

Ecole Nationale des Sciences de l'Informatique



MODULE RÉSEAUX INFORMATIQUES

II₂

Année universitaire: 2014/2015

Introduction

- Ressources informatiques réparties géographiquement
 - Mettre en commun, partager, communiquer, répartir, décentraliser....
 - Équipements informatiques hétérogènes
- Nécessité de disposer de **normes** et de protocoles unifiés pour réaliser la communication
- **Le modèle OSI** (Open System Interconnection, « Interconnexion de systèmes ouverts ») est un modèle de communications entre ordinateurs proposé par l'ISO (International Standardisation Organisation). Il décrit les fonctionnalités nécessaires à la communication et l'organisation de ces fonctions.
- C'est un modèle de référence: Il spécifie un cadre général pour la création de normes ultérieures cohérentes. Le modèle lui-même ne définit pas de service particulier et encore moins de protocole. Suivant le contexte dans lequel on se trouve et les besoins de communication, certaines fonctionnalités de certaines couches peuvent ne pas être utilisées.

Plan du Cours

- Introduction aux réseaux informatiques
 - ❖ Les types de réseaux
 - ❖ Architectures d'interconnexion
 - OSI
 - TCP/IP
 - ❖ Rappels – couche physique
 - ❖ Rappels – couche liaison
 - ❖ Les réseaux étendus & les technologies associées
- La Couche Réseau
 - Normes
 - Adressage (IP, OSI)
 - Fragmentation
 - Routage: Algorithmes et Protocoles (ARP, RIP, OSPF, ...)
 - Contrôle de congestion

Plan du Cours (suite)

- La couche de transport
 - ❖ Les protocoles de transport
 - Structure
 - Les protocoles de transport ISO
 - UDP
 - TCP
 - ❖ Mécanismes de contrôle de congestion
- La couche session
- La couche présentation
- La couche application

Bibliographie

- Références
 - Andrew Tanenbaum, Réseaux : Cours et Exercices (3em édition), Prentice Hall/Dunon.
 - Douglas Comer, TCP/IP : Architecture, protocoles, applications (3^{ème} édition), InterEditions.
 - William Stallings, Data and Computer Communicationsm (7th Edition), Prentice Hall.

Chapitre 1

Introduction aux réseaux informatiques

Concepts de base & exemples

Introduction: Objectifs des réseaux

- Partage des ressources
Données; équipements; programmes
- Réduction de coûts
- Plus de fiabilité (duplication)
- Augmentation des performances
- Un réseau d'ordinateurs est un puissant média de communication
- Réseaux sociaux, jeux interactifs...

Réseau d'ordinateurs: ensemble d'ordinateurs autonomes
interconnectés

Introduction

3 grandes classes de réseaux (selon le secteur industriel)

- **Les réseaux de télécommunication**

Téléphonie: (communication 1 à 1)

- **Les réseaux des câblo-opérateurs**

Radio, Télévision (Communication 1 à n)

- **Les réseaux Informatiques**

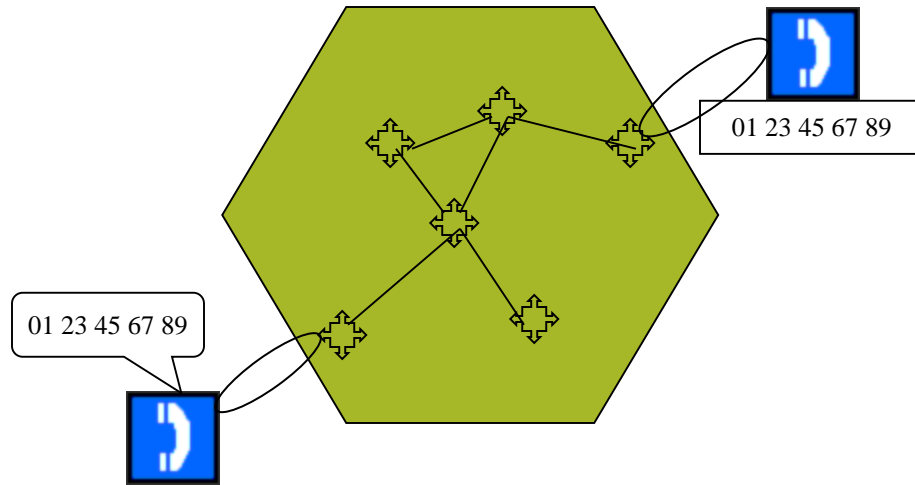
Recherche et publication d'informations, Interactivité (communication n à m)

→ **Tendance actuelle:**

Faire converger les différentes techniques développées dans chaque secteur pour pouvoir les réunir en un seul réseau cohérent et efficace

Next Generation Network (NGN)

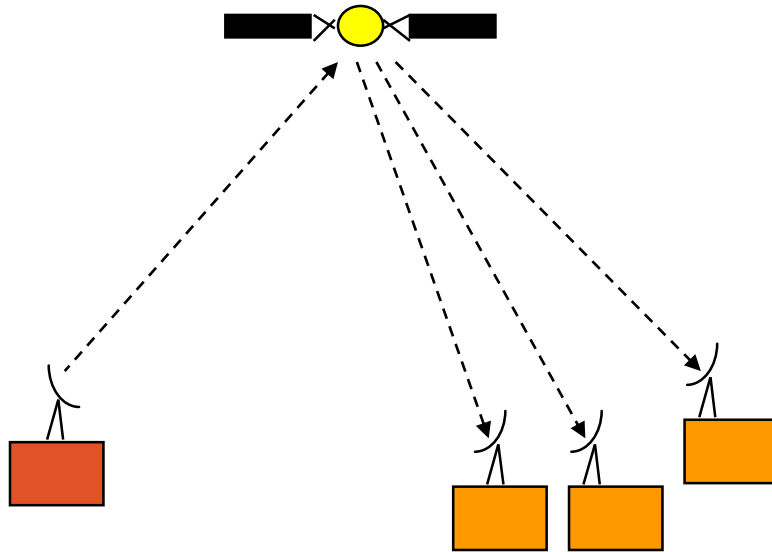
Réseau téléphonique



Principe de fonctionnement:
commutation de circuits

- Service de base: appels locaux et longues distances
- Tarifs
 - Durée, Distance
- Éléments
 - terminaux simples
 - commutateurs
 - boucle locale 2 fils cuivre
 - artères (coeur de réseau) en fibre optique
- Intégration de services(voix, fax, accès Internet)
 - Objectif : intégrer téléphonie et informatique
 - Pbs :
 - Pas de garantie de QoS
 - Coût élevé
 - Commutation de circuits → taux d'utilisation faible

Réseaux radio et télévision

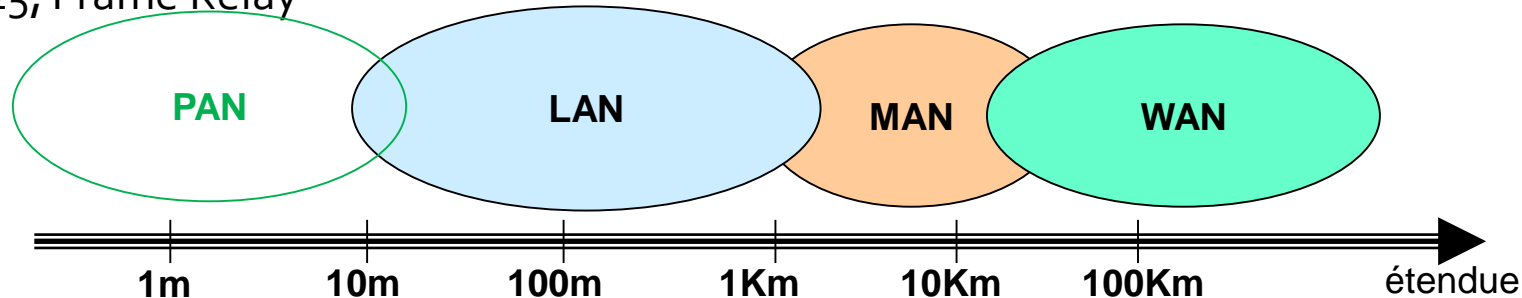


Principe de fonctionnement:
diffusion (broadcast)

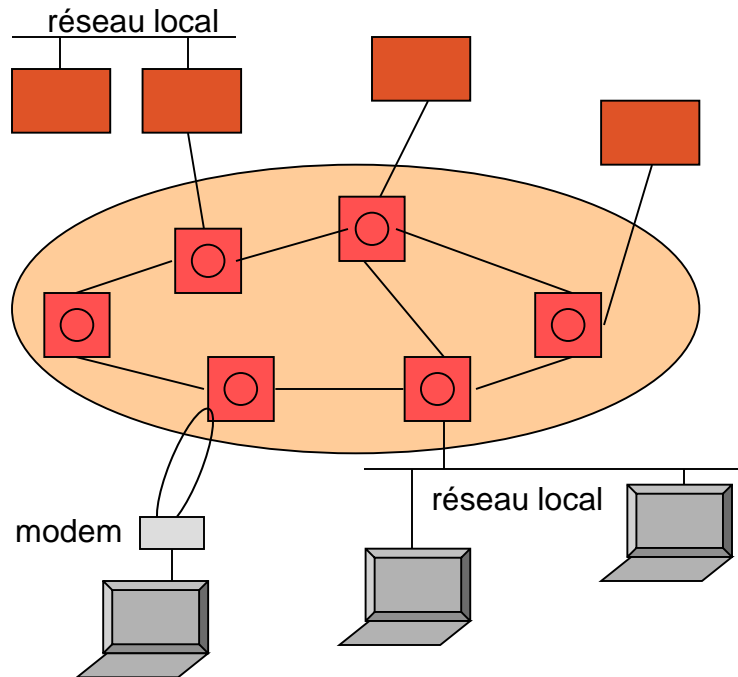
- Services de base
 - Mise en place de réseaux câblés ou hertziens pour diffusion de son et images par la voie terrestre ou hertzienne.
- Teminaux
 - récepteurs radio ou télévision
- Support de transmission:
 - Câble coaxial sur la partie terminale du réseau
 - Aujourd'hui : fibre optique à la place du coaxial sur tout l'étendue du réseau (téléphonie + Internet + Télévision ensemble)
 - DAB (digital audio broadcasting) et DVB-T/H (digital video broadcasting Terrestrial/ *Handheld*)

Réseaux informatique

- À l'origine: Créés pour le transport de données entre des équipements informatiques.
- Aujourd'hui: + Transport de la parole et de la vidéo (QoS)
- 5 catégories (selon l'étendue)
 - PAN, Personal Area Networks (1 - 100 m)
 - Bluetooth (802.15.1), IrDA (Infrared Data Association), Zigbee (802.15.4)
 - LAN, Local Area Networks (100 m - 2,5 km)
 - Ethernet, Wi-Fi (Wireless Fidelity, 802.11)
 - MAN, Metropolitan Area Networks (1 - 100 km)
 - WiMax
 - WAN, Wide Area Networks (milliers de km)
 - X.25, Frame Relay



Exemple de WAN: Internet



Principe de fonctionnement:
commutation de paquets (de données)

- **INTERNET**: INTERconnected NETworks
 - Le réseau des réseaux
 - Internet est la suite du réseau militaire américain ARPANET: Advanced Research Projects Agency Network
- Service de base: interconnexion d'ordinateurs et de réseaux d'ordinateurs
- Éléments
 - Ordinateurs individuels
 - Serveurs
 - Routeurs, hub
 - Boucles et réseaux locaux
 - Câbles
 - Artères (**cœur de réseau ou backbone**) en fibres optiques

Exemple de WAN: Internet

- Internet ne se limite pas aux web (http)
- **DNS** (Domain Name Server : système de nom de domaine): Système distribué de bases de données et de serveurs qui assure la traduction des noms de domaine utilisés par les internautes en numéros IP utilisables par les ordinateurs.
- **FTP**: (File Transfer Protocol) protocole définissant les règles de transfert des fichiers par Internet. Lorsqu'un utilisateur télécharge un fichier par ftp, il le recopie de l'ordinateur distant sur le sien (ou l'inverse).
- **TELNET** : (terminal Network) protocole standard permettant l'interfaçage de terminaux et d'applications à travers Internet. Ce protocole fournit les règles de bases pour permettre de relier un client (système composé d'un affichage et d'un clavier) à un ordinateur distant (coté serveur)
- **SMTP** (Simple Mail Transfer Protocol) permet d'envoyer des emails, et le protocole POP3 (Post Office **Protocol**) de les recevoir
- ...

Exemple de WAN: Internet

Internet: historique

- Recherches de « DARPA » : Defense Advanced Projects Research Agency, aux USA
- ARPANET fut le premier réseau à commutation de paquets au milieu des années 1970
 - ❖ exploitation sur les liaisons terrestres, radios et satellites
- La mise en œuvre de TCP/IP en 1980 sur le réseau de recherche ARPANET est le début de l'Internet.
- La transition fut complète quand ARPA a exigé que toutes les machines de ARPANET utilisent TCP/IP
- TCP/IP est intégré à la distribution de Unix BSD (Berkeley Software Distribution)
 - ❖ Déploiement des réseaux TCP/IP dans le monde universitaire
 - ❖ Développement d'applications réseaux avec les sockets
- NSFnet en 1986, Réseau fédérateur (réseaux de centres de grande puissance de calcul, USA), connecté à Internet
- 1993 : premier navigateur web : MOSAIC

Exemple de WAN: Internet

Autorités gérant Internet :

- **IAB** (Internet Architecture Board) organisation autonome, gère la recherche et le développement de l'Internet. Gère le processus de standardisation pour Internet etc. (créé en 1983)
- Restructuration en 1989 de l'IAB: **IETF** + IRTF (Recherche)
- IETF (Internet Engineering Task Force) : groupe de travail, de dimension internationale, qui participe au développement de standards pour le monde de l'Internet.
 - ❖ Organisée en groupes de travail
 - ❖ Gère la publication de rapports techniques :
 - ❑ Drafts Internet : « brouillons » servant de nouvelles propositions
 - ❑ RFCs (Request For Comments: appel à commentaires) : réflexion plus poussées sur certains protocoles ou. Thématiques (numérotés selon l'ordre chronologique)
- **ISOC** (Internet **SOC**iety) pilote l'IAB et l'IETF (créé en 1992)

Architecture Interconnexion de réseaux informatiques

Principales Architectures

- Équipements informatiques hétérogènes → Nécessité de disposer de normes et de protocoles unifiés pour réaliser la communication des «systèmes ouverts »
- 3 grandes architectures :
 - ❖ **OSI** (Open Systems Interconnexion) de l'ISO (International Organization for Standardization)
 - ❖ **TCP/IP** introduit par ARPA (Advanced Research Projects Agency)
 - ❖ **ATM** (Asynchronous Transfer Mode) introduit par l'UIT (L'Union internationale des télécommunications)

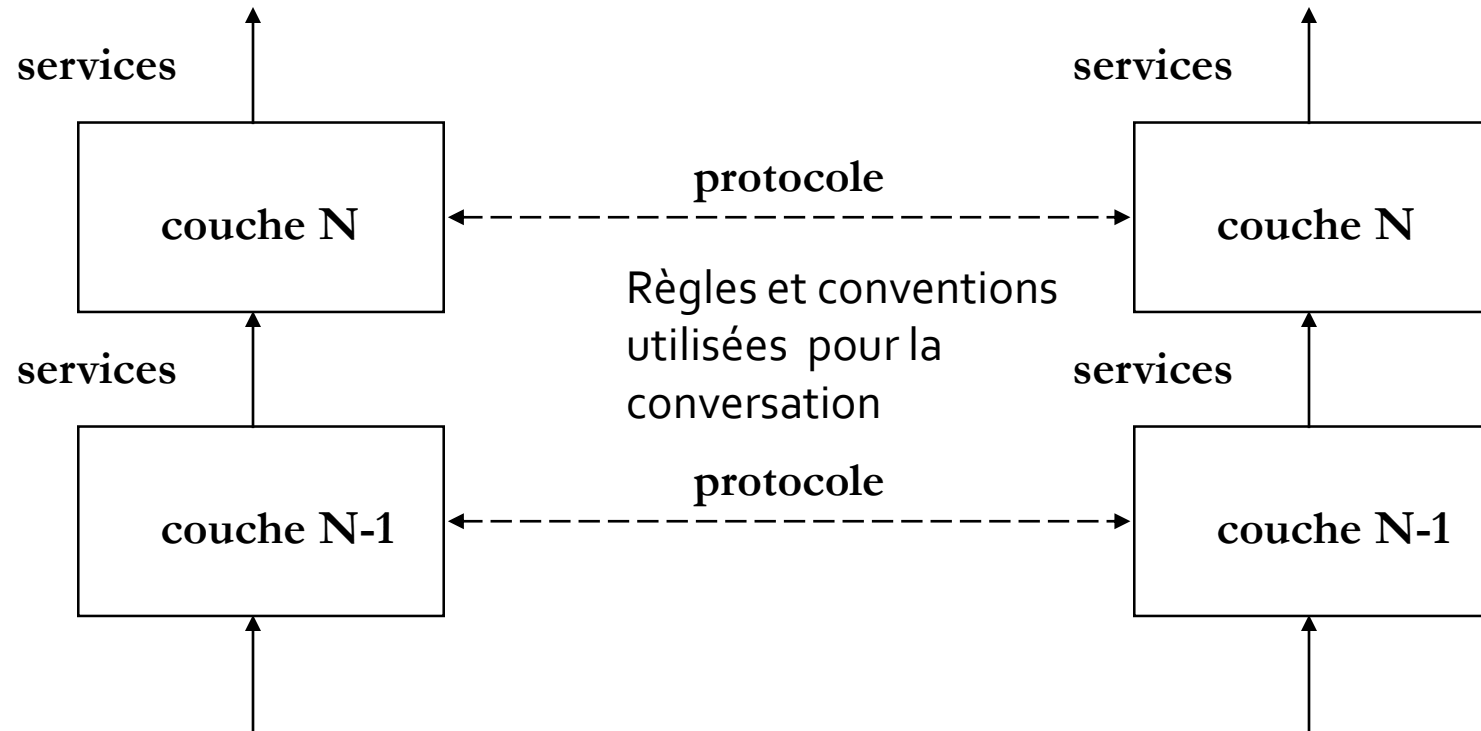
Protocole

- Echange d'information: respecter un **PROTOCOL**= ensemble de conventions qui spécifient les règles et les paramètres mis en jeu pendant la communication entre deux entités.
 - Type, contenu, et format des informations transférées entre entités
 - Établissement et fermeture de connexions et de sessions
 - Routage dans le réseau
 - Contrôle de flux : équilibrage des débits
 - Sûreté de fonctionnement: détection, gestion, et correction des erreurs
 - Le type de données et objets échangés et leurs représentations
 - Les caractéristiques de session (e.g., synchronisation, cryptage-sécurité, compression)
 - Détection et contrôle de congestion
 - Paramètre et implémentation de qualité de service
- NB: Il y a des protocoles pour les applications, pour transporter/router l'information, pour émettre de l'information sur un support physique

Pourquoi un modèle de référence ?

