

WAN2i

Wide Area Network

Pierre BETTENS
pbettens (à) heb.be

ÉSI - École Supérieure d'Informatique

18/09/2012

Organisation

Évaluation

- *À venir*

Supports

- Slides

Références

- Réseaux 5^e 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

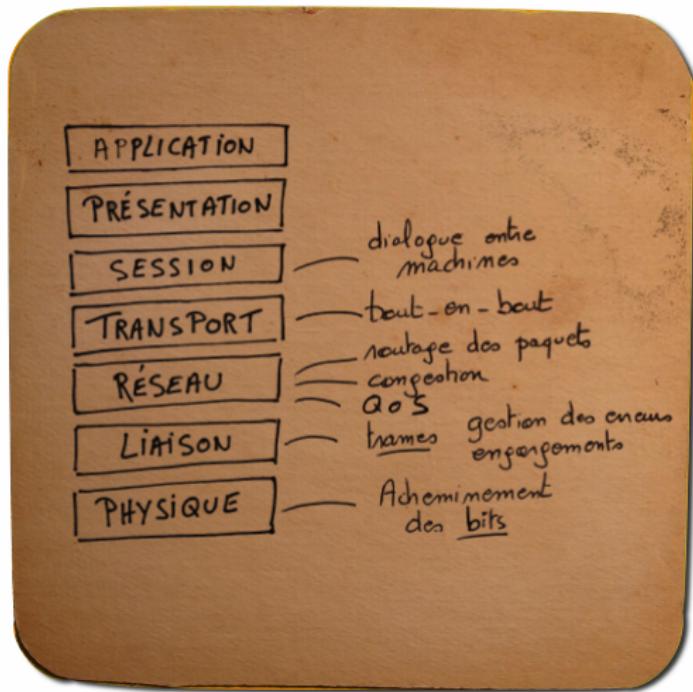
Préalable

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

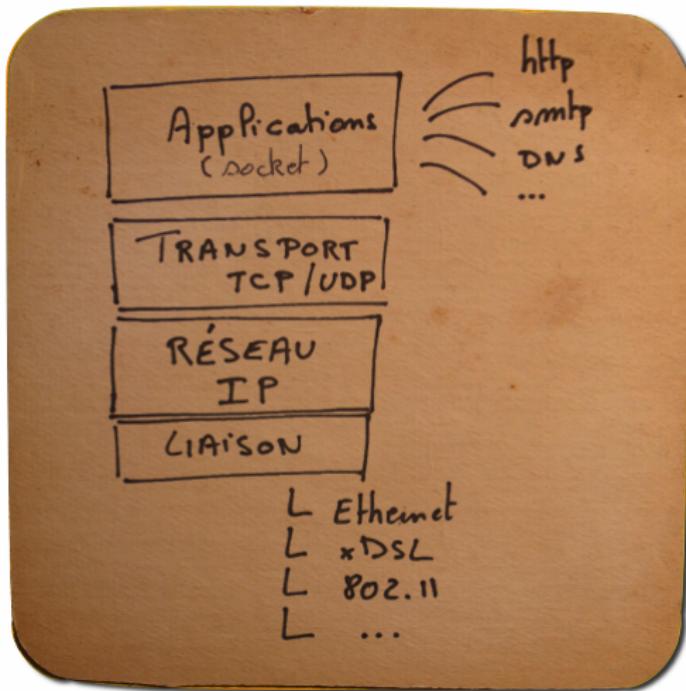
Rappels réseaux - Modèle OSI

- 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

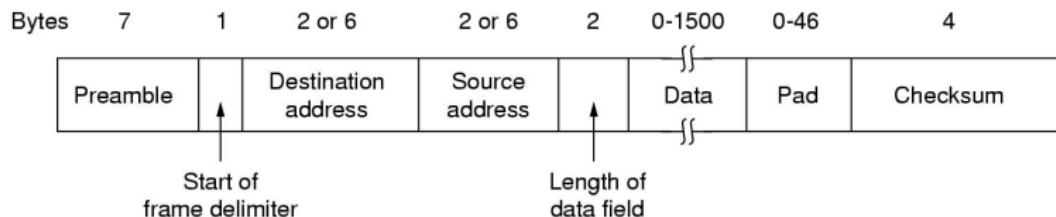
Couche physique (*physical*)

