

# WAN2i

## Wide Area Network

Pierre BETTENS  
pbettens (à) heb.be

ÉSI - École Supérieure d'Informatique

2014 - 2015

# Organisation

## Évaluation

- *À venir*

## Supports

- Slides

## Références

- Réseaux 5<sup>e</sup> édition

*Andrew Tanenbaum et David Wetherall*

- Réseaux et télécoms

*Claude Servin*

- La formation *debian* d'*Alexis Delattre*

<http://formation-debian.via.ecp.fr/>

# Préalables

Définition

Utilité

## **WAN wide area network**

- Un WAN peut être vu comme une interconnexion de LAN
- Ce qui caractérise un WAN, c'est la **distance** entre les hôtes ... mais pas seulement
  - ce sont des **personnes différentes** qui gèrent les composants
  - les routeurs connectent des réseaux de **technologies différentes**
- Deux types de composants
  - les lignes de transmission (fil de cuivre, fibre optique, liaison radio, ...)
  - les équipements de commutation (routers)

## Utilité

Une entreprise veut connecter plusieurs filiales, géographiquement distantes, entre elles

- Par le biais de lignes louées
- via Internet, par le biais de VPN (*virtual private network*)

## Exemples

- Internet
- Le téléphone
- Les réseaux d'entreprise

# Rappels réseaux

Préalables

Modèle OSI

Modèle TCP/ IP

Ethernet

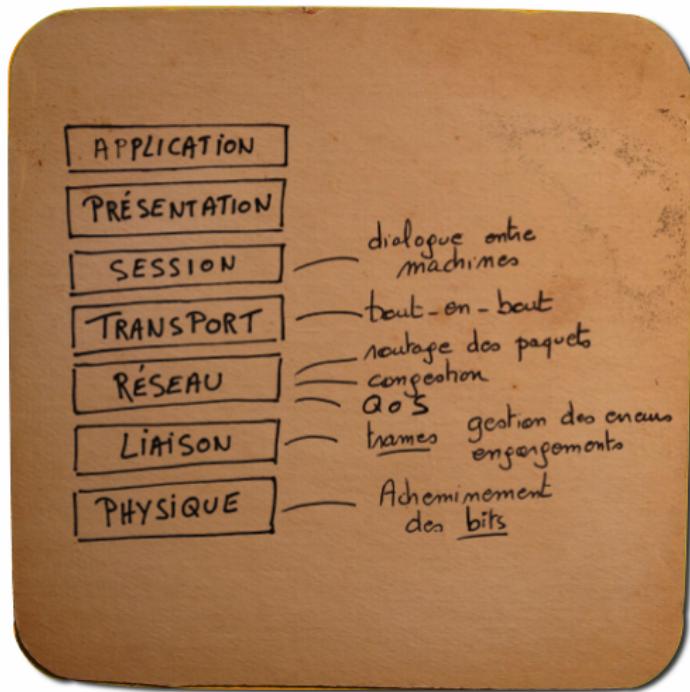
## Préalable

Afin de modéliser le fonctionnement des réseaux, la complexité est décomposée en **couches** ; chaque couche repose sur la couche inférieure afin d'offrir des services à la couche supérieure

- Modèle OSI
- Modèle TCP / IP
- Ethernet

# Rappels réseaux - Modèle OSI

Le **modèle OSI** propose un découpage en 7 couches. À ces couches sont associés des protocoles que nous n'étudions pas.



- Couche physique (*physical layer*)
  - Transmission des bits sur le support
  - Gestion des différents supports ; fibre optique, cuivre, onde radio, courant porteur, ...
- Couche liaison de données (*data link layer*)
  - Montrer à la couche *network*, une transmission sans erreurs non détectées
  - Transmet des **trames** de données
  - Doit gérer les différences de vitesse entre l'émetteur et le récepteur (engorgement)
- Couche réseau (*network layer*)
  - Transmet de **paquets** de données
  - Détermine comment les paquets sont routés d'un point à un autre
  - Gestion de la congestion et de la qualité de service

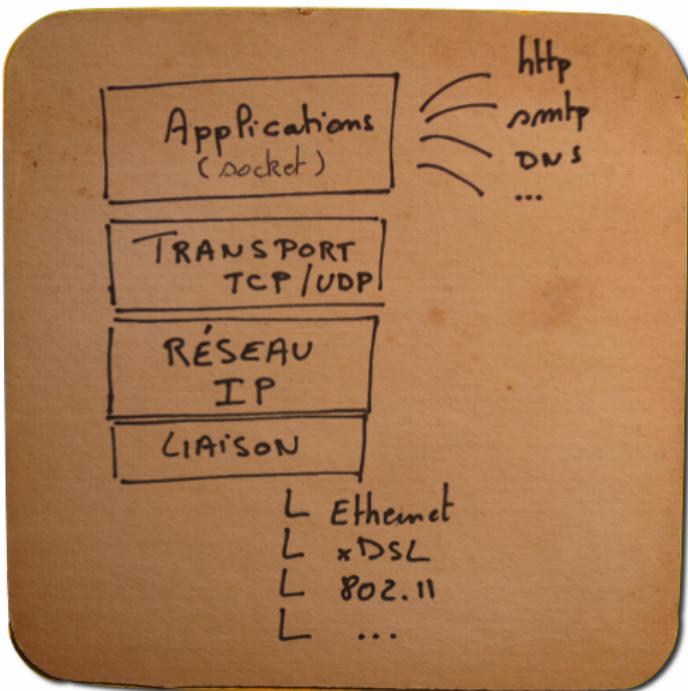
# Rappels réseaux - Modèle OSI

- Couche transport (*transport layer*)
  - Accepte des données de la couche supérieure et les transmet
  - Veille à la transmission de bout en bout
  - Autorise différents types de services ; point-à-point sans erreur, diffusion à plusieurs destinataires, ...
- Couche session (*session layer*)
  - Permet l'établissement d'une session (dialogue, synchronisation, ...)
- Couche présentation (*presentation layer*)
  - Permet une certaine abstraction des données transmises
- Couche application (*application layer*)
  - Définit les différents protocoles ; http, smtp, ftp, ...

Nous nous concentrerons sur les couches  
*physical, data link et network*

# Rappels réseaux - Modèle TCP / IP

Le **modèle TCP / IP** propose également un découpage en couches. On s'intéresse particulièrement aux protocoles associés au modèle.