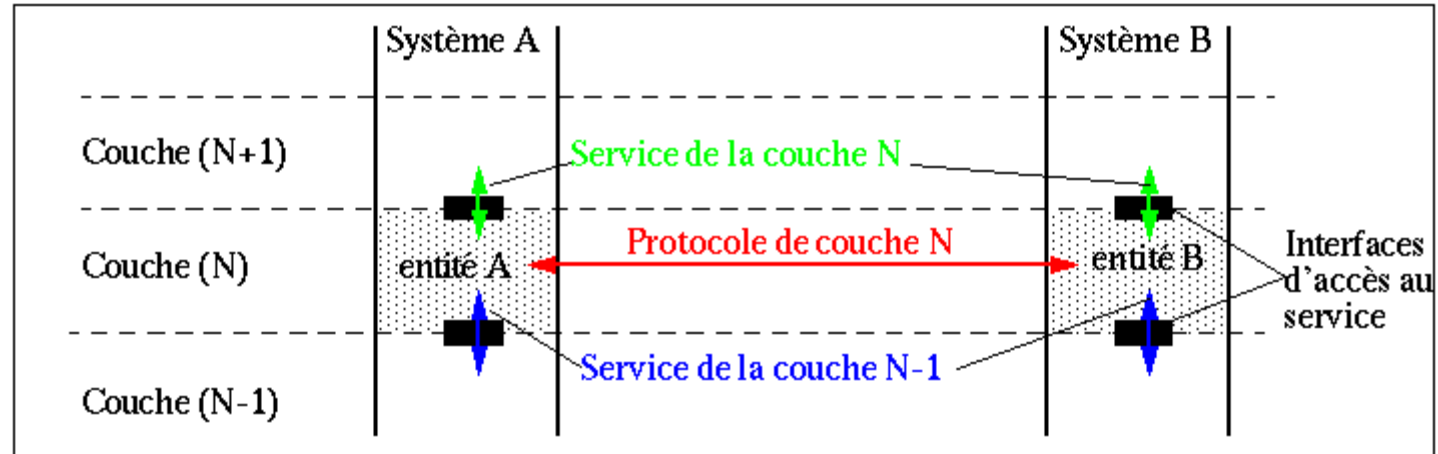
- Les réseaux sont hétérogènes
- Le problème d'interconnexion est complexe
- Il faut décomposer le problème en problèmes plus simples
- Proposer un modèle de décomposition en couches superposées
 - à partir de la couche physique
 - c-à-d le logiciel de gestion du port ou de la carte utilisée pour le raccordement au réseau
 - jusqu'à la couche application
 - c-à-d le logiciel d'application qui utilise le réseau, exp. courrier électronique, navigateur Internet, etc.
- Chaque couche résout des problèmes et offre des services à la couche de niveau supérieur

Services et Protocoles



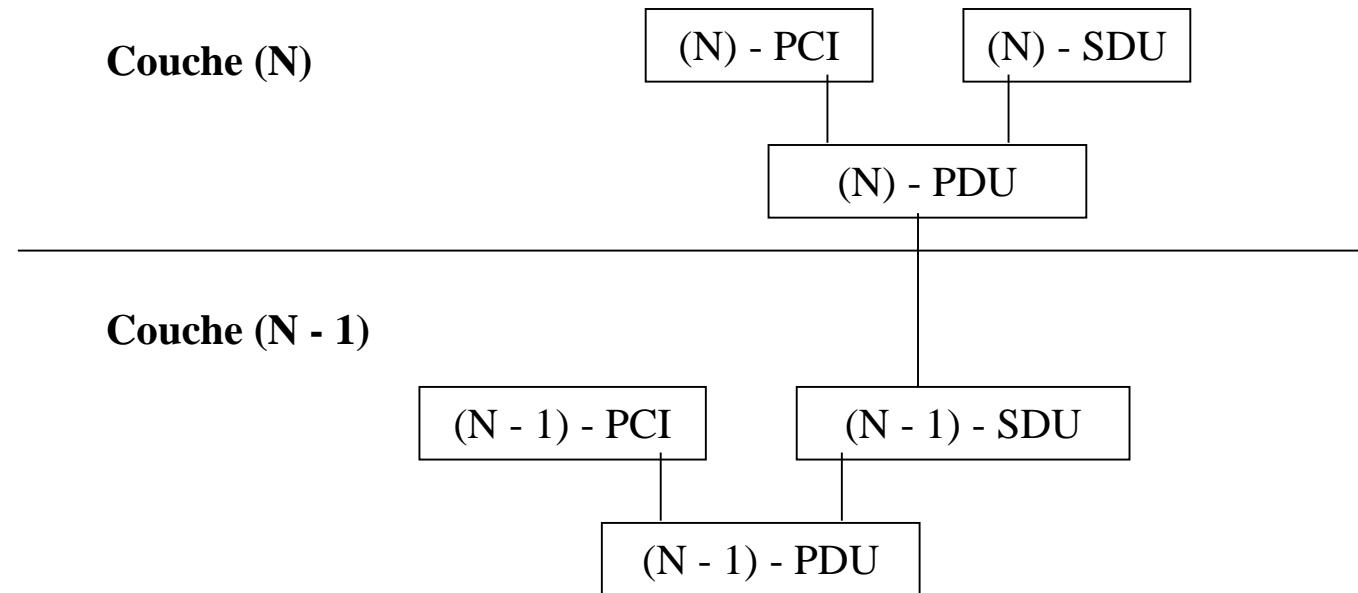
- Le service (N) est assuré par les entités (N) homologues
- Les entités (N) communiquent et coopèrent entre elles selon un protocole (N) à travers un ensemble de services fourni par la couche (N-1)
- Les entités accèdent aux services (N-1) à partir des points d'accès à des services (N-1) appelé (N-1) SAP (Service Access Point)

Interface d'accès au service



- N-SAP : « Service Access Point »
 - Les entités A et B accèdent aux services N à partir des points d'accès à des services N appelés N- SAP
 - le N-SAP est situé à la frontière entre les couches N + 1 et N et il nomme le service de la couche N à la couche N+1 (adressage)
 - permet en particulier l'éclatement et le multiplexage
 - Le multiplexage permet a plusieurs services N+1 d'utiliser le même service N
 - L'éclatement permet a un service de niveau N+1 de s'appuyer sur deux services N distincts.

Relation entre les unités de données

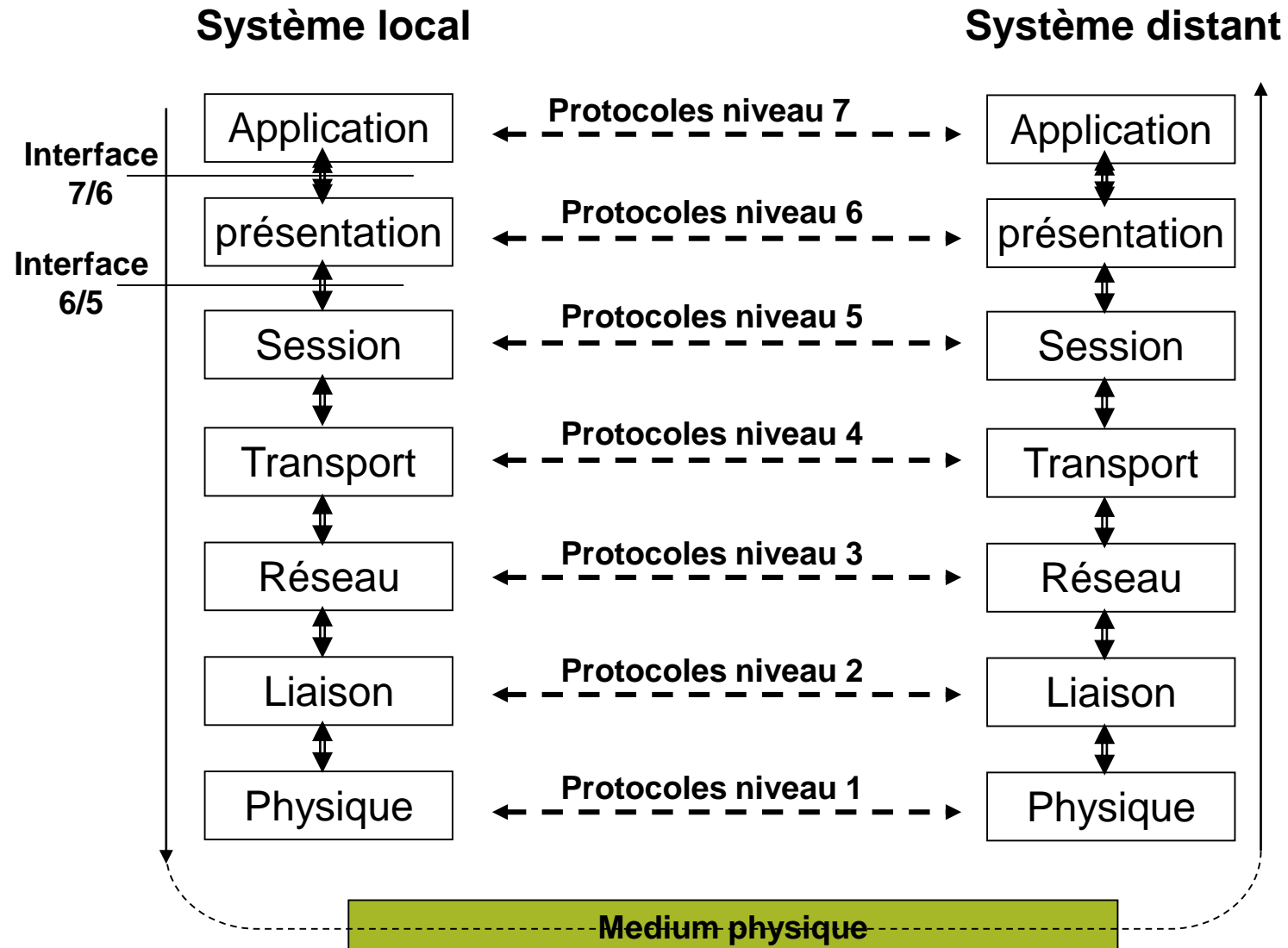


- **PCI** : Protocol Control Information
- **SDU** : Service Data Unit
- **PDU** : Protocol Data Unit

Modèle de référence OSI

- Open Systems Interconnection
 - Le principe de base est la description des réseaux sous forme d'un ensemble de couches superposées les unes au autres.
 - Modèle abstrait de référence pour l'interconnexion de systèmes ouverts, c-à-d:
 - d'ordinateurs de différents constructeurs
 - sous des systèmes d'exploitation différents
- Norme Française AFNOR NF Z 70-001
 - Association Française pour la Normalisation
- Norme Internationale ISO 7498
 - International Standards Organisation, Genève

Modèle de référence OSI: les 7 couches



Modèle de référence OSI: couche physique

application
présentation
session
transport
réseau
liaison de données
physique

- Fonctions
 - Emission et réception des signaux (radio) électriques (bits)
 - Sérialisation: octets \longleftrightarrow bits
 - Modulation
 - Codage
- Exemples
 - Cartes réseau, connecteurs, support physique de transmission (cable), modems, concentrateurs (hubs)

Modèle de référence OSI: couche liaison de données

application
présentation
session
transport
réseau
liaison de données
physique

- Fonctions
 - Envoi et réception de messages (**trames**) à son proche (sur un lien direct)
 - Contrôle d'erreurs de transmission (detection et correction)
- Exemples
 - Liaison LAN : Ethernet, Wifi ...
 - Liaison directe WAN : HDLC, PPP...
 - Réseau commuté WAN: FR, ATM

Modèle de référence OSI: couche réseau

application
présentation
session
transport
réseau
liaison de données
physique

- Fonctions
 - Acheminer les unités de données (paquets) de proche en proche en fonction de leur adresse destination (routage)
 - Fragmenter les messages en paquets
- Exemples
 - X.25, ISO-IP (CLNP)
 - IP Internet Protocol
 - IPv4, version 4
 - IPv6, version 6

Modèle de référence OSI: couche transport

application
présentation
session
transport
réseau
liaison de données
physique

- Fonctions
 - Envoyer et recevoir les messages de bout en bout, c-à-d de la source jusqu'à destination
 - Retransmettre, éventuellement, les messages non reçus
- Exemples
 - TCP (Transmission Control Protocol)
 - transport avec garanties
 - UDP (User Datagram Protocol)
 - transport sans garantie ("best effort"), donc sans retransmission

Modèle de référence OSI: couche session

application
présentation
session
transport
réseau
liaison de données
physique

- Fonctions
 - Maintenir un contexte de communication (début/identification, fin, reprise en cas d'interruption) entre source et destination
 - Pas toujours nécessaire
- Exemples
 - Login / Logout entre machines en réseau
 - Cette fonction est souvent intégrée directement dans les logiciels d'application qui utilisent des protocoles spécifiques

Modèle de référence OSI: couche présentation

application
présentation
session
transport
réseau
liaison de données
physique

- Fonctions
 - Représenter les données transférées entre entités d'application: encodage de données
- Exemples
 - ASCII
 - American Standard Code for Information Interchange
 - ISO 8859
 - ASCII plus caractères avec accents
 - ASN.1 Abstract Syntax Notation 1
 - Langage de description des données et règles de représentation (utilisé par ex. par les applications de gestion des réseaux)

Modèle de référence OSI: couche application

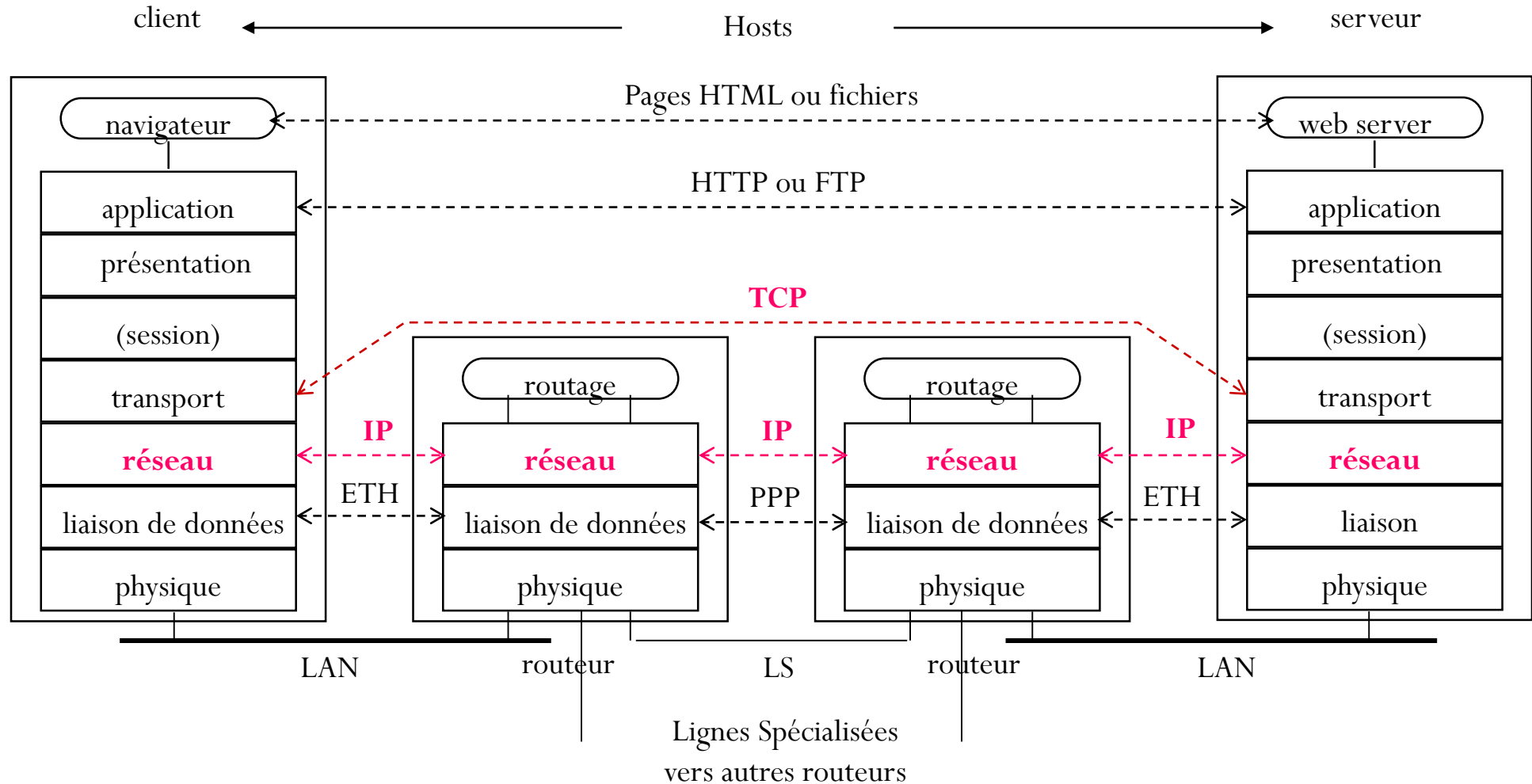
application
présentation
session
transport
réseau
liaison de données
physique

- Fonctions
 - Transfert de fichiers, courrier électronique, navigation Internet (requêtes/réponses), voix et vidéo sur Internet, gestion de réseau, etc.
- Exemples
 - FTP File Transfer Protocol
 - SMTP Simple Message Transfer Protocol
 - HTTP HyperText Transfer Protocol
 - RTP Real-time Transport Protocol

