

Systèmes informatiques Architectures de réseaux

Principes de structuration et architectures des réseaux

G.Berthelot

1. Architecture matérielle

- Réseaux informatiques
 - Réseaux locaux et métropolitains (LAN, MAN)
 - Ethernet
 - Token Ring
 - WIFI
 - ADSL
 - ATM
 - Réseaux à grande distance (WAN)
 - Caractéristiques générales
 - Exemples : RTC, RNIS, GSM

RESEAUX INFORMATIQUES

RESEAUX INFORMATIQUES

historiquement : faire communiquer des terminaux distants avec un site central, puis échanges de fichiers entre sites, puis partage de serveurs par des stations de travail. Actuellement besoin d'échanges de données, de vidéo, de voix.

Structures d'interconnexion :

bus machine (longueur ≤ 1 mètre) : interconnexion à haut débit de calculateurs (e.g. processeurs spécialisés, calculateurs vectoriels,...) quelques mètres de longueur.

Local Area Network ou réseaux locaux : plusieurs centaines de mètres

Metropolitan Area Network ou réseaux métropolitains : interconnexion de bâtiments, de réseaux locaux et gestion du site distribué. de quelques dizaines à la centaine de kms.

Wide Area Network, réseaux grande distance : terrestre, satellite.

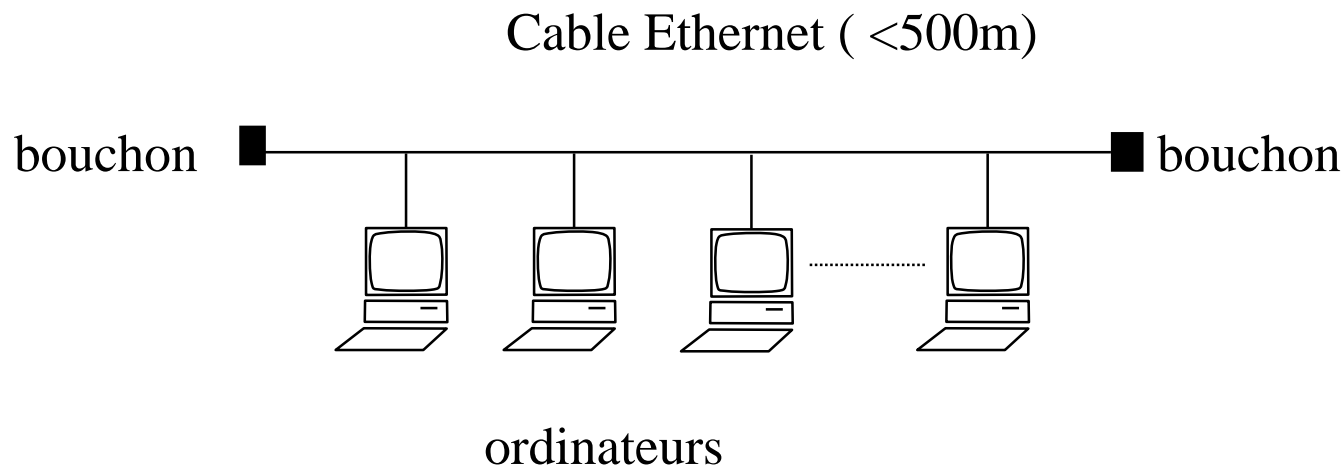
Réseaux locaux et métropolitains

- L'objectif est de permettre le partage de ressources informatiques "proches"
 - ensemble d'unités centrales interconnectées (nœuds, stations)
 - câblage permettant de relier les nœuds suivant une topologie donnée
 - méthode d'accès au support et organisation du partage de ce support entre les différentes stations
 - adressage permettant de désigner les stations
 - Pile de protocoles permettant d'exploiter le réseau
 - fonctionnalités des systèmes d'exploitation pour partager les ressources (imprimantes, fichiers, ...)

Réseaux locaux et métropolitains

- LAN
 - débits de 10M à 1 Gbit/s
 - distances courtes (500 m à 2,5 km par exemple pour Ethernet)
- MAN
 - débits ≥ 100 Mbits/s
 - Distances de l'ordre de 200 kms
 - Interconnexion de réseaux locaux

Réseaux ETHERNET (IEEE 802.3)



- bus à diffusion (liaison multipoint) et à gestion répartie (pas d'autorité centrale pour régler l'accès)
- chaque point de connexion est identifiée par une adresse unique (adresse MAC définie dans la carte coupleur)
- remise au mieux (best effort delivery), sans garantie de remise

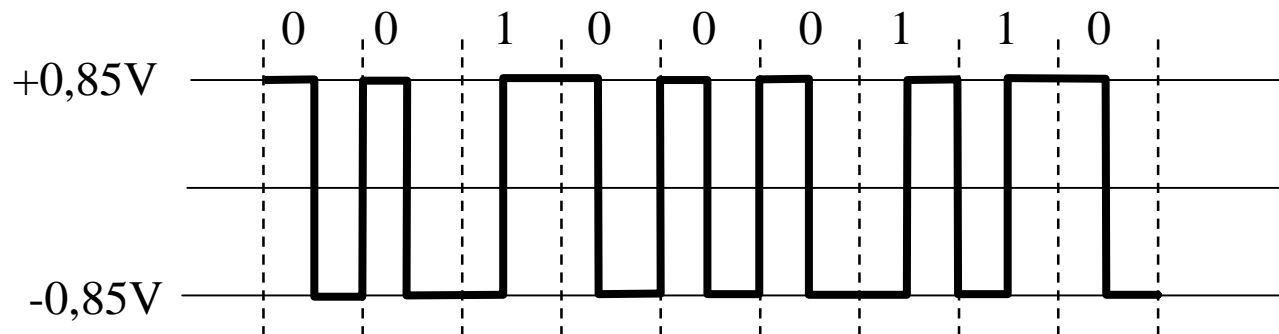
Réseaux ETHERNET (2)

Transmission en bande de base : chaque bit est traduit par un signal émis sur un interval de temps fixe (nécessité d'horloges synchronisées)

Codage Manchester direct :

bit 1 : front montant

bit 0 : front descendant



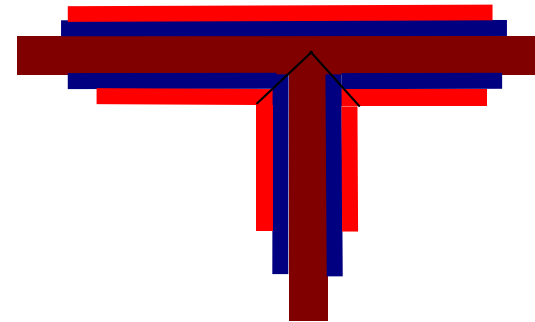
Propriété : il y a un front (montant ou descendant) par bit :
les horloges peuvent être resynchronisées sur les fronts

Réseaux ETHERNET (3)



âme isolant tresse blindage
métallique

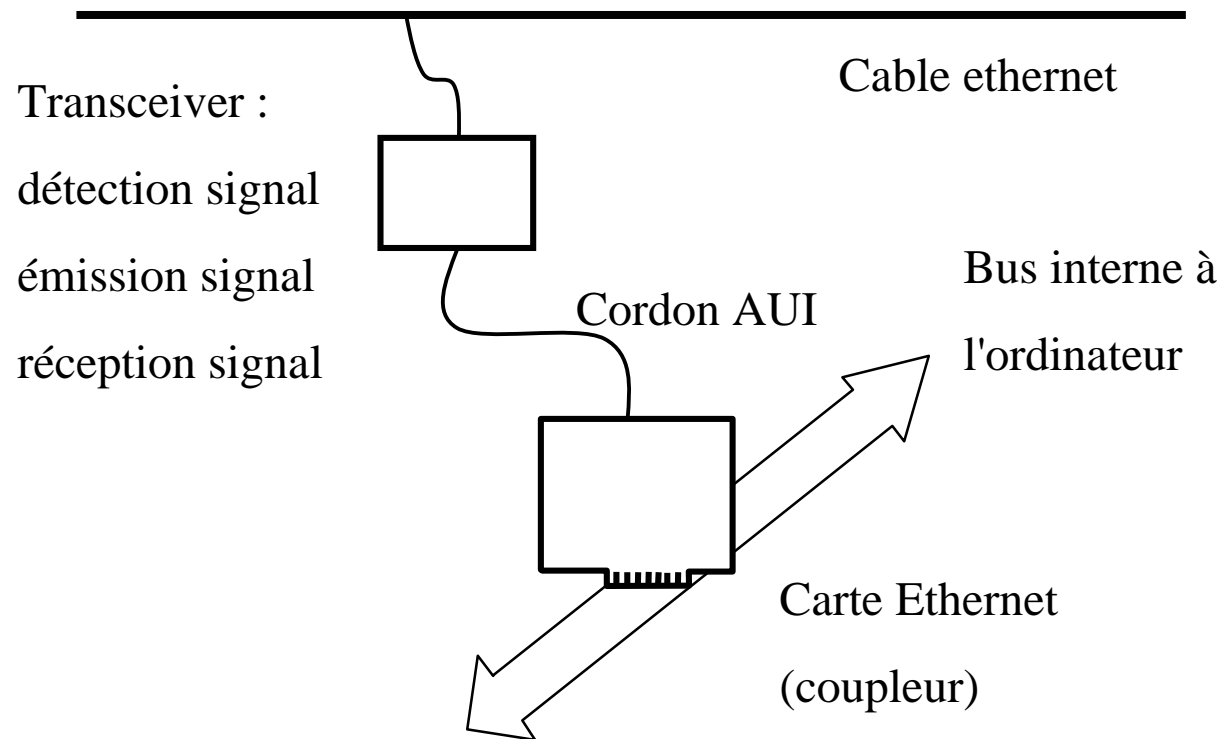
cable coaxial



prise vampire (T)

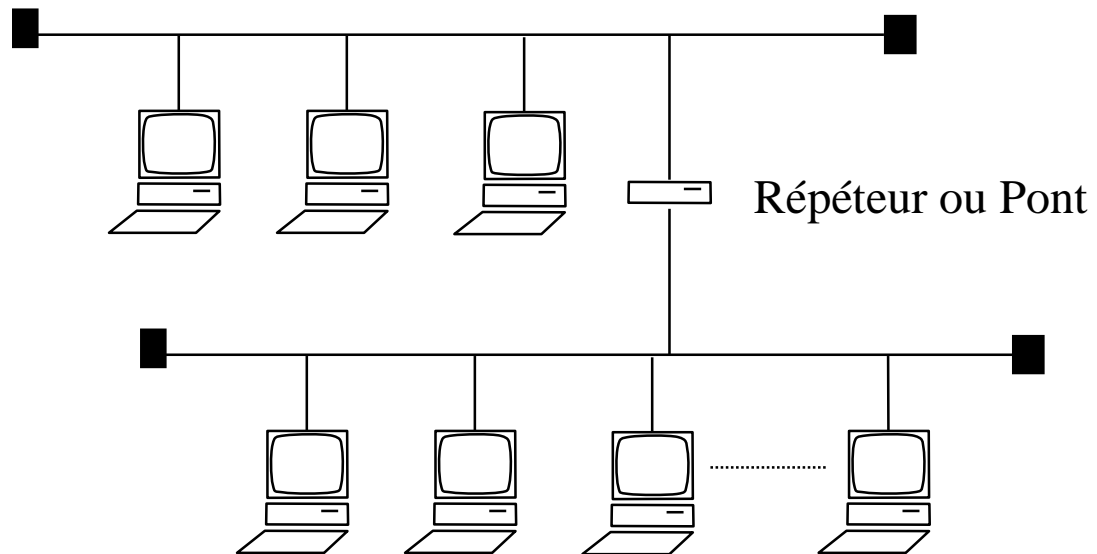
Réseaux ETHERNET (4)

10 Mbits/s



Réseaux ETHERNET (5)

Extension



Réseaux ETHERNET (6)

Répéteur : régénère et relaye à la volée les signaux électriques reçus

2 répéteurs au plus entre deux stations

pont : répète les trames, reçoit la trame entière avant de la renvoyer (store and forward)

- écoute avant de renvoyer
- ne transmet pas les trames erronées

pont filtrant : ne transmet que les trames dont la destination est de l'autre côté

un ensemble de segments reliés par des répéteurs se comporte comme un réseau ethernet unique

Réseaux ETHERNET (7)

Stratégie d'émission des messages (CSMA/CD)

Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection

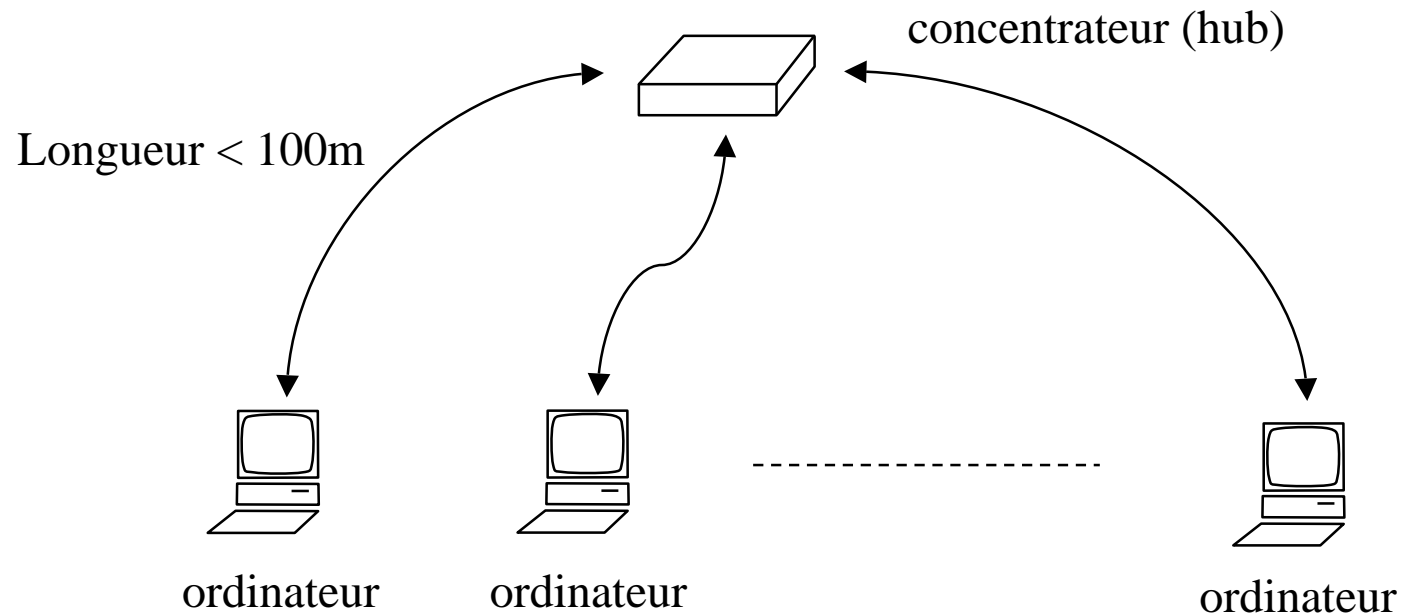
- une station écoute le bus
- si pas d'émission en cours alors elle émet son message
- si elle détecte une collision (signal écouté différent de signal émis) alors elle arrête l'émission puis algorithme de back-off :
 - elle choisit de manière aléatoire un délai valant 0 ou une fois le temps maximal d'aller et retour (51,2 ms)
 - si collision à nouveau, elle choisit de manière aléatoire un délai valant entre 0 et trois fois le temps d'aller et retour
 - si collision à nouveau, on double le nb de possibilités et ainsi de suite
 - échec au bout de 16 tentatives

Réseaux ETHERNET (8)

Technologie 10Base T :

cable en paires torsadées non blindées (4 paires)

connecteurs RJ45 analogues à ceux du téléphone mais avec 8 fils au lieu de 6.



Réseaux ETHERNET (9)

Technologie 10Base T :

- câble en paires torsadées non blindées (4 paires)
- sensibilité aux perturbations électromagnétiques
- plus de transceivers
- câble < 100m entre l'ordinateur et le concentrateur
- les concentrateurs doivent être alimentés en courant électrique
- un hub diffuse les trames reçues sur toutes ses connexions
- un concentrateur et un ordinateur sont reliés par un câble droit
- possibilité de relier des concentrateurs (câble croisé)
- possibilité de cascader jusqu'à 5 niveaux de concentrateurs

Réseaux ETHERNET (10)

Trame ethernet :

taille comprise entre 64 et 1518 octets

(taille minimale pour la détection des collisions)

| | | | |
|-----------|-----------------|---------------|----------------|
| 22 octets | 0 à 1492 octets | 38 à 0 octets | 4 octets |
| En-tête | Données | Bourrage | Contrôle (CRC) |

En-tête :

| | | | |
|-----------|------------|------------|-----------------------------|
| 8 octets | 6 octets | 6 octets | 2 octets |
| Préambule | Adr. Dest. | Adr. Sour. | Type (protocole à utiliser) |

Préambule : suite de 64 bits égale à 10101010101010101011

(resynchronisation de l'horloge du récepteur)

Réseaux ETHERNET (11)

Adresse ethernet (appelée aussi adresse physique ou adresse MAC):

6 octets spécifiques à chaque carte coupleur, attribuée par le fabricant.

exemple : 00:3e:ae:f4:16:7b

adresse diffusion (broadcast) : ff:ff:ff:ff:ff:ff

CRC (Cyclic Redundancy Check) : On considère que les M bits de la trame sont les coefficients d'un polynome de degré $M-1$. Le champs CRC contient les 32 bits correspondants aux coefficients du polynome reste de la division de la trame par le polynome générateur :

$$X^{32}+X^{26}+X^{22}+X^{16}+X^{12}+X^{11}+X^{10}+X^8+X^7+X^5+X^4+X^2+X^1$$

Réseaux ETHERNET (12)

Exemple de division de la trame 10010110 par le polynome générateur X^4+X^2 :

| | | | | | | |
|----------|--------------|----------------------|--------------|----------|-------------|--------|
| X^7+0 | $+0$ | $+X^4+0$ | $+X^2+X^1+0$ | | X^4+0 | $+X^2$ |
| $-X^7+0$ | $-X^5$ | | | | X^3 | |
| | $+X^5+X^4+0$ | $+X^2+X^1+0$ | | | | |
| | $-X^5+0$ | $-X^3$ | | | X^3+X^1 | |
| | | $+X^4+X^3+X^2+X^1+0$ | | | | |
| | | $-X^4+0$ | $-X^2$ | | X^3+X^1+1 | |
| | | | $+X^3+0$ | $+X^1+0$ | | |

Le reste est 1010

Réseaux ETHERNET (13)

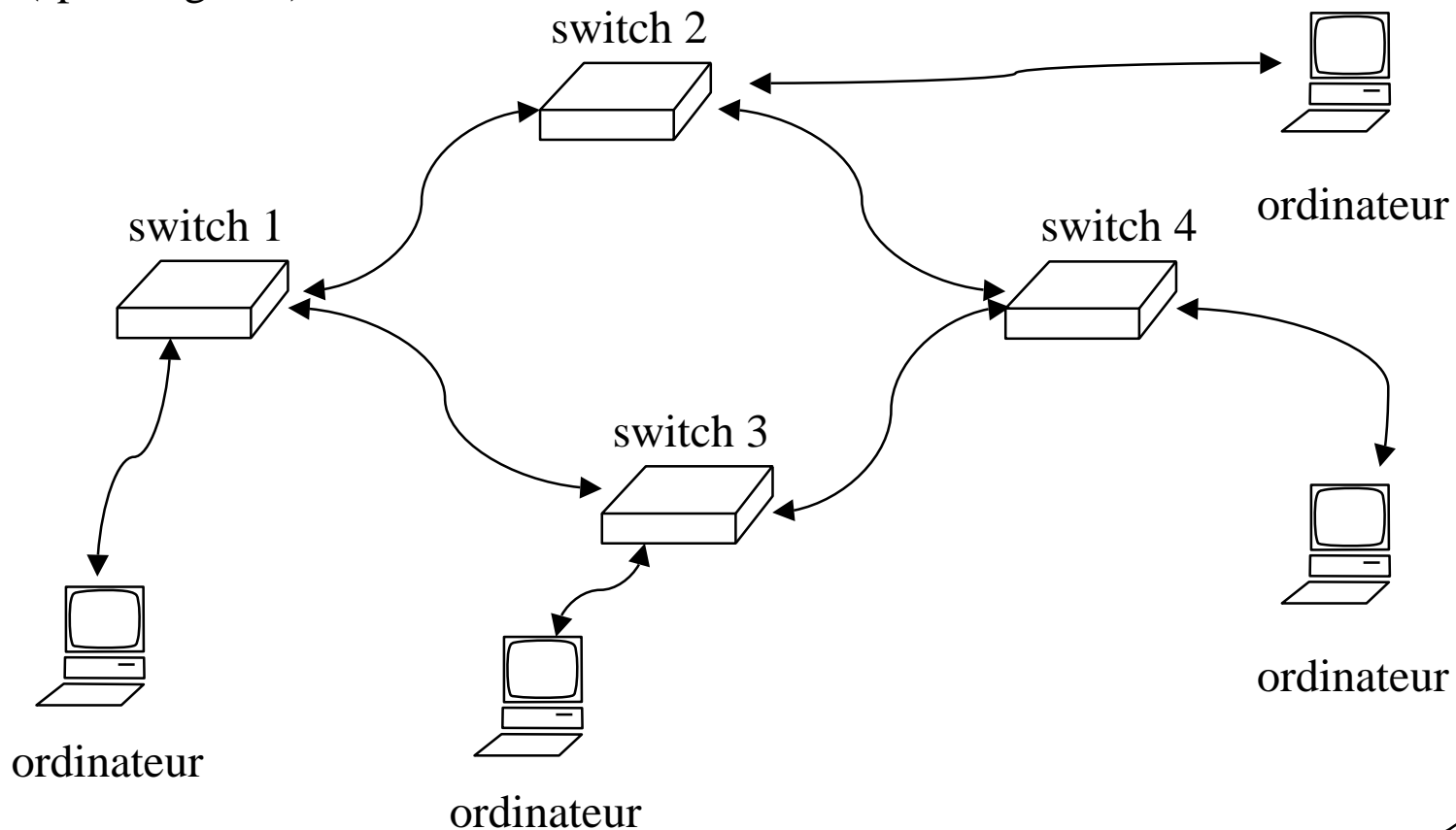
ETHERNET commuté (switché)