# Rappels réseaux - Modèle TCP / IP

- Interface de liaison
  - Permet de faire un lien entre le support physique et l'adresse IP de la machine
  - Les protocoles associés, ethernet, SONET, xDSL, 802.x
- Couche internet (*internet layer*)
  - Permet l'introduction de paquets sur le réseau ...
  - ... ces paquets seront acheminés vers l'hôte de destination (même sur un autre réseau)
  - **Les** protocoles associés sont **IP** et **ICMP**
- Couche transport (*transport layer*)
  - Permet à deux hôtes de communiquer
  - **Les** protocoles associés sont **TCP** et **UDP**
    - TCP, protocole fiable avec connexion assure le contrôle de flux
    - UDP, protocole non fiable sans connexion
- Les applications

# Rappels réseaux - Ethernet

Deux normes proches / confondues ; **802.3** et **Ethernet**

Distinguer

- Ethernet classique
  - Débit 3-10 Mbit/s
- Ethernet commuté
  - Utilisation de commutateurs (*switch*)
  - Débit 100 Mbit/s pour «Fast Ethernet»
  - Débit 1 Gbit/s pour «Gigabit Ethernet»
  - Débit 10 Gbit/s

# Rappels réseaux - Ethernet

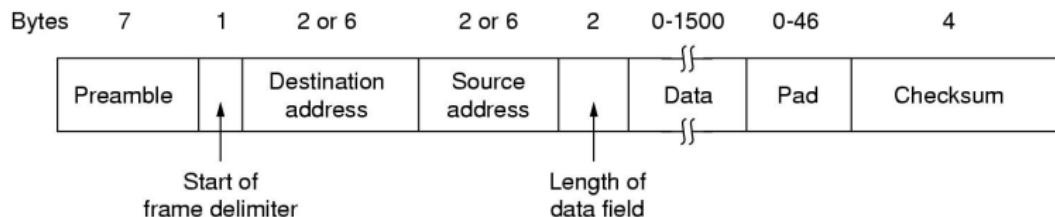
## Couche physique (*physical*)

- Jadis, cable coaxial
- Paire torsadée

## Couche liaison de donnée (*data link*)

### Sous couche d'accès au réseau (*Media Access Control*)

- Format de la trame Ethernet



Format de trame IEEE 802.3 (presque Ethernet) - Image de [Tanenbaum]

## Format de la trame Ethernet

- Préambule
  - 8 fois 10101010b pour Ethernet
  - 7 fois 10101010b pour 802.3, suivi du « Start of Frame » 10101011b
  - Le codage Manchester de ces 8 *bytes* produit un signal rectangulaire (10MHz pendant 6,4μs) permettant la synchronisation de l'horloge
- Format des adresses
  - Les champs adresses font 6 bytes
  - Appelée « adresse MAC » ; 3 premiers bytes pour le fabricant, 3 derniers pour la carte
  - Différenciation
    - Premier bit 0 pour adresse ordinaire
    - Premier bit 1 pour adresse de groupe (diffusion *multicast*)
    - Si tous les bits sont à 1 *broadcast*

## Format de la trame Ethernet (suite)

- Type de la trame (Ethernet) ou longueur (802.3)
  - Par exemple ; 0x800 pour dire que la trame contient paquet IPv4
  - Si la valeur est inférieure à 0x600, elle représente la longueur sinon, c'est le type
- Données
  - Maximum 1500 bytes
  - Minimum 46 bytes (pour que la trame fasse minimum 64 bytes)

Pourquoi imposer un minimum de 64 bytes ...

## Protocole de gestion d'accès au canal

Sur un réseau à diffusion où les participants partagent un même canal, il faut déterminer **qui** est autorisé à parler.

## Protocole CSMA/CD

- *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*
- Protocole d'accès par écoute de porteuse avec détection de collisions

## Protocole CSMA/CD (suite)

Principe

- ① Écouter le support
- ② Si personne n'émet, émettre  
sinon attendre et émettre dès que après un temps aléatoire  $\tau$
- ③ Si collision,
  - interruption de l'émission
  - pause aléatoire

... et *goto 1*

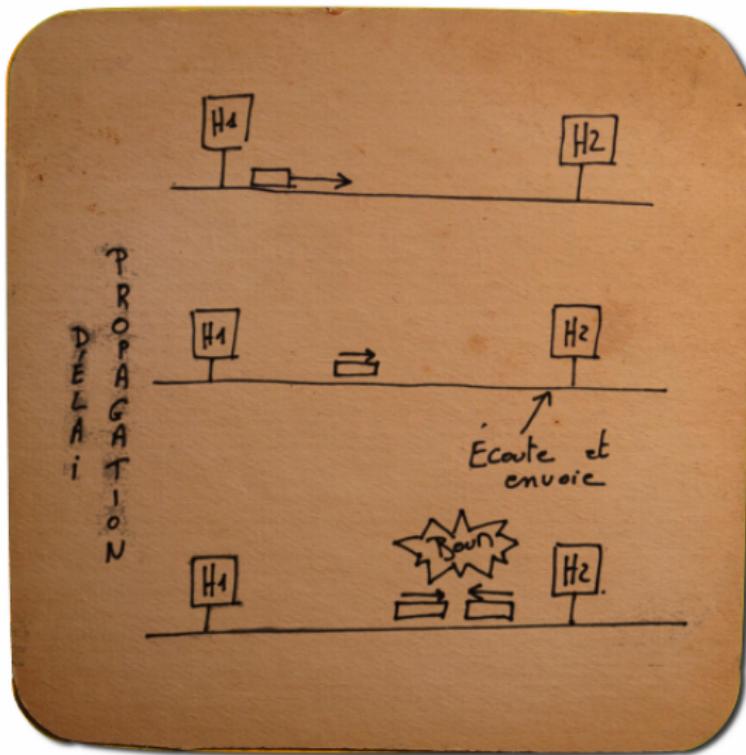
## Protocole CSMA/CD (suite)

### Collision

- Une collision **est détectée** par la réécoute de sa propre émission . . . si c'est différent, c'est qu'il y a collision
- Une collision **survient**
  - si deux envois simultanés
  - si H1 émet et H2 émet car le signal de H1 n'a pas encore atteint H2 à cause du délai de propagation

