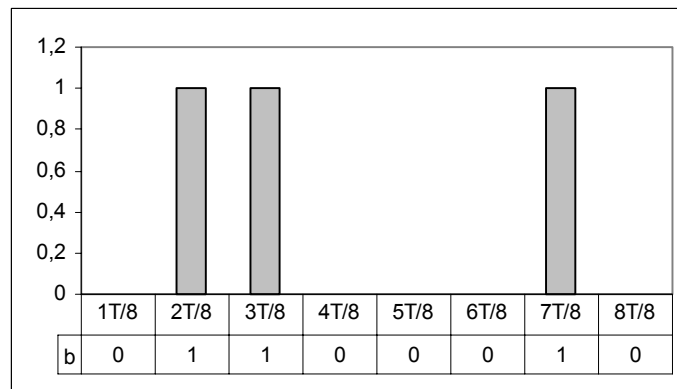
$$\int_0^T g(t) dt = H T$$

$$H = \frac{\int_0^T g(t) dt}{T}$$

Exemple :

On considère la transmission du signal formé par le caractère ASCII « b », soit : 01100010

Le diagramme suivant représente le signal de tension électrique en sortie du circuit transmetteur de l'ordinateur.



Analyse de Fourier (à faire en TD) :

$$a_n = \left[\frac{1}{\pi n} \right] \left[\cos\left(\frac{1}{4} \pi n\right) - \cos\left(\frac{3}{4} \pi n\right) + \cos\left(\frac{3}{2} \pi n\right) - \cos\left(\frac{7}{4} \pi n\right) \right]$$

$$b_n = \left[\frac{1}{\pi n} \right] \left[\sin\left(\frac{3}{4} \pi n\right) - \sin\left(\frac{1}{4} \pi n\right) + \sin\left(\frac{7}{4} \pi n\right) - \sin\left(\frac{3}{2} \pi n\right) \right]$$

$$\frac{1}{2} c = \frac{3}{8}$$

1.2 Bande passante

Un canal qui transmet des signaux leur fait subir une déformation (affaiblissement). Celle-ci dépend de la fréquence du signal transmis. Elle s'applique indépendamment à chaque harmonique du signal. C'est la distorsion.

En pratique, sur un canal, les signaux sont transmis avec des affaiblissements d'amplitude négligeable jusqu'à une fréquence f_c , **fréquence de coupure**. Fréq > f_c : signal fortement atténué. La bande passante du canal est l'intervalle des fréquences que le canal transmet sans affaiblissement.

On introduit volontairement un filtre (passe bas, passe haut, passe bande) pour restreindre la bande passante à un intervalle de fréquence donnée.