- 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 τ
- ③ Si collision,
 - interruption de l'émission
 - pause aléatoire

... et *goto 1*

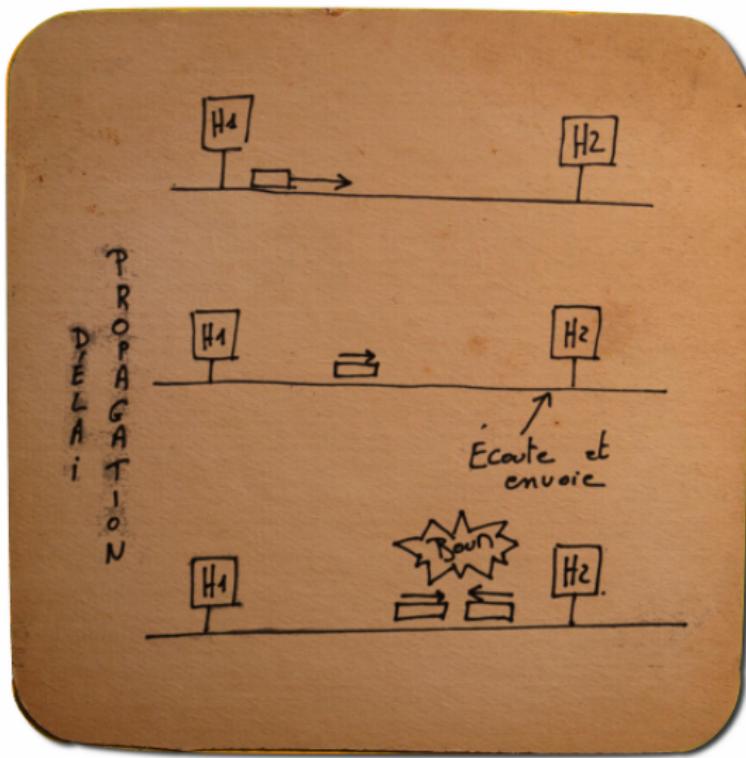
Protocole CSMA/CD (suite)

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)

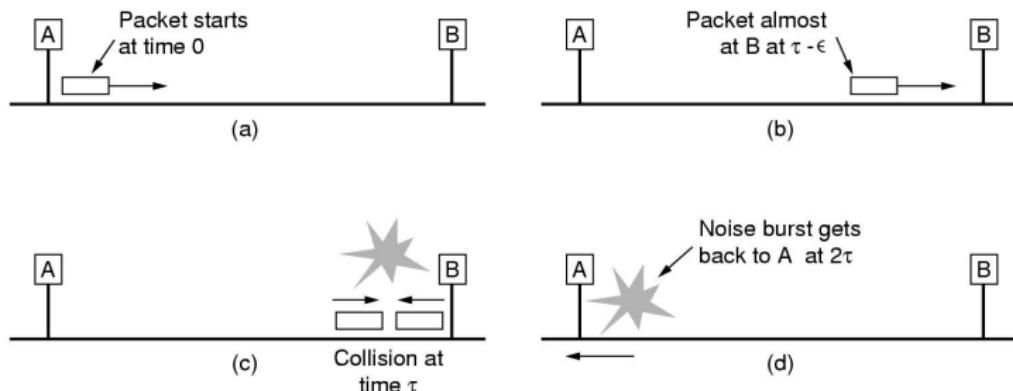


Rappels réseaux - Ethernet

Protocole CSMA/CD et trame Éthernet (suite)

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

- Le signal de brouillage peut mettre 2τ pour revenir à l'émetteur
- Dans LAN 10Mbit/s, 2τ 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 trame¹ 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*)

