

Introduction aux réseaux

M. Mahamadou TRAORE

Université Gaston Berger de Saint-Louis
UFR Sciences Appliquées et de Technologies
Section Informatique
Licence 2 Informatique & L3 ETEL

01 octobre 2021

Références bibliographiques

- ▶ Quelques ouvrages utiles
 - ▶ **Réseaux**, A. Tanenbaum, Dunod;
 - ▶ **Les réseaux**, G. Pujolle, Eyrolles;
 - ▶ **Transmissions et Réseaux**, D. Présent et S. Lohier, Dunod;
 - ▶ **Internet : services et réseaux**, D Présent et S. Lohier, Dunod ;
 - ▶ **TCP/IP**, K. Siyan, CampusPress.

Organisation pratique

- ▶ CM: 20h , Mardi de 10h à 13h (7 séances);
- ▶ TD: 16h (8 séances) ;
- ▶ TP: 12h (6 séances) ;
- ▶ Devoir et examens sessions 1 & 2 ;
- ▶ Moy (S1): $(2 \times \text{NoteExamen} + \text{NoteContrôle} + \text{NoteTP})/4$;
- ▶ Moy (S2): $(4 \times \text{NoteExamen} + \text{NoteContrôle} + \text{NoteTP})/6$;

Sommaire

1. **Chapitre 1:** Généralités sur les réseaux;
2. **Chapitre 2:** Architecture physique : topologies des réseaux locaux;
3. **Chapitre 3:** Architecture logicielle des réseaux (modèles OSI et TCP/IP);
4. **Chapitre 4:** Système d'adressage IPV4.

Définition I

- ▶ **Réseau**: Interconnexion de périphériques avec des supports de transmission (filaire ou non filaire).
- ▶ **But**: Partage de ressources, échange de messages entre utilisateurs et/ou applications.
 - ▶ Exemple: Partage de matériels coûteux (imprimante Laser)
- ▶ Utilisé chez les particuliers et aussi dans les structures privées et publiques (Réseau local).
- ▶ Exemple: ARPANET¹, SWIFT², APPLE TALK, INTERNET...
 - ▶ Infrastructure: serveurs de fichiers, web ou messagerie, cloud, etc. . .

Définition II

- ▶ Un réseau informatique permet de :
 - ▶ Accéder aux ressources partagées sur les ordinateurs du réseau ;
 - ▶ gagner du temps ;
 - ▶ faire des économies en partageant une imprimante connectée sur l'un d'eux ;
 - ▶ Partager la connexion Internet par l'intermédiaire de l'un d'entre eux (une seule connexion est partagée avec tous les ordinateurs du réseau).
 - ▶ Passerelle ou Gateway
 - ▶ Assurer l'unicité de l'information

Définition III

- ▶ Les réseaux utilisent une architecture en couches dans la transmission des données (cf. cours sur modèle OSI).
 - ▶ réduire la complexité de la communication en réseau,
 - ▶ et faciliter le dépannage et le développement des applications.
- ▶ La communication entre les nœuds obéit à des règles appelées **protocoles** de communication.
- ▶ La communication entre les couches se fait via les **primitives** de services.

¹Advanced Research Projects Agency Network

²Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunication

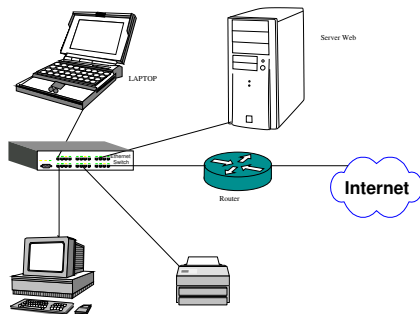


Figure: Un exemple de réseau avec quelques périphériques

Classification des réseaux

Les réseaux peuvent être classés selon plusieurs critères:

- ▶ **L'environnement** : Bureautique ou industriel;
- ▶ **La couverture géographique**: PAN/LAN/MAN/WAN;
- ▶ **Mode de fonctionnement**: Point-multipoint, point-à-point;
- ▶ **Le débit**: haut débit, moyen débit et bas débit;
- ▶ **le support physique**: Réseaux filaires et non filaires;
- ▶ **l'architecture** : Réseaux poste à poste et clients/serveurs.

L'environnement (Bureautique ou industriel ?)

► Réseaux locaux bureautiques

- Périphériques: ordinateurs, imprimantes, etc. . . ;
- Caractère privé;
- Communications **interne** (messagerie électronique) et **externe** (Internet).

► Réseaux locaux industriels

- Périphériques : robots, automates, etc. . . ;
- Caractère privé;
- Interconnexion de matériels de productions;
- Exemple: Robots, automates programmables, systèmes C.A.O;
- Robots : équipements configurés pour faire des tâches répétitives.

La couverture géographique

PAN (Personnal Area Network)

- ▶ Réseau de liaison radio faibles portées utilisé pour relier des périphériques.
- ▶ Rayon de couverture $\leq 10m$
- ▶ (LR WPAN) : Low Rate Wireless PAN
- ▶ Exemple : Norme 802.15.4, **ZigBee**, **XBee** et **Bluetooth**
- ▶ Réseaux de capteurs sans fil pour la collecte de grandeurs physiques
- ▶ Commander la fermeture/ouverture de portes ou allumage/extinction de la lumière.