# Rappels réseaux - Ethernet

## Protocole CSMA/CD (suite)

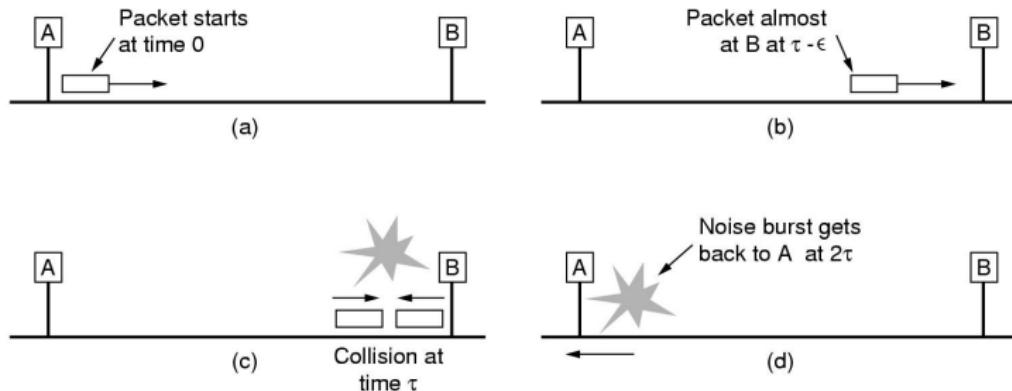


# Rappels réseaux - Ethernet

## Protocole CSMA/CD et trame Éthernet (suite)

Pourquoi fixer la longueur d'une trame à 64 bytes ?

- Le signal de brouillage peut mettre  $2\tau$  pour revenir à l'émetteur
- Dans LAN 10Mbit/s,  $2\tau$  est proche de  $50\mu s$  pour un câble de 100m de long. La trame doit donc avoir une longueur de 500 bits. On arrondi à 512 bits = 64 bytes



Détection de collision - Image de [Tanenbaum]

## Format de la trame Ethernet (fin)

- Total de contrôle (*checksum*)
  - Si erreur, la trame est supprimée
  - Valeur CRC de 32 bits

## Éthernet commuté

Le passage du câble coaxial à la «paire croisée» suite aux ruptures de liaison et la facilité d'utilisation de ces câbles amènent rapidement à l'introduction des *hub*.

- Un hub relie électriquement les câbles
- L'algorithme CSMA/CD est toujours d'actualité

L'**éthernet commuté**, c'est l'apparition du **commutateur (switch)**

- Émet les trames vers le port auquel la trame est destinée
- Abstraction de CSMA/CD puisqu'il n'y a plus de collision

## Exercice Observer le format d'une trame éthernet

- Utilisation de Wireshark
- Faire passer une trame<sup>1</sup> et repérer les différentes valeurs dans la trame ; *MAC address, type, ...*
- Constater / vérifier que le mode promiscuous ne fonctionne pas avec un *switch* mais bien avec un *hub*
- Liens / références / aide
  - Wireshark <http://www.wireshark.org>
  - <http://wiki.wireshark.org/Ethernet>

---

1. Commencer avec l'interface `lo` et ensuite avec `eth1`

# Ce qui différencie un LAN d'un WAN

L'existant

La couche physique

La couche liaison de données

La couche réseau

# Ce qui différencie un LAN d'un WAN

## Couche physique

- Le support de transmission doit pouvoir laisser passer **beaucoup** plus de données que dans un LAN
  - multiplexage
- L'existant et les « nouveaux » types de support
  - le réseau téléphonique commuté (xDSL)
  - le câble
  - la fibre optique (SONET)
- Les différents intervenants

## Couche liaison de données

- Protocoles de liaison de données

## Couche réseau

- Routage des paquets

# Multiplexage

Multiplexage fréquentiel

Multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence

Multiplexage temporel

Multiplexage par répartition de codes

Multiplexage en longueur d'ondes

# Multiplexage

## **Multiplexage**

Consiste à partager une même ligne entre plusieurs signaux  
Il est inenvisageable de «tirer» une ligne par signal

# Multiplexage fréquentiel (FDM)

## **Multiplexage fréquentiel (*FDM Frequency Division Multiplexing*)**

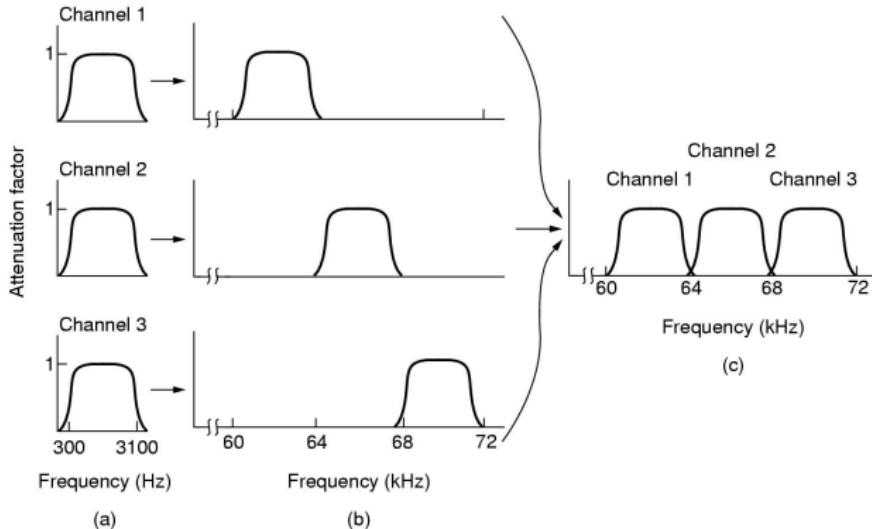
Division du spectre en bandes de fréquences

- Basé sur la transmission «passe bande»
  - Un signal qui occupe de 0 à B Hz peut être décalé pour occuper une fréquence de S à S+B Hz
- Division du spectre en bandes de fréquences, chaque utilisateur a la possession exclusive d'une bande

### Exemples

- la radiodiffusion AM
- réseaux téléphoniques, cellulaires, sans fil et satellitaires

# Multiplexage fréquentiel (FDM)



FDM - Image de [Tanenbaum]