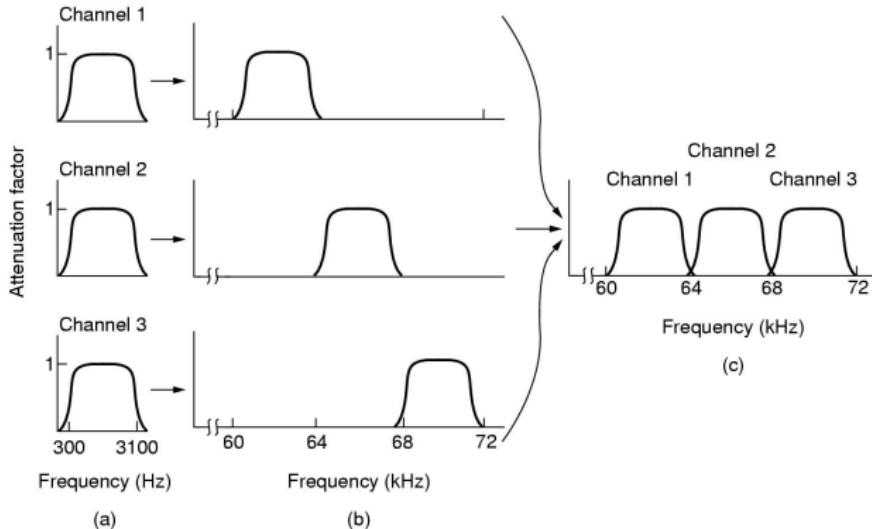
Division du spectre en bandes de fréquences

- 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

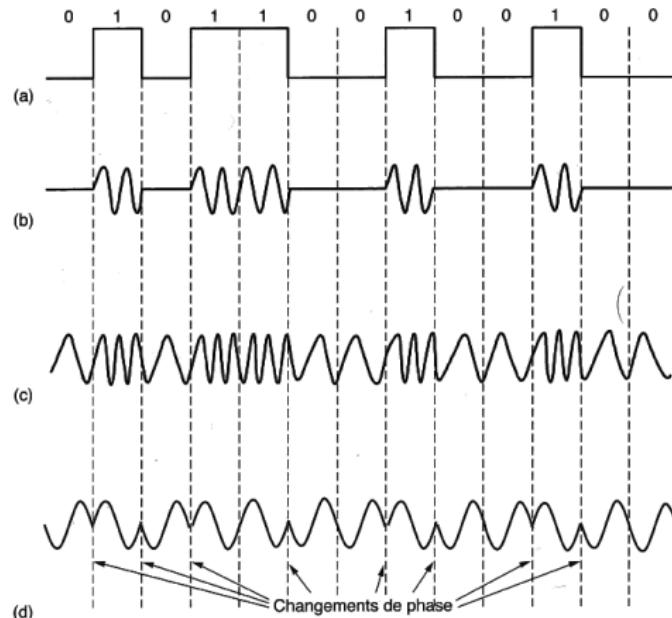


Figure 2.22 • (a) Un signal binaire. (b) Modulation par déplacement d'amplitude (ASK). (c) Modulation par déplacement de fréquence (FSK). (d) Modulation par déplacement de phase (PSK).

From [Tanenbaum]

BPSK Binary Phase Shift Keying

- La porteuse est décalée de 0 ou π , 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

Transmission passe-bande

QAM Quadrature Amplitude Modulation

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

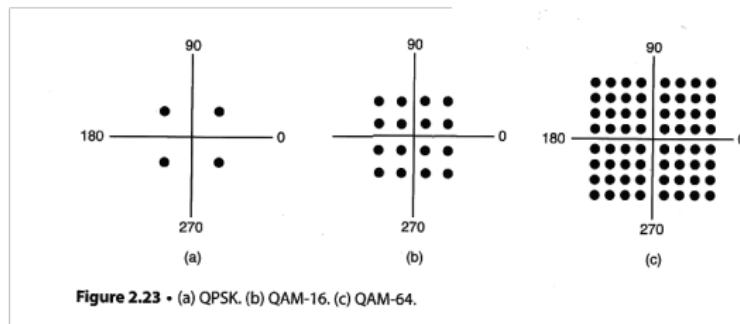


Figure 2.23 • (a) QPSK. (b) QAM-16. (c) QAM-64.