- Technologie 10Base T
- un switch est un concentrateur qui reçoit la totalité d'une trame avant de la renvoyer (Store and Forward)
- un switch renvoie une trame reçue seulement sur la connexion du destinataire (apprentissage lors de la mise en route)
- Les collisions sont réduites car deux stations (ordinateur et switch ou deux switches) par liaison
- confidentialité accrue car seul l'ordinateur destinataire reçoit les trames

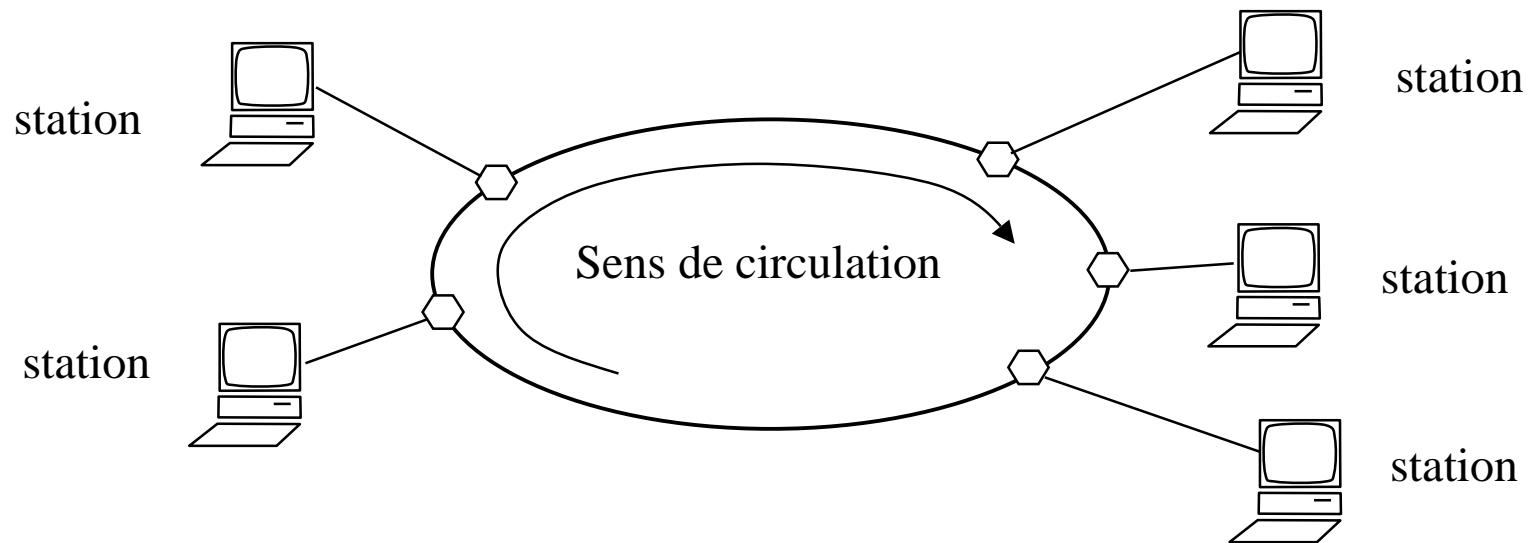
Réseaux ETHERNET (14)

ETHERNET switché : commutation de trames

les switches doivent déterminer et maintenir un arbre recouvrant le réseau (spanning tree)

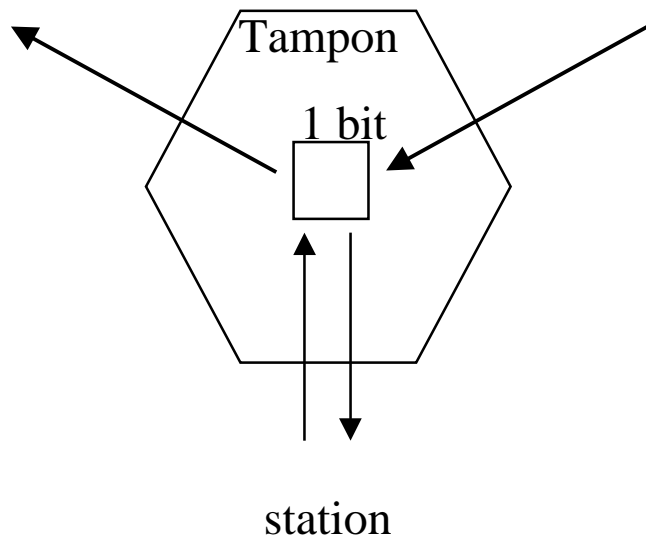


Réseaux TOKEN RING (IEEE 802.5)



- 4 ou 16 Mbits/s puis 100Mbits/s en High Rate Token Ring
- câble coaxial ou paire torsadée
- longueur de l'ordre du km

Réseaux TOKEN RING (2)



Interface réseau :

introduit un délai d'un bit

- envoie le bit entrant à la station

- recopie 1bit sur le réseau sortant

soit du réseau entrant

soit de la station

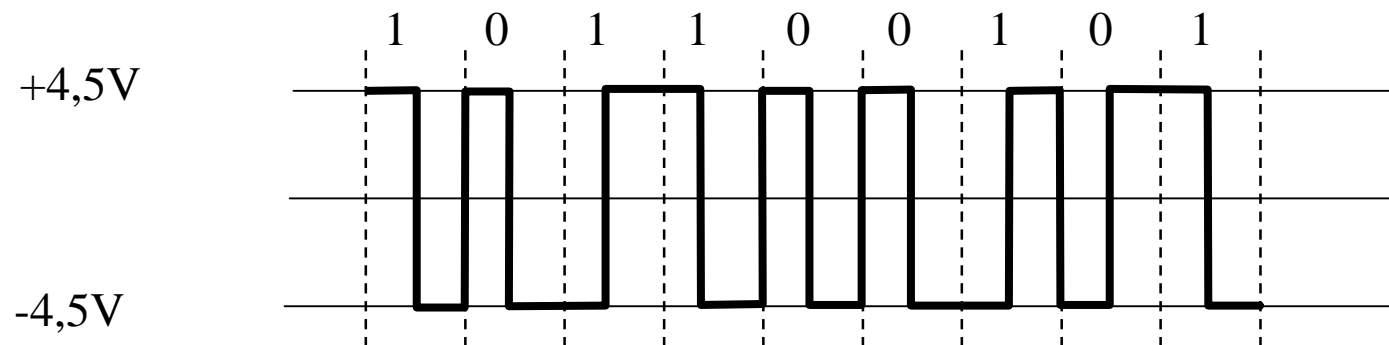
(pilotage par la station)

Réseaux TOKEN RING (3)

Codage bande de base (Manchester différentiel) :

bit 1 : absence de front sur la limite de l'intervalle

bit 0 : front montant ou front descendant



Propriété :

il y a un front (montant ou descendant) par bit dans le milieu de l'intervalle
les horloges peuvent être resynchronisées sur les fronts

Réseaux TOKEN RING (4)

Une frame circule le long de l'anneau relayée de station en station

| | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|------|-----|----|----|
| SD | AC | FC | DA | SA | RI | DATA | FCS | ED | FS |
|----|----|----|----|----|----|------|-----|----|----|

SD : Starting Delimiter; séquence spéciale sur 1 octet

AC : Acces Control ; détermine si la trame est un jeton ainsi que la priorité

FC : Frame Control: permet de distinguer les trames de données et de contrôle

DA : Destination Adress (2 à 6 octets)

SA : Source Adresse (2 à 6 octets)

DATA : données transportées par la trame

FCS : Somme de contrôle (4 octets)

ED : Ending Delimiter

FS : Frame Status; rend compte de la réception par le destinataire

Réseaux TOKEN RING (5)

- Une trame particulière nommée jeton circule régulièrement sur l'anneau
- Une station qui désire émettre attends que le jeton passe et le retire
- Elle peut alors émettre une trame
- Une station destinataire d'une trame modifie le champs FS pour indiquer qu'elle l'a reçue et la renvoie
- Lorsque la trame revient sur la station qui l'avait émise, celle-ci la retire de l'anneau et émet une autre trame ou remet le jeton.

Format du jeton (SD AC et ED sur 1 octet chacun) :

| | | | | | | | | | |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| SD | P | P | P | T | M | R | R | R | ED |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|

P : bit de priorité T=0 : jeton R: bit de réservation

T=1 : trame

Réseaux TOKEN RING (6)

Format du jeton (SD AC et ED sur 1 octet chacun) :

| | | | | | | | | | |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| SD | P | P | P | T | M | R | R | R | ED |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|

P : bit de priorité T=0 : jeton R: bit de réservation

Les trames sont réparties sur 8 niveaux de priorité (plus faible priorité : 7)

- une station voulant transmettre une trame de niveau n doit attendre le passage d'un jeton de priorité au moins égale à n
- une station peut tenter de réserver le prochain jeton libre en écrivant la priorité de la trame qu'elle veut émettre dans les bits de réservation, mais elle ne peut inscrire une priorité plus basse que celle déjà inscrite.
- pour éviter que la priorité du jeton reste élevée, une station qui a augmenté la priorité du jeton doit la redescendre après utilisation.

Réseaux TOKEN RING (7)

Remarques

- une trame est généralement plus longue que l'anneau
- le jeton doit être plus petit que l'anneau
- si le jeton est unique il n'y a pas de collision, d'ou une meilleure utilisation de l'anneau (jusqu'à 100%)
- l'utilisation des bits de réservation et de priorité peut entrainer une attente infinie pour une station désirant transmettre une trame de faible priorité

Problème

- créer un et un seul jeton au démarrage
- remplacer le jeton s'il est perdu

Topologie physique et topologie logique

- Topologie physique
 - câblage entre les stations
- Topologie logique
 - adressage et partage du droit à émettre et du temps de transmission (couche MAC)
 - méthodes à contention
 - CSMA/CD (ex Ethernet, norme 802.3)
 - CSMA/CA
 - méthode à jeton
 - jeton non adressé (ex Token Ring, FDDI, norme 802.5)
 - jeton adressé (jeton sur bus ex MAP, norme 802.4)

Connexion à un réseau

Par radio (Wireless LAN)

le signal est transmis par ondes électromagnétiques dans l'atmosphère.

Problèmes de collision

Protocoles WIFI : IEEE 802.11a,b, c, d, f, g, h, i

Protocole Bluetooth

Protocole WIMAX

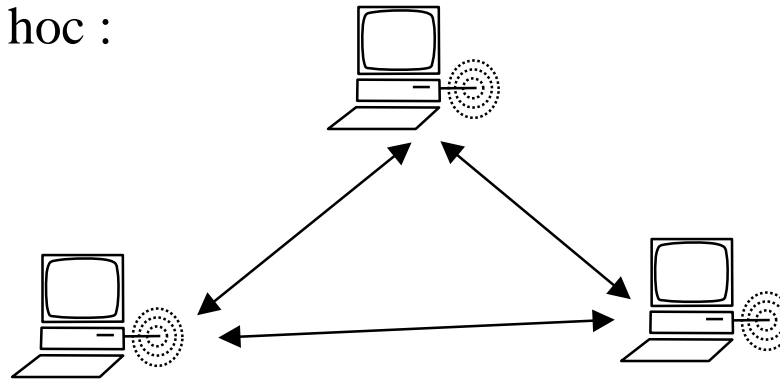
En utilisant le réseau téléphonique

- modem pour transformer les suites de bits en signal analogique et réciproquement
- liaisons point a point (pas besoin d'adresses)

Protocole PPP et ADSL

Réseaux WIFI (IEEE 802.11)

Mode ad hoc :

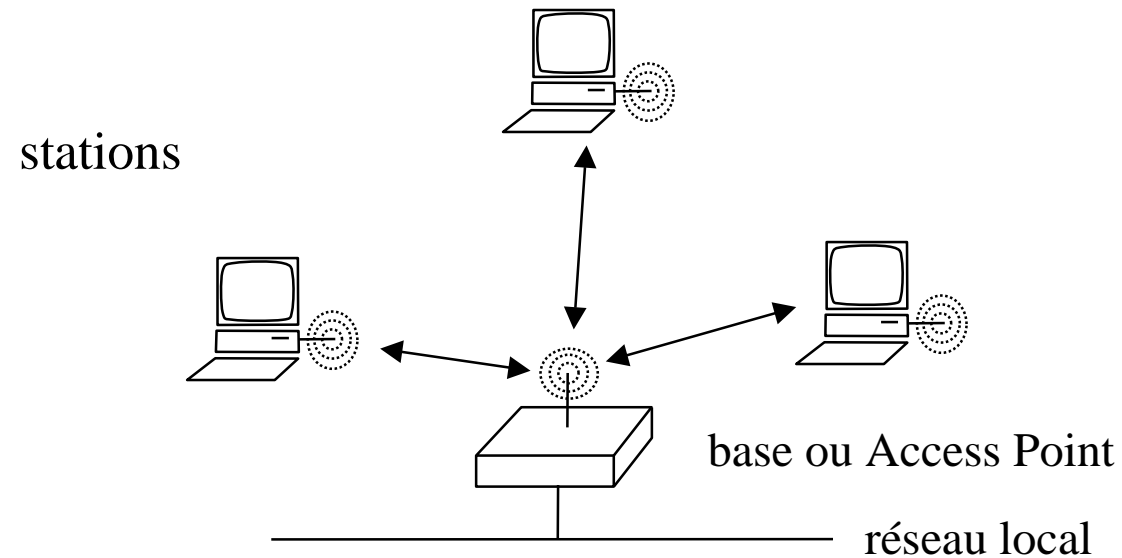


stations

- Une cellule appelée BSS (Basic Set Service) est constituée d'un ensemble de stations qui se reçoivent mutuellement.
- aucune station n'a de rôle particulier
- la cellule fonctionne de façon isolée

Réseaux WIFI (2)

Mode infrastructure :



- Une cellule appelée BSS (Basis Set Service) est constituée des stations (event. mobiles) qui peuvent communiquer avec la station de base ou Access Point.
- La station de base est généralement reliée à un réseau local ou à autres cellules

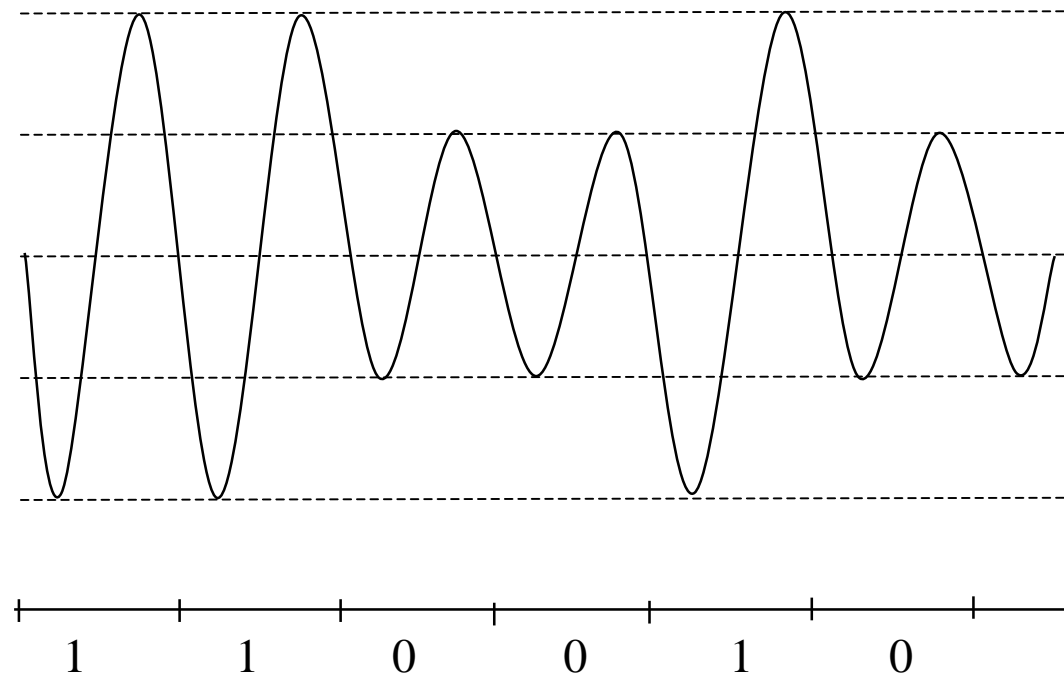
Réseaux WIFI (3)

Couche physique : techniques de transmission

- transmission en bande de base peu utilisable
- utilisation d'un (ou plusieurs) signal sinusoïdal modulé
- l'information est codée par des modulations des sinusoïdes
 - de phase
 - d'amplitude
 - de fréquence
- la plage de fréquence disponible est divisée en canaux
- chaque canal à son propre signal sinusoïdal
- les canaux disponibles peuvent être utilisés simultanément

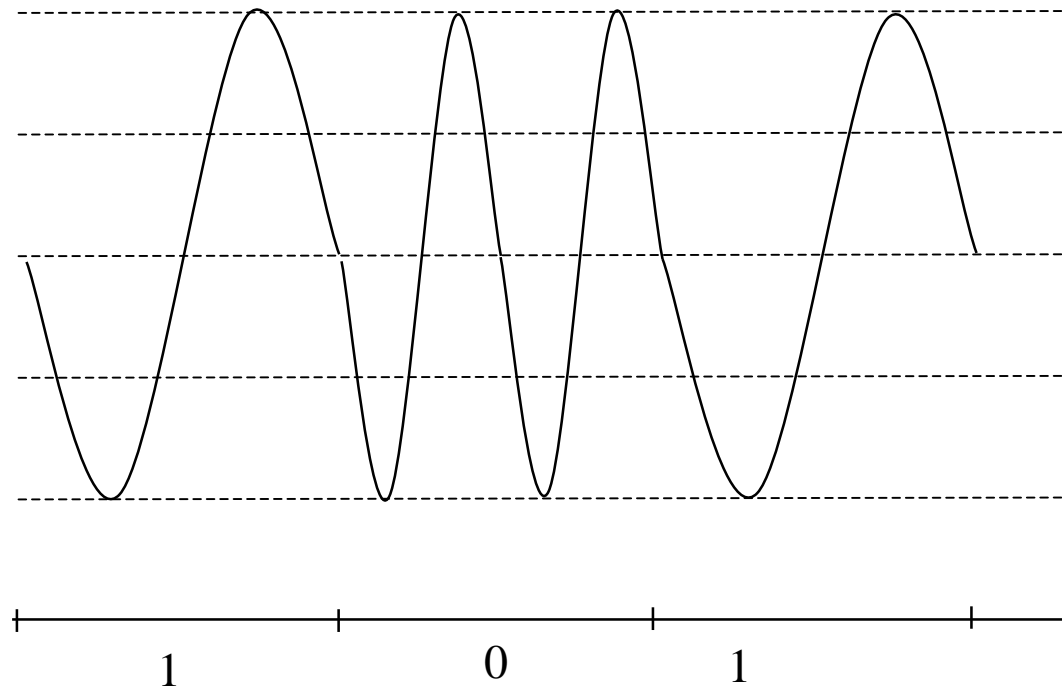
Réseaux WIFI (4)

Modulation d'amplitude :