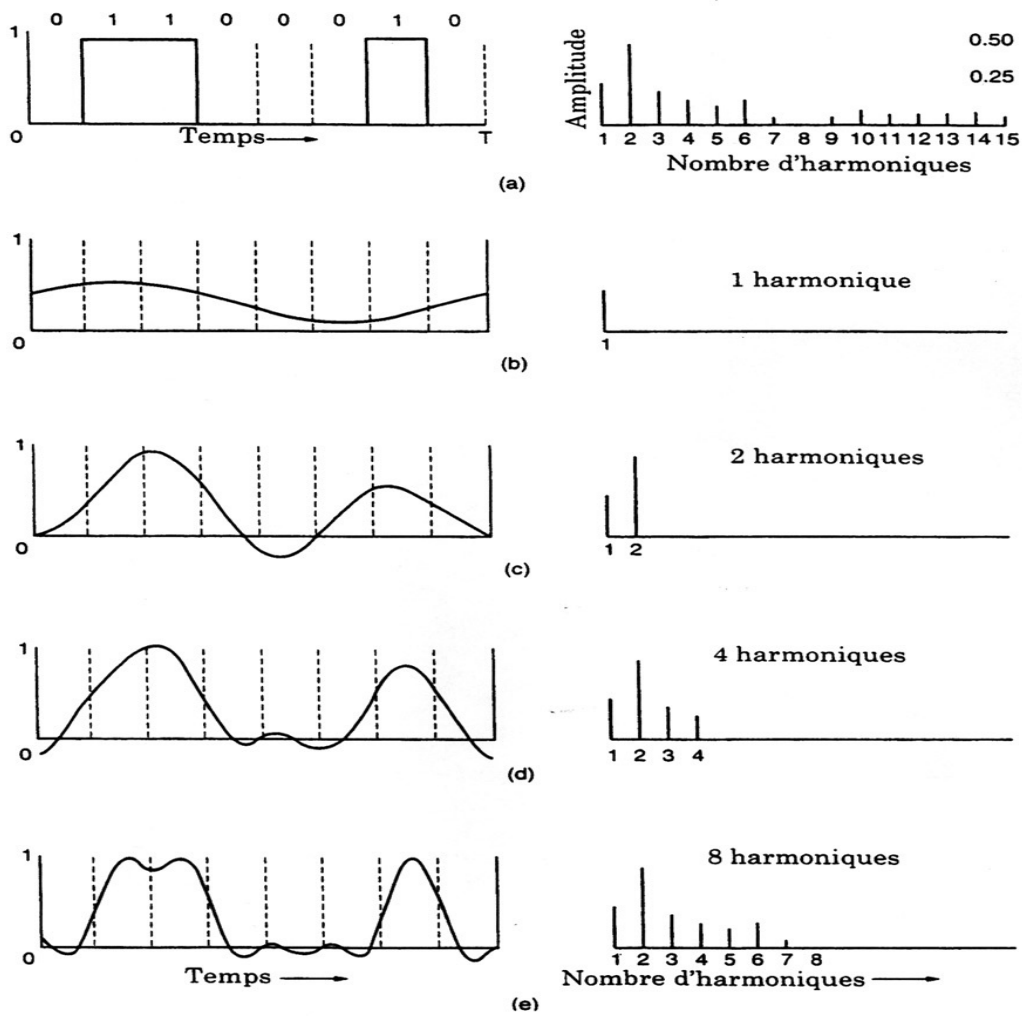


Fig. 2.1 (a) Signal numérique et ses composantes harmoniques, (b à e) approximations successives du même signal.

[Extrait du Tannebaum]

Débit (bit/s)	Période (T,ms)	Première harmonique (f,Hz)	Nombre d'harmoniques transmises
b	8/b	b/8	3000/(b/8)
300	26,67	37,5	80
600	13,33	75	40
1 200	6,67	150	20
2 400	3,33	300	10
4 800	1,67	600	5
9 600	0,83	1 200	3
19 200	0,42	2 400	1
38 400	0,21	4 800	0

Relation entre la bande passante b_p du canal et le signal transmis sur un canal : pour qu'un signal soit correctement transmis, il faut que sa bande passante laisse passer un nombre suffisant d'harmoniques principales du signal doit être incluse dans la BP du signal.

Cf. schéma des amplitudes (ci-dessus).

$An = \sqrt{an^2 + bn^2}$ =valeur des amplitudes des harmoniques de la série de Fourier.

1.3 Relation entre le débit binaire et les harmoniques

$D = 1/T$ = débit binaire exprimé en nombre de bits par secondes (bps).

Où T est la période d'un bit (info « 0 » ou « 1 » indépendamment de son codage physique). Voir l'exemple précédant du caractère « b ».

Canal de débit binaire b bps : temps nécessaire pour transmettre un caractère.

$T_c = 8/b$ s \rightarrow fréq_{fond} = $1/T_c = b/8$ Hz

Ex : liaison téléphonique classique de BP~3000 Hz (voix humaine € [300Hz, 3 400Hz])

Le nombre d'harmoniques effectivement transmises sur le canal sera : $3000/(b/8)$

Cf. tableau de la page précédente.

Conclusion : Limiter la Bande Passante (BP) limite le débit binaire maximum sur le canal.

Remarque : Le temps T nécessaire à la transmission d'un caractère dépend :

- du codage utilisé (optimisable),
- de la rapidité de transmission des signaux.