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**

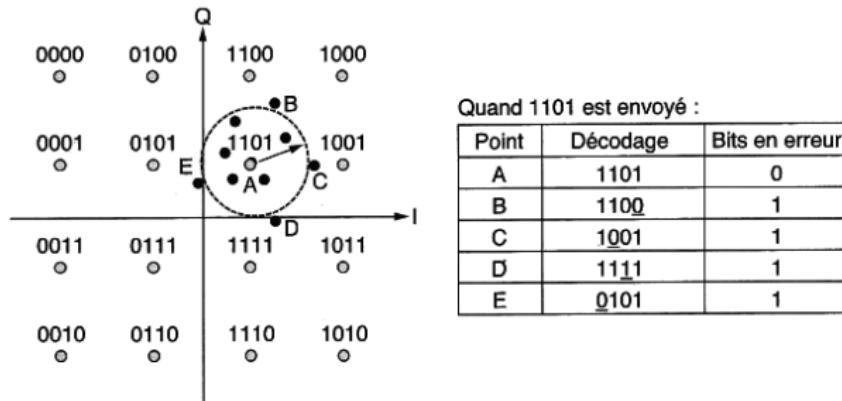


Figure 2.24 • QAM-16 et code de Gray.

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)

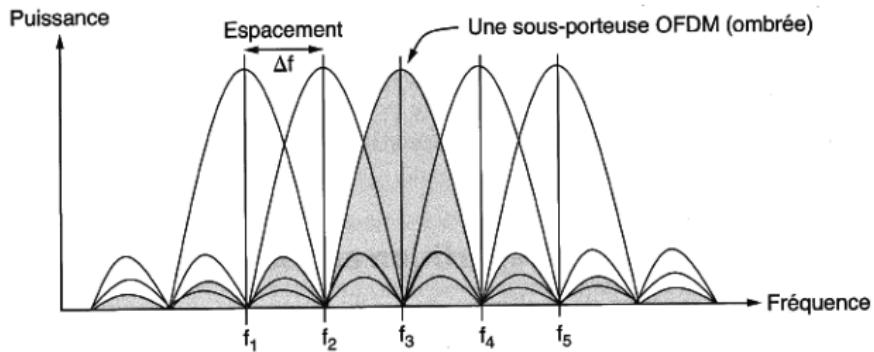


Figure 2.26 • Multiplexage par répartition orthogonale de la fréquence (OFDM).

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

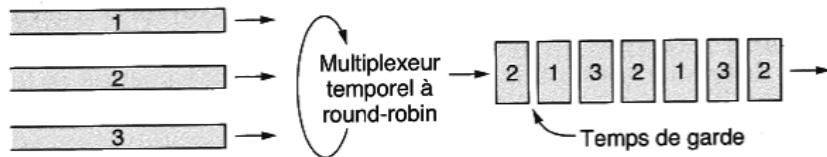


Figure 2.27 • Multiplexage temporel (TDM).

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 -	C	$S_1 = (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)$
- 1 1 -	B + C	$S_2 = (-2 0 0 0 +2 +2 0 -2)$
1 0 --	A + B	$S_3 = (0 0 -2 +2 0 -2 0 +2)$
1 0 1 -	A + B + C	$S_4 = (-1 +1 -3 +3 -1 -1 -1 +1)$
1 1 1 1	A + B + C + D	$S_5 = (-4 0 -2 0 +2 0 +2 -2)$
1 1 0 1	A + B + C + D	$S_6 = (-2 -2 0 -2 0 -2 +4 0)$

(c)

$S_1 \bullet C = (1 +1 +1 +1 +1 +1 +1 +1)/8 = 1$
 $S_2 \bullet C = (2 +0 +0 +0 +2 +2 +0 +2)/8 = 1$
 $S_3 \bullet C = (0 +0 +2 +2 +0 -2 +0 -2)/8 = 0$
 $S_4 \bullet C = (1 +1 +3 +3 +1 -1 +1 -1)/8 = 1$
 $S_5 \bullet C = (4 +0 +2 +0 +2 +0 -2 +2)/8 = 1$
 $S_6 \bullet C = (2 -2 +0 -2 +0 -2 -4 +0)/8 = -1$

(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)