Modèle de référence OSI: résumé

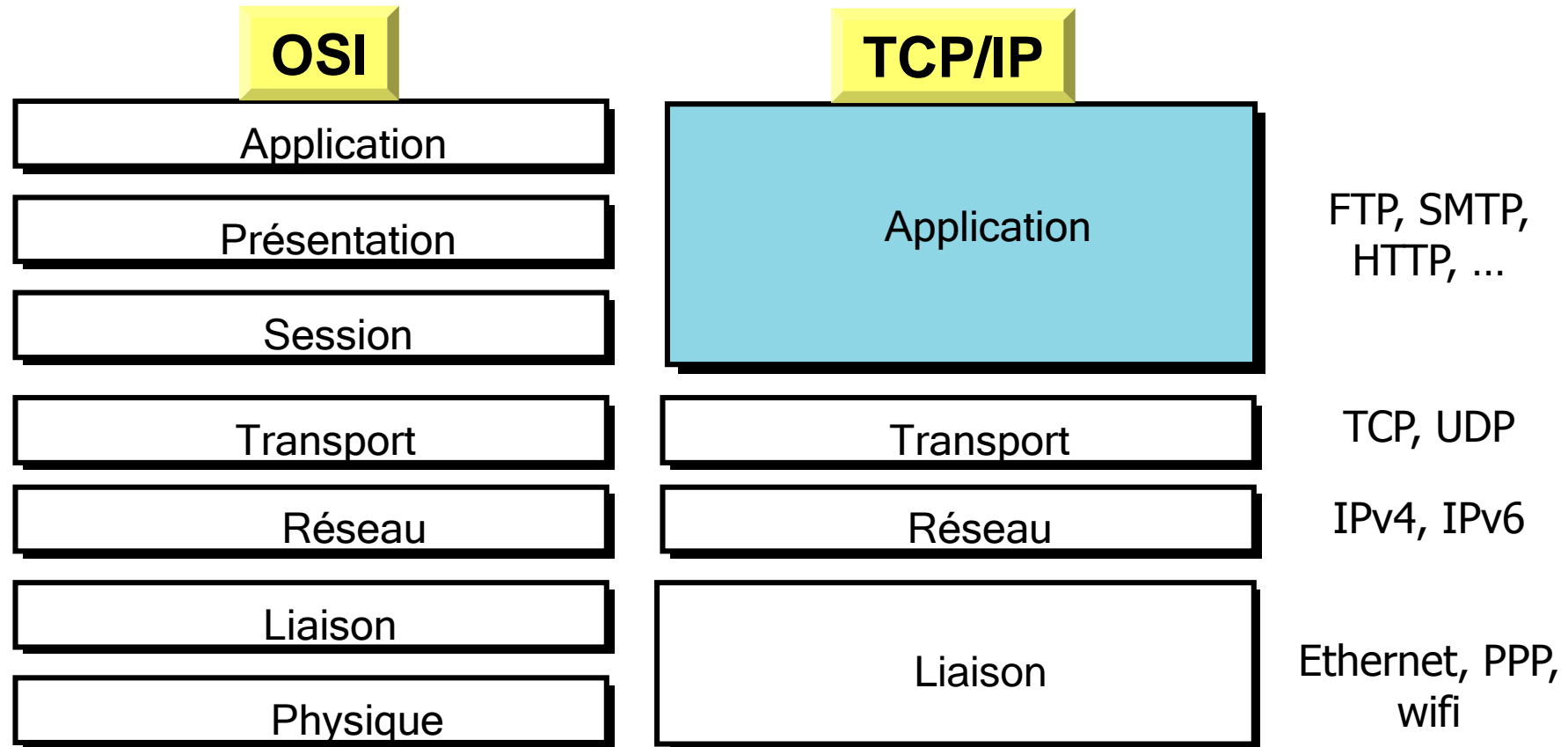
7	Application Clients, Serveurs	Accès au service : applications utilisateur	Telnet, SMTP, POP, NFS, HTTP, FTP, SSH	
6	Présentation Clients, Serveurs	Conversion de format, codage, cryptage ...	ASCII, ASN.1, ...	
5	Session Clients, Serveurs	Gestion sessions :points de reprises, identification, début/fin de session ...	X-Window System, RPC, Appletalk Session Protocol, NetBios	
4	Transport Clients, Serveurs	Contrôle de flux & fiabilité	Segments Ports	TCP, UDP
3	Réseau Routeurs	Adressage, Routage, fragmentation, Commutation, Best Effort de base.	Paquets Adresses logiques	IPv4, IPv6,
2	Liaison de données Pont, Switch	Gestion des transmissions, fiabilité, contrôle de flux, contrôle d'erreurs	Trames Adresses physiques	PPP, Ethernet, wifi...
1	Physique Répéteurs, Hubs, modems, cartes, ...	Sérialisation, Transmission bit à bit, spécification physique du lien	Bits 01101011011101	Standards EIA/TIA. 32

Architecture Internet



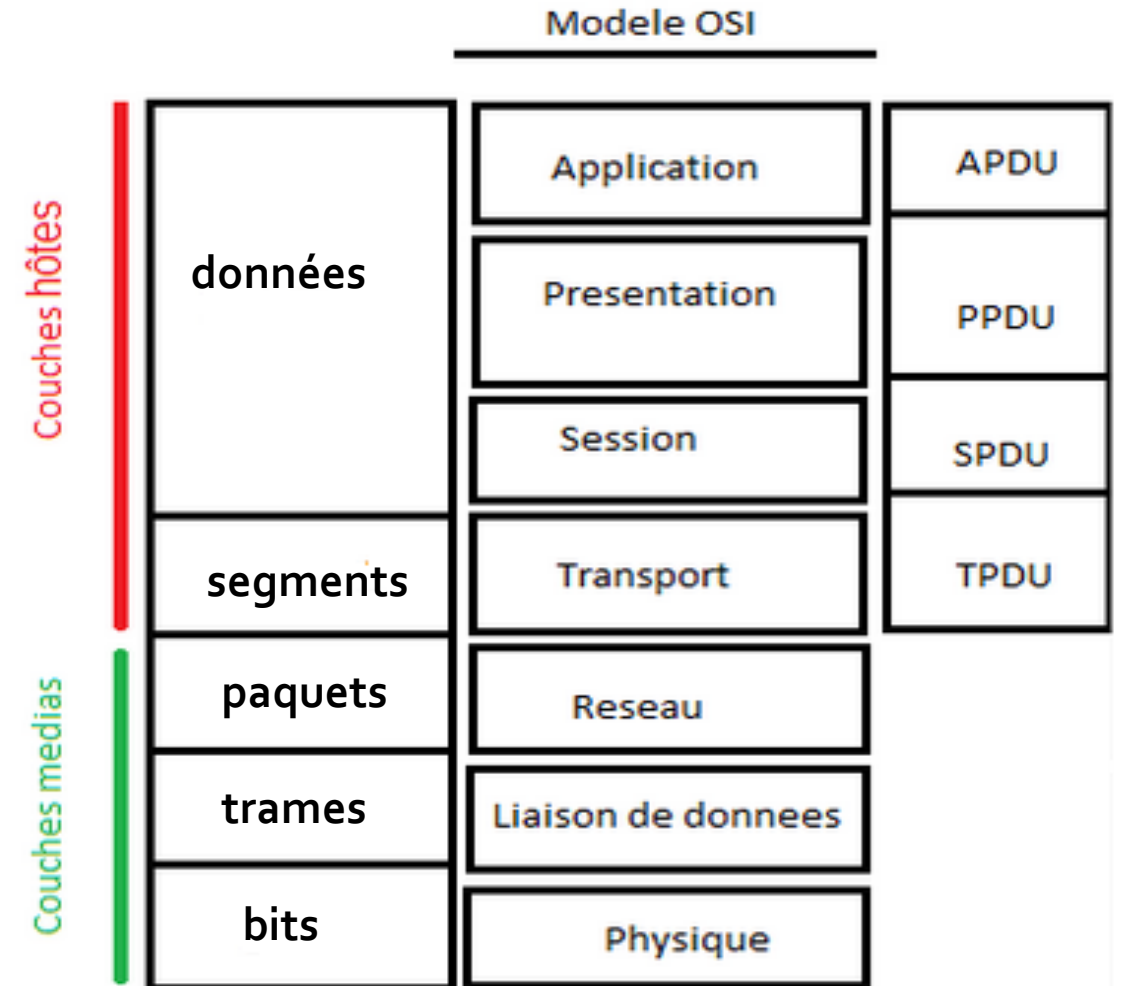
Internet : TCP/IP

- TCP/IP regroupe certaines couches du modèle OSI dans des couches plus général
- TCP/IP est plus qu'un modèle de conception théorique, c'est sur lui que repose le réseau Internet actuel



Unité de données de protocole

- **PDU** (Protocol Data Unit): comprend des données ainsi que certaines informations de contrôle. Le PDU est donc le résultat d'une **encapsulation**, qui veut dire ajout d'un entête aux données. Ces données sont aussi nommées Service Data Unit (**SDU**), et l'en-tête Protocol Control Information (**PCI**).
- En résumé un PDU=SDI+PCI
- Dans les couches hautes, leur nom sera précédé de l'initiale de la couche dont ces données sont issues (ex: couche applicative, elles prennent le nom d'APDU *Application Protocol Data Unit*). Une fois dans la couche de transport, où elles sont segmentées, ces données deviennent logiquement des segments...



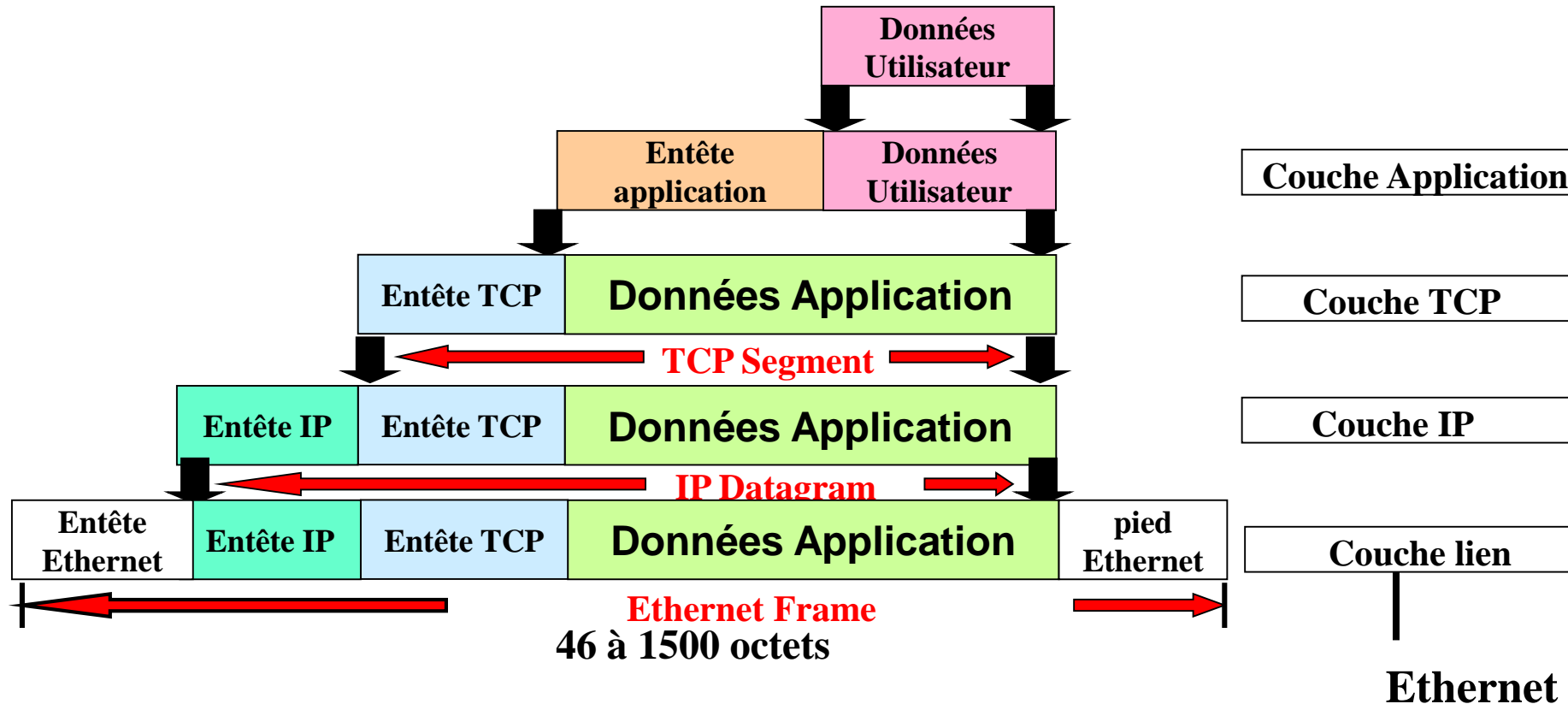
Internet : TCP/IP

- IP (Internet Protocol): QoS très faible
 - Pas de détection de perte de paquet et pas de reprise sur erreur
 - IPv4 : adressage, fragmentation, transporter des données sans autres fonctionnalités
 - IPv6 : nouvelles fonctionnalités : sécurité, mobilité...
- TCP (Transmission Control Protocol): regroupe toutes les fonctionnalités de niveau 4:
 - Fiabilité: résout tous les problèmes de perte de paquets dans les niveaux inférieurs
 - Contrôle des données transférées (perdus, endommagés...)
 - Reséquencement si IP ne délivre pas les paquets dans l'ordre
 - Contrôle de flux (fenêtre)
- UDP (User Datagram Protocol):
 - Pas de fonctionnalité supplémentaire % IP
 - Utilise les n° de port
 - Pas de garantie d'arrivée
 - Pas de contrôle de séquençement

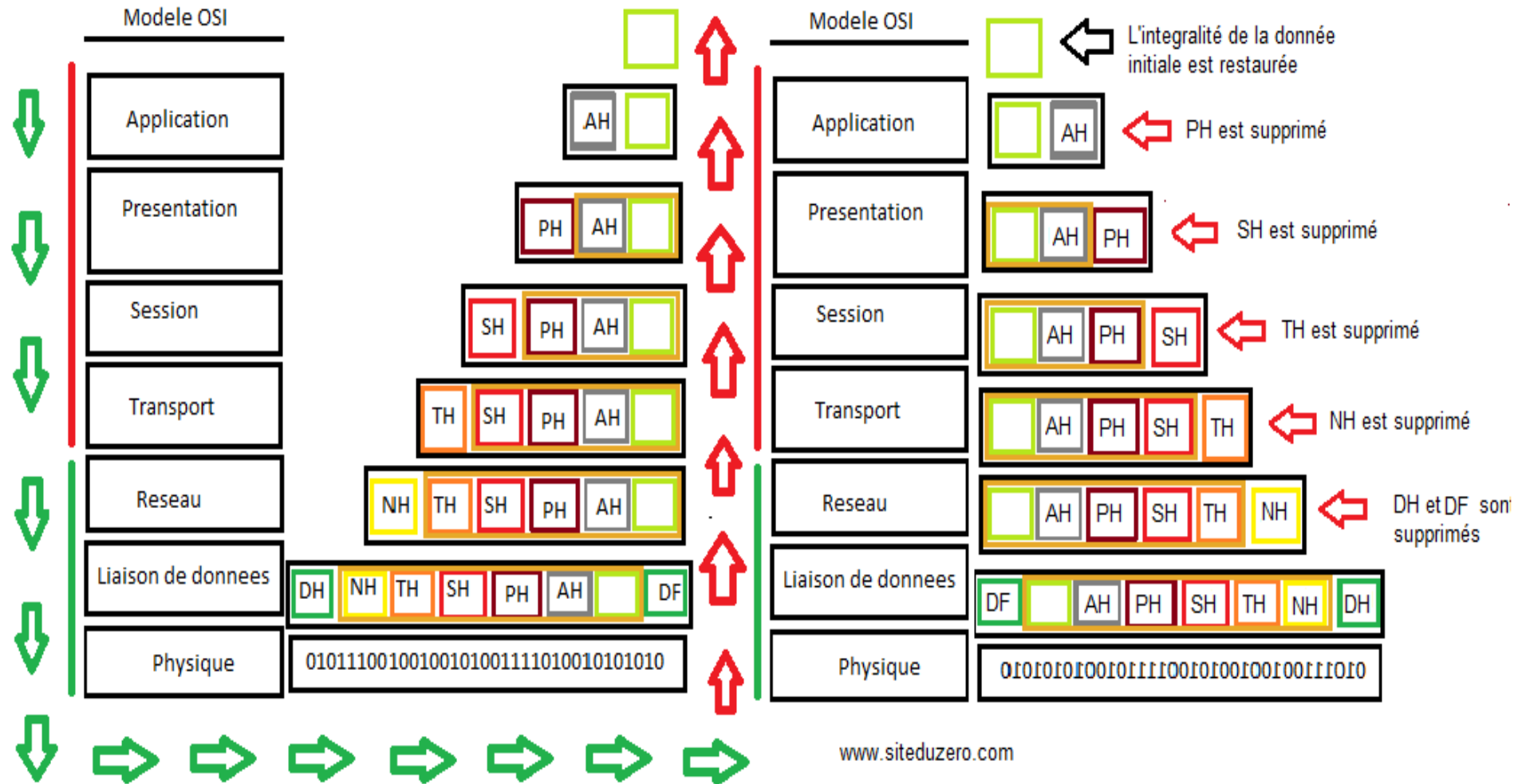
Encapsulation : TCP/IP

Pour assurer la communication entre les couches et entre les hôtes d'un réseau, OSI a recourt au principe d'encapsulation.