LAN (Local Area Network)

- ▶ Interconnexion des équipements d'un site (salle informatique).
- ▶ Réseau local d'entreprise, généralement privé.
- ▶ **Intranet** : toute l'infrastructure réseau appartient à une même entité (Intranet gouvernemental).
- ▶ **Extranet** : toute l'infrastructure réseau appartient à des entités différentes.
- ▶ Portée: $\leq 10km$
- ▶ Exemples : **Ethernet, Token Ring, Token Bus, WiFi³, etc. . .**

³Wireless Fidelity

MAN (Metropolitan Area Network)

- ▶ Interconnexion de LANs à l'échelle d'une ville.
- ▶ Privé ou publique.
- ▶ Taille comprise entre [10, 100]Km.
- ▶ Réseau fédérateur: **GigabitEthernet, FDDI**.⁴
- ▶ Interconnecter les LANs de succursales au LAN de la maison mère d'une entreprise à l'échelle d'une ville.

⁴Fiber Data Distributed Interface

WAN (Wide Area Network)

- ▶ Interconnexion de LANs et MANs à l'échelle mondiale.
- ▶ Généralement publique.
- ▶ Taille: $\geq 100km$.
- ▶ Réseaux d'opérateur.
- ▶ Interconnexion d'équipements privés sur des sites éloignés.
- ▶ Transport de données d'un site à un autre.
- ▶ Exemple: **X-25** (Minitel), **frame relay**, **RTC**⁵, **RNIS**⁶, **Réseau IP**.

⁵Réseau Téléphonique Commuté

⁶Réseau Numérique à Intégration de Service

Mode de fonctionnement : Point-multipoint, point-à-point.

► Mode point-multipoint:

- Tous les nœuds reçoivent les données émises sur le réseau,
 - Diffusion générale de données sur le réseau (**broadcast**).
 - Diffusion restreinte de données sur le réseau (**multicast**).
- seul le destinataire les traite, les autres les ignorent.
- Différentiation des nœuds par un système d'adressage à deux niveaux (liaison et réseau).
- Exemple : Ethernet, WiFi, etc. . .

► Mode point à point:

- Les données circulent d'un nœud à un autre jusqu'à destination.
- Comme le support est partagé entre plusieurs stations, système d'adressage nécessaire.
- Exemple : Token Ring, Token Bus, RTC.

Le débit : haut débit, moyen débit et bas débit.

- ▶ **Réseaux haut débit** : LANs avec des débits ≥ 100 Mbps⁷.
- ▶ **Réseaux moyen débit**: LANs et MANs, débits compris entre [10;100] Mbps.
- ▶ **Réseaux bas débit**: WANs avec des débits ≤ 10 Mbps.
- ▶ **Remarque** : plus la taille du réseau est grande, plus le débit est faible.

⁷Mégabits par secondes

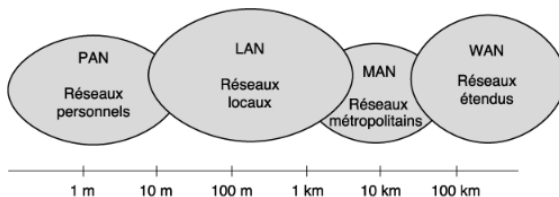


Figure: Classification des réseaux

Les caractéristiques physiques

- ▶ Les supports ou média de transmission utilisés pour interconnecter les différents périphériques d'un réseau.
- ▶ Sur un média de transmission, les données sont converties en:
 - ▶ signaux électriques
 - ▶ Les câbles de cuivre (câble coaxial, paires torsadées);
 - ▶ signaux lumineux
 - ▶ fibres optiques;
 - ▶ signaux électromagnétiques,
 - ▶ air.

Les supports sont caractérisés par:

► **La bande passante (Hz)**

- Transmission correcte des signaux dans cette Bande de fréquences;
- **BP** = $[F_{min}; F_{max}]$;
- Exemple: pour RTC: $[300;3400]$ Hz, BP = 3100 Hz;
- Sensibilité de l'oreille humaine dans la bande $[20;20000]$ Hz.

► **La portée**

- Distance maximale que peut parcourir un signal;
- Exemple : PAN < LAN < MAN < WAN

► **La capacité du support**

- Quantité maximale d'informations transmissibles sur une voie.
- Débit réel, débit utile, $Efficacite = \frac{D_U}{D_R}$

► **Affaiblissement** représente une perte du signal sur le canal.

► Il est donné par la relation: $A = 20 \log \frac{P_s}{P_e}$

La bande passante

- ▶ Les supports ont une bande passante limitée,
- ▶ sur un support de communication:
 - ▶ Propagation correcte de certains signaux (certes affaiblis, mais reconnaissables sur l'autre extrémité).
 - ▶ D'autres difficilement (tellement affaiblis, non reconnus à la sortie).
- ▶ Remarque: Plus la bande passante est large, plus le volume d'infos transporté par unité de temps est important.
- ▶ **Définition** : Bande de fréquences dans laquelle les signaux appliqués à l'entrée du support ont une puissance de sortie supérieure à un seuil donné.

Ce seuil correspond au rapport entre la puissance du signal d'entrée et celle du signal à la sortie.

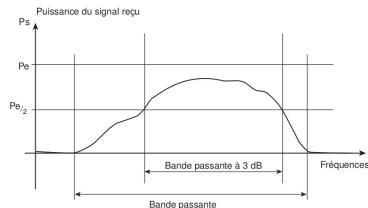


Figure: Calcul du débit binaire

Notion de bande passante à 3 dB

- ▶ Généralement, les supports sont caractérisés par leurs bandes passantes à 3dB.
- ▶ Par définition, c'est la plage de fréquences dans laquelle la puissance de sortie est au pire divisée par 2.
- ▶ En notant P_s , la puissance de sortie, et P_e , la puissance d'entrée, pour $\frac{P_e}{P_s} = 2$, on trouve : $10 \times \log_{10} \frac{P_e}{P_s} = 3dB$.