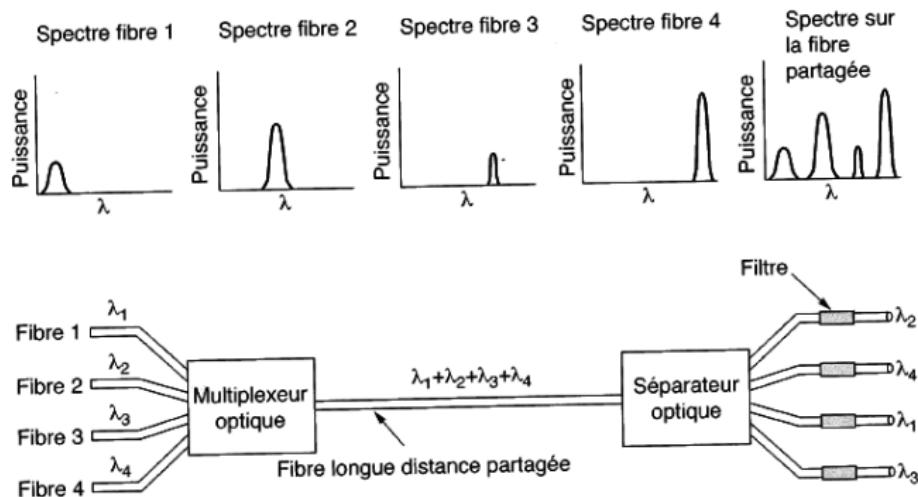


Figure 2.41 • Multiplexage en longueur d'onde.

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

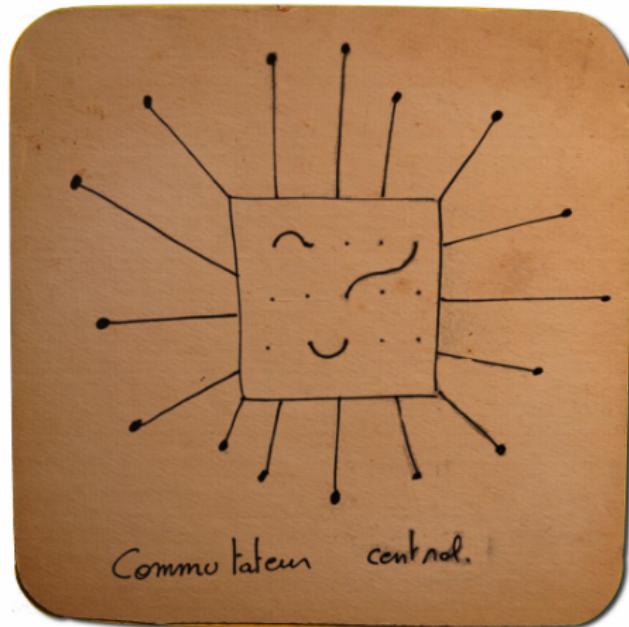
- Chaque téléphone est relié à son destinataire.
- C'est l'époque de *Graham Bell* (et d'*Elisha Gray*) (1876)



Le réseau téléphonique commuté

Réseau avec commutateur central

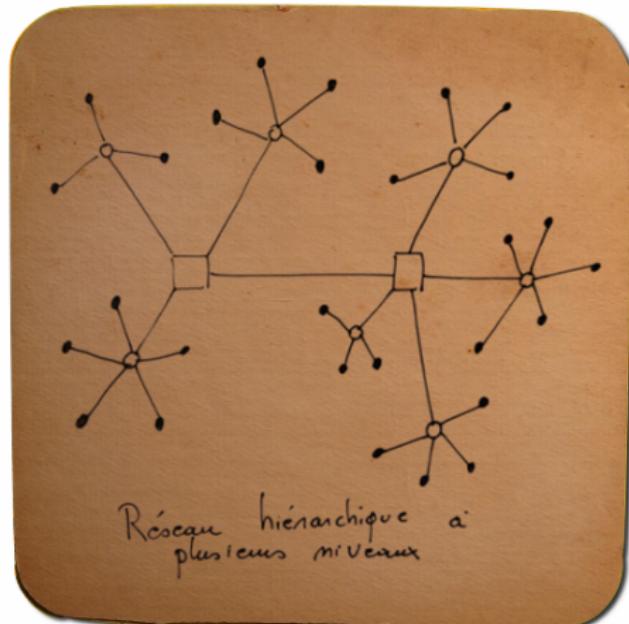
- Chaque téléphone est relié au commutateur central
- C'est l'époque de la *Bell Telephone Company* créée par Graham Bell (1878)