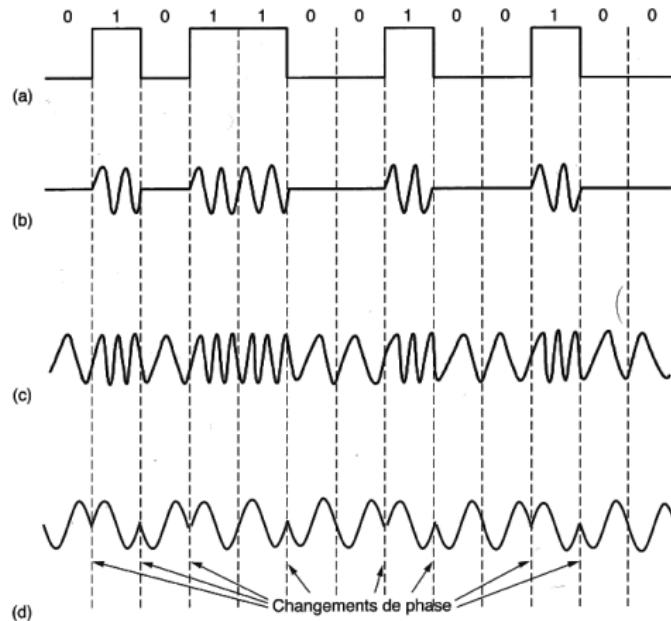
## Transmission passe-bande

En transmission passe-bande, la **modulation numérique** se fait en modifiant

- l'amplitude (*ASK Amplitude Shift Keying*)
- la fréquence (*FSK Fréquence Shift Keying*) ou
- la phase (*PSK Phase Shift Keying*)

# Transmission passe-bande

## Transmission passe-bande



**Figure 2.22** • (a) Un signal binaire. (b) Modulation par déplacement d'amplitude (ASK). (c) Modulation par déplacement de fréquence (FSK). (d) Modulation par déplacement de phase (PSK).

From [Tanenbaum]

## **BPSK Binary Phase Shift Keying**

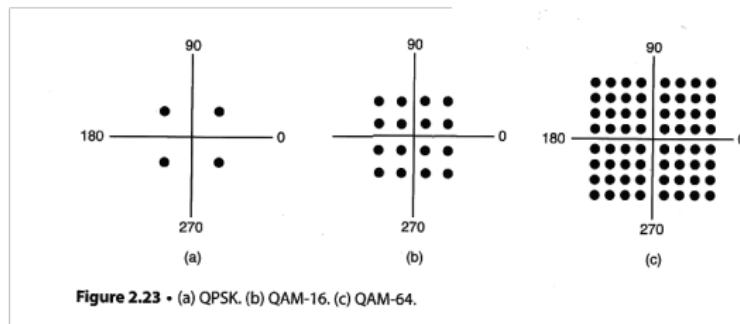
- La porteuse est décalée de 0 ou  $\pi$ , soit **deux symboles** ( $\frac{2\pi}{2}$ )

## **QPSK Quadrature Phase Shift Keying**

- On ne découpe plus en 2 mais en 4, soit  $\frac{\pi}{4}$ ,  $\frac{3\pi}{4}$ ,  $\frac{5\pi}{4}$  et  $\frac{7\pi}{4}$
- Permet de représenter 4 symboles, soit 2 bits par symbole

## ***QAM Quadrature Amplitude Modulation***

- Combinaison de PSK et AFK
- Permet de plusieurs symboles, on parle de **constellations**



# Transmission passe-bande

## **QAM Quadrature Amplitude Modulation (suite)**

- QAM16, QAM64, ...
- Association des bits aux symboles de manière à minimiser les erreurs dues au bruit, **code de Gray**

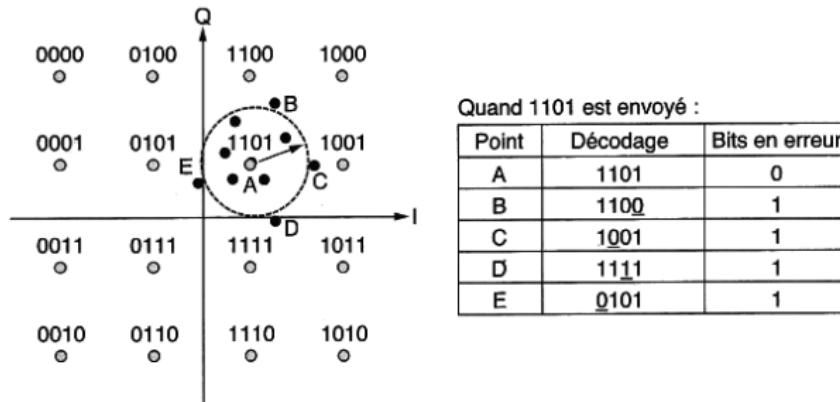


Figure 2.24 • QAM-16 et code de Gray.

# Multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM)

## **Multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)**

Division du spectre en plusieurs sous-porteuses

- Basé sur QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*), technique de modulation par variation de phase et de fréquence
- Les signaux de chaque sous porteuse se chevauchent mais s'annulent au centre car leurs fréquences sont orthogonales

### Exemples

- Très haut débit
- CPL (Courant porteur)
- 4G
- ADSL, VDSL
- câble

# Multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM)

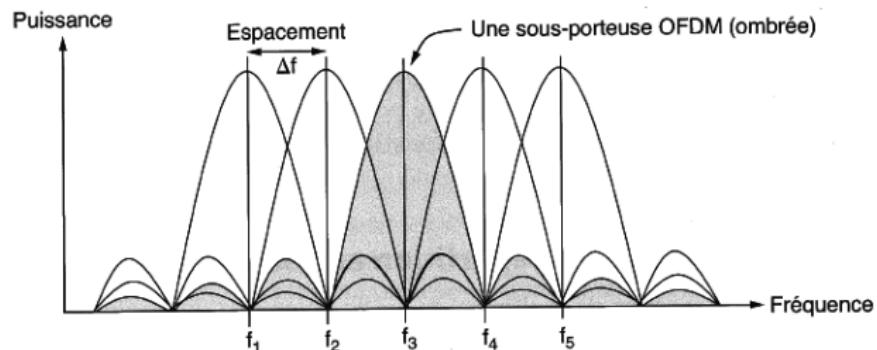


Figure 2.26 • Multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM).

OFDM - Image de [Tanenbaum]

# Multiplexage temporel (TDM)

## **Multiplexage temporel** *(TDM Time Division Multiplexing)*

Émission tour à tour

- Chaque utilisateur émet à son tour sur l'intégralité de la bande passante

Exemple

- Réseaux téléphoniques et cellulaires

# Multiplexage temporel TDM

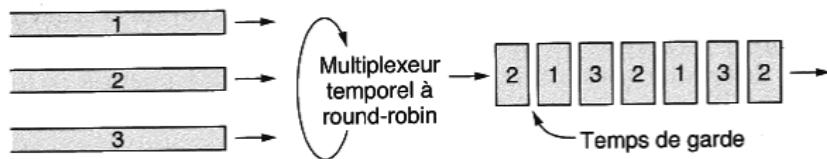


Figure 2.27 • Multiplexage temporel (TDM).