Bruits et distorsions

- ▶ Les supports affaiblissent et retardent les signaux qu'ils transportent;
- ▶ Perturbation des signaux par des bruits parasites: diaphonie...
- ▶ Perturbations environnementales (foudre, orages, champs électromagnétique).
- ▶ Déformation des signaux transportés par les supports de transmission;
 - ▶ Ces déformations peuvent gêner la bonne reconnaissance des signaux en sortie.
- ▶ Le niveau de déformation varie avec la fréquence des signaux émis.

Deux groupes de support de transmission

Les supports de transmissions peuvent être classés en 2 groupes:

- ▶ Les supports à **propagation guidée**
- ▶ Les supports à **propagation libre**

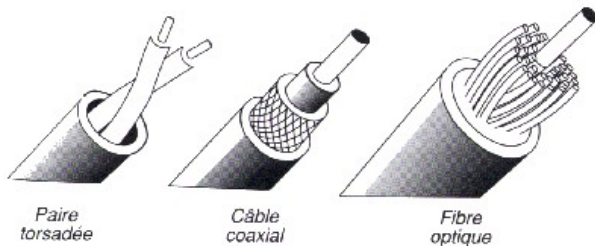


Figure: Les supports à propagation guidée

Le câble coaxial

- ▶ Supports à propagation guidée formé de :
 - ▶ 2 conducteurs concentriques coaxiaux séparés par un isolant:
 - ▶ Le conducteur extérieur (blindage) est relié à la terre.
 - ▶ Le conducteur intérieur (coeur) est isolé.
 - ▶ Il présente une bonne bande passante;
 - ▶ Peu sensible aux perturbations électromagnétiques;
 - ▶ Portée importante, faibles débits, faible Affaiblissement;
 - ▶ La capacité de transmission d'un câble coaxial dépend de la portée:
 - ▶ Sur 1 km, il offre un débit de plusieurs dizaines de Mbps;
 - ▶ Débits supérieurs possibles sur des distances plus courtes;
 - ▶ Débits inférieurs à 10kbps sur des distances supérieures;
- ▶ Plus cher, plus encombrant que les paires torsadées.

Les paires torsadées

- ▶ Autre exemple de supports à propagation guidée : **les paires torsadées**;
- ▶ Constitution: 8 conducteurs en cuivre torsadés 2 à 2;
- ▶ Intérêt des torsades: minimiser les perturbations électromagnétiques;
- ▶ Protection des perturbations extérieures,
- ▶ Transporte du signal électrique.
- ▶ Les câbles paires torsadées peuvent être blindés ou pas :
 - ▶ **UTP** (Unshielded Twisted Pair) avec 7 catégories;
 - ▶ **STP** (Shielded Twisted Pair);
 - ▶ **FTP** (Foiled Twisted pair).

Les médias optiques

- ▶ **Fibre optique:** fait de fils de verre très fin,
- ▶ Très haute performance(très haut débit, longue distance),
- ▶ Transport des données sous forme de signaux lumineux.
- ▶ Guide cylindrique (diamètre quelques μm) qui conduit un rayon optique modulé.
- ▶ Bande passante importante (débit $>$ au GBPS)
- ▶ Insensible aux perturbations électromagnétiques.
- ▶ faible encombrement et poids.
- ▶ Atténuation très faible sur de grandes distances.

Les médias optiques

- ▶ Vitesse de propagation élevée;
- ▶ Sécurité (absence de rayonnement à l'extérieur, difficulté d'écoute);
- ▶ On distingue deux types de fibre optique:
 - ▶ La fibre optique monomode;
 - ▶ La fibre optique multimode.
 - ▶ La fibre optique multimode à saut d'indice;
 - ▶ La fibre optique multimode à gradient d'indice;

La fibre optique monomode

La fibre optique monomode est caractérisée par :

- ▶ Transmission de rayons lumineux en ligne droite;
- ▶ Diamètre du coeur optique: $10\ \mu\text{m}$;
- ▶ Diamètre de la gaine optique: $125\ \mu\text{m}$;
- ▶ Nécessité d'une grande puissance d'émission:
 - ▶ (**diodes laser** très onéreuses);
- ▶ Très bonne bande passante (100 GHz);
- ▶ Portée du signal : 50 km.

Fibres optiques multimode et monomode

► fibre optique multimode

- Transmission de rayons lumineux avec réflexions successives
- Diamètre du coeur optique: 50-100, 200 μm
- Nécessité d'une puissance d'émission (**diodes électroluminescentes**).
- Diamètre de la gaine optique: 125 et 380 μm .
- Portée du signal: 10 à 30 km

► Deux types de fibre optique multimode:

- **A saut d'indice**, BP= 150 Mhz.
- **A gradient d'indice** BP= 1,5 Ghz.