Le réseau téléphonique commuté

Réseau hiérarchique à plusieurs niveaux

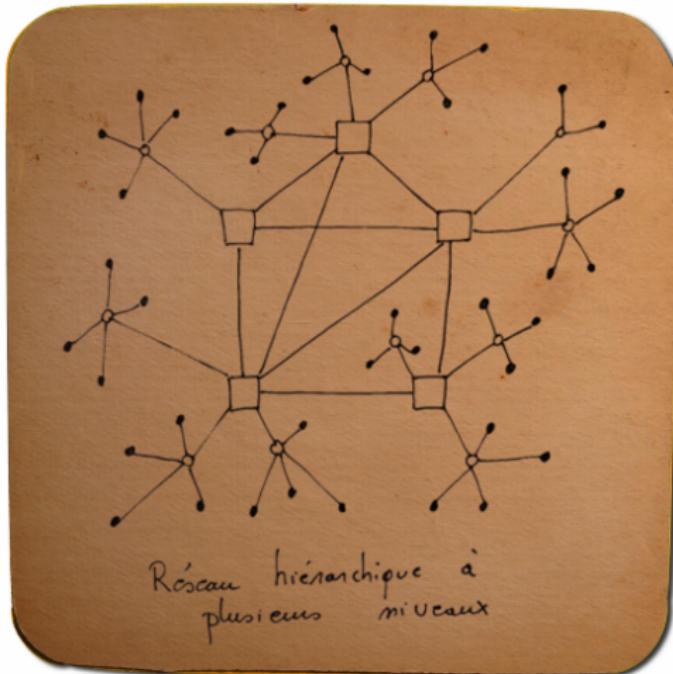
- Nécessité de connecter plusieurs villes ... apparaissent les centrales de second niveau
- Système BELL



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 μ 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 (8000×193) dont 8kbits/s pour la signalisation
- Le 193^e bit est le **bit de verrouillage de trame**

RTC - Artères interurbaines (*backbones*)

Multiplexage temporel - Technique T1 (suite)

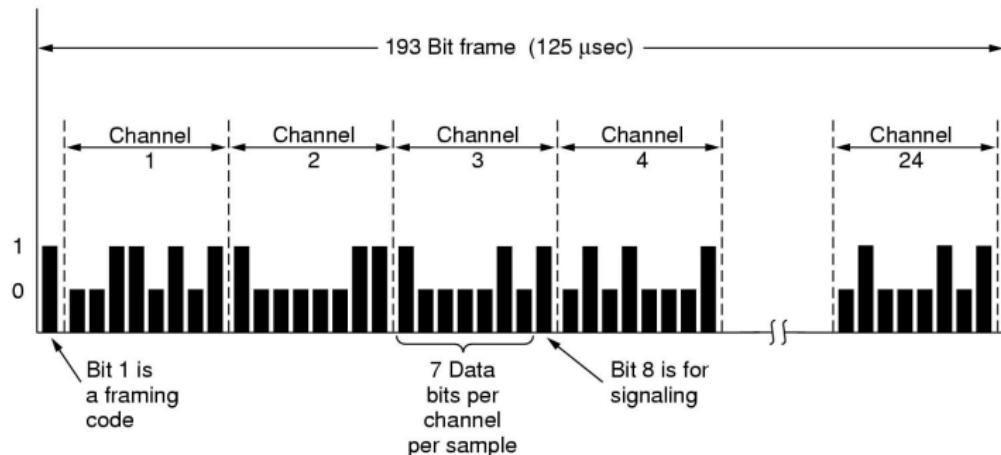


Image de [Tanenbaum]

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 (8000×256)

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*)

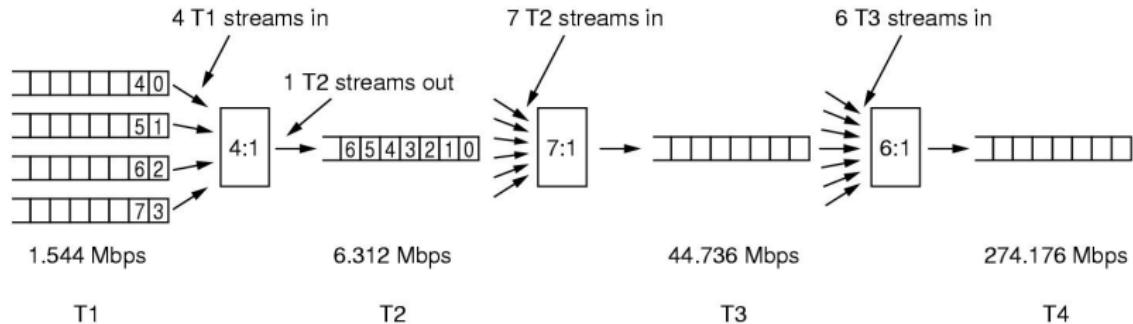


Image de [Tanenbaum]