TDM - Image [Tanenbaum]

## **Multiplexage par répartition de codes** *(CDMA Code Division Multiple Access)*

Plusieurs utilisateurs utilisent la même bande de fréquence

- Tout le monde émet sur la même fréquence
- Plusieurs émissions se distinguent car elles sont codées différemment

## Fonctionnement

- Chaque temps bit est divisé en  $m$  courts intervalles (**chips**)
- $m$  vaut généralement 64 ou 128 (dans l'exemple,  $m = 8$ )
- Chaque station reçoit une **séquence de chips** unique et telle que deux séquences  $S$  et  $T$  quelconque ont un produit nul  $S \bullet T$

$$S \bullet T = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i$$

- Exemple (-1, -1, -1, +1, +1, -1, +1, +1)
- Pour émettre 1, émission de la séquence de chips
- Pour émettre 0, émission de la **négation** de la séquence

# Multiplexage par répartition en codes (CDMA)

A: 0 0 0 1 1 0 1 1  
B: 0 0 1 0 1 1 1 0  
C: 0 1 0 1 1 1 0 0  
D: 0 1 0 0 0 0 1 0

(a)

A: (-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)  
B: (-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1)  
C: (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)  
D: (-1 +1 -1 -1 -1 +1 -1)

(b)

Six examples:

-- 1 -	<b>C</b>	$S_1 = (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)$
- 1 1 -	<b>B + C</b>	$S_2 = (-2 \phantom{-}0 \phantom{-}0 \phantom{-}0 +2 +2 \phantom{-}0 -2)$
1 0 --	<b>A + B</b>	$S_3 = ( \phantom{-}0 \phantom{-}0 -2 +2 \phantom{-}0 -2 \phantom{-}0 +2)$
1 0 1 -	<b>A + B + C</b>	$S_4 = (-1 +1 -3 +3 -1 -1 -1 +1)$
1 1 1 1	<b>A + B + C + D</b>	$S_5 = (-4 \phantom{-}0 -2 \phantom{-}0 +2 \phantom{-}0 +2 -2)$
1 1 0 1	<b>A + B + C + D</b>	$S_6 = (-2 -2 \phantom{-}0 -2 \phantom{-}0 -2 +4 \phantom{-}0)$

(c)

$$\begin{aligned}S_1 \bullet C &= (1 +1 +1 +1 +1 +1 +1 +1)/8 = 1 \\S_2 \bullet C &= (2 +0 +0 +0 +2 +2 +0 +2)/8 = 1 \\S_3 \bullet C &= (0 +0 +2 +2 +0 -2 +0 -2)/8 = 0 \\S_4 \bullet C &= (1 +1 +3 +3 +1 -1 +1 -1)/8 = 1 \\S_5 \bullet C &= (4 +0 +2 +0 +2 +0 -2 +2)/8 = 1 \\S_6 \bullet C &= (2 -2 +0 -2 +0 -2 -4 +0)/8 = -1\end{aligned}$$

(d)

Exemple CDMA - Image [Tanenbaum]

## Multiplexage en longueur d'ondes (*WDM Wavelength Division Multiplexing*)

- Sorte de multiplexage fréquentiel à très hautes fréquences
- Destiné à la fibre optique (grande bande passante)

## Fonctionnement

- Chaque fibre arrive sur un prisme
- Les flux, d'énergie et de longueur d'onde spécifique, sont combinés
- À la sortie, le faisceau est séparé

# Multiplexage en longueur d'ondes (WDM)

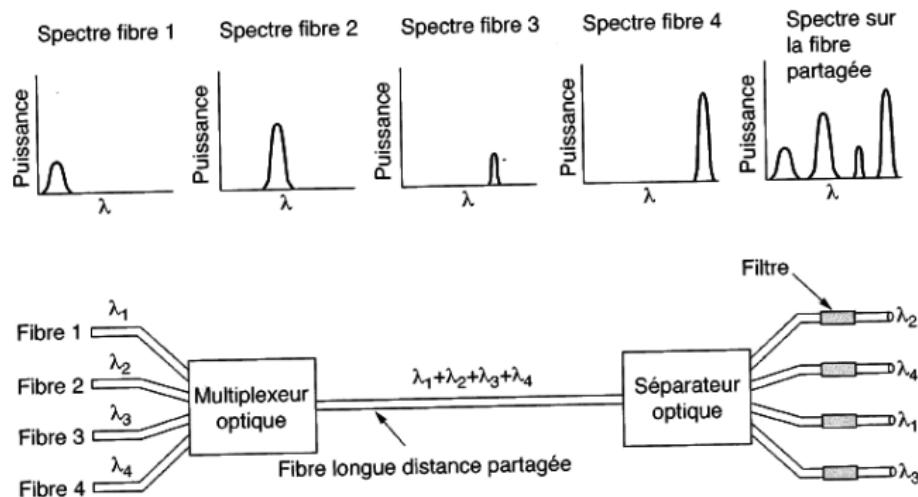


Figure 2.41 • Multiplexage en longueur d'onde.

WDM - Image [Tanenbaum]

# Le réseau téléphonique commuté

*PSTN Public Switched telephone Network*

Présentation

La boucle locale

Artères interurbaines (*Backbone*)

Les centres de commutations

# Le réseau téléphonique commuté

## Réseau Téléphonique Commuté (RTC) *(Public Switched Telephone Network (PSTN))*

«Ce qui coûte le plus cher, c'est de creuser les tranchées»

- Impose de s'appuyer sur RTC
- Avec l'arrivée de la fibre, reste encore le problème du «dernier km»
- RTC est conçu pour laisser passer la voix ... pas les datas

*Un câble croisé permet le 1Gbit/s, l'ADSL permet 1Mbit/s ... et RTC (permettait) 56kbit/s*