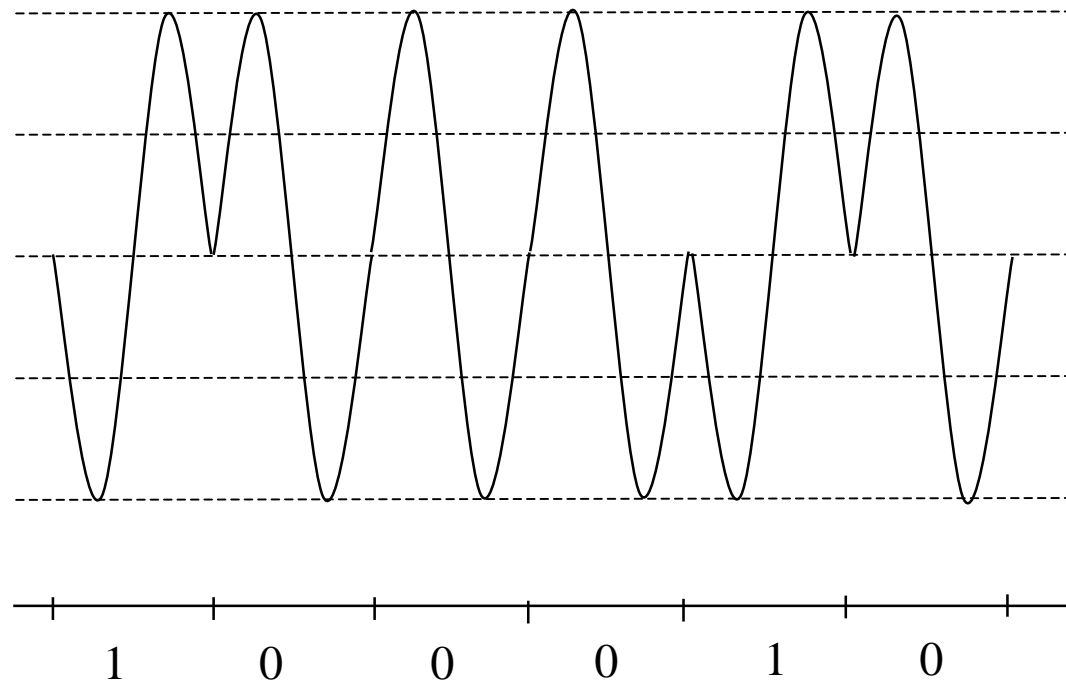
Réseaux WIFI (5)

Modulation de fréquence :



Réseaux WIFI (6)

Modulation de phase :



Réseaux WIFI (7)

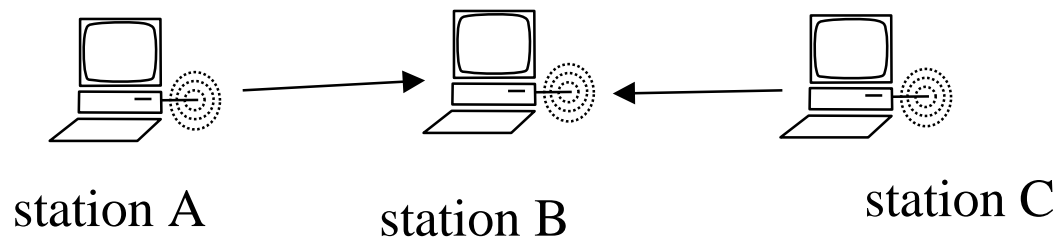
Techniques de transmission : IEEE 802.11b

- la bande des 2,4Ghz est divisée en 13 canaux de 20MHz
- High Rate Direct Sequence Spread Spectrum (HR-DSSS)
modulation à saut de phase QSPK (Quadrature Phase Shift Keying) plus codage CCK (Complementary Code Keying)
- débit maximum théorique de 11Mbits/s
- ajustement des débits maximum en fonction de l'environnement et de la distance : 11 - 5,5 - 2 - 1

Réseaux WIFI (8)

couche liaison sous-couche MAC:

- définit l'adressage et le format des trames, gère le contrôle d'erreur par CRC, l'énergie, la fragmentation, le ré-assemblage, la qualité de service, la mobilité, la sécurité
- détermine quelle est la prochaine station à émettre
 - impossible de détecter une collision pendant une émission locale donc CSMA-CD est inopérante.
 - problème de la station cachée (A ne reçoit pas C mais peut perturber ses communications avec B)



Réseaux WIFI (9)

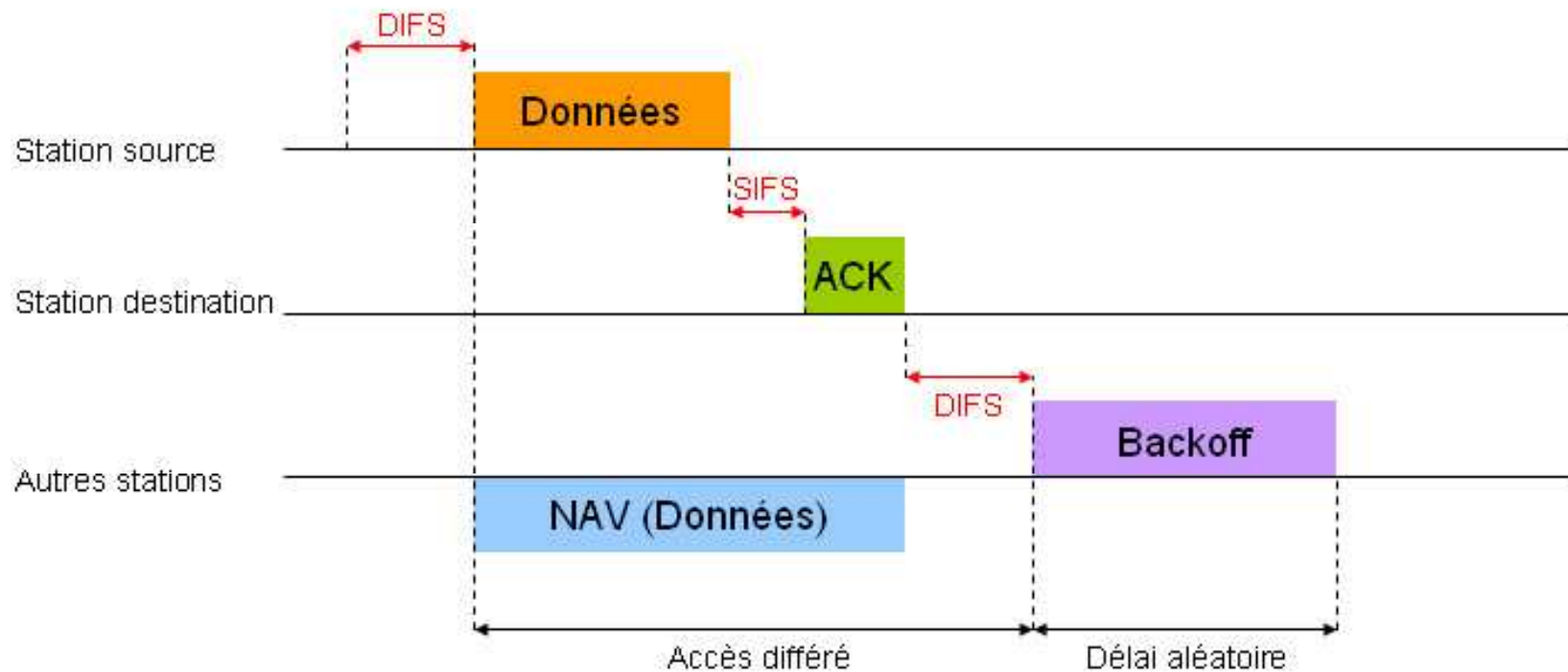
couche liaison, sous-couche MAC: Accès au médium par DCF

Gestion distribuée avec la technique CSMA/Collision Avoidance)

- chaque trame est séparée de la suivante par un intervalle intertrame IFS (Inter Frame Space)
- une station qui veut émettre attend que le médium soit libre pendant un intervalle IFS
- elle commence la transmission en indiquant dans le champ NAV la longueur maximum de l'échange
- si la station destinataire reçoit correctement elle renvoie un ack après un short IFS ($< \text{IFS}$)
- si un problème survient elle choisit aléatoirement un délai d'attente dans une plage qui double à chaque collision.

Réseaux WIFI (9bis)

couche liaison, sous-couche MAC: Accès au médium par DCF



Réseaux WIFI (10)

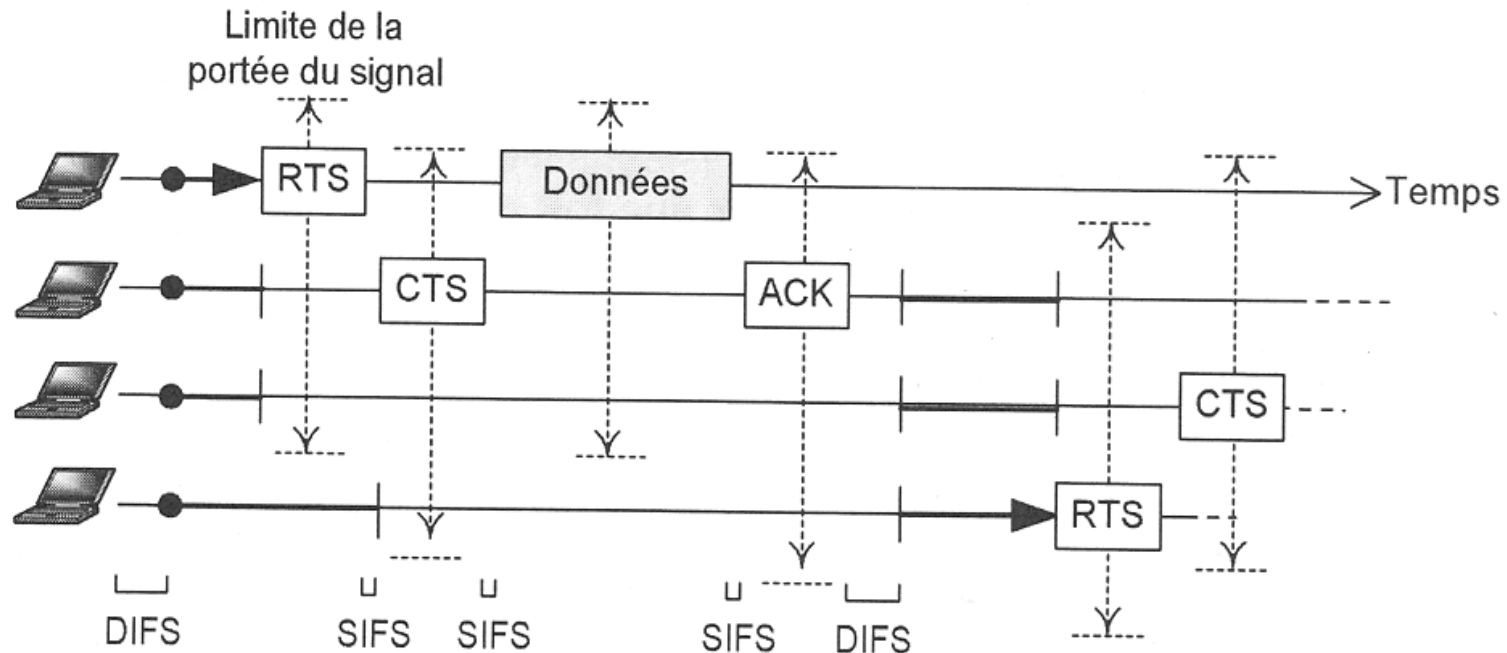
couche liaison sous-couche MAC: Accès au médium par VCS

Gestion distribuée de périodes de charge avec la technique VCS (Virtual Carrier Sense) : impose un échange préliminaire entre deux stations pour signaler à l'environnement qu'un échange va suivre et indiquer sa durée (champ NAV)

- si A veut transmettre à B et si le canal est libre depuis ISF alors A envoie une trame Request To Send (petite trame de 30 octets) comportant un NAV
- si B accepte alors elle renvoie une trame Clear To Send comportant un NAV
- après réception de CTS, A attend un Short IFS et émet sa trame de donnée
- après réception correcte de la trame de données, B attend un Short IFS et renvoie un ACK

Réseaux WIFI (11)

Mode DCF (Distributed Coordination Function)



Réseaux WIFI (12)

couche liaison sous-couche MAC: Acces au médium par VCS

- les autres stations, même hors de portée de A (stations cachées) recoivent le CTS et s'abstiennent d'émettre pendant une durée contenue dans le champs NAV.
- possibilité de collisions sur les trames RTS et CTS, il s'ensuit que le canal n'est pas réservé et il faut recommencer après un délai aléatoire
- si une trame est plus longue que le Fragmentation Threshold alors elle est fragmentée et les fragments sont envoyés à la suite lors du même échange avec un ACK pour chacun et un Short IFS entre les messages

Réseaux WIFI (13)

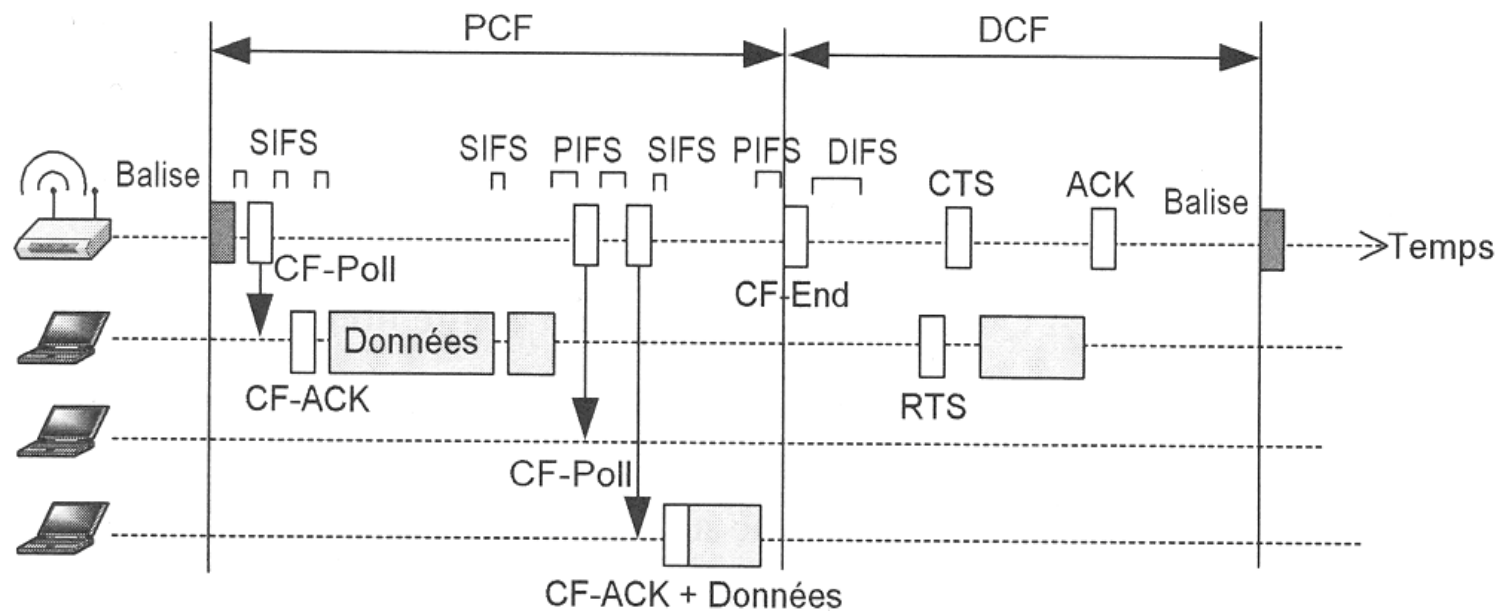
couche liaison sous-couche MAC: Acces au médium par PCF

avec la Point Co-ordination Function la station de base coordonne les émissions en envoyant une sollicitation à émettre (polling) à chacune des autres stations de la cellule qui doivent être sollicitées à tour de rôle

- pas de possibilité de collisions
- peut garantir un certain débit
- peu implémenté

Réseaux WIFI (14)

Mode PCF



Réseaux WIFI (15)

Trame WIFI :

| | | | |
|-----------|--------------|-------------|-----|
| Préambule | En-tête PLCP | Données MAC | CRC |
|-----------|--------------|-------------|-----|

Préambule : synchronisation et marquage de début

En-tête Physical Layer Convergence Protocol : définit le débit et la longueur des données MAC

3 types de données MAC

- données : encapsule les paquets IP, deux parties
 - contrôle : adresses, fragmentation, NAV, cryptage
 - données (paquet IP) : 2 312 octets maximum
- gestion, pour l'association et l'authentification
- contrôle, pour l'accès au canal : RTS, CTS, ACK, NAV

Réseaux WIFI (16)

Trame WIFI :

en mode infrastructure la station de base diffuse une trame de signalisation (beacon frame) 10 à 100 fois par seconde

- rappel aux nouvelles stations pour les mettre sur la liste de scrutation
- synchronisation d'horloge

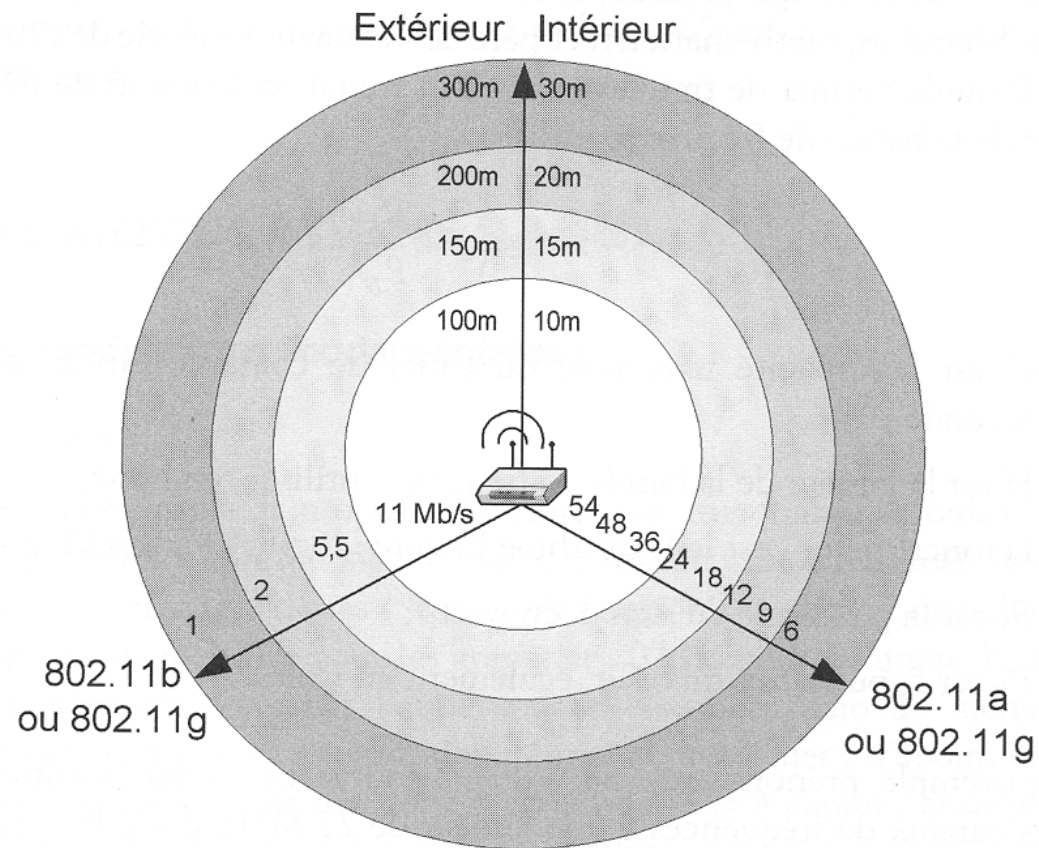
Réseaux WIFI (17)

Amendements

- amendement i : sécurité
- amendement e : qualité de service
- amendement f : mobilité
- amendement g et n : débit (54 Mbits.s théorique, 22Mbits/s maximum en pratique)

Réseaux WIFI (18)

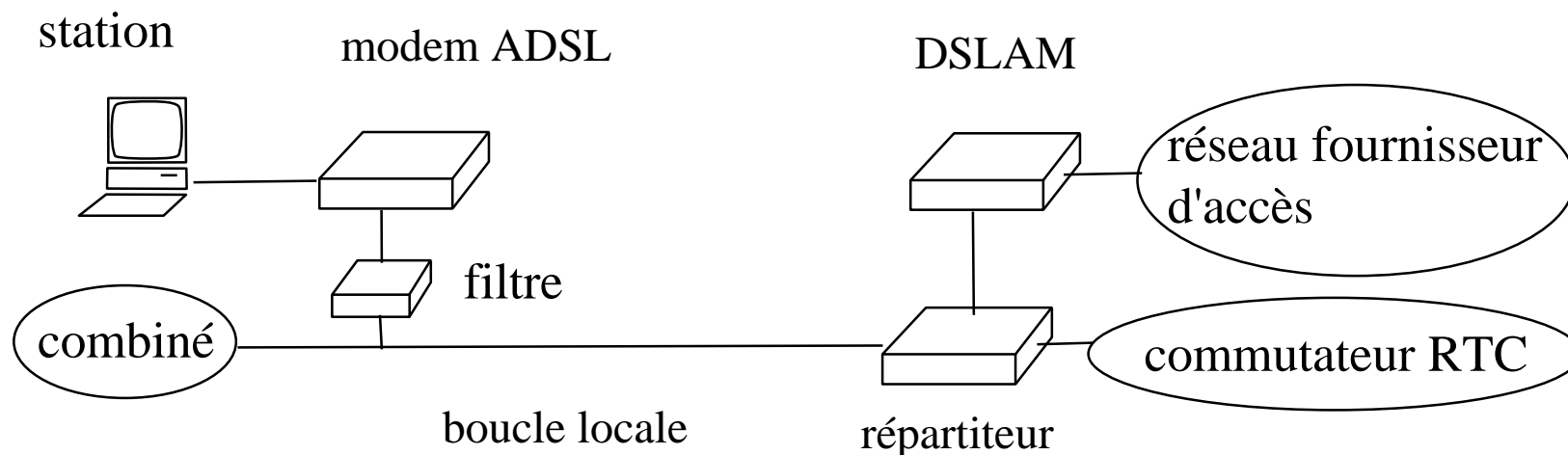
Débit



ADSL

Asymmetric Digital Subscriber line, cas particulier de xDSL

Médium : paire métallique du réseaux téléphonique commuté (boucle locale) au dela de la fréquence 4KHz