1.4 Rapidité de la transmission

(ie : rapidité de la modulation)

Rappel : $D=1/T$ bps (débit binaire)

Soit R la rapidité de la transmission : $R=1/\Delta$ bauds

Avec :

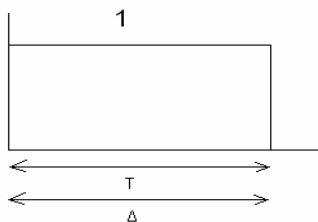
Δ = moment élémentaire : plus petit intervalle de temps pendant lequel le signal reste constant.

R = nombre de changements d'états (niveau) du signal par seconde.

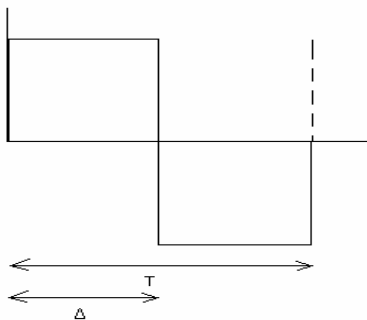
Exemple :

$T = 1\mu\text{s}$ $D = 1\text{Mbps}$

$\Delta = 1\mu\text{s}$ $R = 1\text{MBauds}$



$T = 1\mu\text{s}$ $D = 1\text{Mbps}$
 $\Delta = 0,5\mu\text{s}$ $R = 2\text{MBauds}$



On verra qu'on optimise en faisant $D=k.R$

1.5 Théorème d'échantillonnage

Démonstration par Claude Shannon et Harry Nyquist à partir de l'analyse de Fourier.

Théorème : Si un signal quelconque est appliqué à l'entrée d'un filtre passe-bas ayant une bande passante H, le signal ainsi filtré peut-être entièrement reconstitué en effectuant un échantillonnage de ce signal à une cadence égale à 2 H pas seconde. Soit : $R_{\max}=2 H$

- R fréquence d'échantillonnage = rapidité de modulation (il suffit d'échantillonner le signal au milieu du moment efficace Δ).
- H : bande passante du canal.
- R_{\max} : inutile d'avoir la fréquence d'échantillonnage supérieure.

Exemple : liaison téléphonique BP 4000 Hz ($3000+2*500$ Hz) (espaces inter-bandes)

Fréquence d'échantillonnage des voix : 8000 Hz

HiFi → fréquence d'échantillonnage : 44 000 Hz

Exemple :

Entre deux octaves du « la » il y a 28 Hz (+grave du piano).

→ tech : 56 Hz

Entre deux octaves du « la » il y a 1760 Hz (+aigu du piano).

→ tech : 3520 MHz

1.6 Débit maximum d'un canal

Conséquence du théorème d'échantillonnage :

$$D_{\max}=2 H \log_2(V)$$

Avec H = Bande passante du signal.

- V : valeur du signal (nombre de niveaux significatifs)
- $2 H = R$: fréquence d'échantillonnage
- $\log_2(V)$: nombre de bits par échantillons (ie : par niveau de signal)

Exemple :

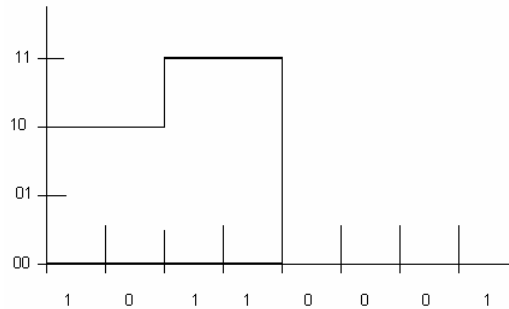
Canal de Bande Passante de 3000Hz

Signal bivalent ($V=2$)

$$D_{\max} = 600 \text{ bps } (\log_2(2)=1)$$

Pour obtenir des débits supérieurs à 600 bps on peut par exemple utiliser un signal quadrivalent ($V=4$).

$$D_{\max} = 1200 \text{ bps } (\log_2(4)=2)$$



Remarque : On ne peut pas augmenter indéfiniment le débit en augmentant la valence.