# Le réseau téléphonique commuté

## Structure avec interconnexion totale

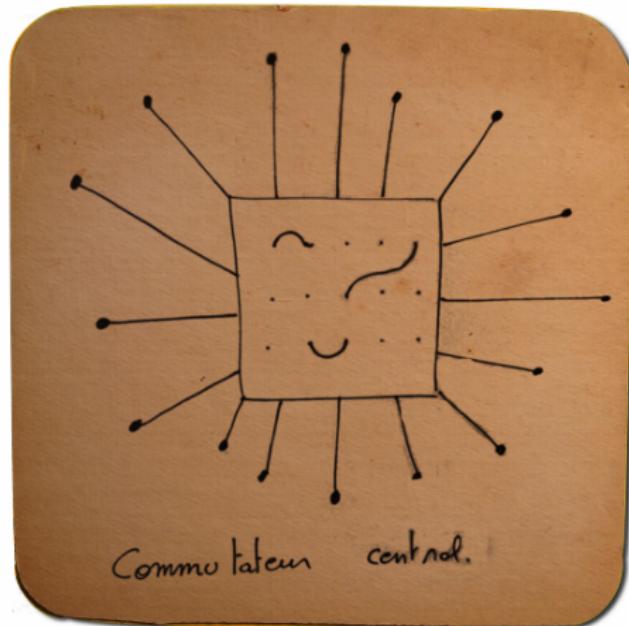
- Chaque téléphone est relié à son destinataire.
- C'est l'époque de *Graham Bell* (et d'*Elisha Gray*) (1876)



# Le réseau téléphonique commuté

## Réseau avec commutateur central

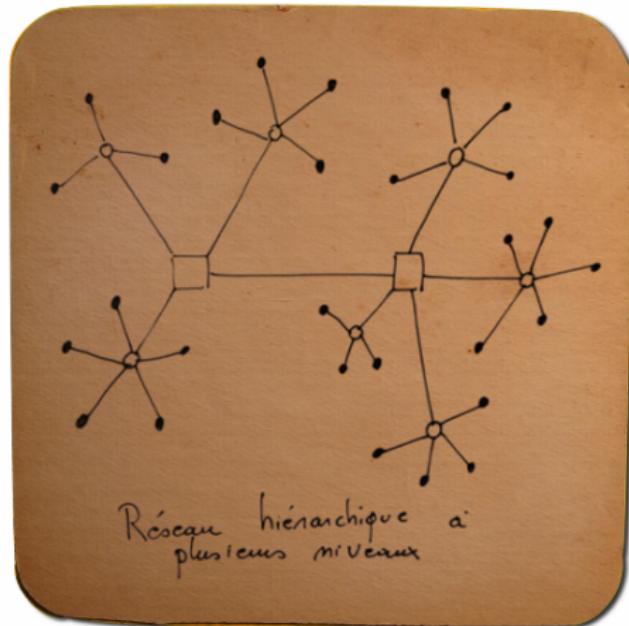
- Chaque téléphone est relié au commutateur central
- C'est l'époque de la *Bell Telephone Company* créée par Graham Bell (1878)



# Le réseau téléphonique commuté

## Réseau hiérarchique à plusieurs niveaux

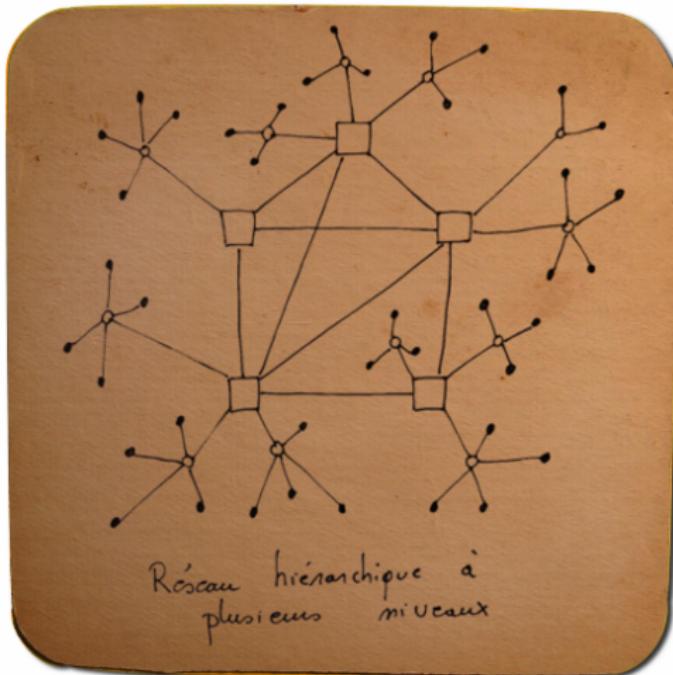
- Nécessité de connecter plusieurs villes ... apparaissent les centrales de second niveau
- Système BELL



# Le réseau téléphonique commuté

## Réseau hiérarchique à plusieurs niveaux (avec redondance)

- Permet plusieurs chemins ... **routage**



## Les éléments du système téléphonique

- La **boucle locale** (*local loop*)
  - longue de 1 à 10km
  - *relie l'utilisateur au ...*
- **commutateur local** (*local central office*) CL
  - paire de fils de cuivre torsadés
  - si les abonnés sont dans le même central, le CL établit la connexion
  - *sinon ...*
- **commutateur à autonomie d'acheminement** (*Toll office*) CAA
  - deuxième niveau de commutation
  - forme une ZAA (Zone à autonomie d'acheminement)
  - reliés aux CL par une **artère principale** (*trunk*)
- **commutateur de transit secondaire** (CTS)
  - troisième niveau de commutation
- **commutateur de transit primaire** (CTP)
  - quatrième niveau de commutation

# Le réseau téléphonique commuté

IMG

## Évolution historique

- 1984 Fin du monopole de BELL System par le biais du *Modified Final Judgment (MFJ)*
  - découpage des USA en 164 **zones d'accès local (LATA Local Access and Transport Area)** contrôlées par un opérateur local (*LEC Local Exchange Carrier*)
  - trafic inter-LATA géré par un autre opérateur, **IXC Interexchange Carrier** (AT&T, Verizon et Sprint)
  - Pour traiter un appel provenant d'une LATA, un IXC a besoin d'un centre de commutation dans la zone appelé **point de présence (POP Point Of Presence)**
- 1996 Fin de la distinction LEC / IXC ... tout le monde peut occuper les différents types de marché ; câble, téléphonie locale, téléphonie longue distance et téléphonie mobile
  - Corollaire : portabilité des numéros d'abonné local
- 2003 Portabilité des numéros de mobiles

# La boucle locale

## La boucle locale ou «*le dernier kilomètre*»

- Paire de fils de cuivre de l'abonné au *toll office* (Commutateur Local ou Commutateur à Autonomie d'Acheminement)
- Nécessite une transformation numérique → analogique par le biais d'un **modem**