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

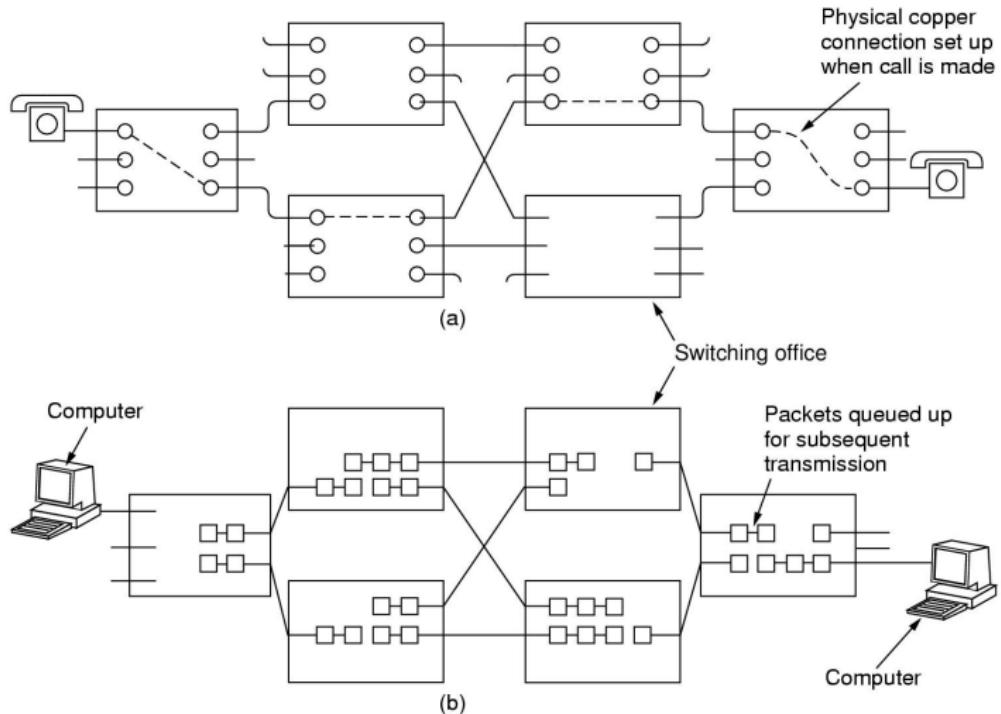
Commutation de circuits

- 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

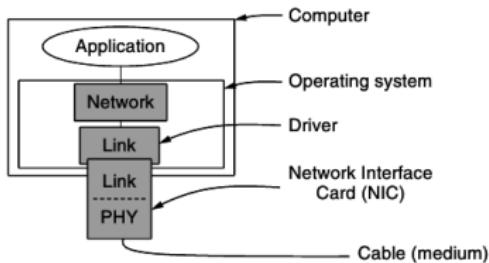
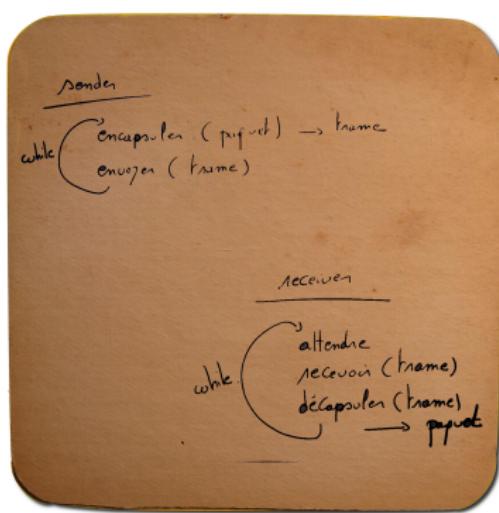


Figure 3-10. Implementation of the physical, data link, and network layers.

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.

Crédits

- **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_EX**
 - package *beamer*