Caractéristiques de la fibre optique

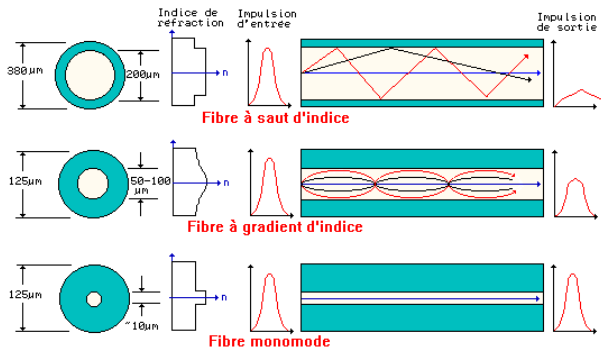


Figure: Propagation de la lumière dans les différents types de fibre

Caractéristiques de la fibre optique

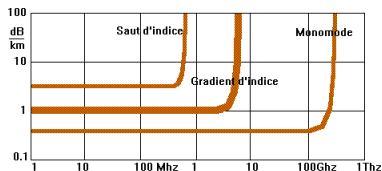


Figure: Atténuation dans les différents types de fibre

- Sur la figure 6, on constate:
 - Une atténuation constante quelle que soit la fréquence.

Éléments de transmission

- ▶ La transmission des données se fait avec des signaux.
- ▶ Un support est caractérisé par la nature du signal utilisé pour transmettre les données.
- ▶ On distingue deux types de signaux:
 - ▶ le signal analogique
 - ▶ le signal numérique
- ▶ Ceci entraîne deux types de transmission:
 - ▶ Transmission analogique avec le signal analogique
 - ▶ Transmission numérique avec le signal numérique

- ▶ **Le signal analogique** est continu dans le temps (une infinité de valeurs)
- ▶ La transmission de données avec le signal analogique consiste
 - ▶ A faire varier l'une des caractéristiques de ce signal (fréquence, amplitude ou phase),
 - ▶ Modulations de fréquence, d'amplitude ou de phase.
- ▶ Utilisation de supports de bonne qualité, souvent onéreux.
- ▶ Inconvénients: taux d'erreurs élevé, débits de transmission faibles (56Kbps sur RTC classique par exemple).
- ▶ Avantage: permet d'acheminer les données sur de longues distances.

- ▶ **Signal numérique** est discontinu dans le temps (un nombre limité de valeurs)
 - ▶ Représentation binaire du signal sur des niveaux discrets (2, 4, etc. . .).
 - ▶ Limitations sur les longues distances.
 - ▶ Avantage de la transmission numérique:
 - ▶ Utilisation des supports de transmission de moindre qualité et coût (les paires torsadées).
 - ▶ Offre des débits importants (100 Mbits/s à 1 Gbit/s).
 - ▶ Taux d'erreurs faibles : Bit Error Rate(BER), Packet Error Rate (PER).
 - ▶ Implémentation de mécanismes de contrôle et de correction d'erreurs, de contrôle flux, de compression et de cryptage.
- ▶ Le nombre d'erreurs bits (**bit errors**) est le nombre de bits altérés à cause de perturbations sur le média de transmission.

- ▶ **Bit Error Rate**: le nombre d'erreur **bit** par unité de temps.
- ▶ C'est aussi le produit du **Bit Error Ratio** et du **Bit Rate**.
- ▶ Exemple: soient un émetteur qui envoie des bits à un récepteur à un débit de 10 bits/s et un détecteur d'erreurs qui enregistre 1 erreur bit pour chaque train de 10 bits.
$$\text{Bit_Error_Rate} = \text{Bit_Error_Ratio} \times \text{Bit_Rate} = 0,1 \times 10 = 1\text{bit/sec}$$
- ▶ Supposons un autre exemple relatif à la fenêtre temporelle que l'émetteur envoie des bits au récepteur à un débit de 10 bits/s, et que le détecteur d'erreur enregistre 1 erreur bit toutes les secondes. Le Bit Error Rate sera alors donné par:
$$\text{Erreurs_bit/time_window} = 1\text{bit/seconde}.$$

- ▶ Remarque : le **Bit Error Rate** est plus utile car il indique le temps d'attente avant de rencontrer une erreur.
À titre d'exemple, un **Bit Error Ratio** de 0,1 (10%) dans le premier exemple ne semble pas bon. Cependant, s'il s'agissait d'un système fonctionnant à un **Bit Rate** de 1 bit/semaine, il n'y aurait une erreur qu'une seule fois sur 10 semaines!
- ▶ Le **Bit Error Ratio** (aussi BER) est le rapport du nombre d'erreur bit par le nombre total de bits transmis durant un intervalle de temps. C'est une mesure de performance sans dimension souvent exprimée en pourcentage.
- ▶ Le **Bit Error Probability**, la probabilité d'erreur binaire notée, P_e est relative au Bit Error Ratio.

- ▶ Exemple, soit cette séquence de bits émise 0 1 1 0 0 0 1 0 1 1 et la séquence de bits reçue suivante 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1
- ▶ Le nombre d'**erreurs bits** (les bits en rouge) est 3.
Le **Bit Error Ratio** est 3 bits erronés sur 10 bits transmis (0,3 ou 30%).
- ▶ **Packet Error Ratio** est le rapport du nombre de paquets erronés sur le nombre total de paquets reçus.
- ▶ Un paquet est incorrect si au moins un bit est erroné.
- ▶ Le **packet error probability**, pour une longueur de packet de N bits est donne par : $P_p = 1 - (1 - P_e)^N$

Valence, rapidité de modulation

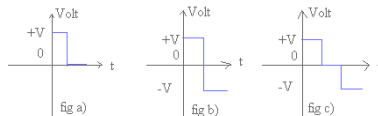


Figure: Exemples de Signaux numériques

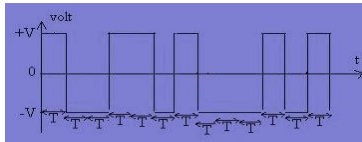
- ▶ Signal numérique: constitué d'états significatifs ($+V$, 0 , $-V$).
- ▶ **Transition** : passage d'un état à un autre.
- ▶ **Instant significatif**: moment où se produit une transition.
- ▶ **Valence**: nombre d'états significatifs.