## Ateliers de recherche 1

- Sur base des pages 156 à 163 de [Tanenbaum], expliquer, comprendre,  
...
  - le modem téléphonique
  - le modem xDSL
  - la fibre FTTx (*Fibre to the home*)
- Rédiger un document en groupe pour un des 3 points et le présenter aux autres groupes

# RTC - Artères interurbaines (backbones)

## Préalables

- Plusieurs signaux sont **multiplexés**
  - TDM (*time division multiplexing*)
  - FDM (*frequency division multiplexing*)
- Les boucles locales produisent un signal analogique qui doit être numérisé par un **codec**

## PCM Pulse Code Modulation

PCM est une technique d'échantillonage

- Le codec prélève 8000 échantillons par seconde (125  $\mu$ s/échantillon)
- 8000 échantillons, 2 fois la fréquence de 4000Hz
- Chaque échantillon est transformé en nombre de 8 bits
- Débit binaire standard 64kbit/s ( $2 \times 4000(Hz) \times 8(bits)$ )

## Multiplexage temporel

- Envoi de plusieurs signaux en envoyant 1 échantillon de chaque appel toutes les  $125\mu s$
- Deux techniques cohabitent
  - Technique **T1**, norme G.733 (États-unis et Japon)
  - Technique **E1**, norme G.732 (Europe)

## Multiplexage temporel - Technique T1

- 24 voies téléphoniques multiplexées ensemble
- Toutes les  $125\mu s$ , une trame est construite en prélevant 8 bits sur chaque voie, soit  $24 \times 8 = 192 bits$  plus 1 bit de contrôle
- Une ligne T1 fournit un débit (théorique) de 1,544Mbits/s ( $8000 \times 193$ ) dont 8kbits/s pour la signalisation
- Le 193<sup>e</sup> bit est le **bit de verrouillage de trame**

# RTC - Artères interurbaines (*backbones*)

## Multiplexage temporel - Technique T1 (suite)

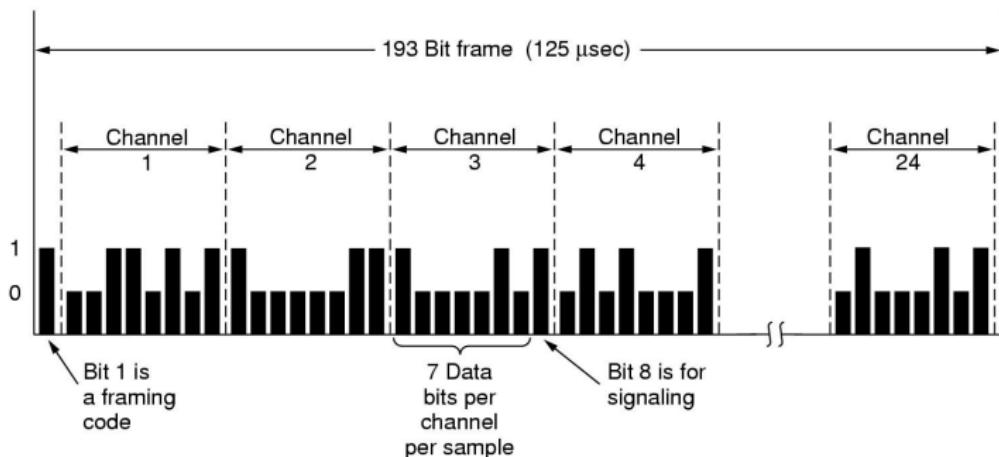


Image de [Tanenbaum]

## Multiplexage temporel - Technique E1

- 32 voies téléphoniques multiplexées ensemble
- $32 \times 8 = 256\text{bits}$
- les 8 bits sont utilisés pour les données mais les échantillons 0 et 16 sont utilisés pour la signalisation
- chaque échantillon est nommé «intervalle de temps» ou **slot**
- une ligne E1 fournit un débit (théorique) de 2,048Mbits/s ( $8000 \times 256$ )

## Multiplexage temporel - TDM

- Le multiplexage temporel permet de grouper plusieurs lignes T1 (États-Unis et Japon) ou E1 (Europe)
- T1 T2 T3 T4
  - $T_2 = 4 \text{ T1} (6.312 \text{ Mbits/s})$
  - $T_3 = 7 \text{ T2} (44.736 \text{ Mbits/s})$
  - $T_4 = 6 \text{ T3} (274.176 \text{ Mbits/s})$
- E1 E2 E3 E4
  - $E_2 = 4 \text{ E1} (8.848 \text{ Mbits/s})$
  - $E_3 = 4 \text{ E2} (34.304 \text{ Mbits/s})$
  - $E_4 = 4 \text{ E3} (139.264 \text{ Mbits/s})$

# RTC - Artères interurbaines (*backbones*)

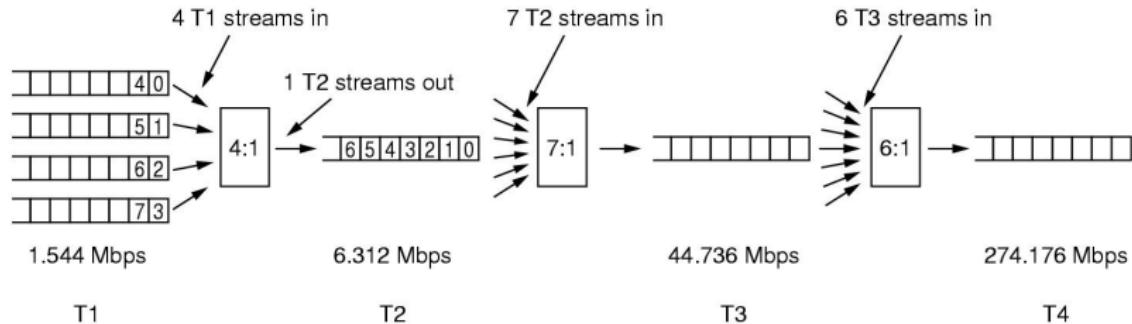


Image de [Tanenbaum]

## Ateliers de recherche 2

- Sur base des pages 167 à 170 de [Tanenbaum], expliquer, comprendre,  
... **SONET (Synchronous Optical NETwork)**

## RTC - Centres de commutation (central office)

### Préalables

- Infrastructure extérieure
  - boucle locale (*local loop*)
  - artères principales (*trunk / backbones*)
- Infrastructure intérieure
  - centres de commutation