- limitation physique (nombre de niveau « trop rapprochés »)
- bruit sur le canal (Shanno)

Définition du bruit : c'est le rapport signal (transmis) /bruit (puissance des signaux parasites sur le canal)

S/N s'exprime en décibel : $10 \log_{10}(S/N)$ (dB)

Exemples :

S/N= 10 → rapport 10dB

S/N= 100 → rapport 20dB

S/N= 1000 → rapport 30dB

S/N= 2 → rapport 3dB

$10 \log_{10}(S/N)$: quantité de bruit sur le canal.

Exemple du réseau téléphonique (BP : 3000 Hz)

S/N=1000 (soit 30dB)

$$\rightarrow D_{\max} \sim 3000 * \log_2(1001) \sim 3000 * \log_2(2^{10}) \sim 3000 * 10 \sim 30\ 000 \text{ bps}$$

Définition : On appelle BP à n décibels d'intervalle de fréquence où l'affaiblissement est inférieur :

$$\text{Aff} = 10 \log_{10}(P_e/P_r) \text{ en dB}$$

Avec :

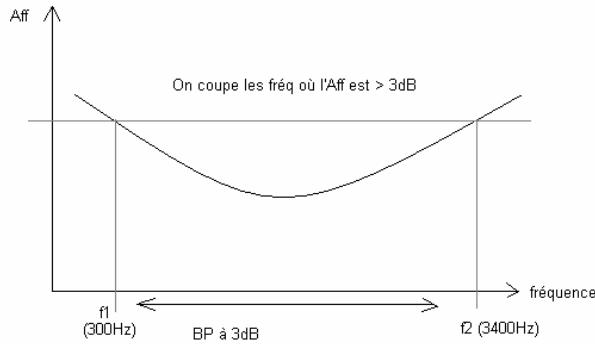
- P_e : puissance du signal émis

- P_r : puissance du signal reçu

Cas idéal : $P_e = P_r \rightarrow \text{Aff} = 0$

Exemple : cas d'un affaiblissement de 3dB ($P_e/P_r=2$)

(Soit $10 \log_{10}(S/N)=3\text{dB}$
 $\log_{10}(2)=0,3$ ($10^{0,3} \sim 2$))

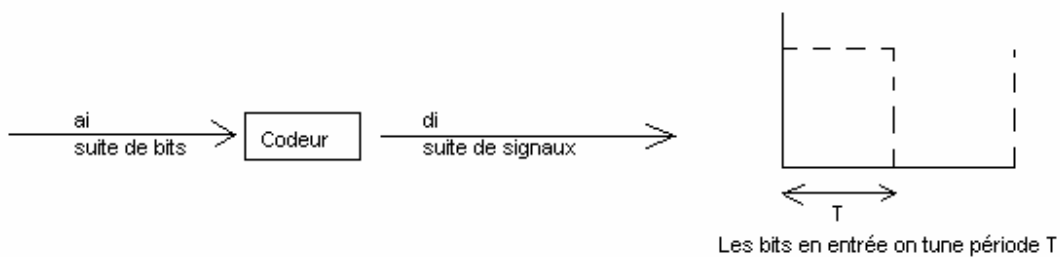


2. Représentation (ou codage) des bits

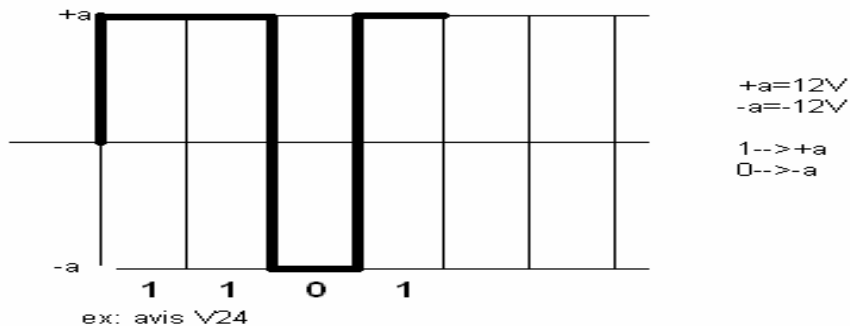
- transmission en « bande basse » : bits \rightarrow signaux « tout ou rien » \Leftrightarrow signal numérique envoyé tel quel. (marche sur courte distance (LAN))
- transmission en « large bande » : bits \rightarrow signaux sinusoïdaux (analogiques). (Obligatoire sur longue distance \rightarrow cas du Modem)