► Transmission synchrone

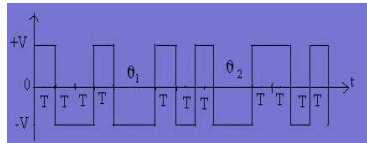
- Lorsque tous les bits d'un même message sont régulièrement espacés, on parle de transmission synchrone.
- Le début et la fin d'un bloc de données, doivent être délimités
- La durée entre 2 transitions quelconques est un multiple entier d'un intervalle de temps T .
- Existence d'une horloge fournissant la base de temps.

► Transmission asynchrone

- Le temps séparant 2 transitions quelconques irrégulier.



Synchrone



Asynchrone

Figure: Exemple de transmissions synchrone et asynchrone

- ▶ Transmission caractérisée par la rapidité de modulation **R**.
- ▶ **R** détermine la largeur de la bande de fréquences du support.
- ▶ Par définition, **R** est l'inverse de l'intervalle de temps élémentaire
- ▶ $R = \frac{1}{T}$ avec R en bauds et T en secondes.
- ▶ **R** donne la cadence de succession des éléments du signal.
- ▶ Considérons les signaux de la figure 9 ci dessous.

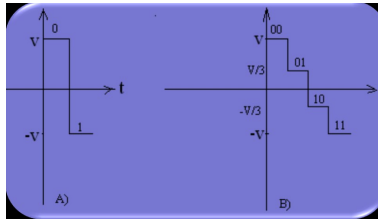


Figure: Signaux bivalent et tétravalent

- ▶ Pour un **signal bivalent** (A): chaque élément est codé sur 1 bit.
 - ▶ La quantité d'information par élément du signal est 1 bit.
 - ▶ Débit : nombre de bits transmis par unité de temps.
 - ▶ Débit(bits/s) est égal à la rapidité de modulation **R** (bauds)
- ▶ Pour un **signal quadrivalent** (B): Chaque élément est codé sur 2 bits
 - ▶ La quantité d'information par élément du signal est 2bits.
 - ▶ Le débit binaire est $D = \frac{2}{T} = 2 \times R$.

- ▶ Remarques: débit binaire et rapidité de modulation sont différents.
- ▶ Dans un environnement sans bruit, le débit dépend uniquement de la bande passante du signal. **Loi de Nyquist** pour un canal parfait sans bruit:

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

- ▶ **D** correspond au débit binaire en bits/s;
- ▶ **H** est la bande passante du support;
- ▶ **V** est la valence du signal.

- ▶ La loi de **Shannon** donne la capacité maximale d'une ligne de transmission bruitée:

$$C_{max} = H \times \log_2\left(1 + \frac{S}{B}\right)$$

- ▶ H est la largeur de la bande passante
- ▶ $\frac{S}{B}$ est le rapport signal à bruit
- ▶ La conversion en décibels donne : $x = ydB \Rightarrow 10\log_{10}(x) = y$.
- ▶ Exemple : $x = 1000db \Rightarrow y = 10\log_{10}(1000) = 30$

Les techniques de transmission sur un réseau

- ▶ Selon les types de transmissions utilisés, un équipement spécifique est placé à chaque extrémité du support :
 - ▶ Un modem (modulateur-démodulateur);
 - ▶ un codec (codeur-décodeur).
- ▶ Equipement générant des signaux en émission et les récupérant en réception;

Le rôle du Modem

- ▶ Dans la transmission de données, le modem :
 - ▶ reçoit la suite de données binaires à émettre du terminal;
 - ▶ fournit un signal dont les caractéristiques sont adaptées au support (la porteuse);
 - ▶ inversement, en réception, il extrait la suite de données binaires du signal reçu;
 - ▶ et la passe au terminal, qui continuera le traitement;
 - ▶ Ainsi, le support de transmission est transparent à l'utilisateur.

Le circuit de données

- ▶ Le support de transmission et les 2 modems constituent : le **circuit de données**.
- ▶ C'est une entité capable d'émettre ou de recevoir une suite de données binaires,
- ▶ à un débit donné, dans un délai donné et avec un taux d'erreurs dépendant du support.
- ▶ Modes : full-duplex, semi-duplex et simplex.

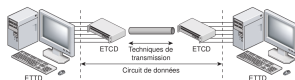


Figure: Equipement constitutif d'un circuit de données

Nomenclature périphériques réseaux

- ▶ Normalisation des noms des équipements émetteurs récepteurs par l'ISO⁸ et l'IUT-T⁹, ainsi :
 - ▶ Le modem et le codec appartiennent à la famille des **ETCD**.
 - ▶ L'ordinateur ou l'imprimante font partie des **ETTD**.
 - ▶ ETTD (Equipement Terminal de Traitement de Données).
 - ▶ ETCD (Equipement Terminal de Circuit de Données).
 - ▶ L'ETTD émetteur fournit à l'ETCD, régulièrement dans le temps, les données à transmettre.