- plage 0-4Khz est occupée par la transmission analogique de la parole
- transmission en modulation de signal (CAP ou DMT) sur quelques km maxi
- DSLAM (DSL Access Module) contient des modems

ADSL (2)

la plage 4KHz-1,1MHz est divisée en deux parties :

4KHz-100KHz : voie montante (client vers fournisseur d'accès)

100KHz-1,1MHz : voie descendante (fournisseur d'accès vers client)

la voie montante est divisée en 20 bandes de 4,3KHz

la voie descendante est divisée en 256 bandes de 4,3KHz

toutes les sous bandes peuvent être utilisées simultanément

- adaptation du débit aux caractéristiques de chaque bande
- répartition du trafic sur les bandes par le modem ou le DSLAM

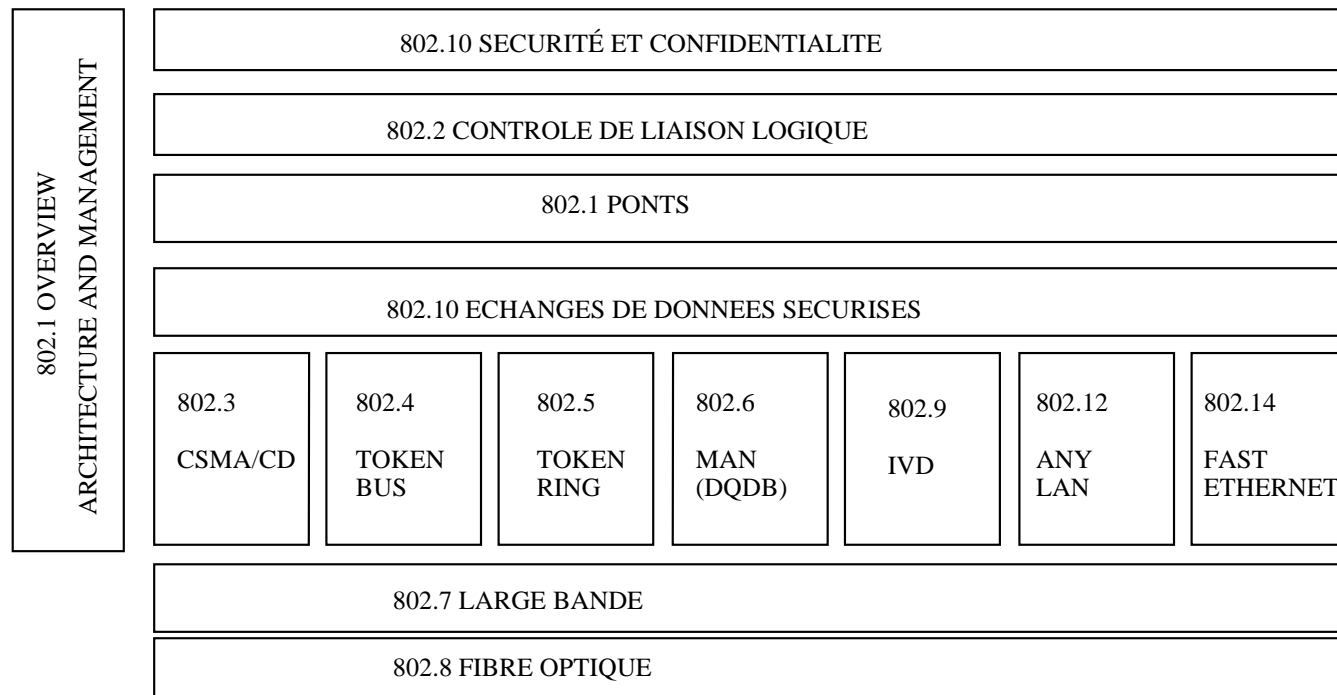
une bande utilise un codage 2B1Q qui permet de transmettre 4 à 15 bits en parallèle par intervalle d'horloge.

avec 8 bits et 4000 intervalles on a : $4000 \times 8 = 32\text{KBits/s}$ par bande

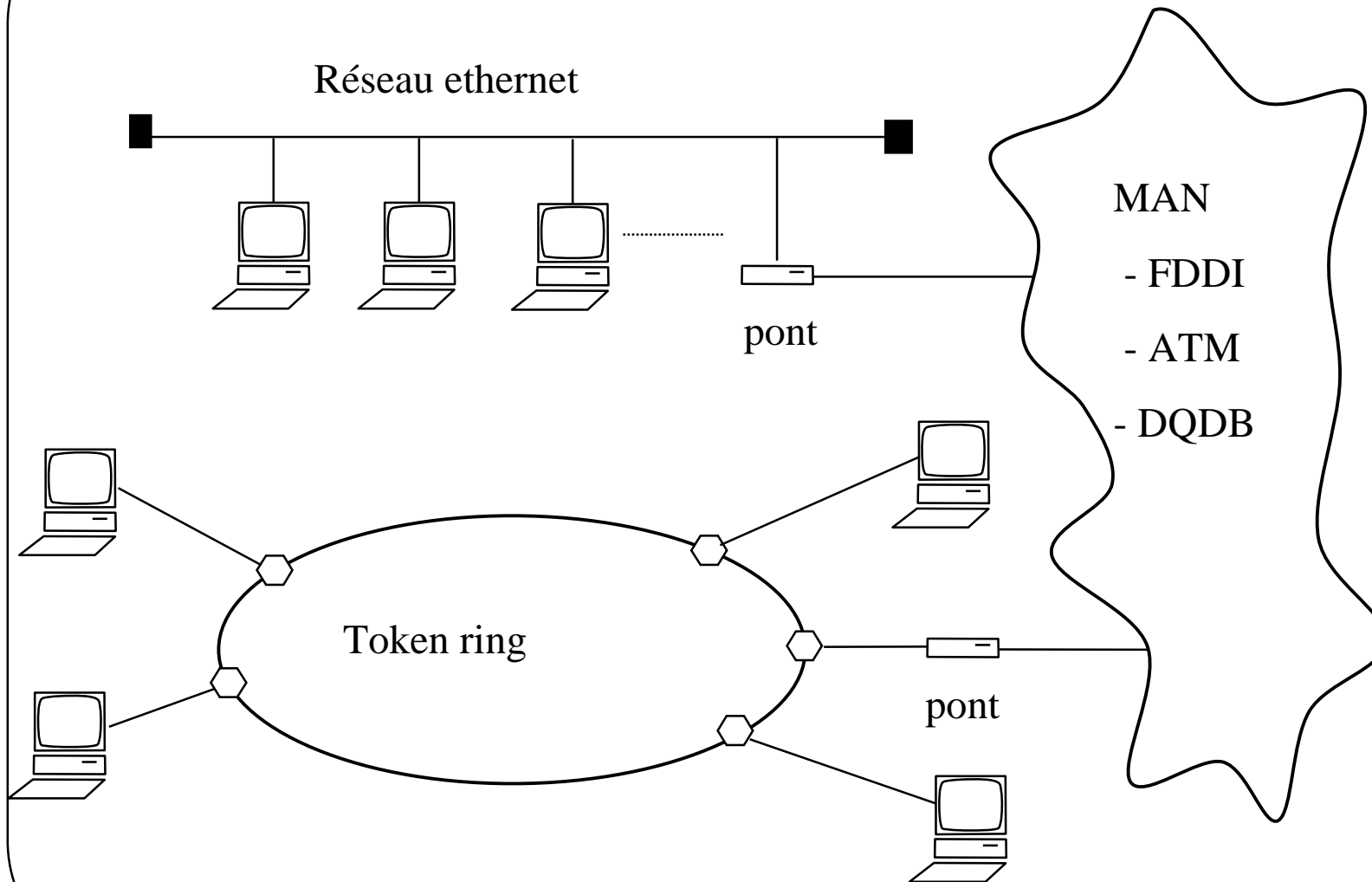
voie montante $32 \times 20 = 640\text{ KBits/s}$, voie descendante $256 \times 32 = 8,2\text{MBits/s}$

normalisation des réseaux locaux

STANDARDS IEEE



Interconnection de Réseaux



Interconnection de Réseaux (2)

Communication avec l'extérieur d'un réseau :

généralement un pont ou une passerelle connecte le LAN à un MAN (FDDI, ATM) ou un WAN (ATM, Frame Relay)

- Problèmes de trames (les trames ethernet ne sont pas adaptées à tous les réseaux)

- Problèmes d'adresse (les adresses ethernet sont liées à la technologie Ethernet, pas aux autres technologies, idem pour les autres réseaux)

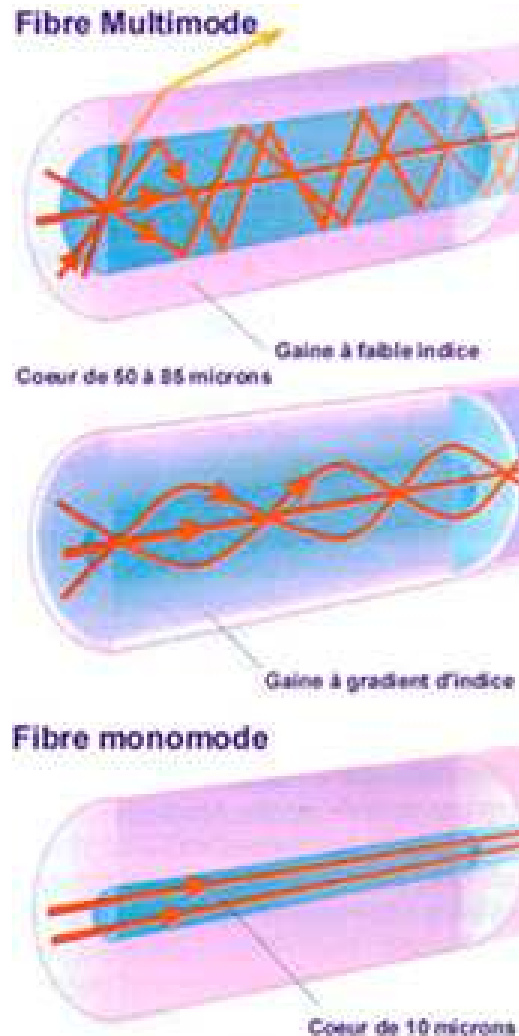
==> il faut définir des standards pour masquer les détails techniques de chacun des types de réseaux utilisables et unifier les visions qu'en ont les applications informatiques : Internet Protocol, mais aussi IPX, appletalk, ...

Ces protocoles font circuler des blocs de données appelés paquets qui sont encapsulés dans des trames, après fragmentation éventuellement.

Réseaux fibre optique

- Transmission d'un signal lumineux sur une fibre de verre
- transmission directe : pas de lumière bit 0 lumière bit 1
- transmission d'un signal modulé
- émetteurs par coût et puissance croissante
 - diode électroluminescente (DEL)
 - diode laser (DL)
 - laser modulé
- multiplexage en fréquence (plusieurs signaux de fréquences différentes sont acheminées simultanément, maximum 1000)

Réseaux fibre optique



- Les fibres multimodes ont un diamètre de coeur important (de 50 à 85 microns).
 - fibres à saut d'indice (débit limité à 50 Mb/s)
 - fibres à gradient d'indice (débit limité à 1 Gb/s).
- Les fibres monomodes ont un diamètre de coeur (10 microns), proche de la longueur d'onde transportée. Nécessite une grande puissance d'émission qui est délivrée par des diodes-laser. Débit actuel de l'ordre de 10Gb/s sur une seule longueur d'onde
- Record actuel (laboratoire Alcatel): 40 Gb/s sur 125 longueurs d'onde sur 1500 km, soit 5Tb/s sur une seule fibre

Réseaux fibre optique

Avantages

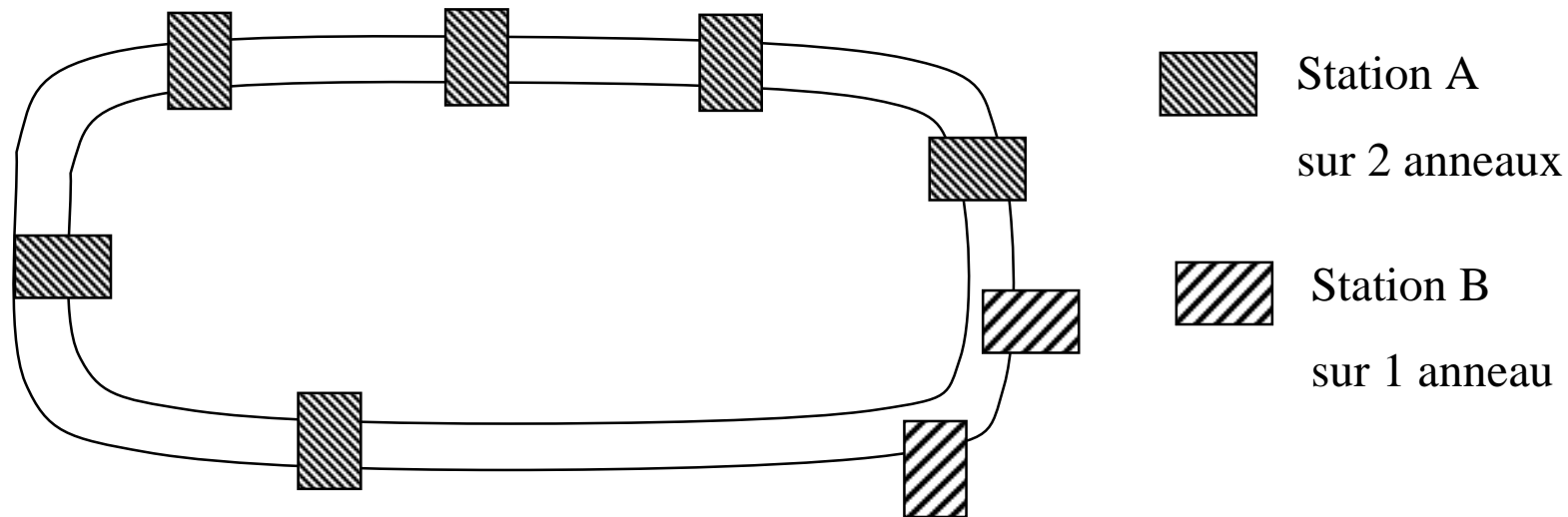
- large bande passante
- faible atténuation (régénération au pire tous les 10km, souvent beaucoup plus, de l'ordre de 50km)
- Excellente qualité de transmission (insensible aux perturbations électromagnétiques)
- bonne résistance aux variations de température
- matière première (silice) bon marché, prix de fabrication suivant pureté et diamètre
- absence de rayonnement et intrusion détectable donc transmissions confidentielles

inconvénient

- difficultés de raccordement
- difficulté de dérivation

Réseaux FDDI (ISO 9314)

(Fiber Distributed Data Interface)

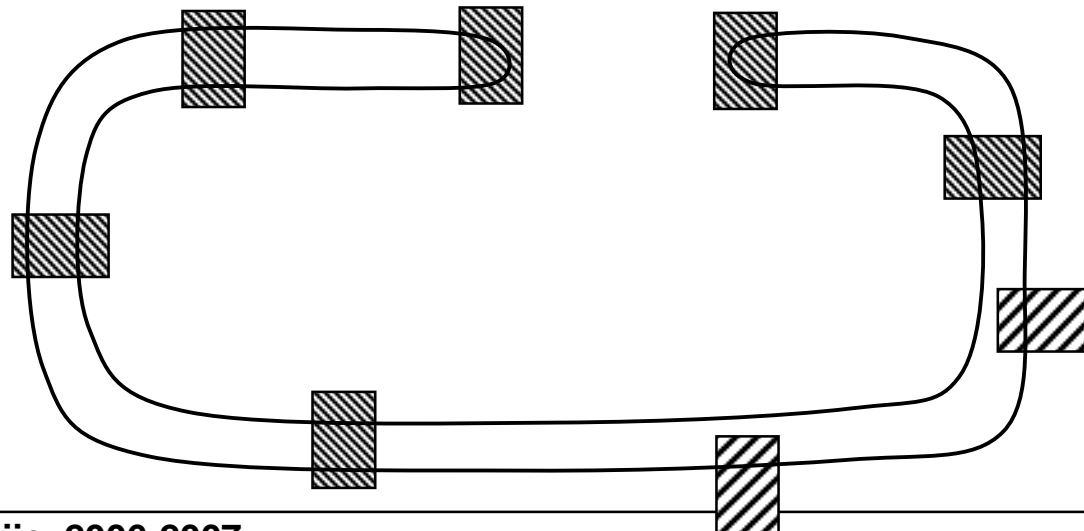


- Double anneau contra-rotatif de fibre optique
- anneau principal à jeton (proche token ring) et anneau de secours
- 100 Mbits/s
- 500 stations A ou 1000 stations B sur 200 km de fibre
- distance entre deux stations jusqu'à 60 km (suivant la qualité de fibre)
- format de trame proche de token ring de taille maximum 4 500 octets
- adresses sur 16 ou 48 bits

Réseaux FDDI (2)

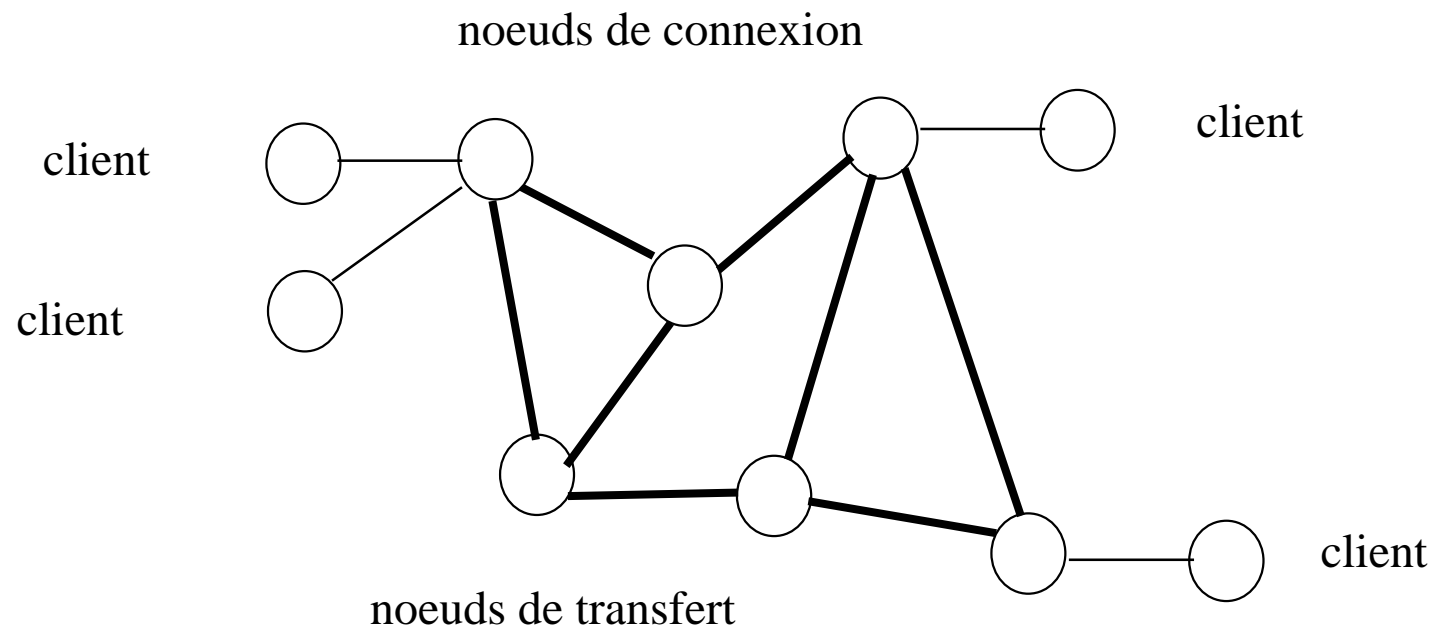
Points forts des réseaux FDDI

- insensible aux perturbations électromagnétiques
- faible taux de perte de trames
- écoute pratiquement impossible
- reconfiguration automatique en cas de coupure d'une liaison ou de pannes d'un coupleur :



Réseaux de Transport (WAN)

- réseaux maillés : ensemble de noeuds de connexion et de transfert reliés par des liaisons (souvent fibres optiques)



- gérées par un opérateur privé/public (ex RENATER) pour une communauté d'utilisateurs/clients

Réseaux de Transport (WAN)

- Caractéristiques connexion au réseau
 - Mise en relation des entités communicantes
 - mode connecté versus mode datagramme
 - Mode d'accès
 - permanent via liaisons spécialisées versus temporaire via RTC par exemple
 - Protocoles d'accès
 - interface usager/réseau de transport
 - Contrôle de flux

Réseaux de Transport (WAN)

- Caractéristiques liaison
 - Sens de transmission
 - simplex (unidirectionnelle): une seule direction fixée
 - half duplex (bidirectionnelle à l'alternat) : les deux directions, mais en alternance
 - full duplex (bidirectionnelle simultanée): les deux directions en même temps
 - Partage de liaison
 - multiplexage : des messages de plusieurs couples (émetteur-destinataire) circulent "en même temps" sur la liaison, voire dans les mêmes trames

Techniques de Transfert

Routage

- chaque bloc de données comporte l'adresse complète du noeud destinataire
- un noeud intermédiaire qui reçoit un bloc choisit en fonction de la destination la prochaine voie de sortie à emprunter
- deux blocs de données du même couple source-destination, peuvent suivre des trajets différents

Techniques de Transfert

Commutation

- tous les blocs d'un même couple source-destination doivent suivre le même itinéraire. Un flux de blocs source-destination est identifié sur une liaison par une "référence" ou "étiquette" ou "label"
- un premier bloc (de supervision) comportant l'adresse de destination "ouvre la route" : chaque noeud intermédiaire détermine la voie de sortie et l'associe à une référence dans une table de commutation
- les blocs de données suivants ne comportent que la référence du circuit

Comme pour le routage un noeud intermédiaire doit être capable de déterminer un itinéraire en fonction d'une adresse de destination mais

- Plus rapide car le choix de la route n'est fait que pour le premier bloc
- plus économique car une référence est plus petite qu'une adresse et se traite plus rapidement (il y a potentiellement plusieurs milliard d'adresses et beaucoup moins de flux à un instant donné)

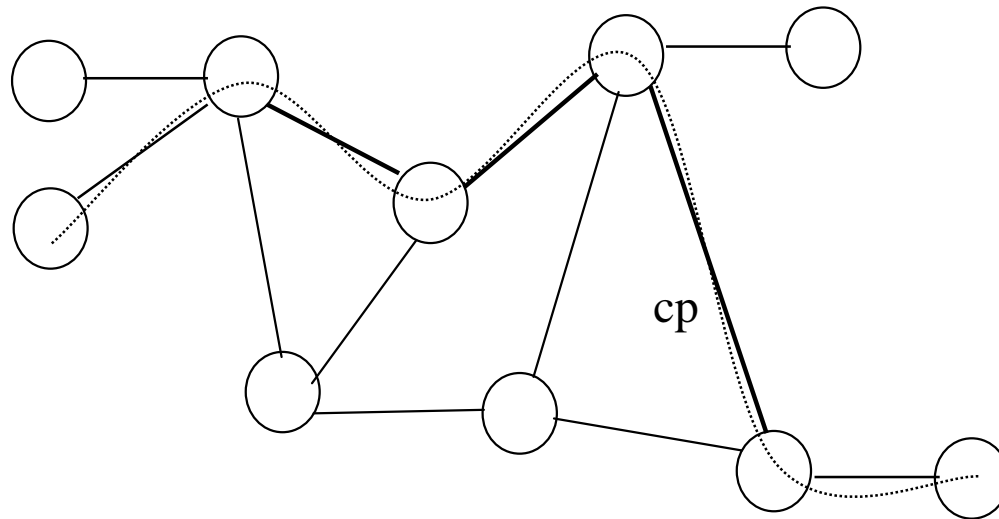
Commutation

- Commutation de circuits
- Circuit Virtuel
 - Commutation de messages
 - Commutation de paquets
 - Commutation de trames
 - Commutation de cellules

Commutation de circuits

Circuit physique établi entre l'émetteur et le récepteur, il n'est utilisé que par les deux entités qui communiquent.