2.1 Transmission en bande de base

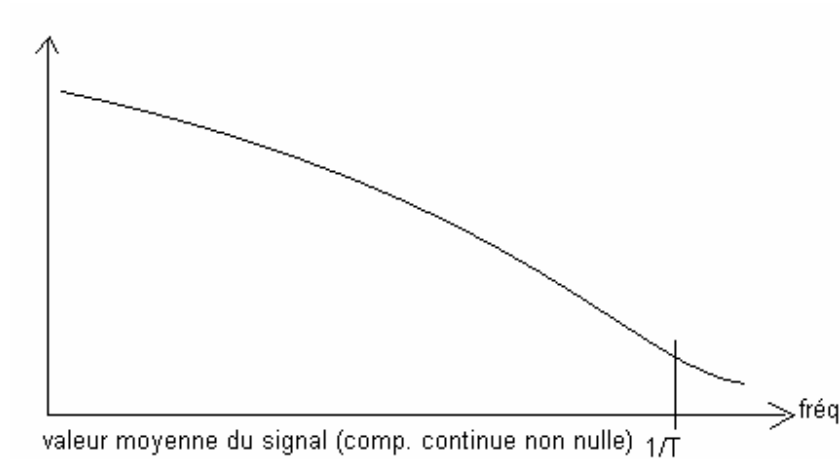
Signal numérique transmit aux transpositions de fréquences



2.1.1 Code NRZ (non retour à zéro)



Fonction périodique : série de Fourier dans un spectre des amplitudes sous forme de « pics »
Fonction non périodique : transformée de Fourier donne un spectre des amplitudes continues
 (car si T tend vers l'infini alors $f=1/T$ tend vers 0)



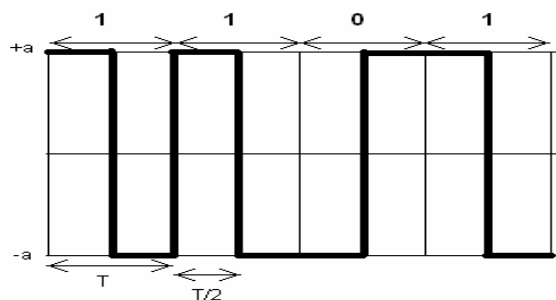
La puissance du signal est maximale au voisinage de la fréquence 0.
 → Problèmes de coupure des fréquences nulles dans équipements intermédiaire
 → Une longue suite de « 0 » ou de « 1 » engendre une perte de synchronisation
 → Code à transition

2.1.2 Code biphasé ou Manchester

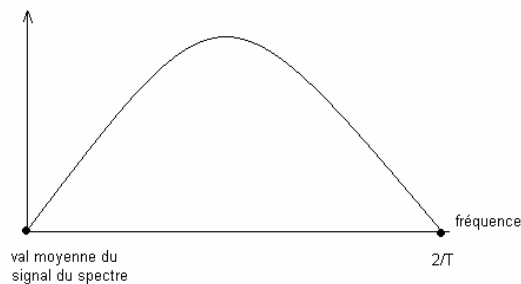
Transition au milieu de bit (pour code NRZ : $\Delta=T$, pour code à transition : $\Delta=T/2$)

Ex :

1/0 { $+a/-a$ $t \in [0, \pi/2]$
 $-a/+a$ $t \in [0, \pi/2]$



Spectre :



Plus de perte de synchronisation pour une longue suite de 0 ou de 1. ($1/\Delta$ représente l'étalement du spectre= borne maximale).

Exemple : LAN de type Ethernet (IEEE 802.3)

Avantage : pas de perte de synchronisation

Inconvénient : s'étale deux fois plus sur la bande passante que pour les codes sans transition.