⁸International Standardization Organization

⁹International Union of Telecommunication - section Telecommunication

La transmission synchrone

- ▶ Emission sous forme de signal à 2 valeurs(0 et 1), appelé message de données synchrone.
- ▶ Les intervalles de temps alloués à chaque symbole sont égaux.
- ▶ Ils coïncident avec les périodes successives d'une horloge
- ▶ indispensable à l'interprétation du message de données.

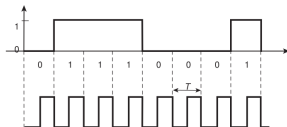


Figure: Message de données synchrone

Les techniques de transmission sur un réseau

- ▶ Certains supports autorisent une transmission directe des signaux numériques.
 - ▶ Transmission en bande de base
 - ▶ conduit à des réalisations simples et économiques,
 - ▶ mais n'est pas possible sur tous les supports.
- ▶ Pour une bonne transmission, la bande passante des signaux doit coïncider
- ▶ Lorsque ce n'est pas le cas, des techniques de modulation sont utilisées.

Codage Non Retour à Zéro

- ▶ Le message de données synchrone utilise une représentation conventionnelle de l'information.
- ▶ La plus habituelle est un signal binaire sans retour à zéro, dit NRZ.

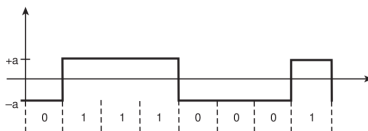


Figure: Représentation d'une information en NRZ

Transmission en bande de base

- ▶ Codage du message de données synchrone en une suite de signaux compatibles avec les caractéristiques du support.
- ▶ La suite binaire est déposée telle quelle sur le support, sans aucune transformation.
 - ▶ La limitation de la bande passante
- ▶ Le code Manchester bipolaire est le plus fréquemment utilisé dans les transmissions numériques.

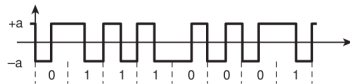


Figure: Représentation d'une information en Manchester bipolaire

Transmission par modulation

- ▶ Transmission d'une onde sinusoïdale, la porteuse,
- ▶ En fonction de la donnée à transmettre, l'ETCD modifie l'un des paramètres de la porteuse,
- ▶ Emission du signal produit pendant l'intervalle Δ ,
- ▶ Intervalle dépendant du débit binaire utilisé,
 - ▶ Plus le débit est important, plus l'intervalle est bref.
- ▶ Sur Δ , la donnée peut prendre 2 valeurs (0 ou 1),
- ▶ La valence est alors 2.

Modulation d'amplitude

- Soit une porteuse de fréquence f_0 ,

$$a \cos(2\pi f_0 t + \Phi)$$

- $d(t)$ est la suite de données binaires à transmettre.
- Δ est l'intervalle de temps durant lequel $d(t)$ vaut 0 ou 1.
 - $d(t)$ est constant sur l'intervalle $[t, t + \Delta[$
- L'amplitude du signal change en modulation d'amplitude.
 - Ainsi, pendant $[t, t + \Delta[$, le signal transmis vaudra:
 - $m(t) = (a - k) \cos(2\pi f_0 t + \Phi)$, si $d(t) = 0$;
 - $m(t) = (a + k) \cos(2\pi f_0 t + \Phi)$, si $d(t) = 1$.
 - k est une constante.
 - A la réception, pendant $[t, t + \Delta[$, l'ETCD récepteur mesure l'amplitude du signal reçu et en déduit la valeur de $d(t)$.

modulation de fréquence

- ▶ En modulation de fréquence simple, la fréquence du signal transmis change.
- ▶ Ainsi, pendant $[t, t + \Delta[$, le signal transmis vaudra :
 - ▶ $m(t) = a \cos(2\pi(f_0 - h)t + \Phi)$, si $d(t) = 0$;
 - ▶ $m(t) = a \cos(2\pi(f_0 + h)t + \Phi)$, si $d(t) = 1$.
 - ▶ h est une constante.
- ▶ A la réception, pendant $[t, t + \Delta[$, l'ETCD récepteur mesure la fréquence du signal reçu et en déduit la valeur de la donnée $d(t)$.

Modulation de phase

- ▶ En modulation de phase simple, la phase du signal transmis change avec les données.
- ▶ Ainsi, pendant $[t, t + \Delta[$, le signal transmis vaudra :
 - ▶ $m(t) = a \cos(2\pi f_0 t + \Phi)$, si $d(t) = 0$;
 - ▶ $m(t) = a \cos(2\pi f_0 t + (\Phi + \pi))$, si $d(t) = 1$.
- ▶ A la réception, pendant $[t, t + \Delta[$, l'ETCD récepteur mesure la phase du signal reçu et en déduit la valeur de la donnée $d(t)$.

Discussions

- ▶ Pour atteindre des débits élevés, on peut réduire l'intervalle Δ
 - ▶ Si on remplace Δ par $\Delta/3$;
 - ▶ $d(t)$ change alors à chaque intervalle $\Delta/3$;
 - ▶ Le récepteur n'a plus que $\Delta/3$ pour effectuer ses mesures;
 - ▶ Méthode peu fiable si on restreint trop l'intervalle de temps.
- ▶ Des combinaisons plus complexes sont utilisées pour optimiser le débit vis-à-vis de la bande passante.
 - ▶ Ainsi, la combinaison de deux types de modulations (amplitude et phase) simultanément sur une même porteuse permet d'augmenter le débit binaire.