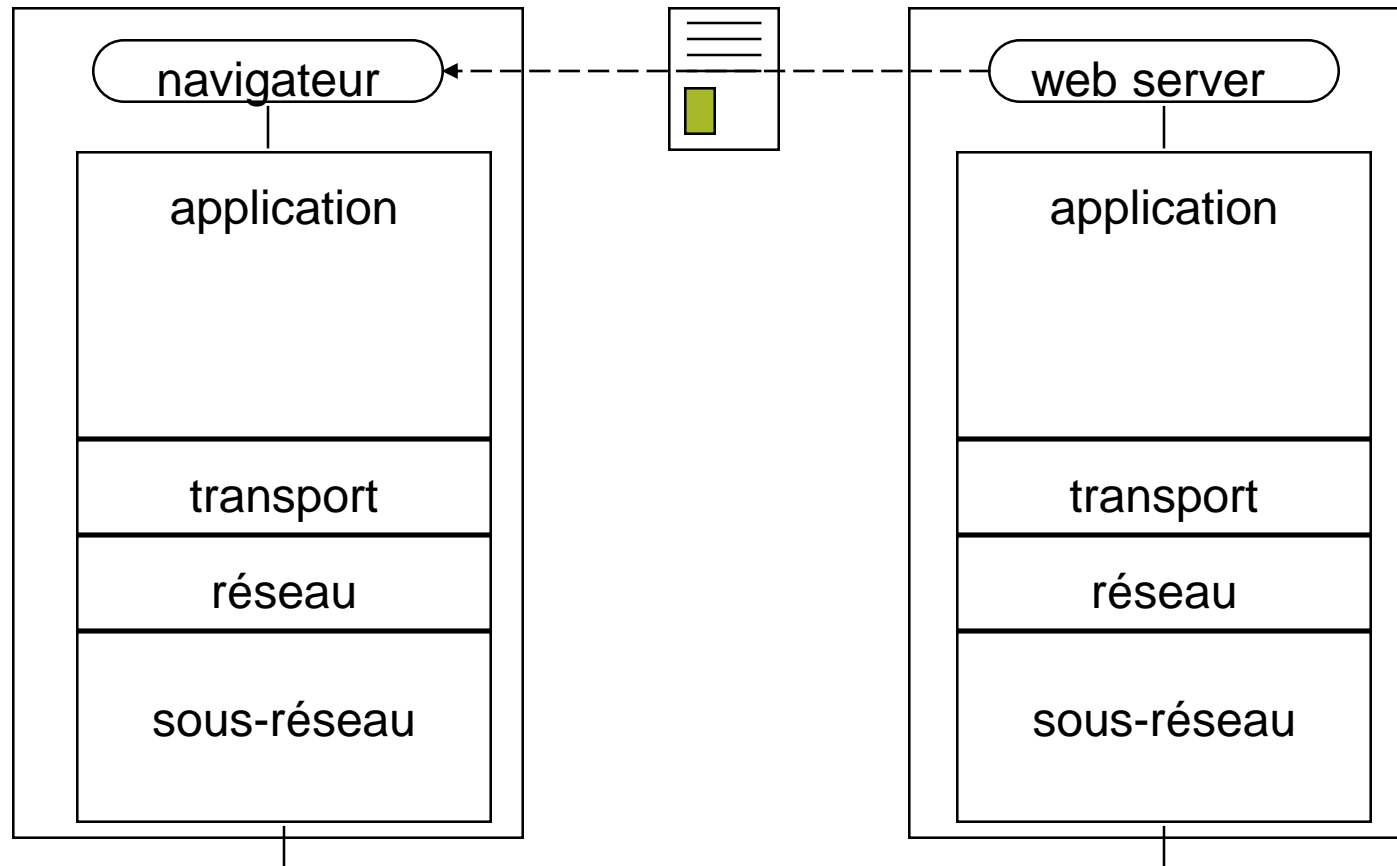
Encapsulation : processus de conditionnement des données consistant à ajouter un en tête de protocole déterminé avant que les données ne soient transmises à la couche inférieure :



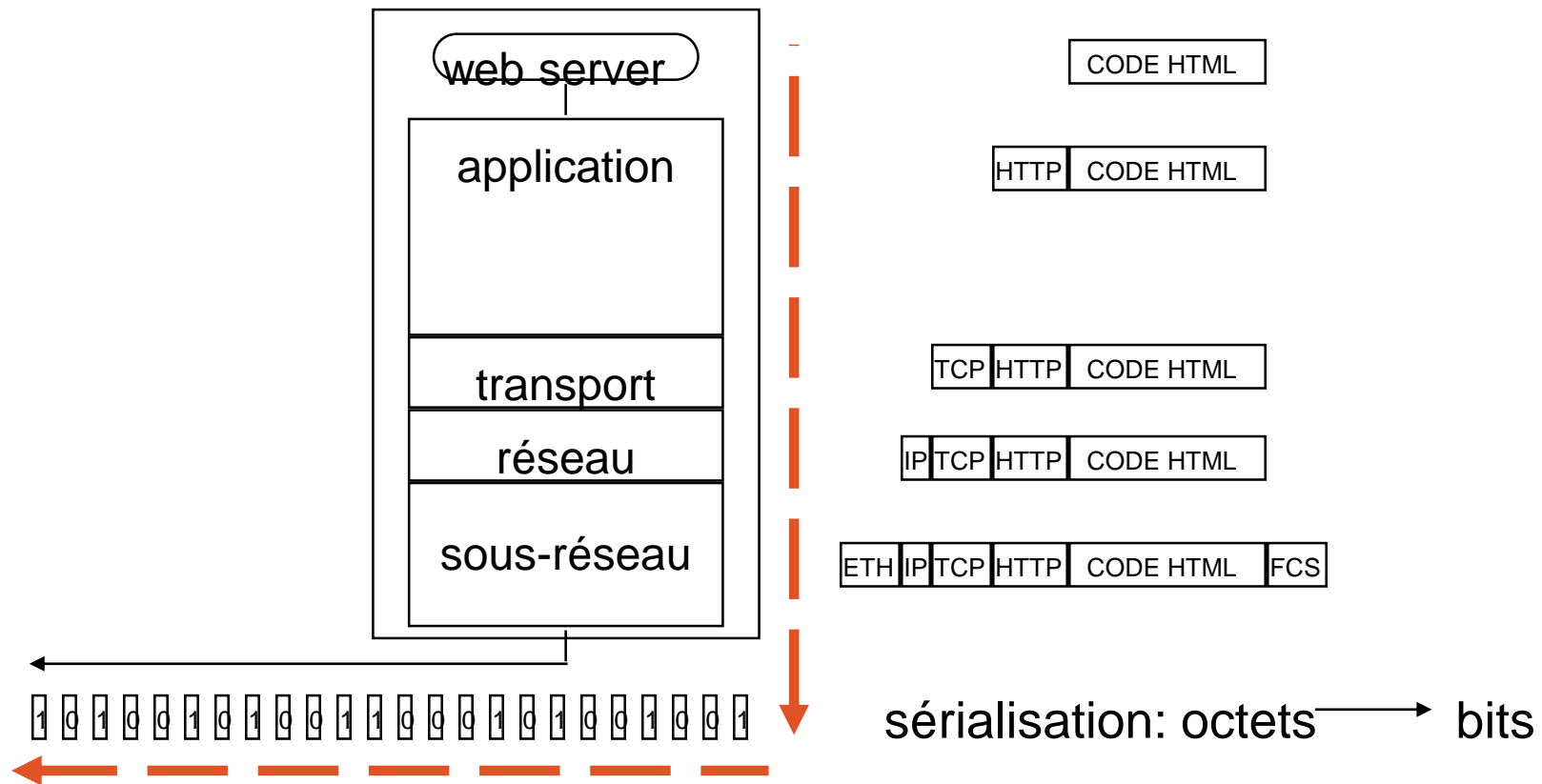
Encapsulation : modèle ISO



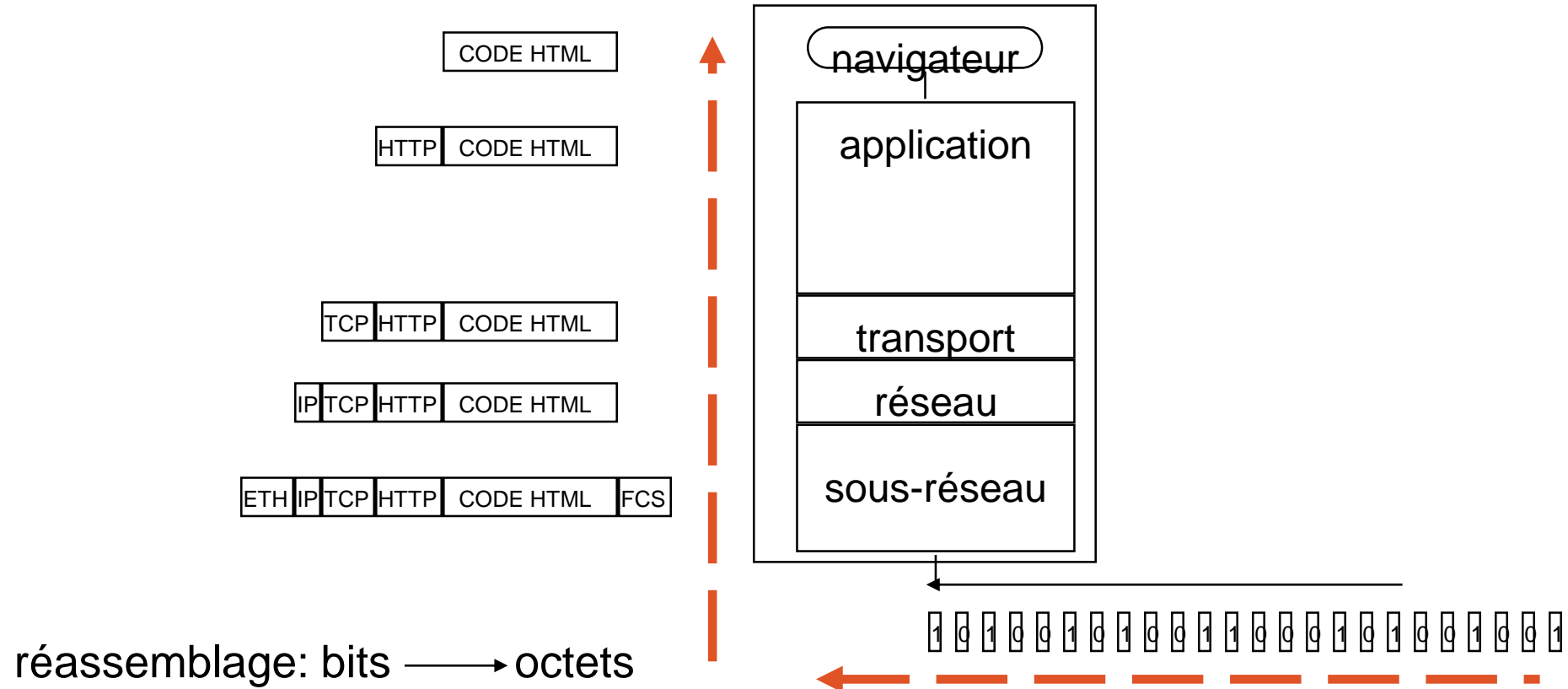
Exemple transmission page HTML



Exemple transmission page HTML

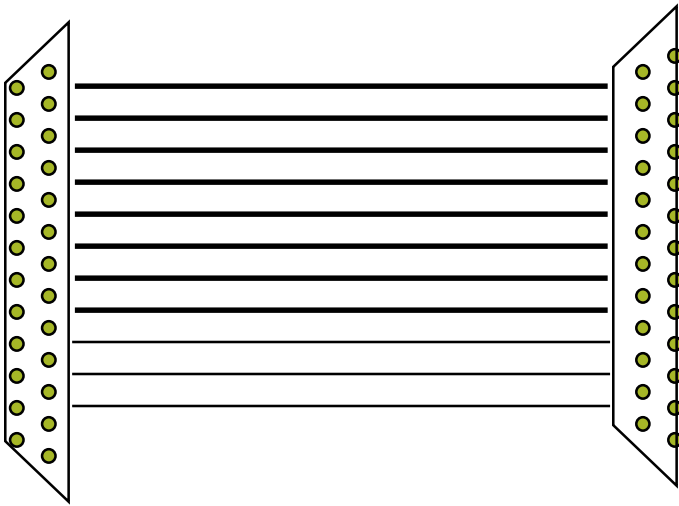


Exemple transmission page HTML



Couche Physique

Types de transmission - Transmission parallèle



Connecteur 25 broches

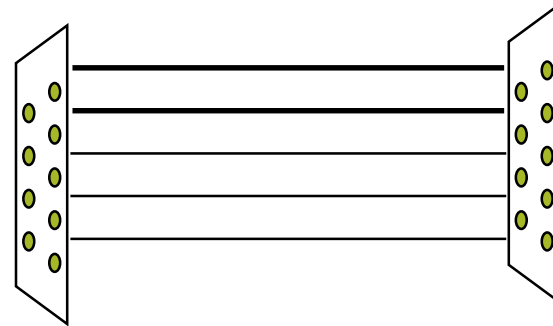
- ❖ 8 fils données (1 octet)
- ❖ n fils contrôle

La transmission de données en parallèle consiste à envoyer des données simultanément sur plusieurs canaux (fils). Les ports parallèles présents sur les PC permettent d'envoyer simultanément 8 bits (un octet) par l'intermédiaire de 8 fils.

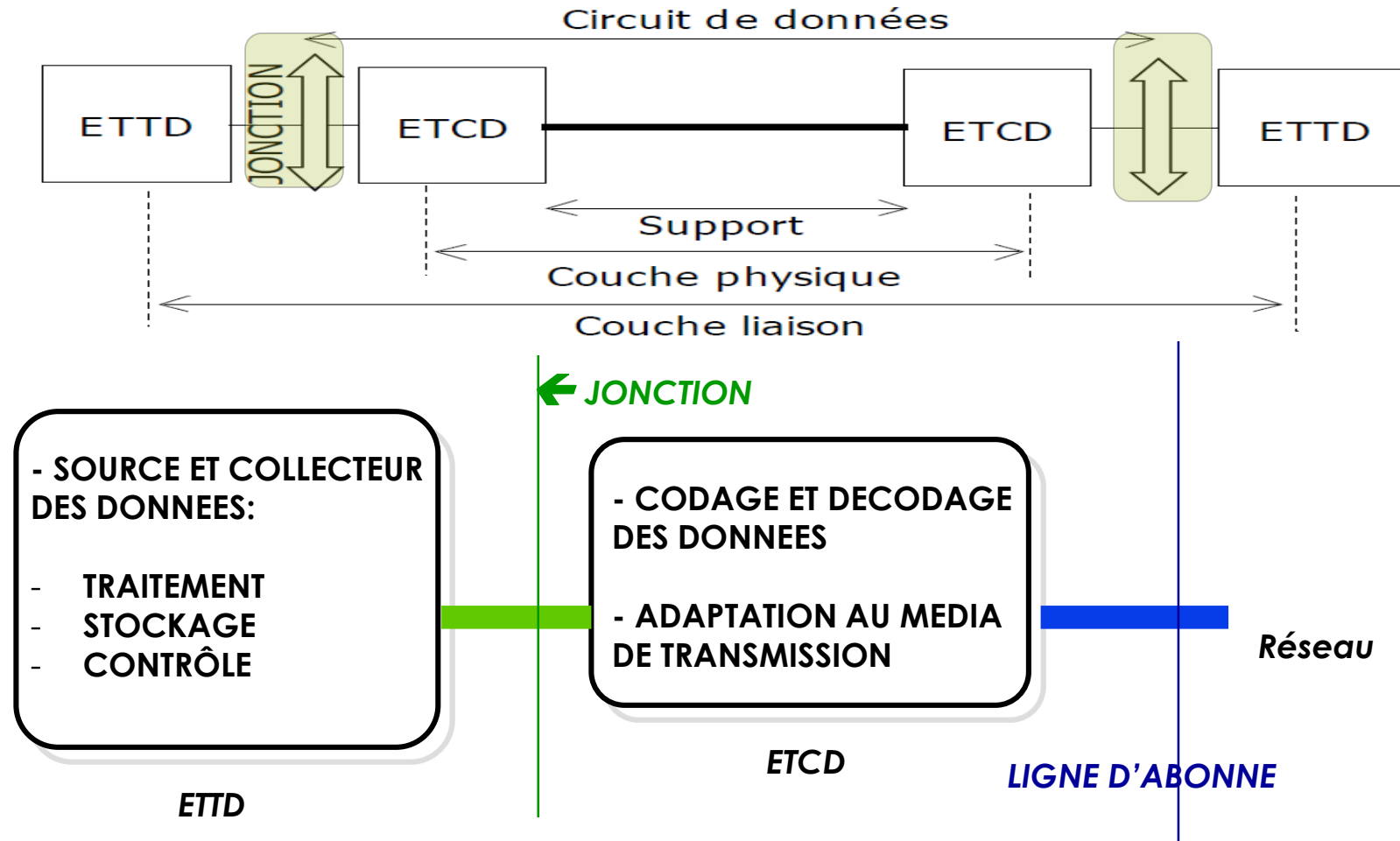
- Port parallèle
- Usage typique: imprimante mais aussi interconnexion de 2 ordinateurs
- Problème d'interférence et de déphasage des signaux → Courte distance

Types de transmission -Transmission série

- Port série
 - ❖ 2 fils de données (2 x 1 bit)
 - transmission (TD),
 - réception (RD)
 - ❖ n fils contrôle/état:
 - « carrier detect », « clear to send »,
 - « data terminal ready »
 - ...
- Usage typique: modem mais aussi interconnexion de 2 ordinateurs
 - null modem (RS-232)
 - câble croisé

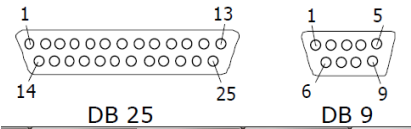


Types de transmission - Transmission série



ETTD (Equipement Terminal de Traitement de Données) - DTE (Data Terminal Equipment)
ETCD (Equipement Terminal de Circuits de Données) - DCE (Data Circuit Equipment)

Types de transmission -Transmission série



Signal (R232/ V24)	DB 9	DB 25	Description (emetteur)
TD/103	3	2	Transmission de données– Transmit Data
RD/104	2	3	Réception des données– Receive Data
RTS/105	7	4	Demande d'émission– Request To Send
CTS/106	8	5	Accord reception prêt à émettre – Clear To Send
DSR/107	6	6	ETCD pr[et– Data Set Ready
SG/102	5	7	Masse – Signal Ground
DCD/109	1	8	Détection de porteuse– Data Carrier Detect
DTR/108	4	20	ETTD pr[et– Data Terminal Ready
RI/125	9	22	Indicateur de sonnerie– Ring Indicator