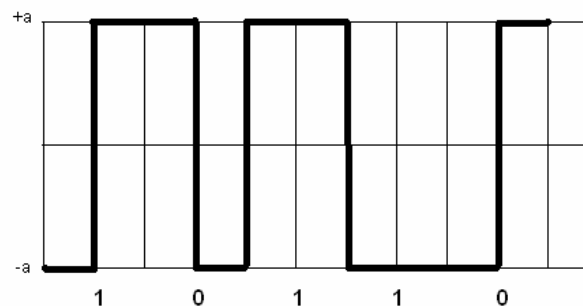
2.1.3 Code biphasé (ou Manchester) différentiel

On raisonne en fonction des transitions et non plus des niveaux qui engendre une indépendance vis-à-vis de la polarité (code symétrique).

Exemple :

1 \rightarrow 2 transition (milieu de bit et fin de bit)

0 \rightarrow 1 transition en milieu de bit.



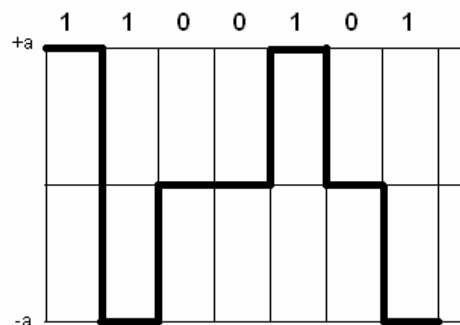
Spectre : même spectre qu'en biphase.

Exemple : Réseaux locaux anneaux à jetons (« token ring » IEEE 802.5)

2.1.4 Code bipolaire

Code à trois niveaux :

- « 0 » pour le « 0 »
- « -a » et « +a » pour « 1 »



C'est un code sans transition où la valeur moyenne du signal est nulle. Il subsiste toutefois un problème de synchronisation pour les longues suites de « 0 ». L'étalement sur la Bande Passante est comparable au NRZ (optimal).

2.1.5 Code BHDn (Bipolaire à Haute Densité d'ordre n)

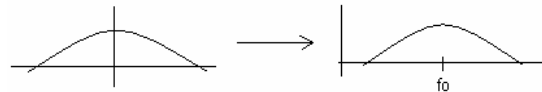
Principe : une suite de n « 0 » sera remplacée par une séquence particulière.

Exemple : ligne PTT à 2 Mbps.

C'est une transmission bande basse. Les codes à transitions sont des codes « autosynchronisants » (horloge véhiculée dans le signal). Ils sont utilisés dans les réseaux locaux lors de la transmission synchrone à haute vitesse.

2.2 Transmission à large bande

C'est une transposition de fréquence.



Le signal entrant est modulé par une porteuse sinusoïdale de la forme :

$$S(t) = A \cdot \sin(2\pi \cdot f_0 \cdot t + \varphi)$$

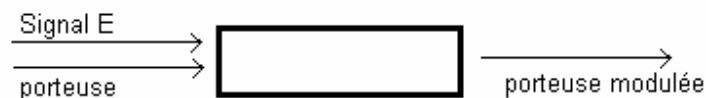
Soient :

- A : amplitude de la porteuse
- f_0 : fréquence de la porteuse
- φ : phase



Moduler le signal entrant par la porteuse consiste à faire varier un (ou plusieurs) des 3 paramètres de la porteuse (modulation de fréquence, d'amplitude et de phase).

Le spectre du signal entrant est transposé autour de la fréquence de la porteuse.



2.2.1 Modulation d'amplitude

Exemple :

$$\begin{cases} \text{« 1 »} \rightarrow A \cdot \sin(2\pi \cdot f_0 \cdot t + \varphi) & t \in [0, T] \\ \text{« 0 »} \rightarrow A/2 \cdot \sin(2\pi \cdot f_0 \cdot t + \varphi) & t \in [0, T] \end{cases}$$

Remarque : La modulation d'amplitude est sensible aux bruits.

Porteuse