Illustration des techniques de modulation

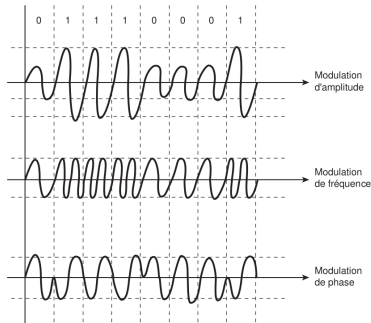


Figure: Exemple de modulations simples

Définition de la commutation

- ▶ Par définition, la commutation est le processus d'acheminement de données d'un nœud à un autre.
- ▶ Etablissement d'une liaison physique entre deux nœuds d'un réseau.
- ▶ Il existe 3 techniques de commutation :
 - ▶ circuits;
 - ▶ messages;
 - ▶ paquets.

La commutation de circuits

- ▶ Un mode d'établissement de liaisons de télécommunication.
 - ▶ Un branchement matériel de lignes joignant des terminaux.
- ▶ Les informations échangées parcourent toujours le même chemin au sein du réseau durant le temps de la session.
- ▶ Sa simplicité conceptuelle et de mise en œuvre a fait son succès et son emploi dans les premiers réseaux de communication comme le téléphone puis dans les réseaux informatiques des années 1950.

La commutation de circuits

- ▶ Elle est caractérisée par une **réserve** des ressources de communication.
- ▶ Un circuit (fréquentiel ou temporel) est établi entre la source et la destination.
- ▶ Le service est **orienté connexion**, on distingue 3 étapes:
 - ▶ Etablissement de la connexion
 - ▶ transfert des données
 - ▶ libération de la connexion

Caractéristiques

- ▶ Les liaisons entre les noeuds sont limitées à la durée des communications.
- ▶ Les données d'une même communication suivent toutes le même chemin sur le réseau.
 - ▶ Actif pendant toute la durée de la session, puis libéré à la fin de la communication.
- ▶ Les commutateurs associent à une communication, une sortie de la table de commutation.
- ▶ Exemple: RTC, RNIS, Transpac
- ▶ Application: applications à contrainte temporelle (délai de traversée du réseau constant).
- ▶ Inconvénient majeur: gaspillage possible de bande passante.

Illustration commutation de circuits I

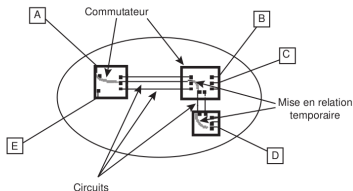


Figure: Commutation de circuit

Illustration commutation de circuits II

Délai d'acheminement en commutation de circuit

$$D_a = \frac{L}{Debit} + T_e + N \times T_P$$

L = Taille Information

T_e = delai d'établissement d'un circuit.

T_P = Temps de propagation d'une liaison

N = Nombre de liaisons séparant deux stations.

La commutation de messages I

- ▶ C'est la première technique de transmission conçue pour les réseaux informatiques.
- ▶ Un message est une suite de données binaires cohérentes.
- ▶ En transmission de message,
 - ▶ Pas de réservation de ressources.
 - ▶ l'adresse du destinataire est précisée.
 - ▶ Un émetteur envoie ses messages au premier commutateur
 - ▶ Traitement des messages dans l'ordre d'arrivée
 - ▶ Existence d'une file FIFO¹⁰ au niveau du commutateur
 - ▶ Stockage intermédiaire des messages avant leur réémission (Store and Forward).
 - ▶ Si le trafic est élevé sur la liaison, il y a attente dans la file.

¹⁰First In First Out

Caractéristiques I

- ▶ Le délai d'acheminement dépend des temps d'attente.
 - ▶ Le temps d'attente est fonction du trafic.
- ▶ Applications: adapté au trafic sporadique et non continu sans contrainte temporelle (ftp).
- ▶ Avantage: meilleure utilisation des ressources.
- ▶ Inconvénient: les délais d'attente.
- ▶ Le temps de traversée du réseau n'est pas constant.
- ▶ La taille des messages n'est pas limitée.

Caractéristiques II

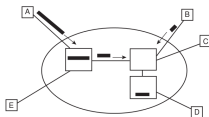


Figure: Commutation de messages

Caractéristiques III

Délai d'acheminement en commutation de message

$$D_a = \frac{(L+E_M)}{Debit} + (N-1) \times T_{Traitement} + N \times T_P$$

L = Longueur des données

E_M = Longueur entête message

$T_{Traitement}$ = délai de traitement d'un commutateur.

T_P = Temps de propagation sur une liaison

N = Nombre de liaisons séparant deux stations.

La commutation de paquets I

- ▶ Une amélioration de la commutation de messages
- ▶ Basée sur le découpage de données pour une utilisation rationnelle de la bande passante du réseau
 - ▶ Les messages sont découpés en paquets
 - ▶ Chaque paquet est composé d'un en-tête contenant des informations sur son contenu et sa destination
 - ▶ Ces informations permettent d'aiguiller le paquet sur le réseau vers son point final
 - ▶ La taille des paquets varie, mais il existe une limite maximale.
- ▶ Un nœud peut commencer la transmission d'un paquet pendant qu'il reçoit un autre paquet du même message.

La commutation de paquets II

- ▶ Store and forward
- ▶ taille des paquets limitée, meilleure utilisation de la file d'attente.
- ▶ Les délais sont plus réduits.

Illustration de la commutation de paquets

- Le message émis par A est découpé en 5 paquets, acheminés un par un par le réseau.