Durée de vie du circuit = {établissement, interruption de la communication}



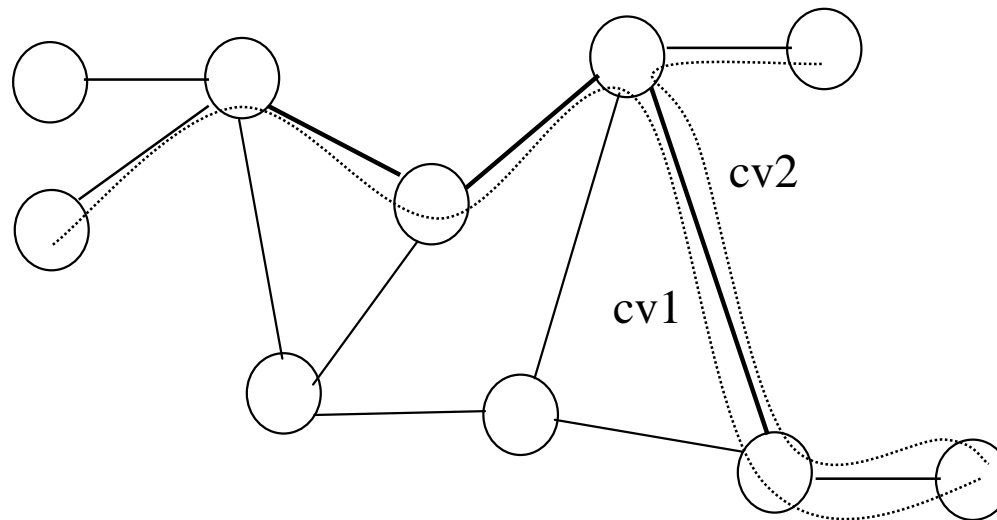
cas historique du RTC, mais actuellement aussi pour les commutations par fréquences sur les réseaux optiques

Circuits virtuels

Lorsqu'une liaison physique est utilisée simultanément par des blocs de données appartenant à plusieurs couples (source, destination) le circuit est dit virtuel.

C'est généralement le cas, car la plupart de liaisons sont multiplexées

Durée de vie du circuit virtuel = {établissement, interruption de la communication}



Commutation de messages

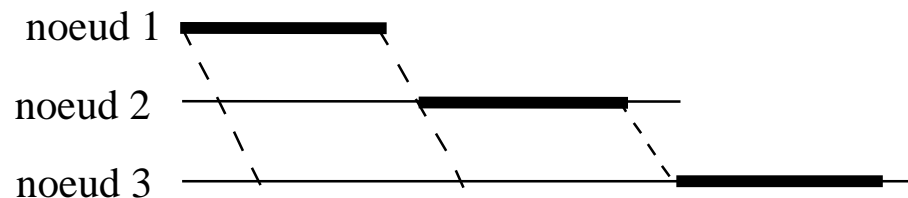
Message = suite d'informations formant un tout logique par rapport à une application

progression de noeud en noeud avec la règle suivante sur chaque noeud : un message ne peut être émis vers le noeud suivant que s'il a été complètement reçu.

=> mémorisation des messages

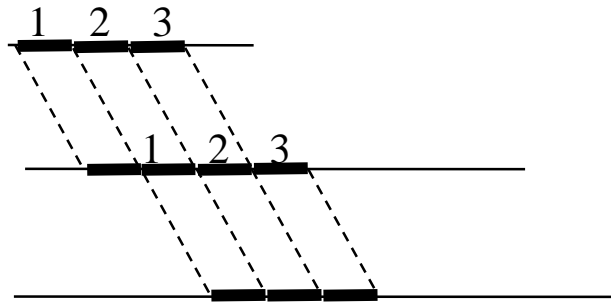
=> temps de transfert augmente avec le nombre de noeuds

=> pour une liaison probabilité de transmission incorrecte de messages longs élevée (choix de politique de retransmission)



Commutations de paquets

Même principe que commutation de messages mais les messages sont découpés en paquets de taille maximale, de l'ordre de 1000 à 20000 octets.



Paquets émis indépendamment les uns des autres => possibilité de multiplexage temporel des paquets de plusieurs messages

Reprise sur erreur simple au niveau du paquet mais pb de fragmentation, de réassemblage du message et de reprise en cas de perte d'un (de) paquets(s).

Commutation de trames

Idem commutation de paquets mais :

- **il n'est pas nécessaire de décapsuler le paquet de la trame entrante pour le ré-encapsuler dans la trame sortante**
- **les trames sont généralement plus petites que les paquets, ce qui permet d'accélérer encore l'acheminement**

Exemple : réseaux Frame Relay

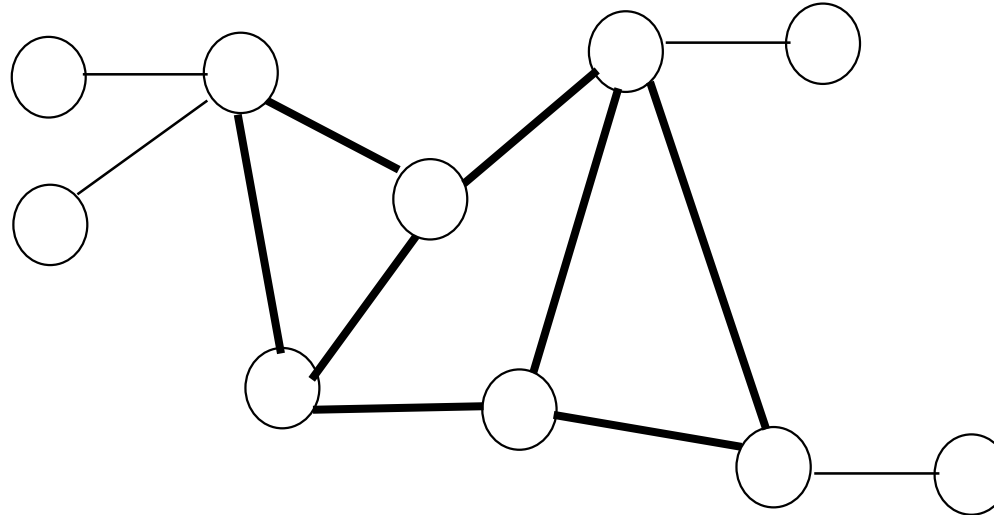
Commutation de cellules

Cellules = paquets de très petite taille :

- **Commutateurs spécifiques**
- **rapidité de commutation**
- **objectif: mélanges de débits très hétérogènes : voix, données, images.**

Exemple : ATM avec des cellules de 53 octets

Réseaux ATM



Asynchronous Transfert Mode

- réseau maillé
- liaisons physiques : câbles électriques divers ou fibres optiques
- acheminement de cellules de 53 octets (5 en-tête+ 48 contenu) de commutateur en commutateur le long des circuits virtuels
- qualité de service

Réseaux ATM

Format de la trame ATM :

| | |
|----------|-----------|
| En-tête | Données |
| 5 octets | 48 octets |

En-tête :

| | | | | | |
|--------|---------|---------|--------|-------|------------|
| 4 bits | 12 bits | 12 bits | 3 bits | 1 bit | 8 bits |
| GFC | VPI | VCI | PT | CLP | header CRC |

Generic Flow Control : contrôle d'accès et de flux, non normalisé

Virtual Channel Identifier : référence de circuit virtuel

Virtual Path Identifier : référence de chemin virtuel

Payload Type : type contenu des données, données utilisateur, gestion

Cell Loss Priority : 1 peut être perdue, 0 important

Réseaux ATM, circuits virtuels

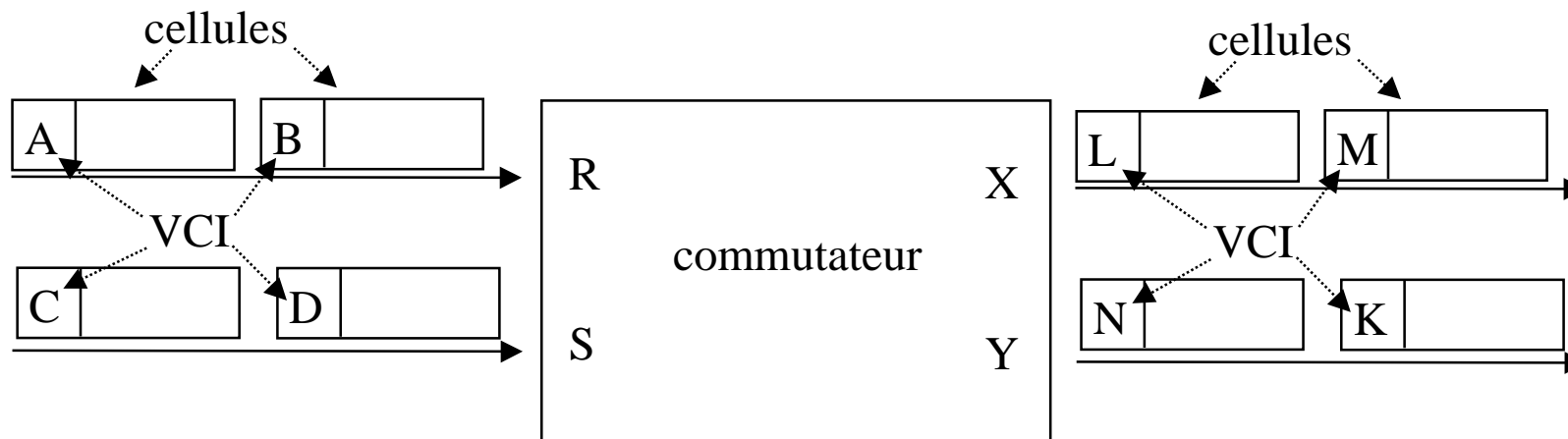
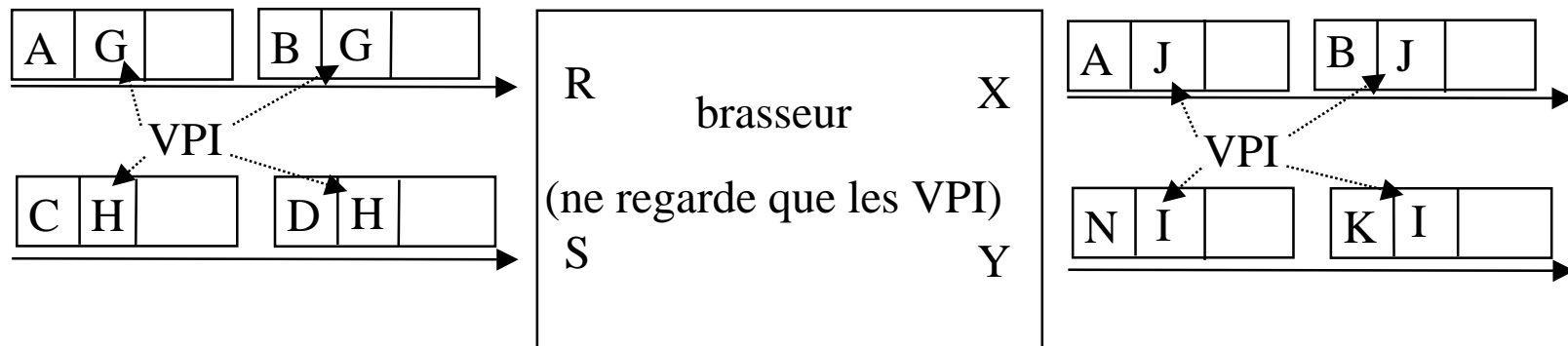
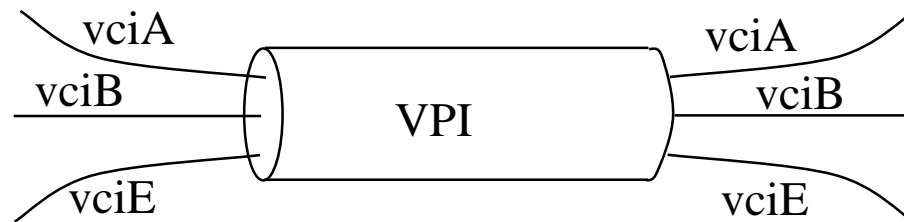


table de commutation

| ligne d'entrée | référence (VCI) | ligne de sortie | référence (VCI) |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| R | A | Y | K |
| R | B | X | M |
| S | C | Y | N |
| S | D | X | L |

Réseaux ATM circuits virtuels(2)

Les VPI permettent de regrouper des VCI de même destination
(permet de diminuer les tables de commutation et d'accélérer les transferts)



Remarque : table brassage identique à celle de commutation mais sur les VPI

Réseaux ATM : qualité de service

Classes de qualité de service :

- Constant Bit Rate : bande passante fixe (voix, video TR, sans compres.)
- Variable Bit Rate : flux avec à-coups (burst) (voix, video, compressé)
- Available Bit Rate : utilise le résidu de la bande passante, débit minimum garanti, mais pas le temps de transport
- Garanted Frame Rate : amélioration AVR, si le trafic demandé reste autour du minimum alors le taux de pertes doit être faible. Sinon et si le réseau est congestionné alors ces cellules sont perdues en premier
- Unspécified Bit Rate : service "au mieux" (best effort) , aucune garantie, si sur les pertes, ni sur le temps de transport.

Réseaux ATM : qualité de service

Paramètres de performances d'une classe de qualité de service:

- taux d'erreur par cellule
- taux de perte de cellules
- délai de transfert moyen par cellule
- variation du délai de transfert par cellule ("gigue")
-

Réseaux ATM : qualité de service

L'utilisateur peut négocier avec le fournisseur un contrat de service comprenant :

- une classe de qualité de service
- un descripteur de trafic
 - débit crête
 - débit projeté
 - durée des rafales tolérés
 - tolérance de gigue

RNIS (1)

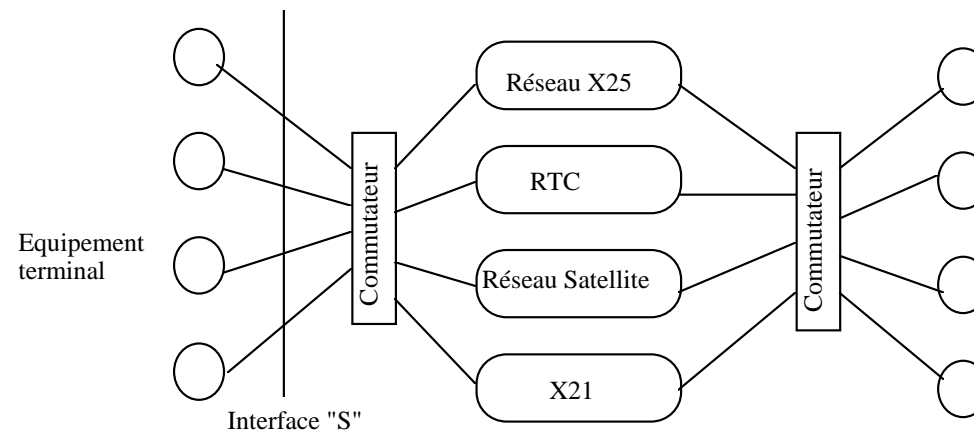
Integrated Service Digital Network

Intégrer deux flux : parole téléphonique et données informatique

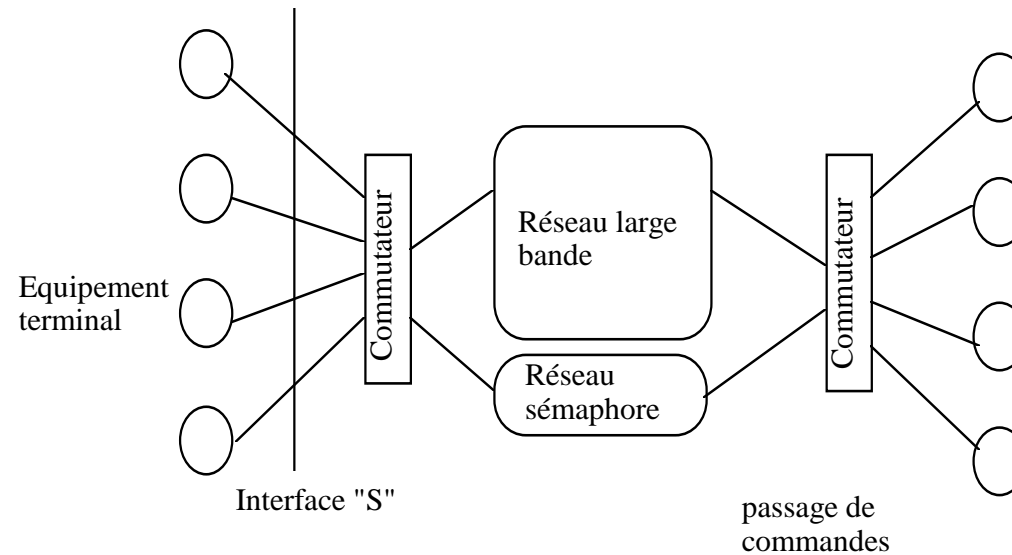
Connexion numérique de bout en bout (usager à usager)

Cacher les différents réseaux existant par une interface utilisateur unique appelée interface S.