Protocole de connexion

- Initialisation
 - ❖ L'ETTD sous tension signale qu'il est prêt(108)
 - ❖ L'ETCD sous tension signale qu'il est prêt (107)
- Préparation au transfert
 - ❖ L'ETTD formule une demande à émettre (105)
 - ❖ L'ETCD
 - se met en état d'émission (envoie une porteuse à l'ETCD distant, synchro ...)
 - Après un certain temps, indique qu'il est prêt a émettre (106)
 - 109 : indication de présence d'un modem (ETCD) distant, détection de porteuse avant toute réception
- Phase de transmission
 - ❖ L'ETTD émet les données sur le 103
 - ❖ L'ETCD (distant) émet les données vers l'ETTD et arrive sur le 104

Types de transmission -Transmission série

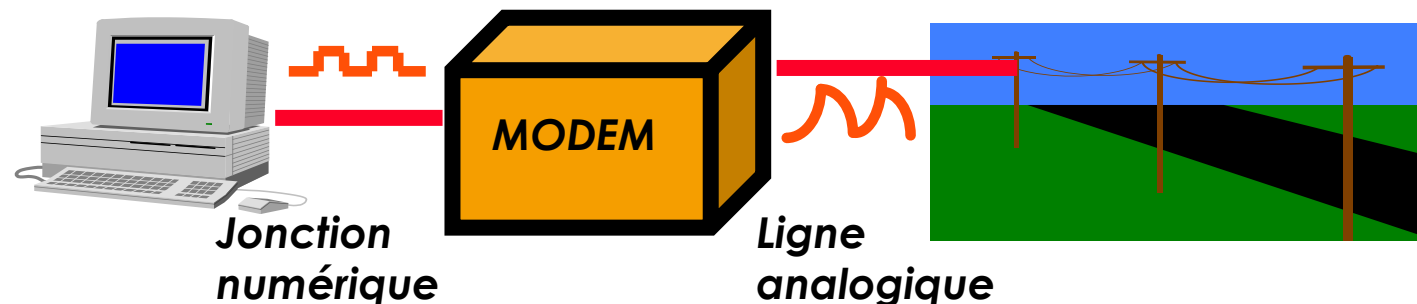
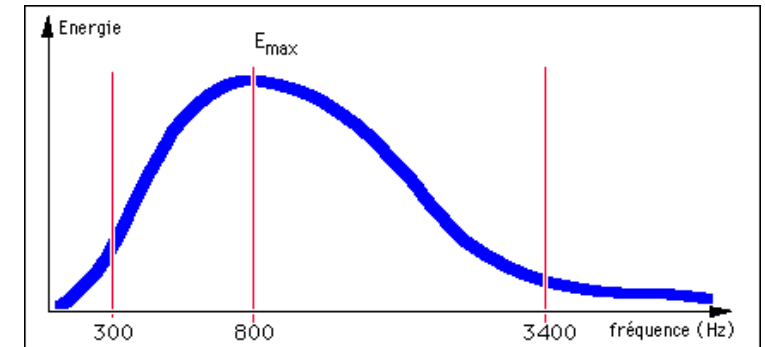
- L'USB (Universal Serial Bus) tend à remplacer l'interface RS232
 - ❖ Moins encombrant (réduction de la quantité de cuivre) et plus rapide (car plus intelligent grâce à un système microprogrammé implanté dans le périphérique)
 - ❖ bus de type série commandé par un hôte
 - Chaque périphérique possède une adresse
 - utilise un protocole Maître/Esclave
 - Données sous forme de paquets : adresse, identificateur du paquet , acquittement, type de transaction (l'hôte veut lire/envoyer, init du transfert) ...
 - ❖ 4 types de transfert
 - en mode **Control** pour initialisations , configuration et éventuellement transfert (transfert irrégulier en mode best-effort)
 - mode **Interrupt** pour transferts périodiques ou permanents comme le clavier et la souris (transfert à latence garantie et fiabilité assurée)
 - mode **Isochroneous** pour flux régulier (caméra, mico ...), bande passante garantie, pas de reprise sur erreur
 - Mode **Bulk** pour les gros transferts de données, débit variable comme pour les imprimantes (données en vrac, pas de garantie de délai)



Version	USB 1.0	USB 1.1	USB 2.0	Wireless USB	USB 3.0	USB 3.1
Année	1996	1998	2000	2005	2008	2013
Débit	1,5 Mbit/s 0,19 Mo/s	12 Mbit/s 1,5 Mo/s	480 Mbit/s 60 Mo/s	480 Mbit/s 60 Mo/s	5 Gbit/s 600 Mo/s	10 Gbit/s 1,2 Go/s

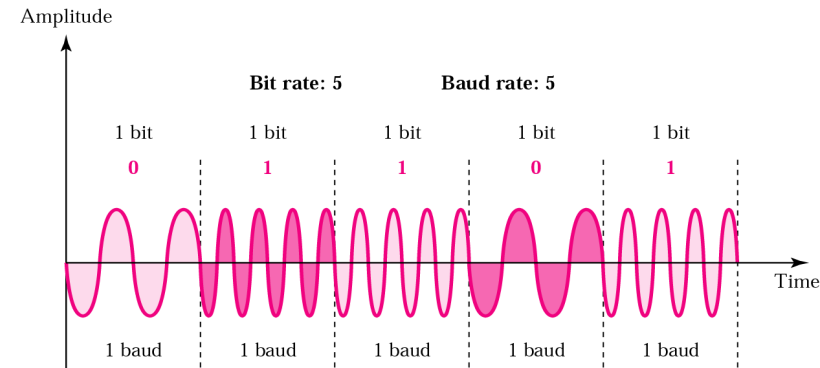
Techniques de transmission -Modem

- ADAPTATION D'UN TERMINAL NUMERIQUE (PC) A UN CONDUIT ANALOGIQUE (Réseau téléphonique)
 - ❖ Modem =Modulateur/Démodulateur; c'est un élément de Terminaison de Circuit de données (ETCD)
- Fréquence de transmission
 - ❖ générée et/ou véhiculée par les modems: *modems synchrones*
 - ❖ générée par les ordinateurs: *modems asynchrones*
- Techniques: modulation d'amplitude, fréquence, phase

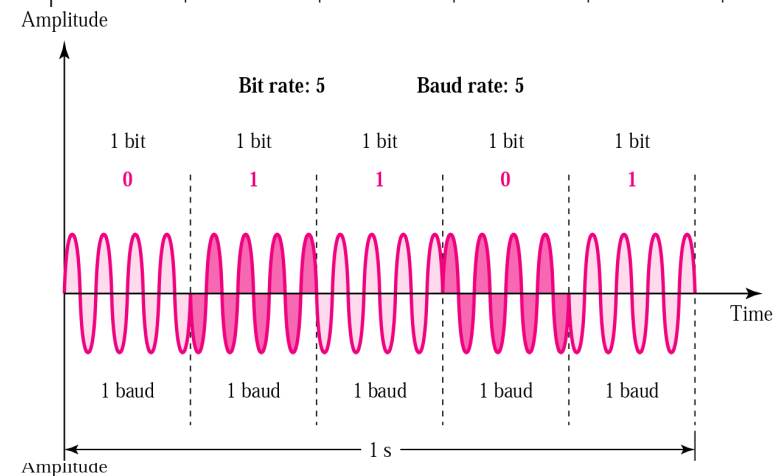


Techniques de transmission -Modulation

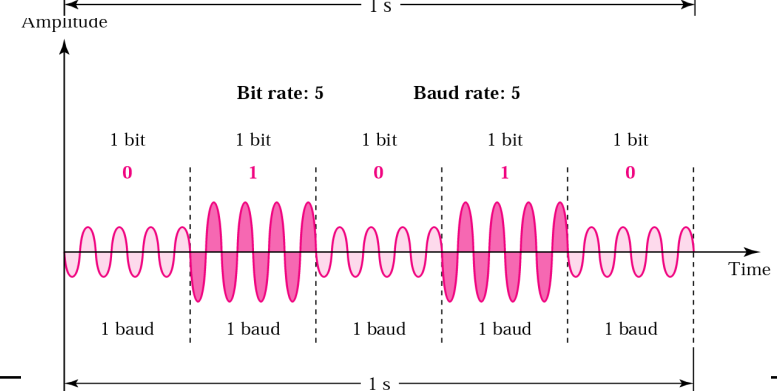
Modulation de Fréquence



Modulation de Phase



Modulation d'amplitude



Techniques de transmission -Modulation

- ✓ Combiner

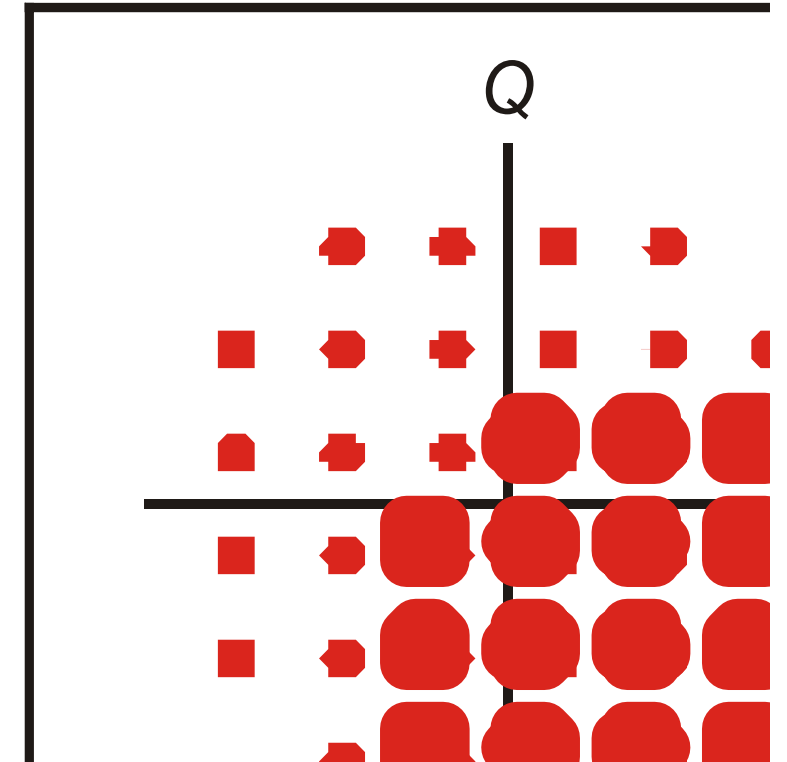
 - ❖ Modulation de phase

 - ❖ Modulation d'amplitude

- ✓ Exemple: QAM-32 (Quadrature Amplitude Modulation: modulation d'amplitude en quadrature de phase)

 - ❖ Symboles: 5 bits

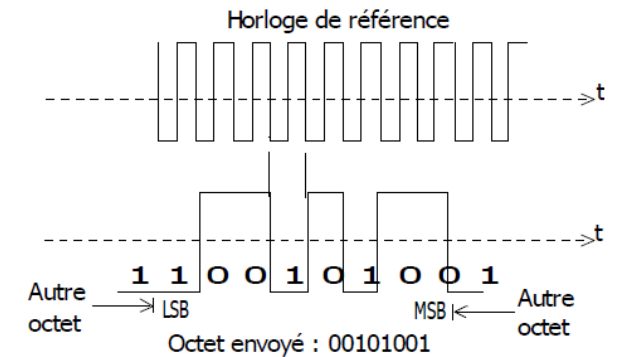
 - ❖ 32 points dans la constellation



Techniques de transmission - Synchronisation

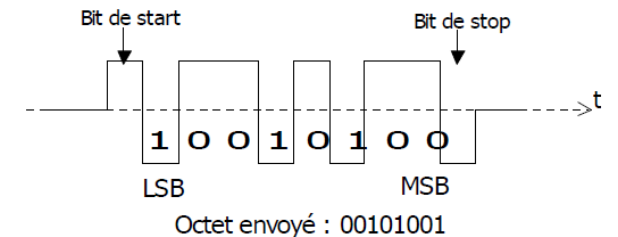
- LIAISON SYNCHRONE

- ❖ l'émetteur et le récepteur sont cadencés à la même horloge
- ❖ un fil d'horloge pour la synchronisation ou codage approprié
- ❖ performance maximale
- ❖ pour très hauts débits



- LIAISON ASYNCHRONE

- ❖ dans laquelle chaque caractère est émis de façon irrégulière
- ❖ séparateurs de début et fin de message (START/STOP)
- ❖ Exemple d'utilisation : relier un terminal (clavier)



Techniques de transmission – Sens de transmission

- **MODE SIMPLEX OU UNIDIRECTIONNEL**
 - ❖ liaison dans un seul sens
 - ❖ exemple: ordinateur vers imprimante
- **MODE SEMI-DUPLEX, HALF-DUPLEX, A L'ALTERNAT, ou PING-PONG**
 - ❖ liaison alternativement dans un sens puis dans l'autre
 - ❖ partage de temps
- **MODE DUPLEX INTEGRAL OU FULL DUPLEX**
 - ❖ transmission simultanée dans les deux sens
 - ❖ c'est le mode le plus performant, indispensable en transmission multimédia

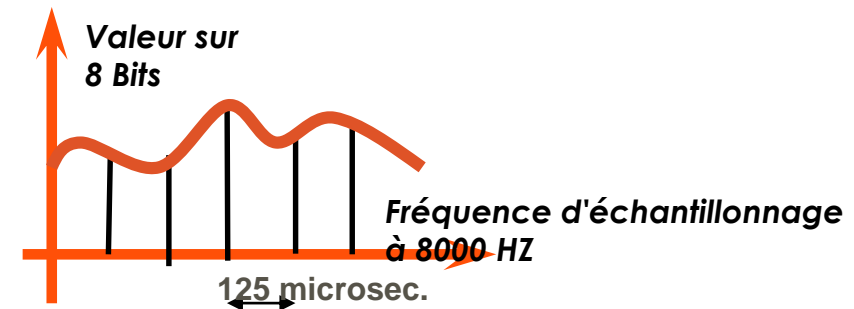
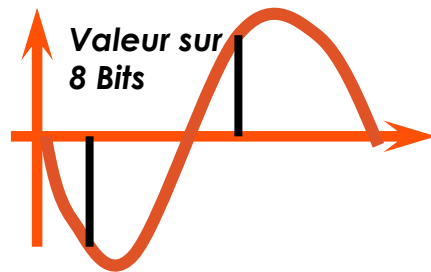
Techniques de transmission - Multiplexage

- Objectifs : optimisation de l'utilisation du réseau => agrégation de flux avant transmission sur backbone
- Frequency Division Multiplexing (FDM) : signaux analogiques
- Time Division Multiplexing (TDM) : données numériques
- Wave Division Multiplexing (WDM) : signaux optiques

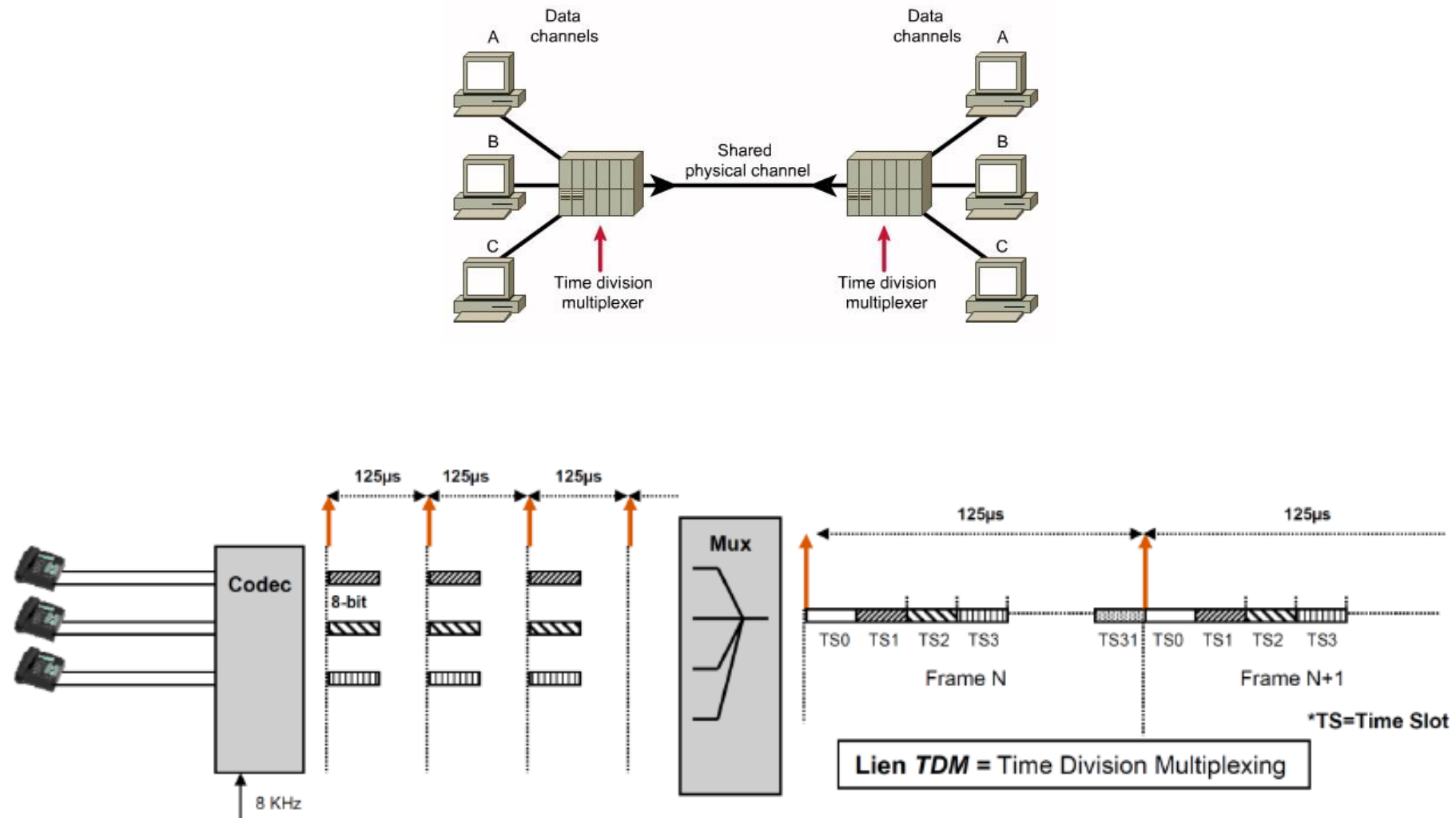
Techniques de transmission - Numérisation de la voix