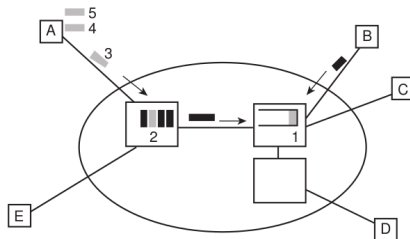


Figure: Commutation de paquets

Service orienté connexion I

- ▶ Il existe 2 modes de fonctionnement :
 - ▶ Le Mode ou service orienté connexion;
 - ▶ Le mode orienté sans connexion.
- ▶ Dans le mode orienté connexion,
 - ▶ Les paquets arrivent dans l'ordre d'émission à destination,
Circuit Virtuel.
 - ▶ Commutation de paquets émulant l'établissement d'un circuit.
- ▶ Deux types de circuits virtuels sont à distinguer :
 - ▶ Circuit virtuel commuté (SVC) :
 - ▶ circuits établis en même temps que la communication et déconnectés une fois celle ci terminée.
 - ▶ Circuit virtuel Permanent (PVC) :

Service orienté connexion II

- fournit un lien dédié entre deux terminaux

Délai d'acheminement en commutation de paquets mode circuit

$$D_a = t_e + N \times \left(T_P + \frac{l+E_P}{D} \right) + (q-1) \times \frac{l+E_P}{D}, \text{ (si } L \bmod l = 0)$$

$$D_a = t_e + N \times \left(T_P + \frac{l+E_P}{D} \right) + (q-1) \times \frac{l+E_P}{D} + \frac{r+E_P}{D}, \text{ (si } L \bmod l \neq 0)$$

L = Longueur des données

l = longueur d'un paquet

E_P = Longueur entête message

T_P = Temps de propagation sur une liaison

N = Nombre de liaisons séparant deux stations.

Service orienté non-connexion I

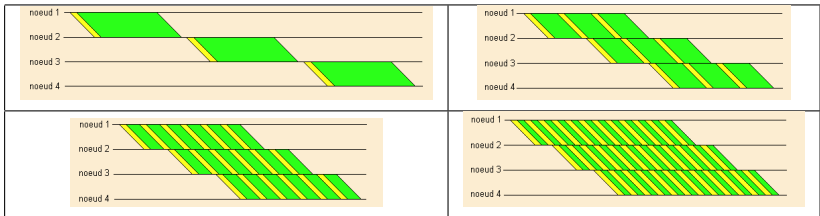
- ▶ Chaque paquet est préfixé par un entête contenant une adresse de destination suffisante pour permettre la livraison autonome du paquet.
- ▶ Les paquets empruntent des chemins différents et risquent d'arriver dans le désordre chez le destinataire.
- ▶ Un paquet transmis en mode non-connecté est appelé datagramme.

Service orienté non-connexion II

Délai d'acheminement en commutation de paquets mode datagramme

$$D_a = N \times \left(T_P + \frac{l+E_P}{D} \right) + (q-1) \times \frac{l+E_P}{D}, \text{ (si } L \bmod l = 0)$$
$$D_a = N \times \left(T_P + \frac{l+E_P}{D} \right) + (q-1) \times \frac{l+E_P}{D} + \frac{r+E_P}{D}, \text{ (si } L \bmod l \neq 0)$$

Comparaison des délais de transfert I



- ▶ Les figures ci-dessus montrent l'intérêt de la commutation de paquets par rapport à la commutation de circuits en ce qui concerne le délai de transmission.
- ▶ L'exemple est basé sur un message de 36 octets ; l'en-tête des paquets est supposé être de 3 octets.

Comparaison des délais de transfert II

- ▶ On considère plusieurs possibilités :
 - ▶ 1 seul paquet de 36 octets utiles ;
 - ▶ 3 paquets de 12 octets utiles ;
 - ▶ 6 paquets de 6 octets utiles ;
 - ▶ 12 paquets de 3 octets utiles.
- ▶ Pour la transmission de chaque paquet on doit prendre en considération le délai de propagation
- ▶ le temps de traitement de chaque paquet (examen de l'en-tête et stockage dans un buffer) ;
- ▶ il faudrait y ajouter le temps d'attente avant ré-émission (le paquet est placé dans une file d'attente) ;
- ▶ le temps d'attente est négligé dans le diagramme.

Exercice d'application I

On considère un terminal (A) qui doit transmettre un message de 1200 octets à un terminal (B). Ces deux terminaux sont reliés par deux commutateurs C1 et C2 (voir Figure 18). Les transmissions sont faites en mode synchrone, avec des débits $D1$ bps sur les liaisons d'extrémité du circuit et $D2$ bps sur la liaison centrale. On suppose qu'il n'y a pas d'erreurs de transmission pendant ce transfert et que les temps de propagation sont négligés.

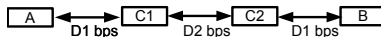


Figure: Transmission de données

Exercice d'application II

1. Si $D1=D2 = 9600$ bps, quel est le temps de transfert du message de A vers B, en commutation de messages.
2. Pour les mêmes débits, si on considère que le message est découpé en paquets de 240 octets utiles, calculer le temps de transfert du message de A vers B.
3. Mêmes questions pour des débits $D1= 9600$ bps et $D2= 64\,000$ bps.

Résumé

- ▶ Généralités sur les réseaux;
- ▶ Définition d'un réseau;
- ▶ Intérêt d'un réseau;
- ▶ Classification des réseaux
- ▶ Signaux numérique et analogique;
- ▶ Les techniques de transmission;
- ▶ Les supports de transmissions;
- ▶ Les techniques de commutation.