RNIS Bande étroite



RNIS Large Bande Intégré



Diverses solutions pour le réseau large bande, dont ATM.
Réseau sémaphore pour la signalisation (établissement et fin des différents flux)

interface physique des réseaux opérateur

héritage des réseaux téléphoniques :

problématique :

Voix numérisée = 8000 échantillons de 1 octet par seconde, soit 1 octet par période de 125 micro secondes => de débit 64 Kbit/s

Multiplexer (assembler suivant une technique qui permet de dé-assembler à l'arrivée) plusieurs communications pour les acheminer sur le même câble .Hiérarchie des regroupements

multiplexage E1: 32 communications à 64 Kbit/s, soit 2Mbit/s

Multiplexage E2 : 8Mbit/s

Multiplexage E3 : 34 Mbit/s

Multiplexage E4 : 140 Mbit/s

Multiplexage E5 : 565 Mbit/s

interface physique des réseaux opérateurs

héritage des réseaux téléphoniques

Contraintes :

- éviter les à-coups dans l'acheminement
- restreindre le temps de réponse à 50ms Aller/Retour pour éviter la perception d'écho sinon mise en oeuvre d'infrastructure spécifique (suppresseurs d'écho)

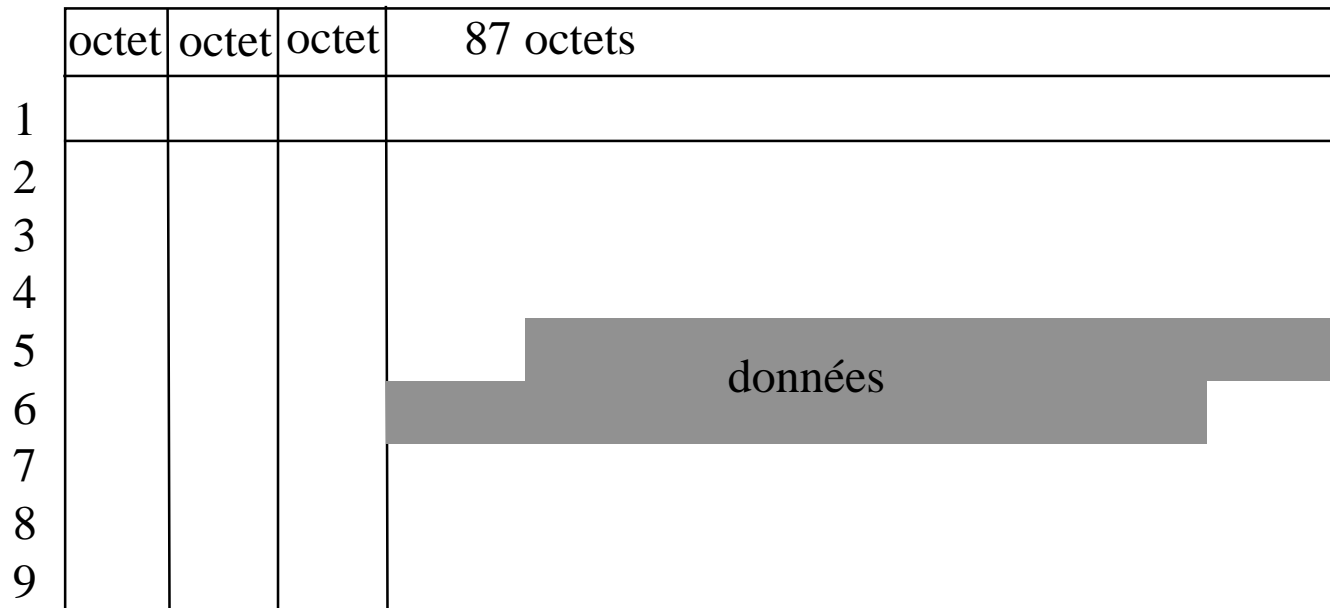
=> nécessité de débits réguliers et très importants

Transmission synchrone

sur une liaison (souvent fibre optique) circulent en permanence une suite de trames qui sont remplies plus ou moins suivant la demande (permet d'éviter de resynchroniser le récepteur à chaque arrivée de trame)

interface physique des réseaux opérateurs

trame SONET (Synchronous Optical Network, USA) de base

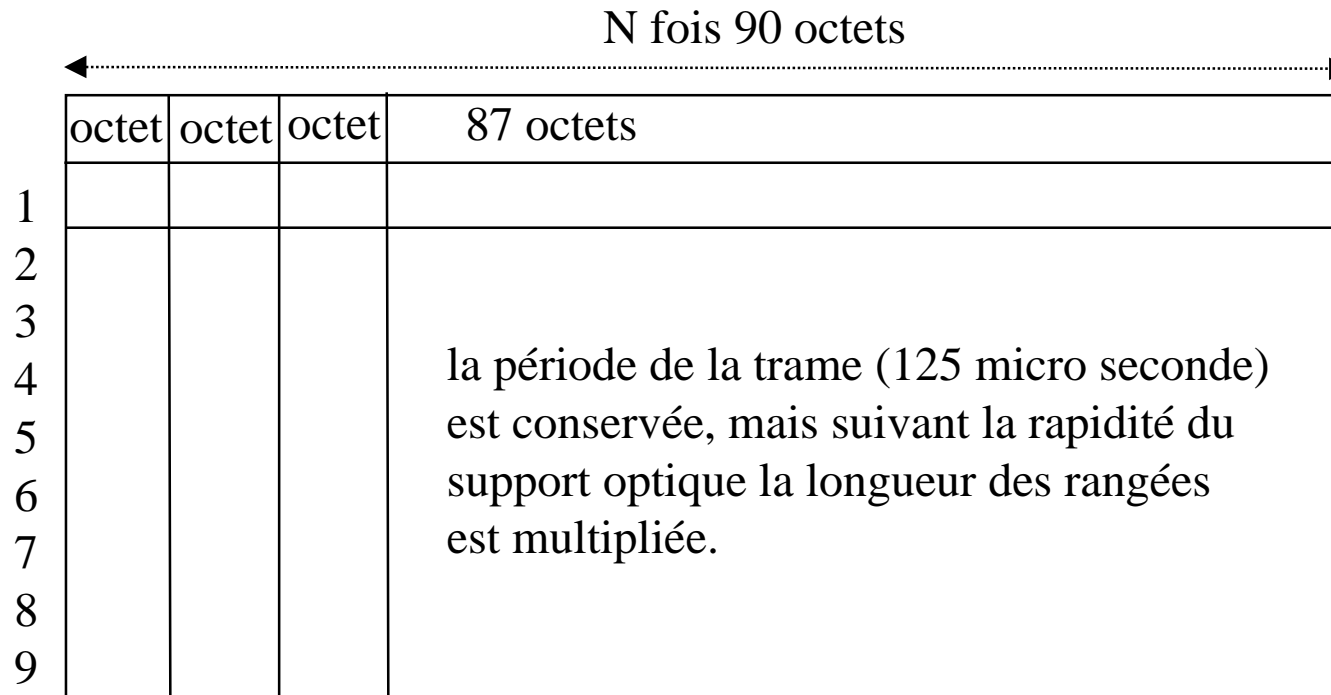


les octets de données sont groupés dans des containers virtuels dont le début et la fin sont repérés par les octets de contrôle à gauche
un container peut se poursuivre sur plusieurs trames

interface physique des réseaux opérateurs

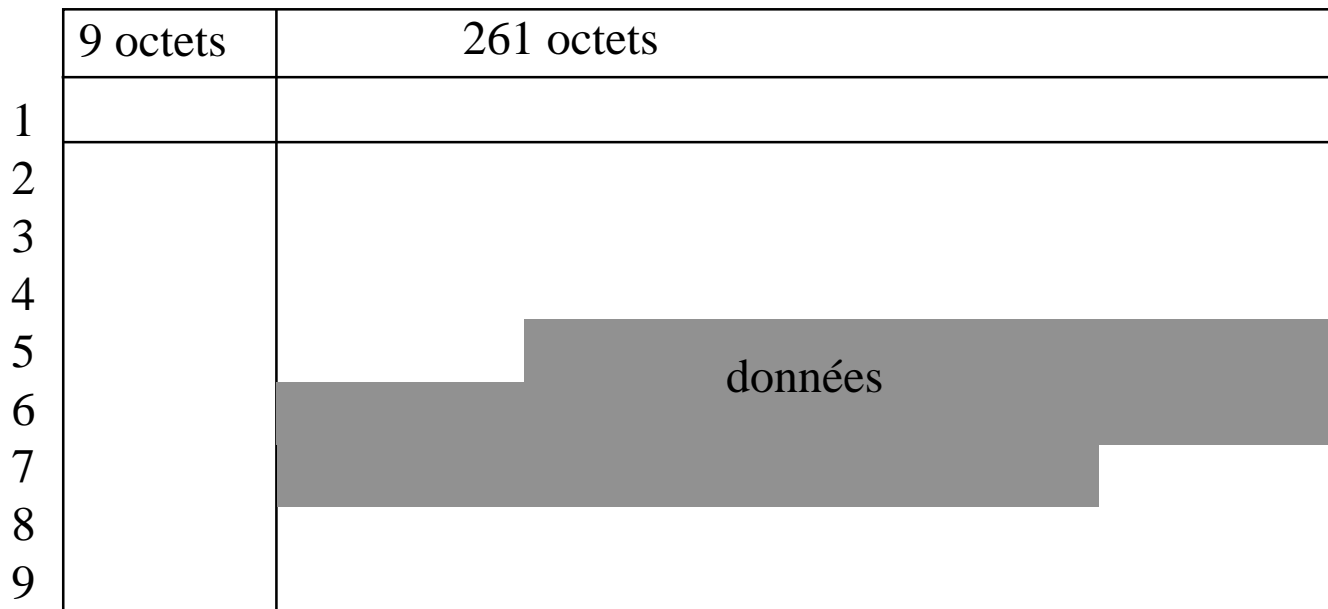
Hiérarchie SONET :

oc1 : 51,84 Mb/s oc12 : 622,08 Mb/s oc36 : 1866,16 Mb/s
oc3 : 155,52 Mb/s oc18 : 933,12 Mb/s oc48 : 2488,24 Mb/s
oc9 : 466,56Mb/s oc24 : 1244,16 Mb/s oc192 : 9953,28 Mb/s



interface physique des réseaux opérateurs

trame SDH (Synchronous Digital Hierarchy) de base
(SDH généralisation de SONET normalisée par UIT-T)

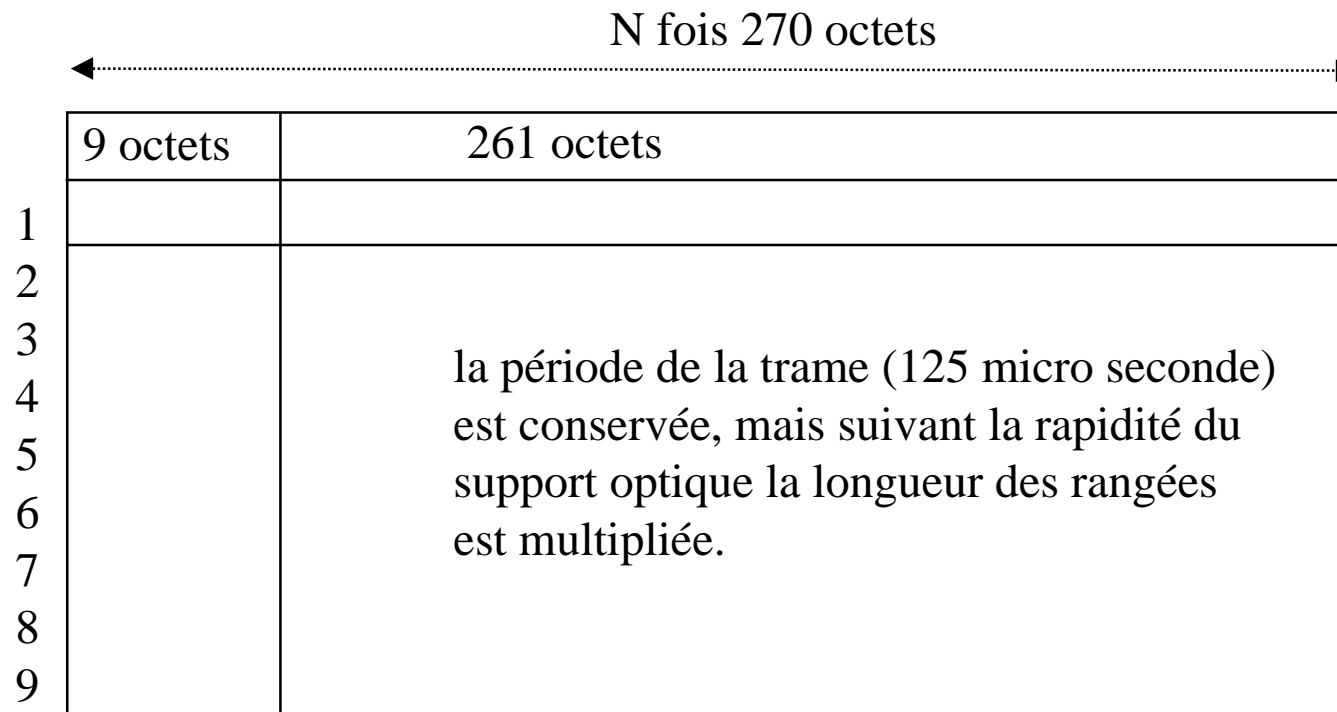


les octets de données sont groupés dans des containers virtuels dont le début et la fin sont repérés par les octets de contrôle à gauche
un container peut se poursuivre sur plusieurs trames

interface physique des réseaux opérateurs

Hiérarchie SDH :

STM1 : 155,52 Mb/s STM6 : 933,12 Mb/s STM16 : 2488,32 Mb/s
STM3 : 466,56 Mb/s STM8 : 1244,16 Mb/s STM32 : 4976,64 Mb/s
STM4 : 622,08 Mb/s STM12 : 1866,24Mb/s STM64 : 9953,28 Mb/s



RTC (1)

Le RTC (Réseau téléphonique commuté) a pour principal objet le transfert de la voix.

On distingue donc 3 fonctions :

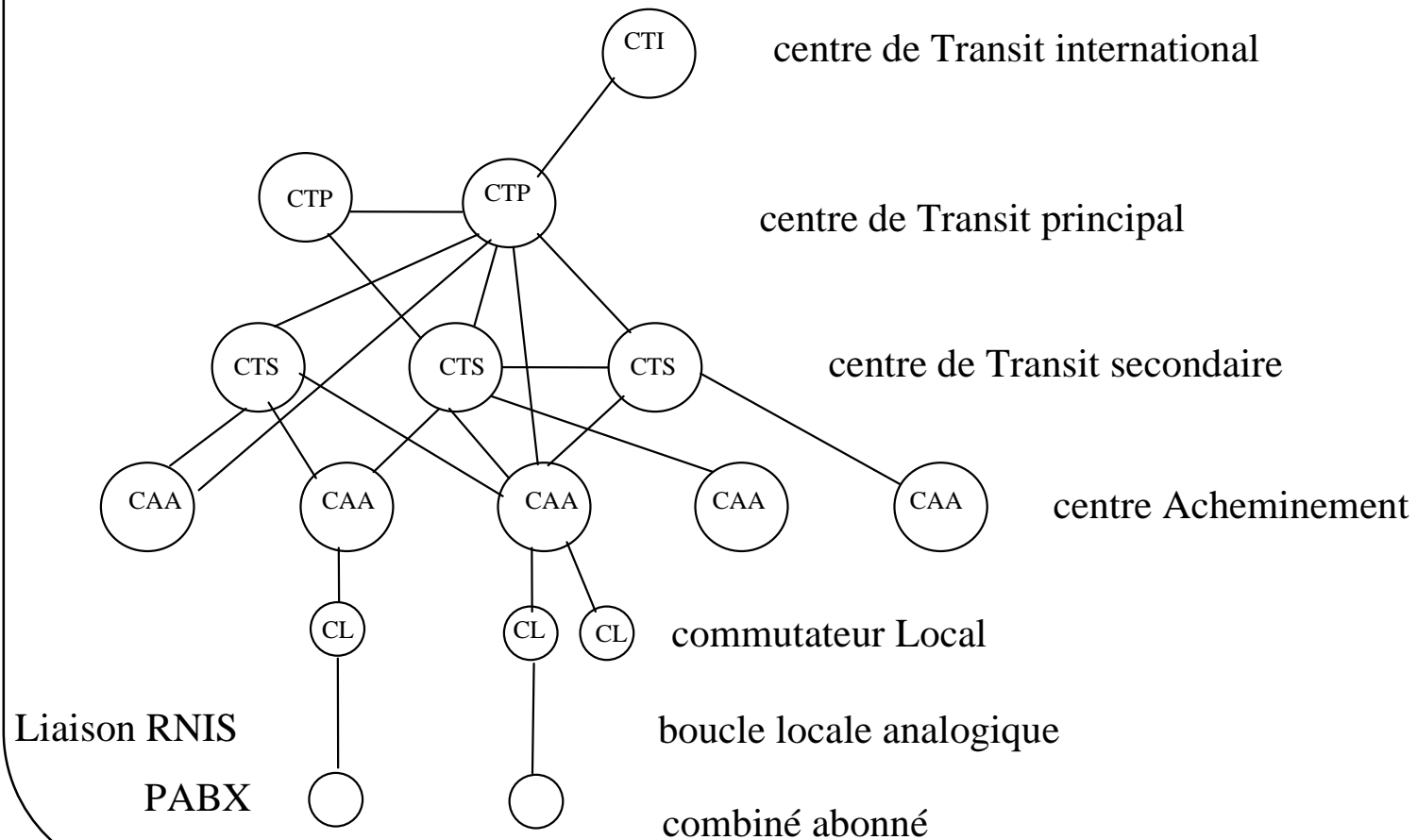
distribution sur la "boucle locale" qui relie le combiné de l'abonné au commutateur local "le plus proche" (partie encore en analogique sauf avec RNIS)

commutation qui achemine l'appel, réserve les ressources nécessaires, les maintient pendant l'échange et les libère à la fin de l'échange. C'est la fonction essentielle du réseau

transmission sur le support physique.

RTC (2)

Infrastructure du réseau organisée hiérarchiquement, sur un réseau maillé partiellement



Architectures logicielles de réseaux: Éléments de base, définitions

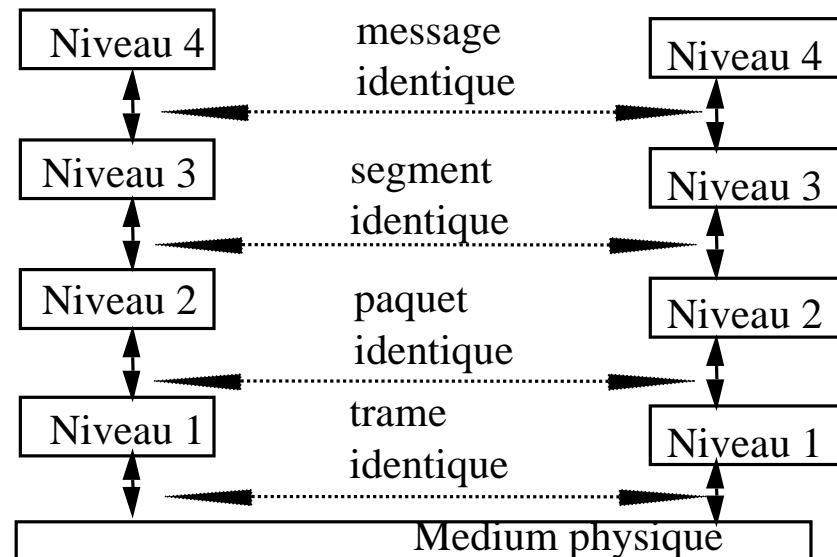
Organisation logicielle

Du point de vue logiciel, les réseaux sont organisés en piles de protocoles. Le nombre de niveaux peut varier suivant les réseaux

Principe des piles de protocole : un niveau N offre des services au niveau N+1, au travers d'une interface (N/N+1).

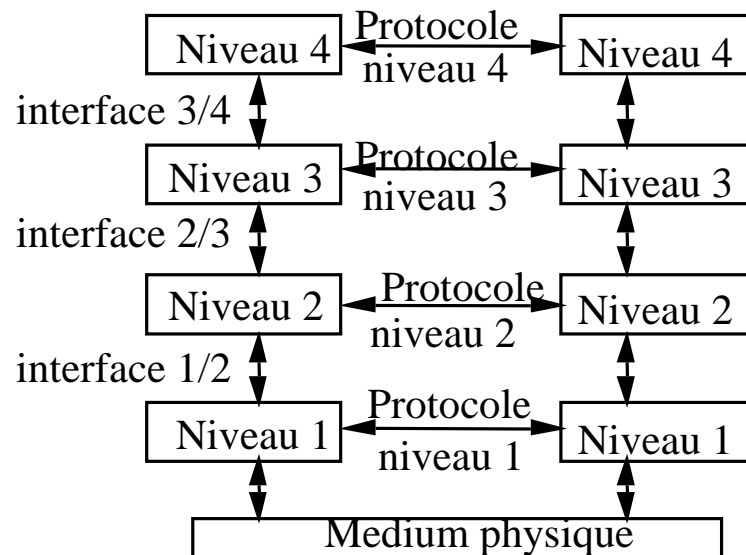
Deux entités de niveau N+1 communiquent en échangeant des blocs de données par l'intermédiaire de deux entités de niveau N.

Principe : la couche N du destinataire reçoit exactement le même bloc de données que celui émis par la couche N de l'émetteur.