- CONVERSION D'UN SIGNAL ANALOGIQUE EN DONNEES NUMERIQUES

- ❖ signaux analogiques avec une largeur de spectre de 4KHZ
- ❖ il faut échantillonner à au moins deux fois la largeur du spectre. (Théorème de SHANNON)
soit 8000 HZ
- ❖ chaque échantillon est codé sur 8 Bits
- ❖ soit un débit de $8 \times 8000 = 64$ KBit/s

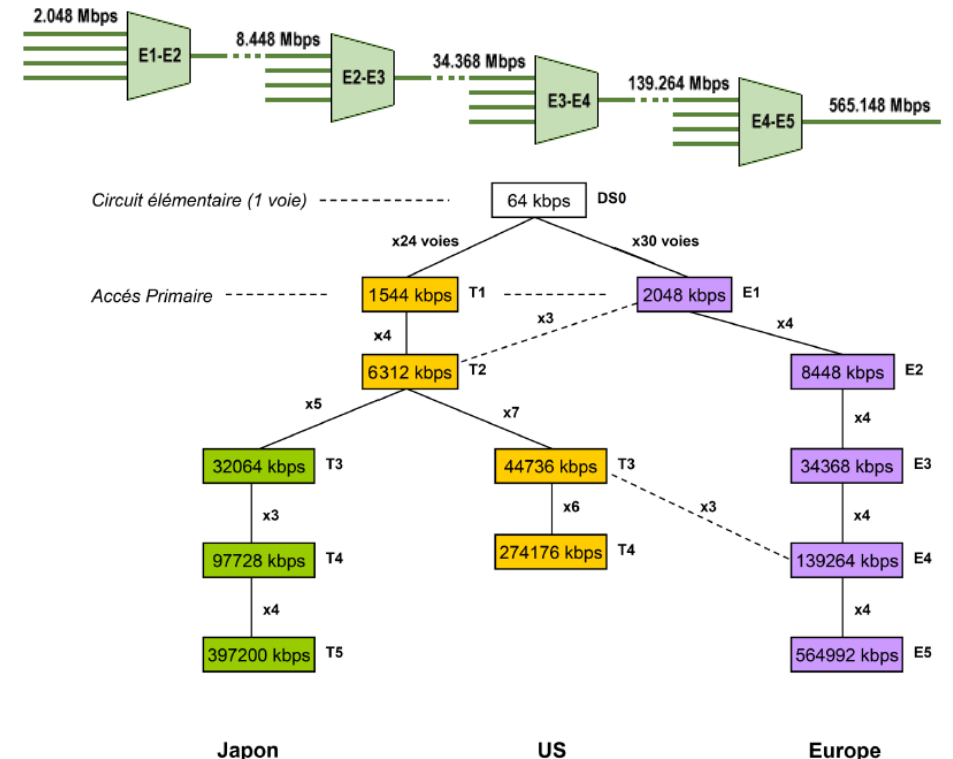


Techniques de transmission - Multiplexage TDM



Techniques de transmission – Multiplexage TDM

- ✓ Réseau téléphonique commuté
- ✓ Le MIC (Multiplexage d'Informations Codées) est basé sur l'utilisation de canaux à 64 Kbits/s
- ✓ Le MIC (Norme Européenne) utilise un conduit (E1) à 2048Kb/s = 32 canaux de 8 bits (IT) échantillonnés à 64Kb/s
- ✓ La hiérarchie **PDH** « Plesiochronous Digital Hierarchy »
 - ❖ Initialement réservée à la voix puis aux données (X.25, RNIS)
 - ❖ Multiplexage de MICs : $E_2 = 4 * E_1$; $E_3 = 4 * E_2$; $E_4 = 4 * E_3$ (139,264 Mb/s)
 - ❖ Pour récupérer un canal à 64 Kb/s à partir de E_4 , il faut entièrement démultiplexer jusqu'au E_1 et ensuite le canal => complexe, lent
 - ❖ Pas les mêmes systèmes au niveau international => interfaces



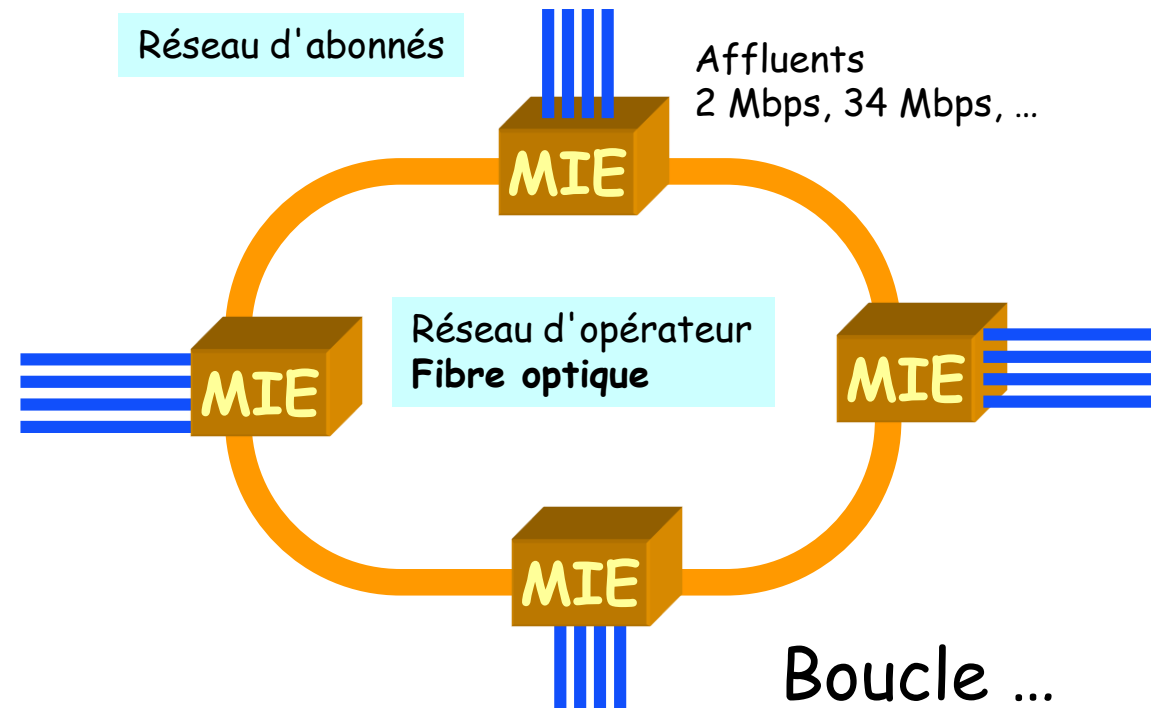
Techniques de transmission - Multiplexage SDH

- SDH : « Synchronous Digital Hierarchy »
 - ❖ Débits plus élevés
 - ❖ Met en œuvre plus de mécanismes pour la tolérance aux fautes
 - ❖ Supporte l'injection/extraction (Add/drop) entre différents affluents (à un quelconque niveau de multiplexage)
 - ❖ La technologie équivalente aux US est SONET
 - ❖ Très utilisée dans le cœur des réseaux

Techniques de transmission - Multiplexage SDH

- La trame de base est appelée STM-1 (Synchronous Transport Module level 1)
- Le raccordement des usagers sur le réseau d'opérateur se fait sur des équipements de multiplexage spécifique MIE (Multiplexeur à Injection Extraction), ou ADM (Add Drop Multiplexer).
- Il existe trois types de topologie pour les réseaux SDH :
 - Boucle
 - Bus
 - Etoile

SDH	Débit
STM - 1	155 Mbps
STM - 4	622 Mbps
STM - 16	2.5 Gbps
STM - 64	10 Gbps
STM - 128	20 Gbps
STM - 256	40 Gbps



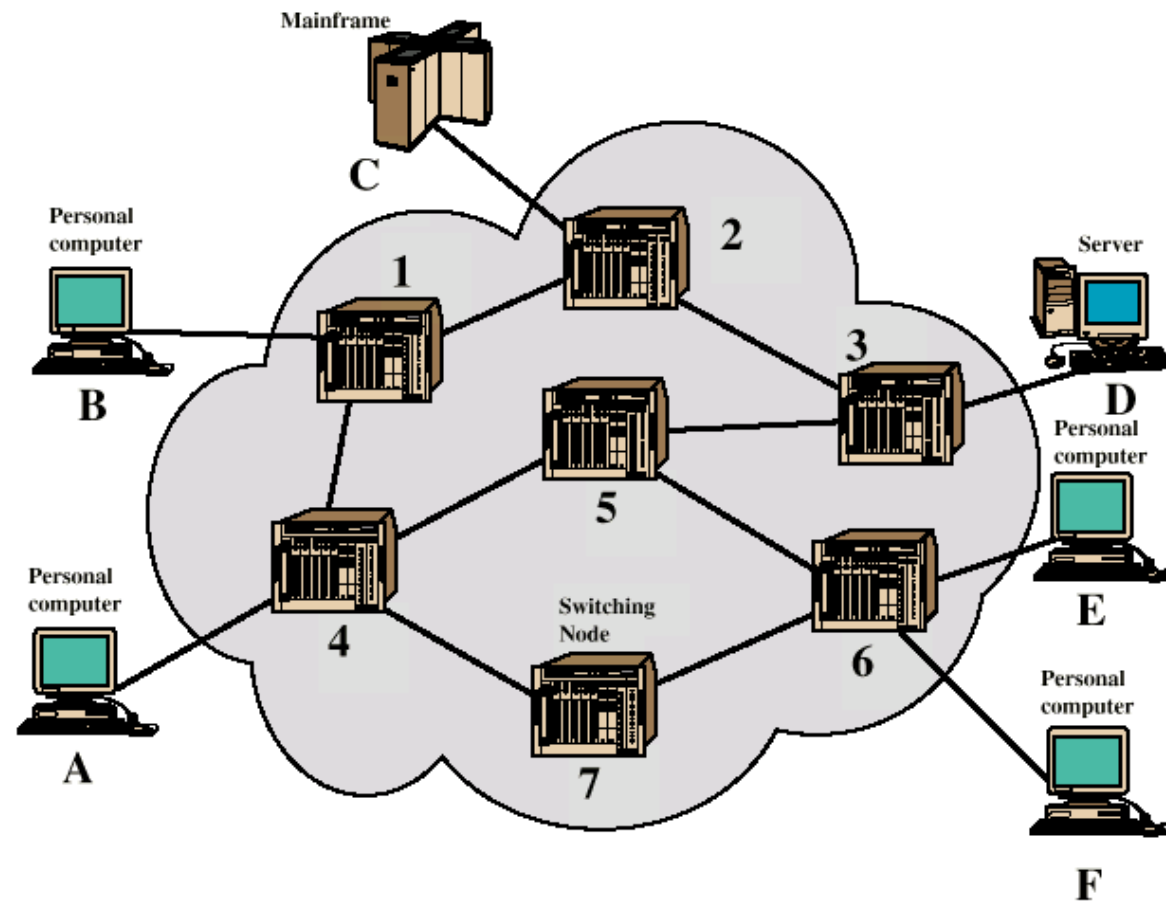
Techniques de transmission- Signalisation

- Utilisation de canaux de communication séparés (Out-of-Band signaling) ou « Common Channel signaling » (CCS) ou Réseau Sémaphore (SS7) pour envoyer les signaux nécessaires à la gestion d'une communication
 - signaux d'établissement/rupture de la communication
 - signaux de contrôle, taxation
 - signaux de surveillance, maintenance
- Sur les accès d'abonnés (exp: RTC) la signalisation analogique emprunte aujourd'hui le même canal que les voies de la parole (CCS).
 - L'évolution va vers des canaux séparés
 - Permet un accès permanent aux informations de signalisation (signalisation en cours d'appel)
 - Performance accrue sur un canal dédié (réduction des délais)

Les techniques de commutation

Techniques de commutation

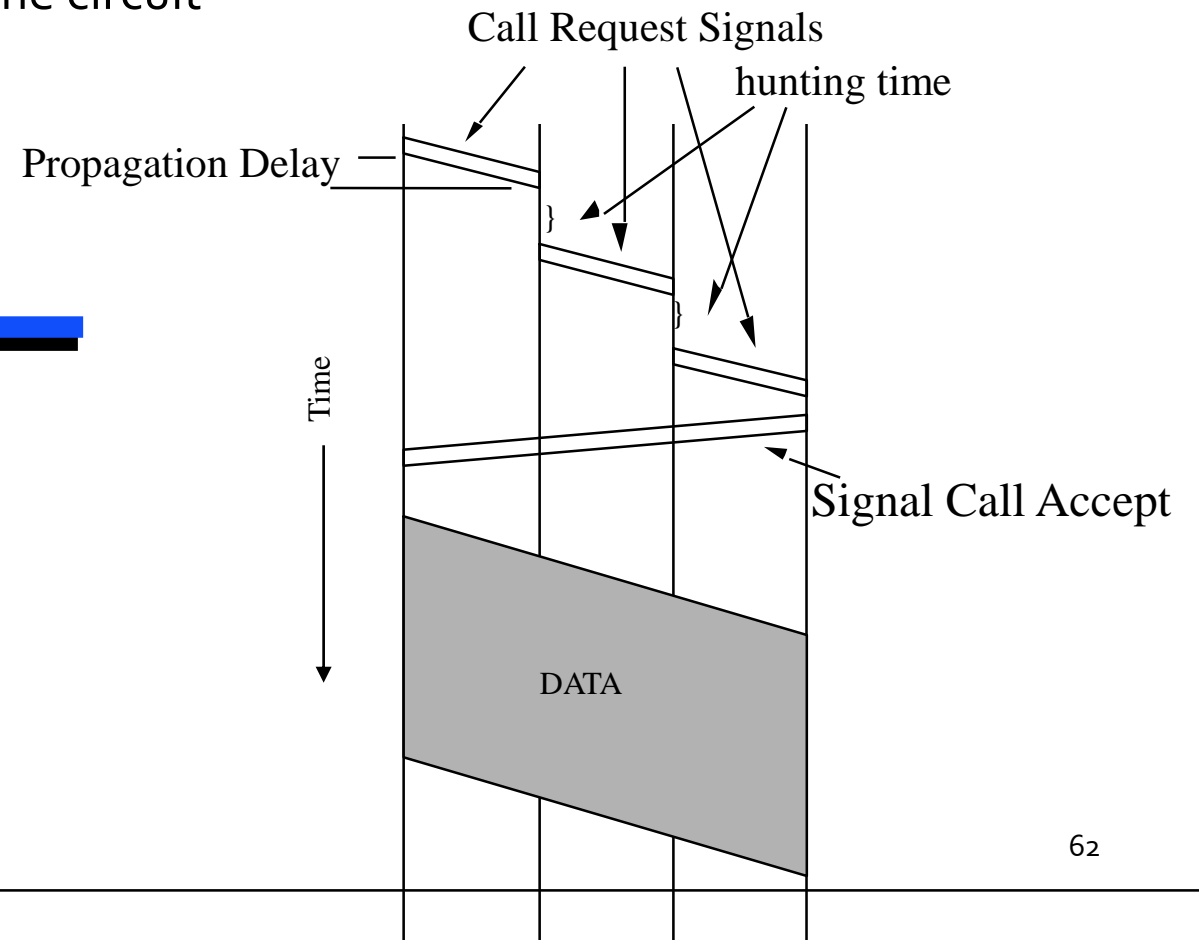
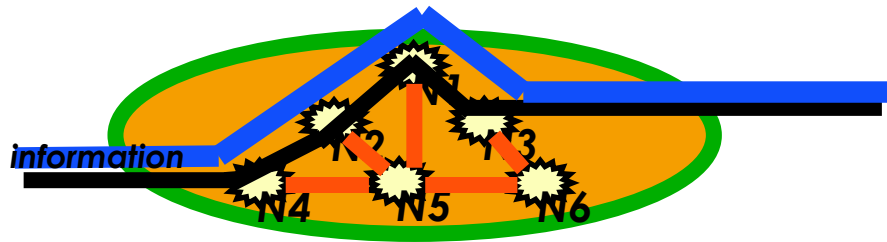
- La commutation permet de relier plusieurs segments (câbles ou fibres) dans un réseau (informatique ou de téléphonique)
- Techniques de commutation
 - Commutation de circuits
 - Commutation de paquets
 - Commutation de cellules
- Exemples:
 - Réseau téléphonique
 - X.25
 - ATM
 - Arpanet (Internet)



Techniques de commutation-Circuit

Etablissement de Circuit

- Connexion de nœuds constituant un circuit pour la durée de la communication.
- Toutes les données empruntent le même circuit



Techniques de commutation-Commutation de Circuits

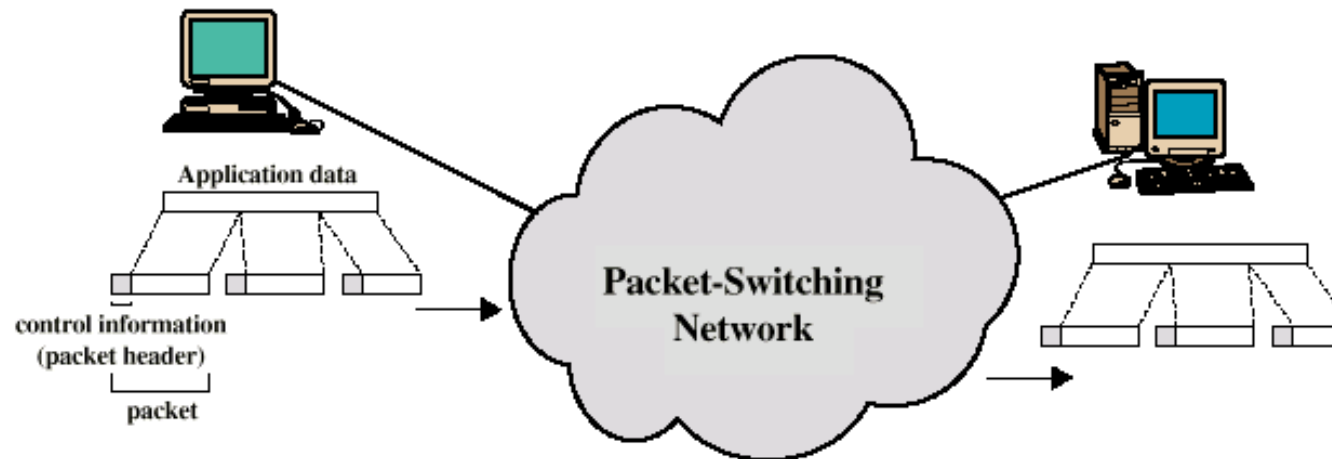
Caractéristiques:

- Connexion directe, transparente à travers le réseau
- Temps de transfert fixes et minimum
- Capacités temps-réel optimales : idéal pour la voix
- Mais
 - Risque d'être inefficace pour la transmission des données

➔ Exemple : le réseau téléphonique commuté (RTC)

Techniques de commutation-Commuation de Paquets

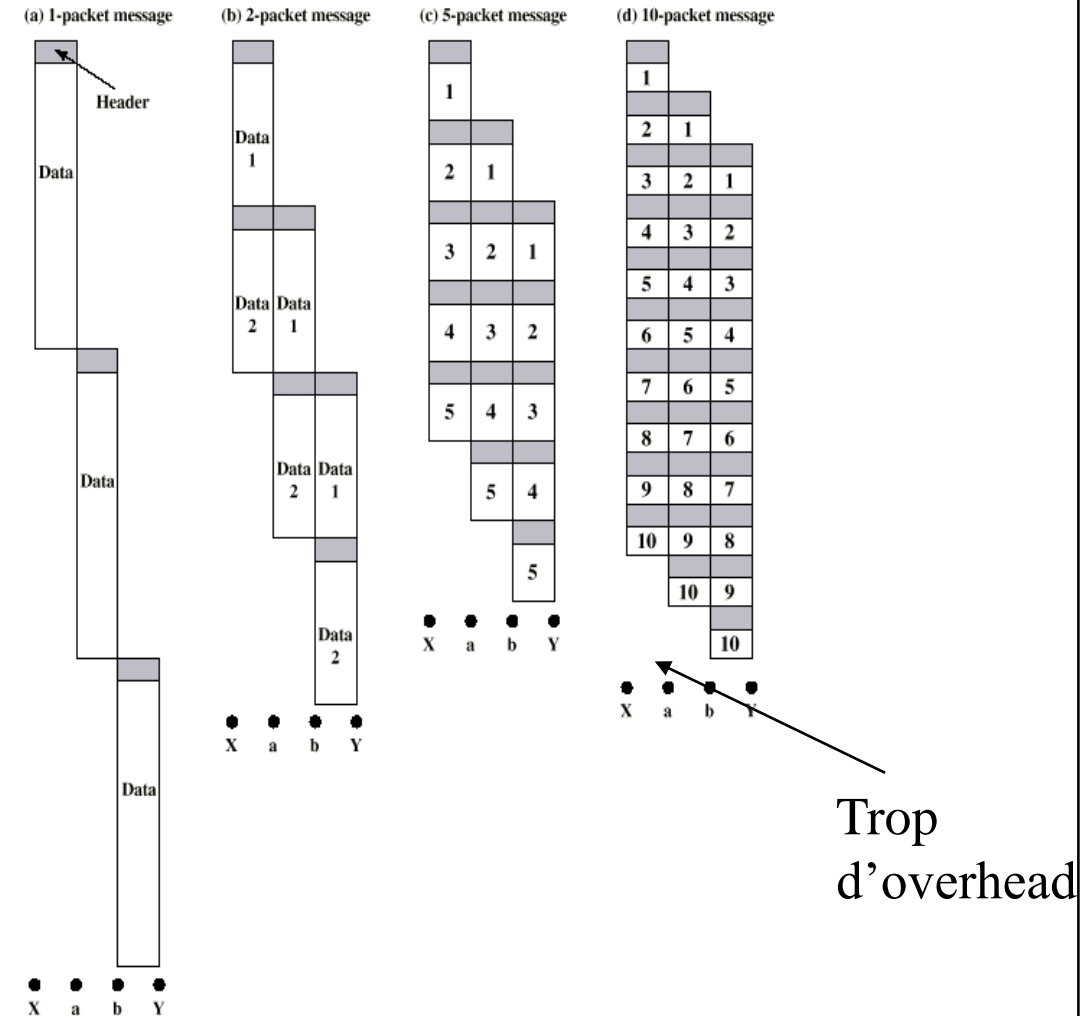
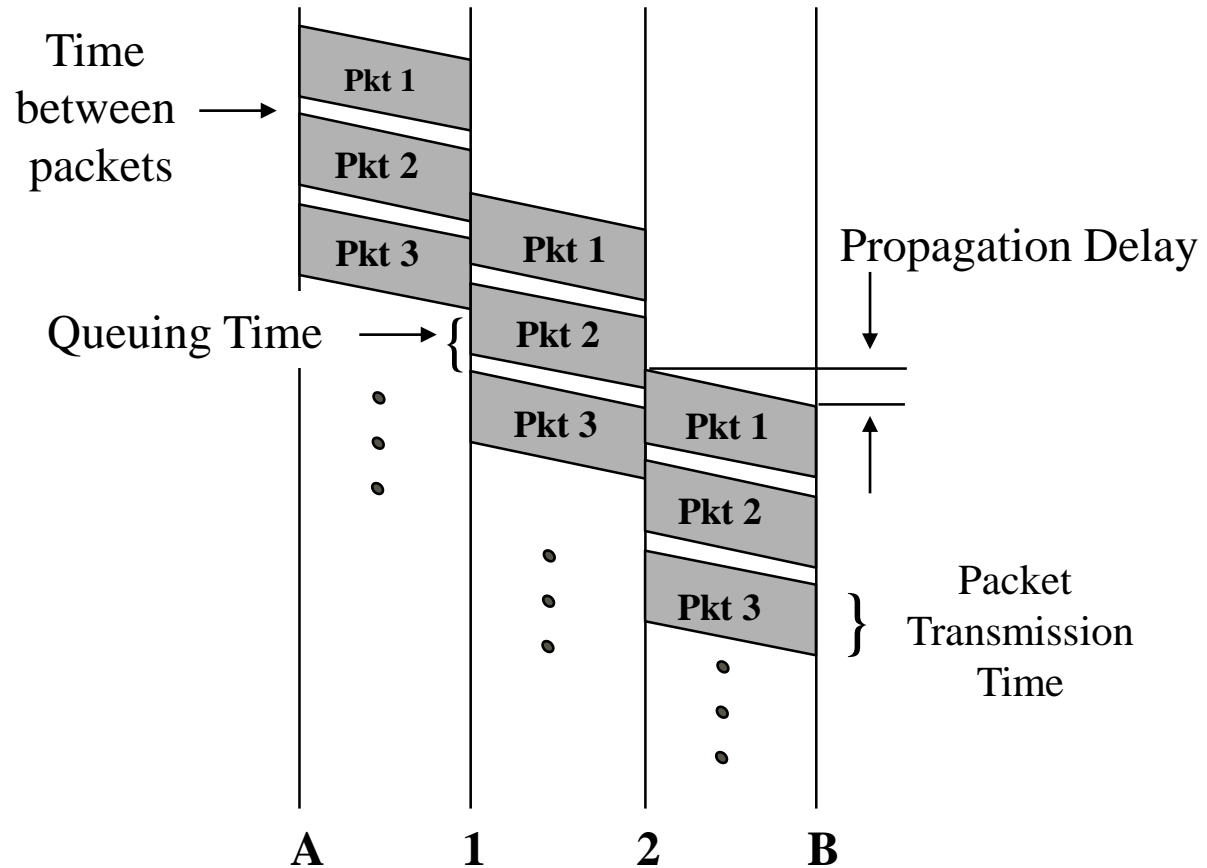
- Données transmises sous forme de paquets
- Fragmentation de long messages en plusieurs paquets
 - Paquet contient une portion des données plus des informations de contrôle (exp: adresse)
- Un équipement spécial (nœud de commutation) est utilisé pour acheminer des paquets entre diverses machines identifiées par leurs adresses
- Les paquets sont reçus, brièvement mémorisés et transmis au nœud suivant : « Store and forward »



Techniques de commutation-Commutation de Paquets

- But: partager le coût des lignes entre les nœuds
- Caractéristiques:
 - Chaque paquet inclut l'adresse de destination
 - Chaque paquet traité indépendamment
 - Chaque paquet prend la route la plus pratique
 - Les paquets d'un même message peuvent arriver en désordre
 - Les paquets peuvent se perdre
 - Récepteur à charge de re-ordonner et recouvrer les pertes
- Exemples: Frame Relay, GPRS, UMTS, LTE
- 2 modes de fonctionnement:
 - Mode datagramme
 - Mode circuit virtuel

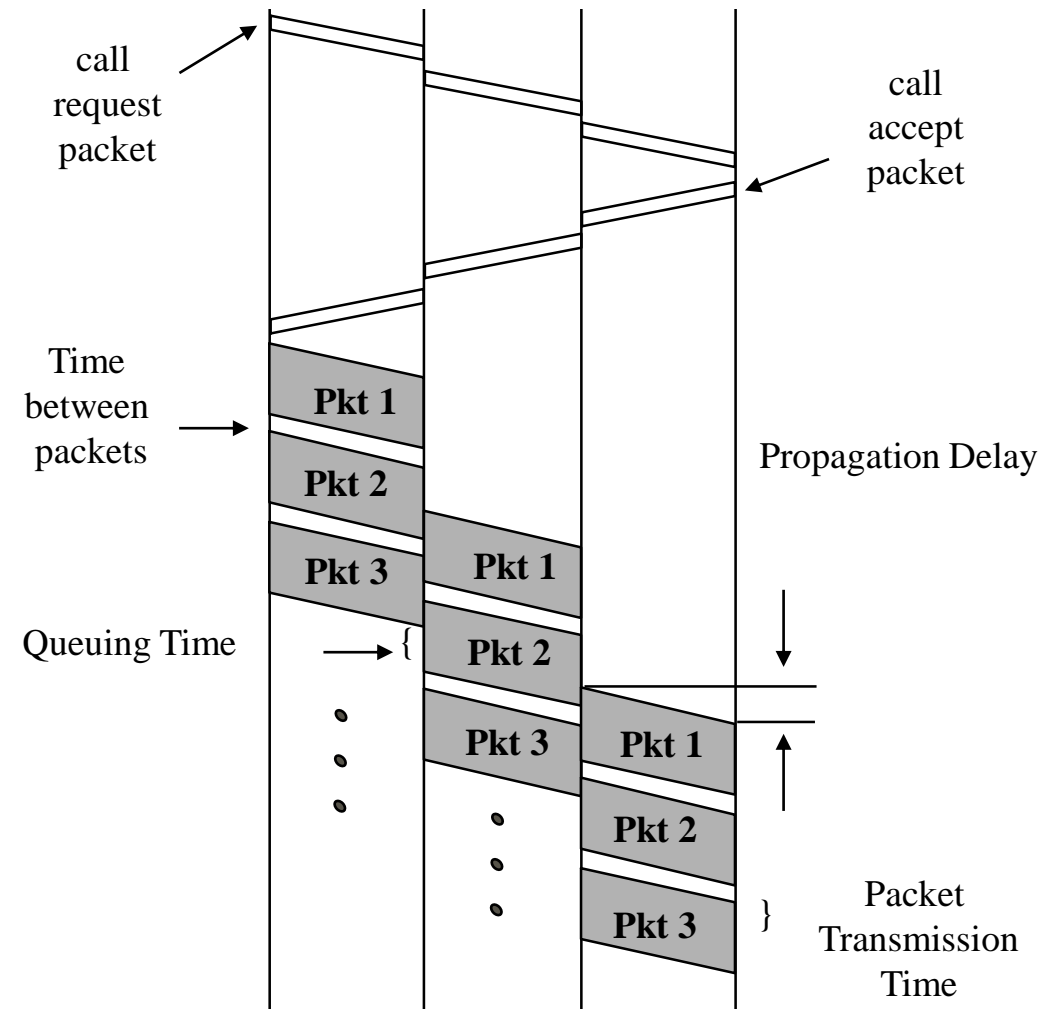
Techniques de commutation-Commutation de Paquets Datagrammes



Techniques de commutation-Commutation de Paquets

Circuit Virtuel

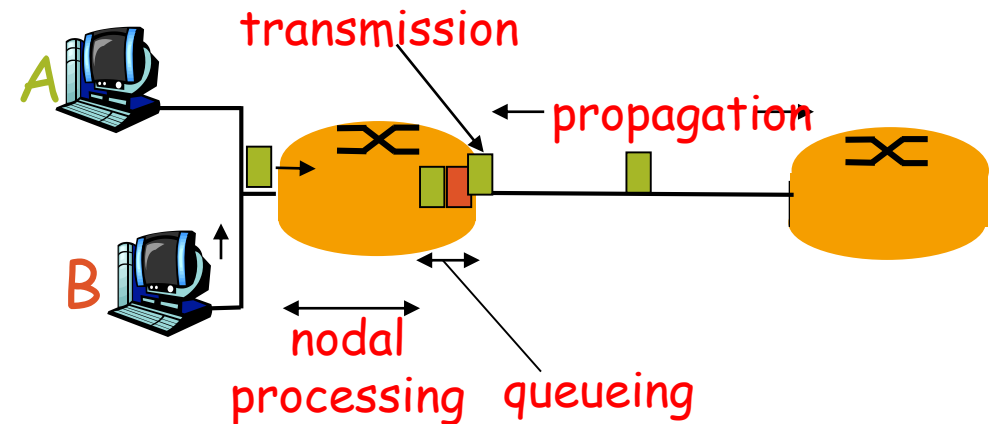
- Route établie avant l'envoi des paquets
- Paquets de requête (call request) et acceptation (call accept) établissent la connexion (handshake)
- Chaque paquet contient un numéro de circuit virtuel
- Pas de décision de routage requise pour chaque paquet
- Requête pour terminer le circuit (clear request)
- Deux types de circuit
 - SVC: « Switched Virtual Circuit »
 - PVC : « Permanent Virtual Circuit »



Techniques de commutation

Délais dans les réseaux à commutation de paquets

- Traitement nodal:
 - Vérification des erreurs
 - Déterminer la file de sortie (routage)
- File d'attente
 - Temps d'attente sur le lien de sortie
 - Dépend du niveau de congestion du routeur
- Délai de Transmission
 - R = Bande passante (bps)
 - L = taille des paquets (bits)
 - Délai de transmission = L/R
- Délai de propagation :
 - d = Longueur du lien
 - s = vitesse de propagation (m/sec)
 - Délai de propagation = d/s



Techniques de commutation-Commutation de paquets

Avantages

- Efficacité de la ligne
 - Partage de liaisons nœud à nœud entre plusieurs paquets
 - Paquets transmis aussi rapidement que possible
- Conversion de débit
 - Chaque station connectée à son nœud local à sa propre vitesse
- Paquets peuvent être acceptés même si le réseau est occupé
 - Livraison peut-être ralentie
- Possibilité de priorités

Techniques de commutation

Circuits Virtuels vs Datagrammes

- Circuits virtuels
 - Réseau peut fournir le séquençage et le contrôle d'erreurs
 - Paquets retransmis plus rapidement
 - Pas de décision de routage
 - Moins fiable
 - Perte d'un nœud → perte de tous les circuits à travers celui-ci
- Datagrammes
 - Pas de phase d'établissement
 - Meilleur s'il y a peu de paquets
 - Plus flexible
 - Possibilité d'éviter les parties congestionnées du réseau

Techniques de commutation-Comparaison

- Commutation de Circuits

- Canaux dédiés
- Délai constant
- Bloquant
- Flot continu
- Point-à-point

- Commutation de Paquets

- Canaux partagés
- Délai variable
- Non bloquant
- Store-and-forward point-à-point & multipoint
- Inclut:
 - datagrammes
 - circuits virtuels

→ Commutation de circuits meilleure pour trafic synchrone (mais, pour ce type de trafic, il existe aussi une tendance vers la commutation de paquet)

→ Commutation de paquets préférable si le trafic est en rafales (épisodique) "bursty"

Techniques de commutation- Commutation de cellules

- Une optimisation consiste à remplacer les paquets de taille variable par des cellules de taille fixe.
- Technique définie par ATM (Asynchronous Transfer Mode)
- Permet des vitesses plus élevées que la commutation de paquets
- Permet aisément de réserver un débit à un circuit virtuel
- Souvent utilisée pour le transfert de la voix ou de la vidéo

Couche Liaison

Couche Liaison

- Rôle de la couche liaison : assurer une communication fiable et efficace entre deux machines adjacentes (entre ETTD adjacents) à travers un circuit de données (entre ETTD adjacents).
- Unité d'information : Blocs de bits appelés **Trame** ou L-PDU
- Fonctions de la couche liaison
 - Délimitation et identification des trames (protocole)
 - Contrôle d'erreurs
 - Contrôle de flux
 - Contrôle de séquence
 - Gestion des connexions
 - Gestion de l'accès au support (en point à point semi-duplex et en multipoint)
 - Fonctions d'administration

Couche Liaison- Délimitation de trames

Un protocole de liaison de données a pour tâche de préciser :

- La structure syntaxique (format) des trames valides
- La place et la signification des différents champs dans une trame
- Le critère de début et de fin de trame
- La technique de détection d'erreurs à utiliser
- L'algorithme de contrôle de flux

Couche Liaison- Délimitation de trames

Choix des protocoles selon

❖ Le mode de transmission peut être

- asynchrone (exemple pour raccorder les terminaux)
- synchrone : c'est ce qui est utilisé le plus souvent dans les liaisons WAN

❖ Type de liaison point à point ou multipoint

❖ Le mode d'exploitation d'une liaison semi-duplex ou duplex intégral

❖ Orientation

- orientée **caractère** : les données (contrôle/utilisateur) sont des caractères selon un alphabet, auxquels le protocole attribue une signification (ex. : le protocole BSC, utilise le code CCITT n° 5 STX, ETX, SYN, ACK, NAK, EOT ...).
- orientée **bit** : les données sont transmises sous forme d'une suite de bits et sont complètement transparents à la codification des informations contenues dans les trames (exemples HDLC, PPP).