### Techniques de commutation

- commutation de circuits
- commutation de paquets

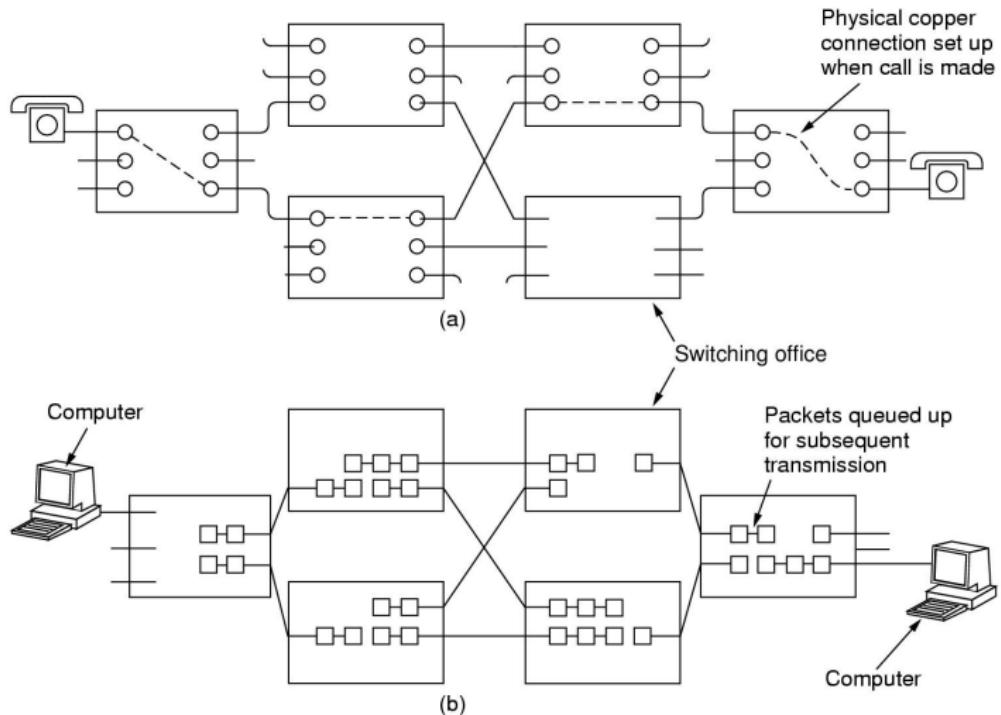
## Commutation de circuits

- Système téléphonique traditionnel
- Principe : recherche d'un chemin de bout en bout avant la transmission des données
- Nécessite un délai d'établissement de circuits
- Lorsque le chemin est réservé,
  - transmission à la vitesse de propagation électromagnétique (5ms/1000km)
  - pas de congestion
- **Service garanti avec risque de gaspillage de la bande passante**
- Facturation à la durée et à la distance

## Commutation de paquets

- Progression grâce à la *voIP*
- Les paquets sont envoyés dès qu'ils sont disponibles, ils peuvent arriver dans le dérordre
- Transmission différée (*store and forward*)
- Risque de congestion et délai de mise en file
- Meilleure tolérance aux pannes (route alternative possible)
- **Service non garanti mais sans gaspillage de bande passante**
- Facturation au volume de données

# RTC - Centres de commutation (central office)



(a) Commutation de circuit (b) Commutation de paquets

Image de [Tanenbaum]

## Ateliers de recherche 3

- Sur base des pages 192 à 198 de [Tanenbaum], expliquer, comprendre,...

### **le réseau de télévision câblée**

- Rédiger un document commun présentant quelques points de comparaison entre **xDSL** sur le réseau téléphonique commuté et **l'internet par le câble**.

# Protocoles de la couche liaison de données

# Protocoles de la couche de liaison

- Au niveau de la couche physique, ce sont des **bits** qui circulent sur un support
- Au niveau de la couche liaison de données, ce sont des **trames** qui circulent
- Une trame est un ensemble de bits qui encapsule un paquet (éventuellement découpé) de la couche réseau

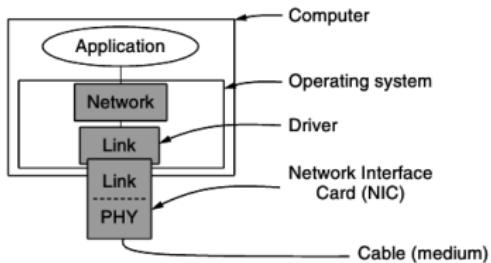
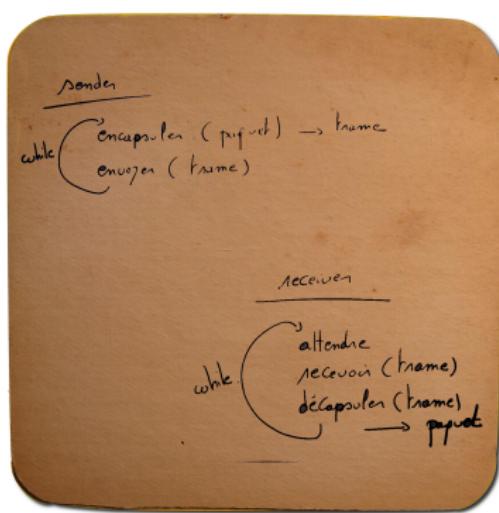


Figure 3-10. Implementation of the physical, data link, and network layers.

Image de [Tanenbaum]

# Protocoles de la couche de liaison

## Protocole simplex utopique



- pas de contrôle de flux (risque d'inondation)
- pas de correction d'erreurs
- pas de gestion de perte ou de trames erronées

- Trivialement, les trames sont envoyées en continu mais
  - le débit est limité
  - le délai de propagation est non nul
  - des erreurs de transmission peuvent survenir

**Comment résoudre ces problèmes ?**

## Ateliers de recherche 4

- Sur base des pages 225 à 241 de [Tanenbaum], comprendre les protocoles 3,4,5 et 6
- Écrire un programme (en Java, C ou Python) permettant d'illustrer le protocole 3.

- **GNU / linux** comme OS et sa suite d'outils
- **freeplane** - <http://freeplane.sourceforge.net>  
*Génération d'un Mind Map*
- Génération des slides sur base du Map freemind
  - Scripts Perl ; freemind2beamer.pl (basé sur freemind2S5.pl)
  - Format PDF
    - **LAT<sub>E</sub>X**
    - package *beamer*