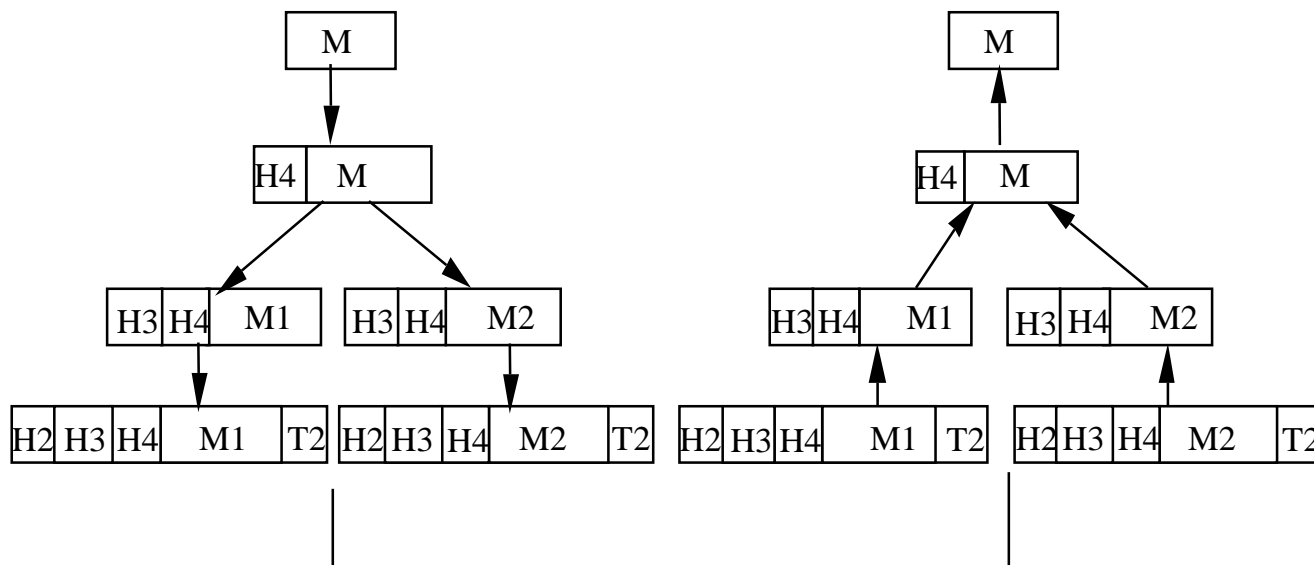


Organisation logicielle

Les entités d'un niveau N coopèrent selon des règles appelées protocole de niveau N.



Encapsulation des unités de données (N+1/N)



Service, Protocole, SAP

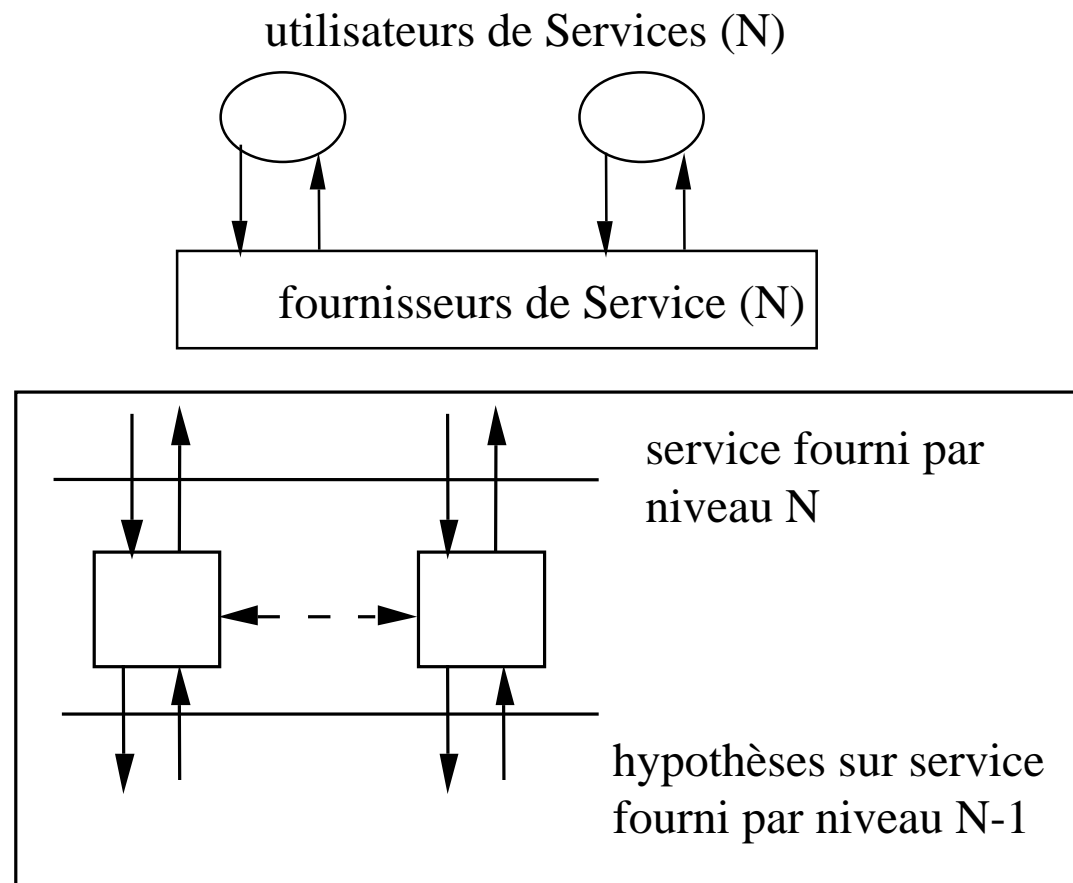
Service(N) = ensemble des services susceptibles d'être rendu par les entités appariées (peer entities) de niveau N aux entités de niveau N+1.

Une entité N+1 obtient un service en invoquant une primitive de service

Une entité N peut généralement fournir des services à plusieurs entités N+1. Pour éviter les interférences, les interactions entre une entité N+1 et une entité N sont faites en se référant à un SAP (Service Access Point) qui est un identificateur unique pour l'entité N

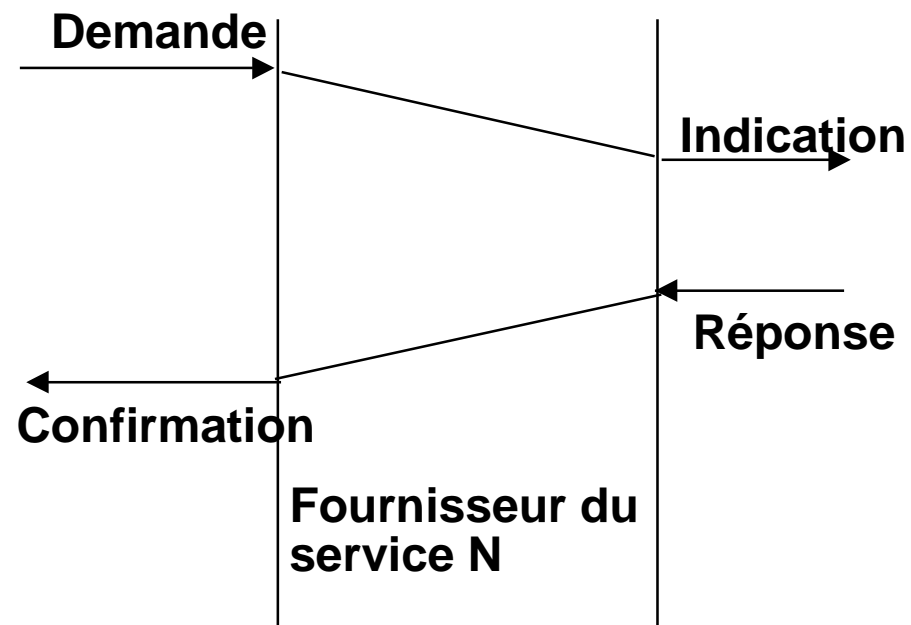
Protocole (N) = ensemble des règles d'échange entre entités de niveau N permettant de réaliser le service (N). Un protocole n'est pas entièrement déterminé par le service à rendre

Modèle de service "en couche"

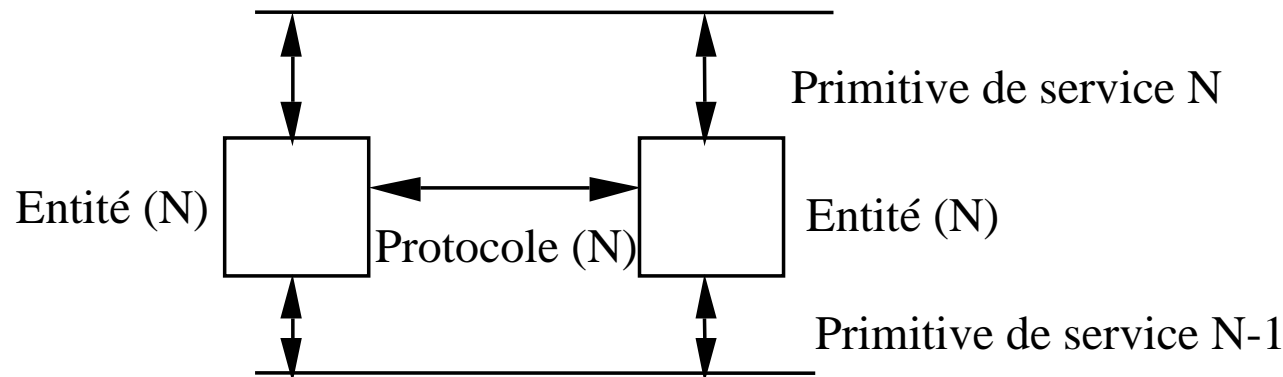


service et environnement du protocole de niveau N

Enchainement des primitives de service



Primitives de service



Primitives de demande de service : une entité N+1 demande un service à une entité N

Primitives d'indication : une entité N avertit une entité N+1 d'un événement détecté par elle-même (entité N) ou émis par une autre entité N+1

Primitives de réponse : l'entité N+1 informe l'entité N qu'elle accepte ou refuse le service demandé

Primitives de confirmation : l'entité N informe l'entité N+1 de la possibilité ou non du service demandé.

Primitives de service

Remarques :

- l'invocation par une entité N+1 de primitives de service N est généralement faite en appelant une fonction exécutée par l'entité N.
- une primitive de Confirmation correspond au retour de la fonction d'appel correspondant à la primitive de Demande
- Dans ce cas pour obtenir une Indication l'entité N+1 devra appeler une fonction d'attente (ou d'écoute) qui se terminera en retournant l'indication.
- On peut aussi envisager des communication interprocessus, donc asynchrones.

Adressage des entités

Appellation = identifie une entité de façon permanente

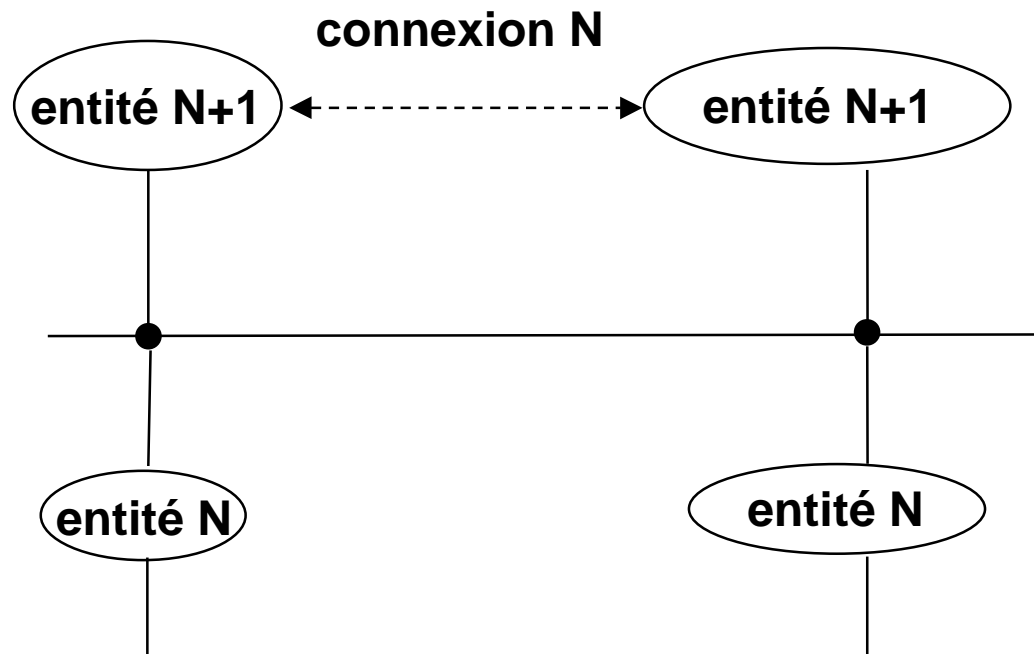
Adresse (N) = identificateur global à un réseau indiquant où est localisé un N-SAP

Répertoire (N) = traduction de l'appellation d'une entité N en l'adresse N-1 du (N-1)- SAP auquel elle est reliée

Connexion

Connexion (N) = association établie entre deux (au moins) entités N+1 repérées par leurs adresses N

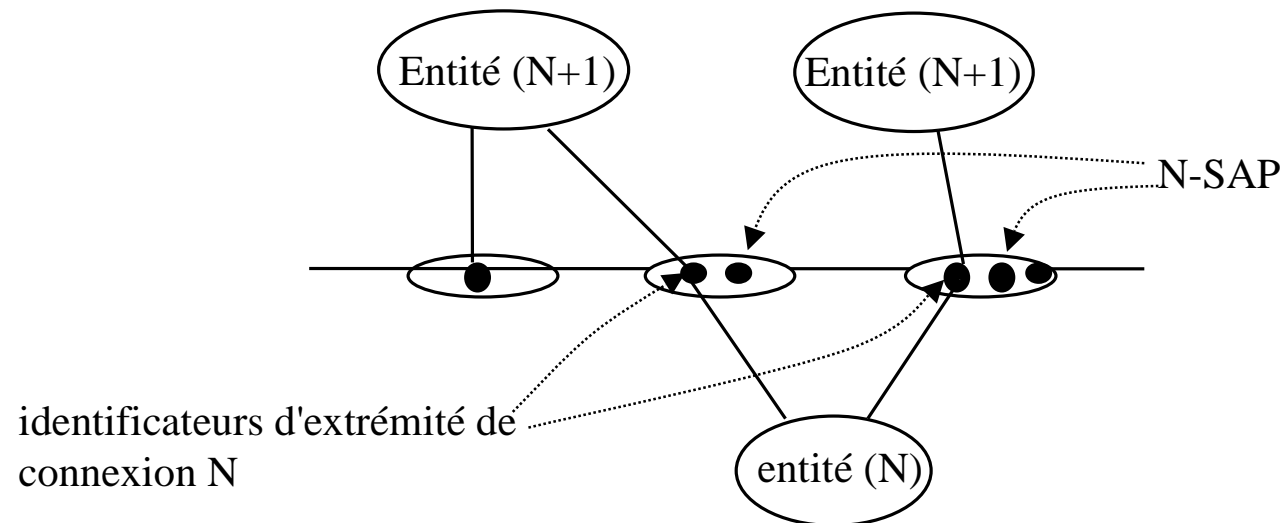
=> une connexion (N) est un service rendu par la couche N qui permet à des entités N+1 de communiquer.



Adressage des entités

Comme une entité $N+1$ peut utiliser plusieurs connexions simultanément, une connexion N est identifiée localement par une "extrémité de connexion".

Une connexion N comporte au moins deux extrémités de connexion



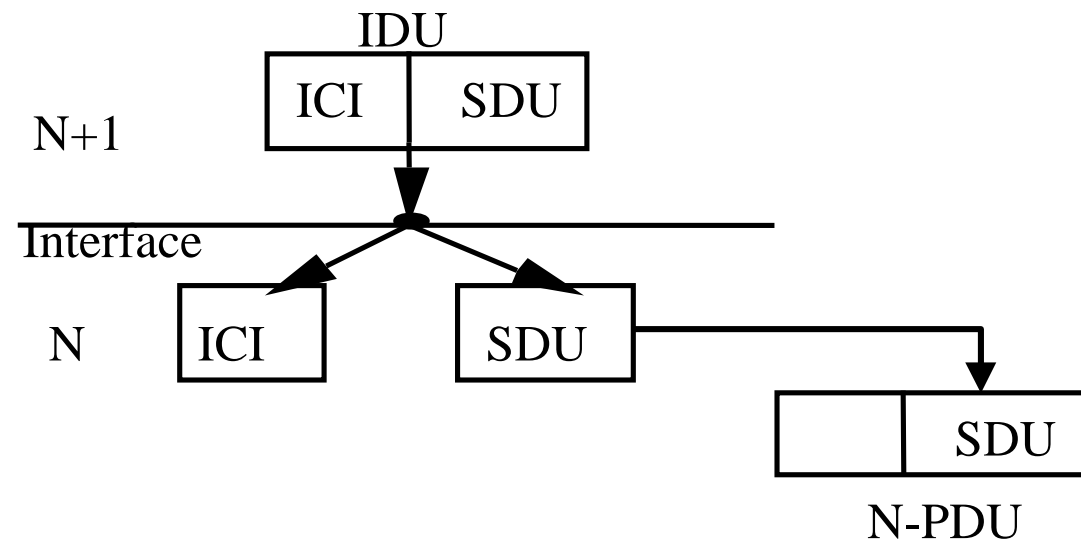
Unités de données : SDU, PDU

Règles de fonctionnement de l'interface : l'entité N+1 passe une unité de données N-IDU, composée d'une N-Service Data Unit (N-SDU) et d'une information de contrôle (ICI).

Une N-SDU est transportée sur une connexion N encapsulée dans une N-PDU

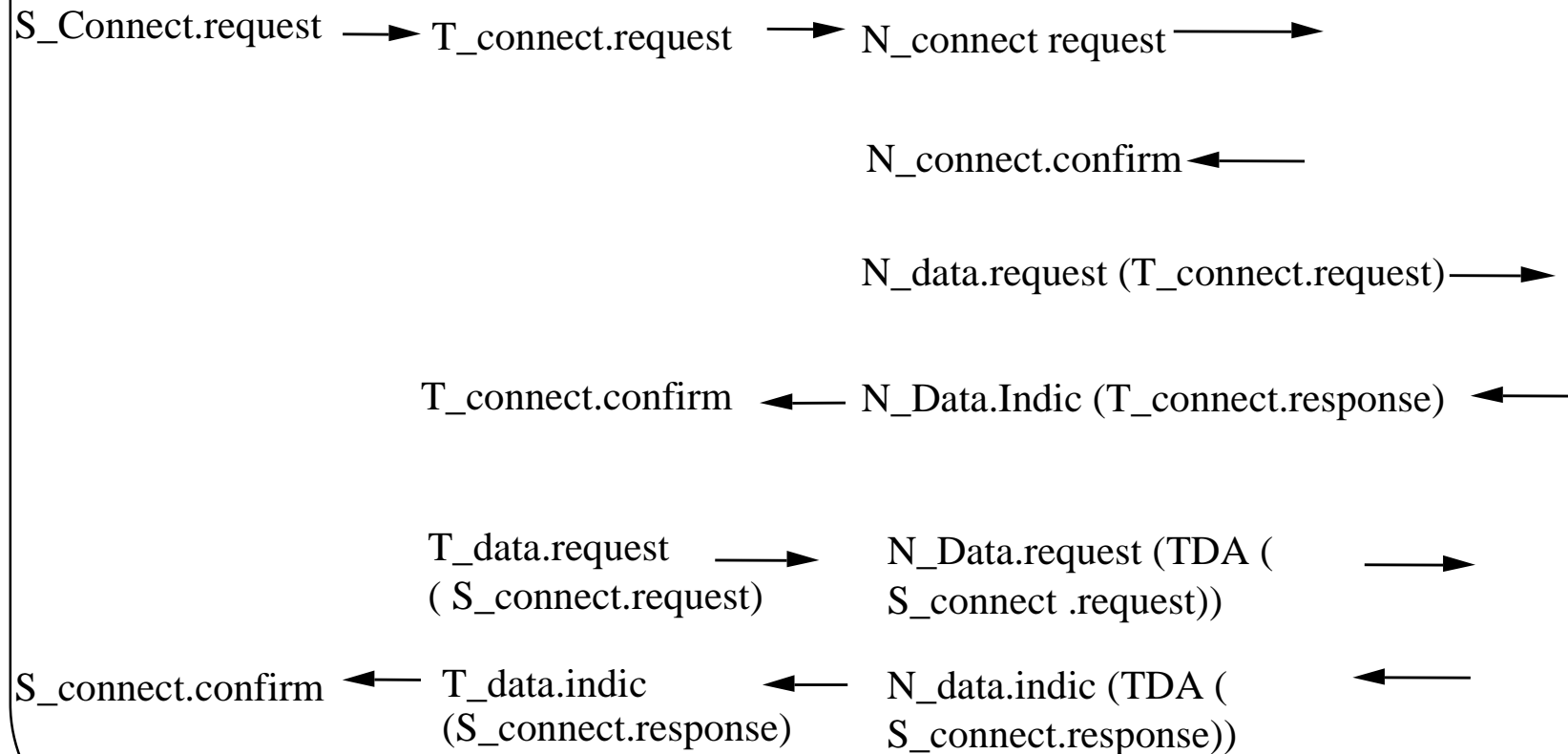
(N-Protocol Data Unit).

La N-PDU peut générer une (N-1)-SDU, qui utilisera une connexion N-1....

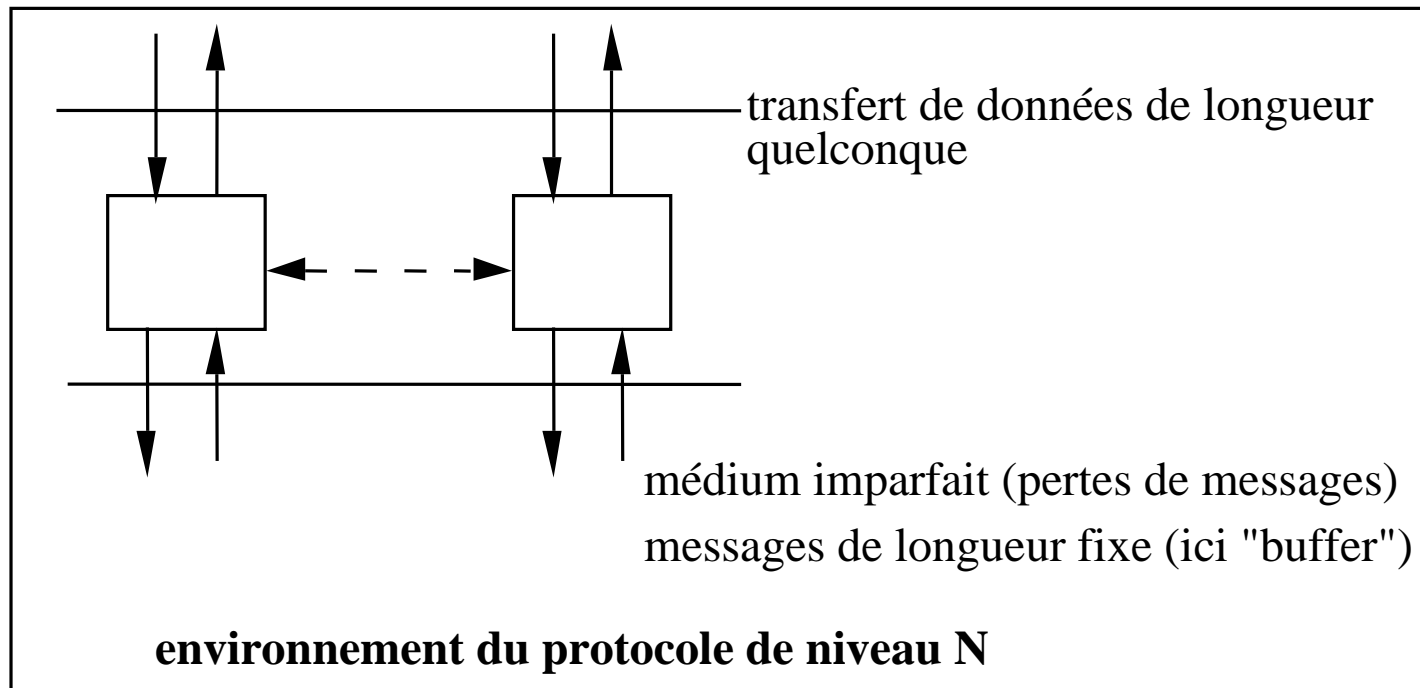


Utilisation du modèle en couche

Connexion S sur connexion T sur connexion N

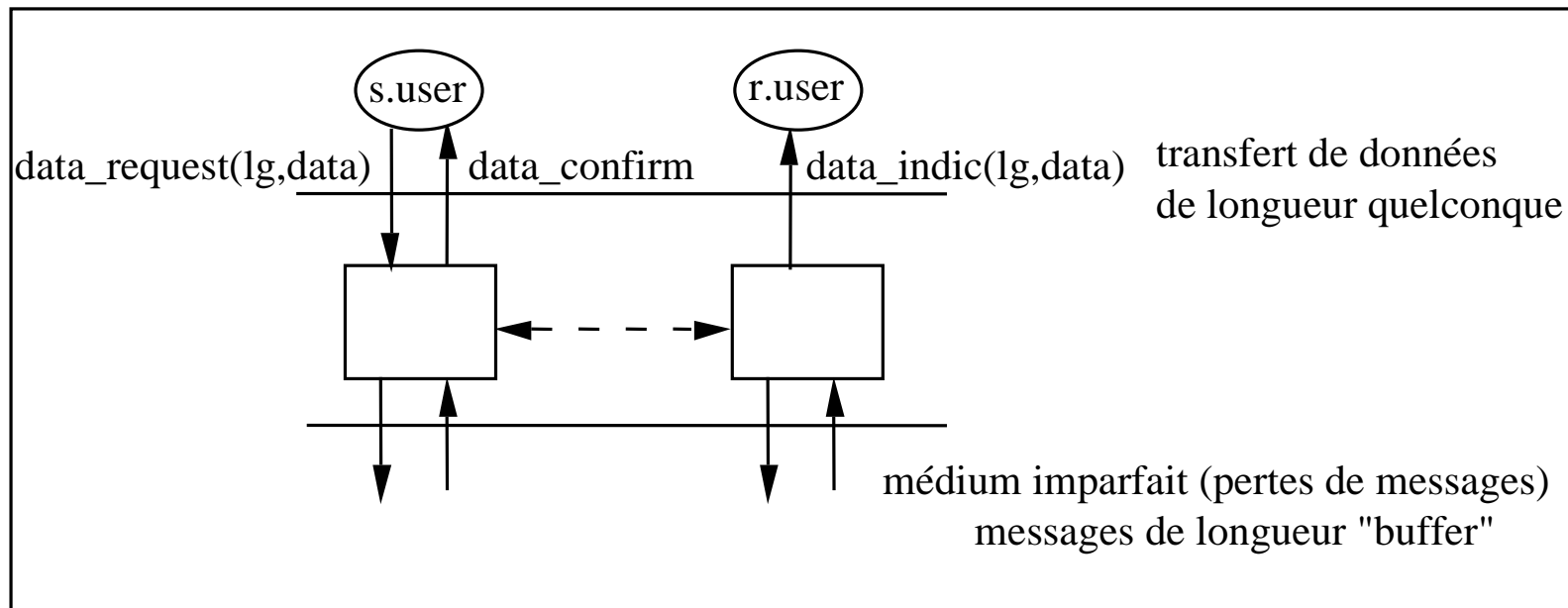


Exemple de protocole (1)



Exemple de protocole (2)

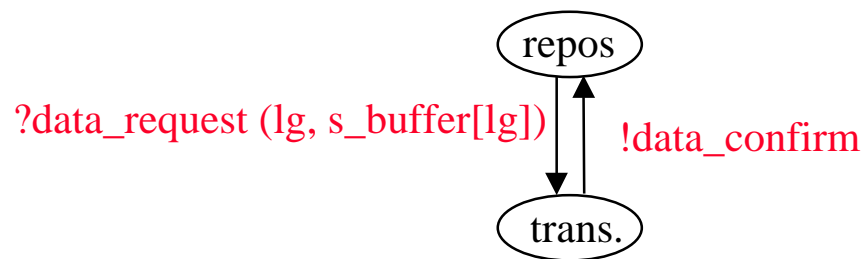
Définition des Service Data Unit (SDU) :
ensemble des messages échangeables entre entité N+1 et entité N



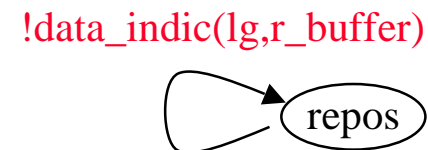
Exemple de protocole (3)

un automate du service définit les enchaînements possibles d'échange des SDU

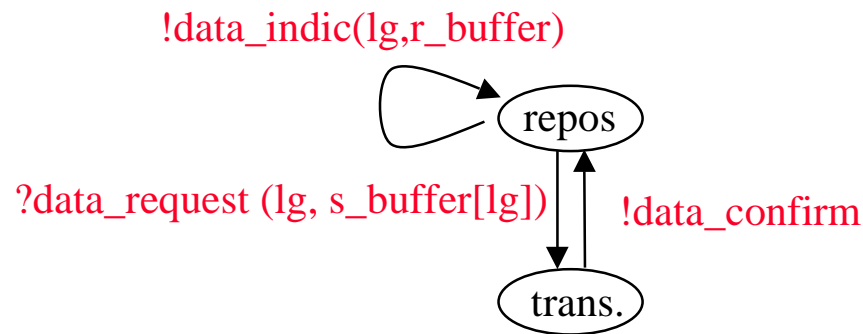
coté émetteur



coté récepteur

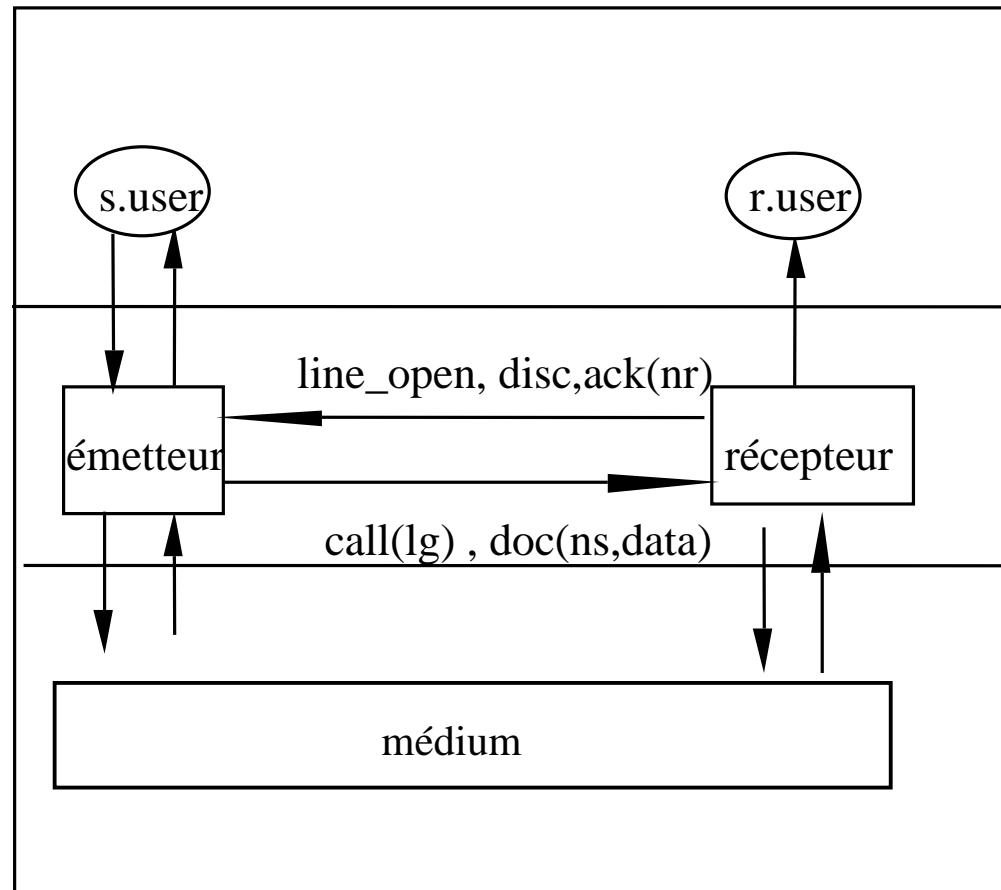


automate complet

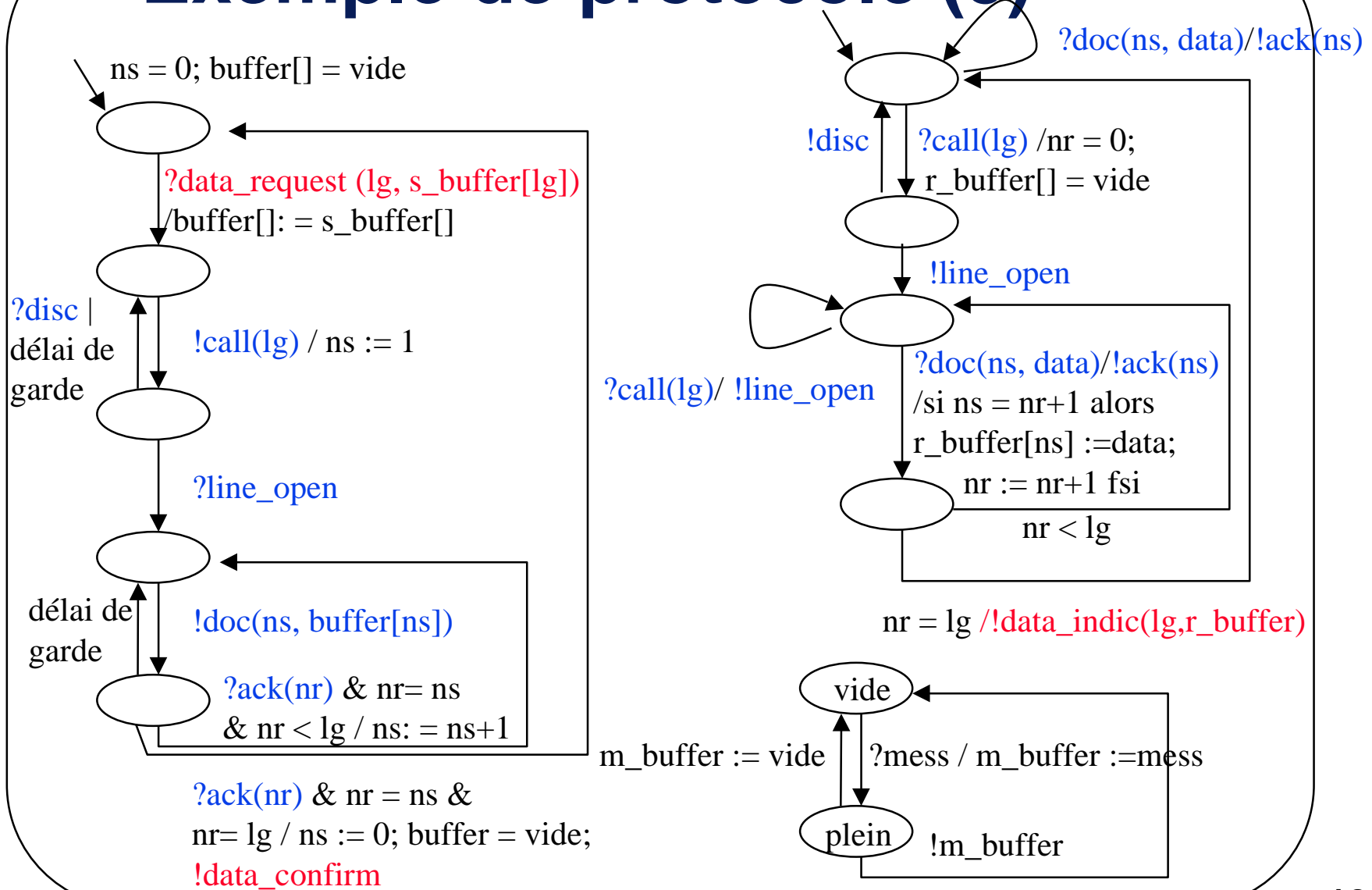


Exemple de protocole (4)

Définition des PDU (ensemble des messages échangeables)



Exemple de protocole (5)

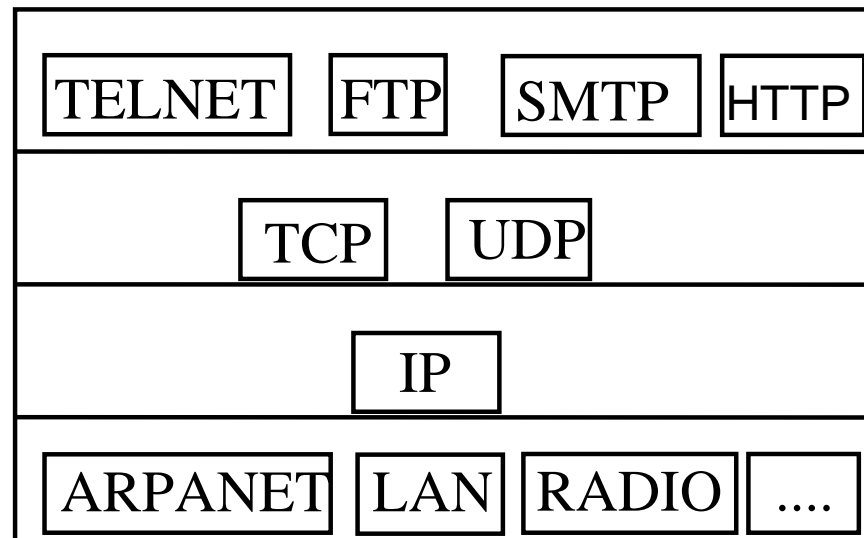


Architectures de réseaux:

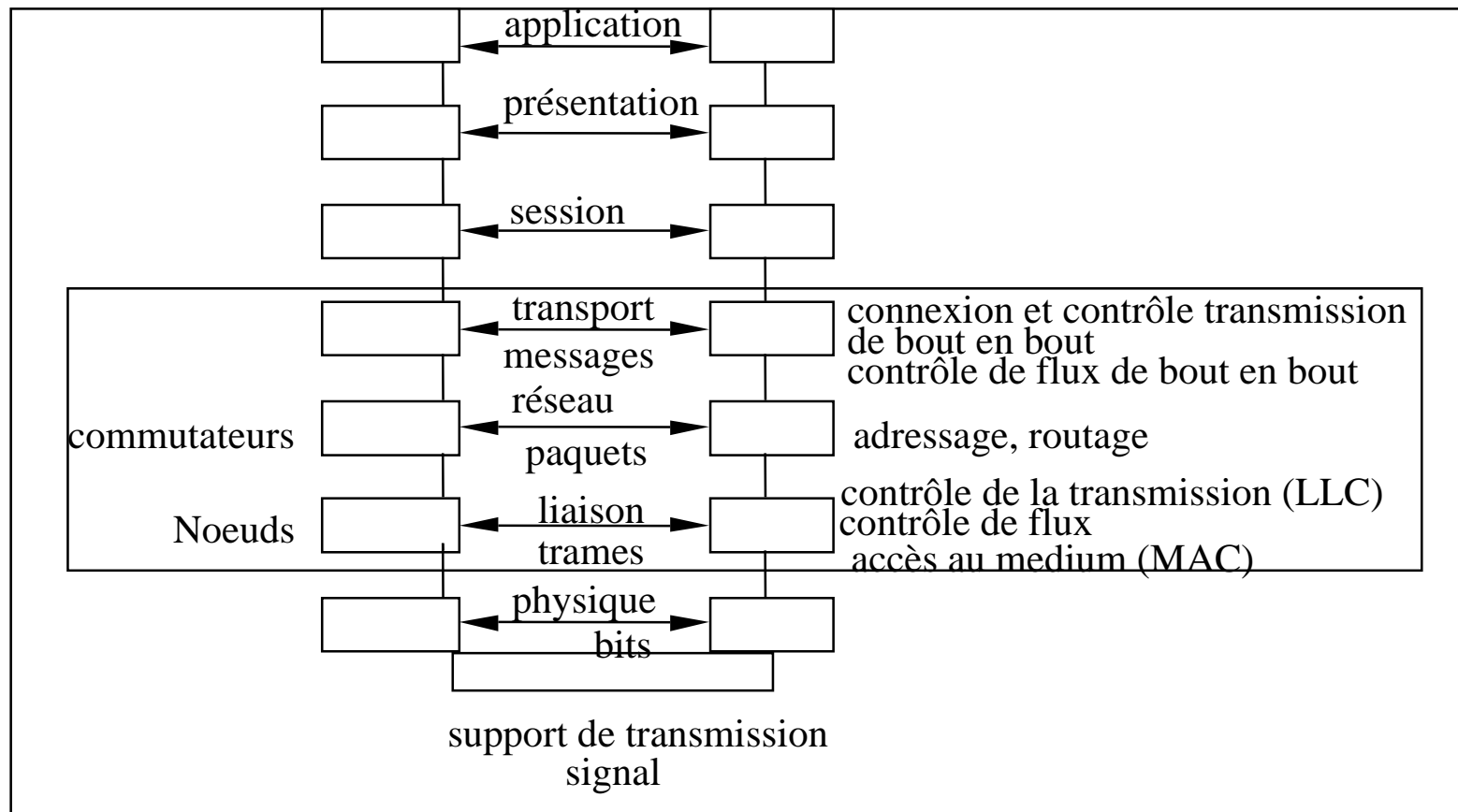
Modèle TCP/IP

Modèle de référence OSI,

Modèle TCP/IP



Modèle ISO (1)



ISO reference model

Modèle ISO (2)

Niveau 1 (Niveau physique) : description des interfaces électriques et mécaniques pour un médium donné

Niveau 2 (Niveau liaison) :

Lorsque le médium est partageable par plusieurs stations ou noeuds, contrôle de l'accès au médium.

Au niveau logique (liaison de données) Structuration de trames, contrôle des erreurs de transmission contrôle de flux entre émetteur et récepteur

Niveau 3 (Réseau) : Routage des paquets, contrôle de congestion, adressage, fragmentation réassemblage.

Niveau 4 (Transport) de données de bout en bout, contrôle de flux de bout en bout

Niveau 5 (Session) : gestion de dialogue et de synchronisation entre processus distants

Niveau 6 (Présentation) syntaxe commune (syntaxe de transfert, mais aussi compression, chiffrement/déchiffrement

Niveau 7 (Application) Applications normalisées (X400, Gestion de réseaux...)

Bibliographie

Réseaux et Télécoms, Claude Servin, Dunod

Les Réseaux édition 2005, Guy Pujolle, Editions Eyrolles

**TCP/IP : Architectures protocoles Applications, Douglas Comer, Dunod
Informatique**

Réseaux, 4^e édition, Andrew Tannenbaum, Pearson Education France, 2003