Couche Liaison- Délimitation de trames

Délimitation de trames

❖ Si la transmission est orientée bit :

- La trame est délimitée par une suite binaire réservée, exemple HDLC : **fanion 01111110**
- Un mécanisme de transparence permet la également de régler les problèmes d'apparition du fanion dans le bloc de données: Transparence binaire ('Bit Stuffing')
 - à l'émission quand on a 5 bits **1** consécutifs => on insère automatiquement un bit **0** après (sauf pour les fanions)
 - à la réception, le bit **0** suivant 5 bit **1** est enlevé (sauf pour les fanions)

❖ Pour remédier à l'augmentation de la taille

- Délimitation par transmission de la longueur des données
- Par violation de code (ex. Token Ring, les symboles J et K)

Couche Liaison- Délimitation de trames

❖ Si la transmission est orientée caractère

- Utilisation de caractères de contrôle (une séquence particulière de caractères) exemple pour BSC ('Binary Synchronous Communication')
 - STX ("Start of TeXt") - Délimiteur début de bloc de texte
 - ETX ("End of TeXt") - Délimiteur fin de bloc de texte
 - DLE ("Data Link Escape") - Échappement de liaison
- Les caractères DLE STX et DLE ETX délimite le début et la fin des trames. Pour assurer la transparence des données l'émetteur rajoute un DLE devant tout DLE des données. À la réception les DLE ajoutés sont retirés

❖ Méthodes hybrides:

- Certains protocoles combinent plusieurs de ces méthodes pour limiter les risques de confusion en cas d'erreur.
- Exemple : Ethernet utilise un marqueur de début de trame (Start Frame Delimiter) et effectue une violation du codage Manchester pour détecter la fin de trame.

Couche Liaison-Contrôle d'erreur

- Contrôle d'erreur
 - ❖ Détection d'erreurs : ajouter aux trames transmises une certaine redondance
 - détection par écho
 - détection par répétition
 - détection par code calculé
 - ❖ Classification des codes : deux grandes familles de codes
 - par bloc : le codage/décodage d'un bloc dépend uniquement des info du bloc
 - les codes convolutionnels (ou récurrents) : le codage/décodage d'un bloc dépend des informations d'autres blocs (généralement ceux qui précèdent)
→ On utilise généralement le codage par bloc dans les applications téléinformatiques classiques : le codage/décodage est plus simple et nécessite moins de délai
 - ❖ Correction d'erreur
 - Par retransmission ARQ « Automatic Repeat reQuest »
 - par code correcteur FEC « Forward Error Correction » ex. **Code de Hamming**

Couche Liaison-Contrôle d'erreur

❖ Quelques définitions/propriétés

- Un **code** (k, n) transforme tout bloc initial de k bits en un bloc codé de n bits
- Le **rendement** d'un code (k, n) est : $R = k/n$
- On appelle mot du code, la suite de n bits (longueur du code)
- Le **poids de Hamming** d'un mot est le nombre de bits à 1 qu'il contient
- La **distance de Hamming** entre deux mots de même longueur est le nombre de positions binaires qui diffèrent entre les deux mots (on peut l'obtenir par : \oplus)
- La distance de Hamming d'un code est la distance minimale entre tous les mots du code
- Une erreur simple (resp. double, ou d'ordre p) affecte une seule (resp. 2, ou p) position(s) binaire(s) d'un mot
- Pour qu'un code ait une capacité de détection (resp. correction) des erreurs d'ordre e , il faut que sa distance de Hamming soit supérieure à $1+e$ (resp. $1 + 2e$)
- Exemple : distance = 3 \Rightarrow capacité de détection ≤ 2 , capacité de correction ≤ 1 .

Couche Liaison-Contrôle d'erreur

❖ Détection par **contrôle de parité**

- Pour chaque caractère, on fait la somme des bits à "1" et on ajoute un bit de redondance de parité qui peut prendre la valeur "0" ou "1" selon le type de parité utilisé: Parité longitudinale LRC (Longitudinal Redundancy check)
- Ce code est capable de détecter toutes les erreurs en nombre impair uniquement
- Il permet de détecter une erreur de parité, mais pas de la localiser
- On peut ajouter une Parité Verticale VRC (Vertical Redundancy check) : Le bloc de données est disposé sous une forme matricielle ($k=a.b$). On applique la parité (uniquement paire) sur chaque ligne et chaque colonne. On obtient une matrice $[a+1, b+1]$.

<u>Lettre</u>	<u>Code ASCII</u>	<u>Mot codé (parité paire)</u>	<u>Mode codé (parité impaire)</u>	<u>VRC (parité paire)</u>
E	1010001	10100011	10100010	1 0 1 0 0 0 1 1
V	0110101	01101010	01101011	0 1 1 0 1 0 1 0
A	1000001	10000010	10000011	1 0 0 0 0 0 1 0

LRC =				0 1 0 0 1 0 1 1

→ permet de détecter 2 erreurs de bits dans un seul mot ou de corriger 1 erreur.

Couche Liaison-Contrôle d'erreur

❖ Détection par Codes cycliques redondants (**CRC**: Cyclic Redundancy Check)

- représentation du message par un polynôme : $P(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_0 x^0$
- Division de ce polynôme par un autre polynôme générateur **G(x)** (d'ordre **m**), le reste de la division **R(x)** constitue les bits de contrôle CRC
- Enfin, pour générer la séquence à envoyé **T(x)**, on applique un XOR entre le mot d'entrée (décalé de **m** rang) et le reste de la division, ce qui correspond bien au mot de départ « suivi » du CRC. ($P(x) + R(x)$)
- Si le reste de la division de **T(x)** par **G(x)** est nul => il n'y a pas eu d'erreurs,
- Le polynôme utilisé par le protocole HDLC : $G(x) = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$
- Pour l'Ethernet: $G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + 1$

On estime la probabilité de non détection à 10^{-18}

Couche Liaison-Contrôle d'erreur

- ❖ Détection par Codes cycliques redondants (**CRC**: Cyclic Redundancy Check)
 - Exemple: On désire protéger le message de 6 bits de données: 110101, Polynôme générateur $G(x) : 101 = x^2 + 1$

$$\begin{array}{r}
 \boxed{1}1010100 \quad | \quad 101 \\
 \underline{101} \\
 0\boxed{1}11 \\
 \underline{101} \\
 0\boxed{1}00 \\
 \underline{101} \\
 0\boxed{0}110 \\
 \underline{101} \\
 0\boxed{1}10 \\
 \underline{101} \\
 \text{Reste} = 0\boxed{1}1
 \end{array}$$

- Le message $T(x)$: transmettre est : 110101**11** ← **CRC**
- A la réception: $T(x)/G(x)=0$

Couche Liaison-Contrôle de flux

❖ Séquencement et contrôle de flux

- Conservation de l'ordre d'envoi à la réception
- Contrôle du rythme d'envoi des informations vers le récepteur afin d'éviter la saturation de ce dernier

→ l'émetteur ne doit envoyer des trames que si le récepteur est en mesure de les traiter

❖ Solutions

- **ARQ (Automatic Repeat reQuest)** : l'émetteur attend des acquittements positifs ou négatifs ; le récepteur détecte les erreurs, et selon le cas, ignore la trame ou demande sa retransmission.

Couche Liaison-Contrôle de flux

Deux types de protocoles ARQ :

- Protocole de type « envoyer et attendre » (**Send and Wait**)
 - les données ne circulent que dans un sens
 - une seule trame est envoyée à la fois
 - le récepteur informe l'émetteur de son état par un acquittement
- Protocoles avec fenêtre d'anticipation (**Sliding Window**)
 - les données circulent dans les deux sens
 - plusieurs trames sont envoyées à la fois
 - transmission d'une suite de trames dans la limite d'une taille de fenêtre d'anticipation
 - le nombre de trames non acquitté ne doit pas dépasser la taille de cette fenêtre.
 - l'acquittement est cumulatif (acquitte tout ce qui précède).

→ empêche l'émetteur d'envoyer des données plus rapidement que le récepteur ne peut les traiter.

Couche Liaison-Contrôle de flux

❖ Protocole « Send and Wait »

Hypothèses :

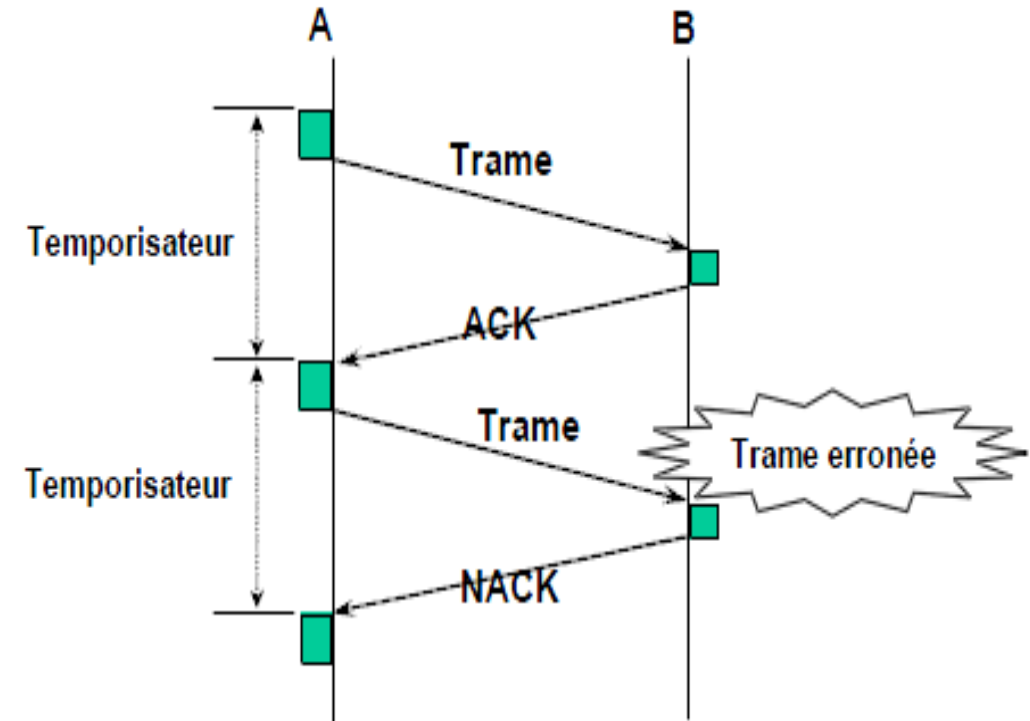
- Transmission de données dans un sens
- Canal de communication bruité
- Taille de mémoires de tampon finie

Problèmes:

- Trames perdues
- Trames erronées
- Duplication de trame

Solution :

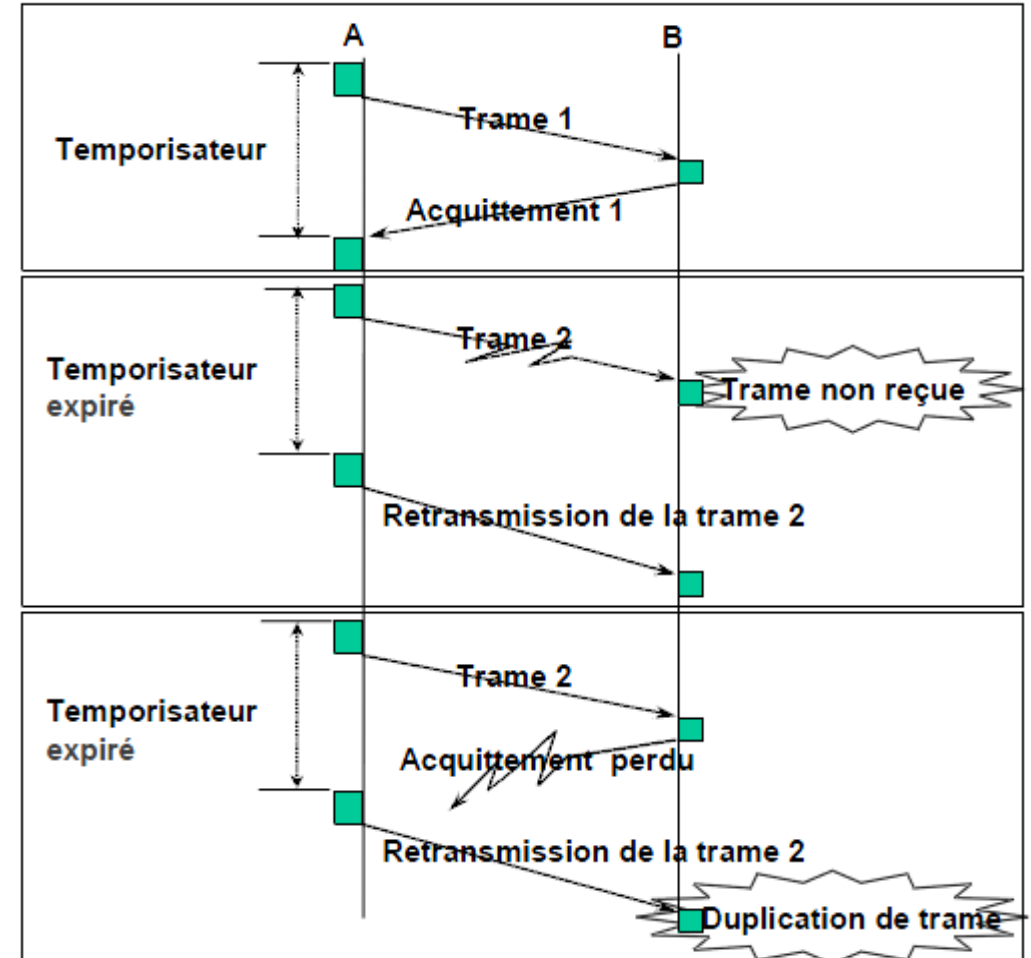
- Ajouter un processus d'acquittement positif ou négatif
- Utiliser un temporisateur ou Timer pour borner le délai de réception des ACK



Couche Liaison-Contrôle de flux

❖ Protocole « Send and Wait »

- Temporisateur:
 - déclenchement d'un temporisateur à l'émission d'un bloc
 - A l'échéance, retransmission du bloc perdu
 - Acquittement perdu:
 - Bloc reçu mais perte de l'acquittement
 - A l'échéance, retransmission du bloc non acquitté
 - **Duplication** : du bloc retransmis
- **numérotation** des blocs pour rejeter le bloc retransmis et éviter la duplication.
- Une numérotation de 0/1 est suffisante



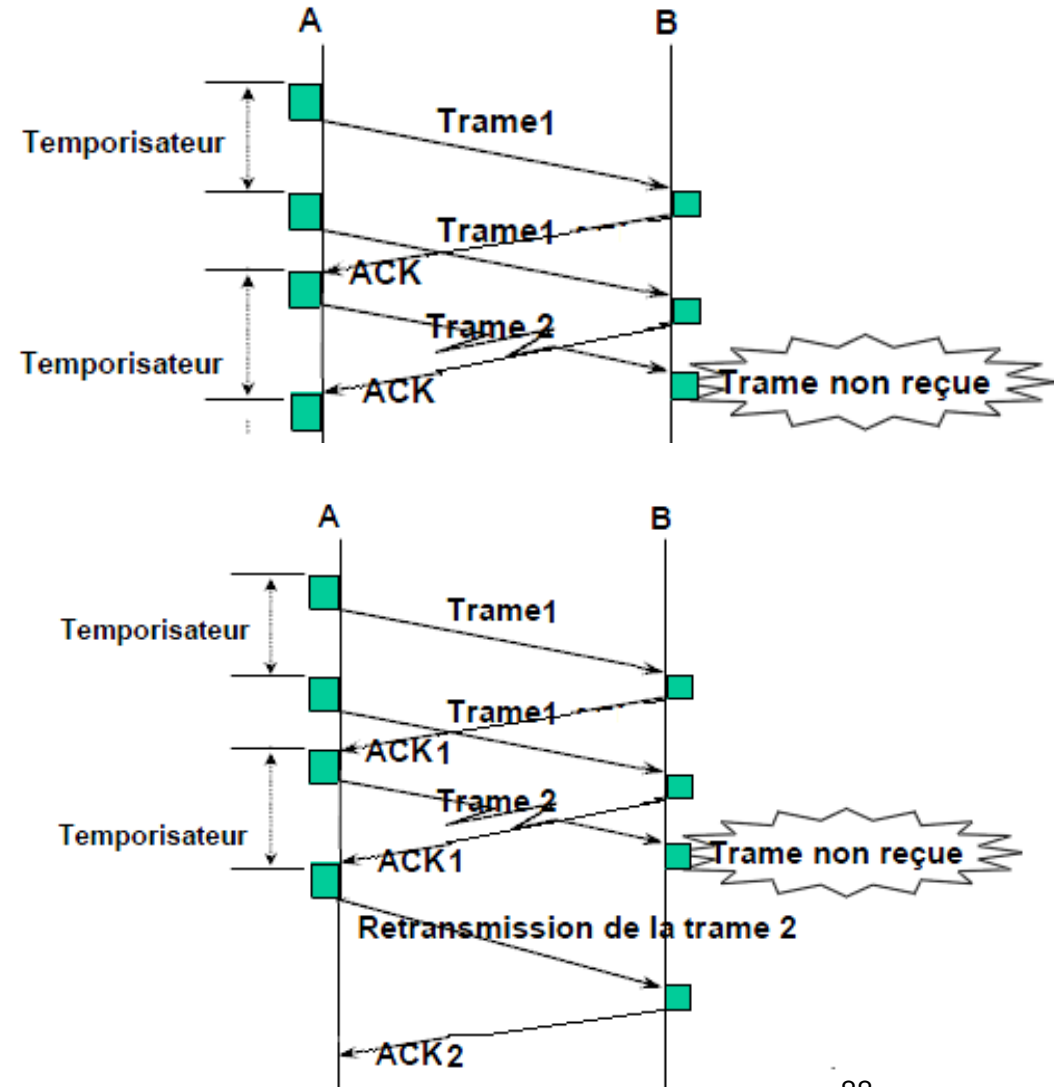
Couche Liaison-Contrôle de flux

❖ Protocole « Send and Wait »

- B: Le 1er bloc sera accepté
- A: Temporisateur expire trop tôt
- A: retransmission du bloc 1
- B: transmission de l'ACK et rejet du bloc 1
- A: la perte du bloc 2 n'est pas remarquée
- A: l'ACK interprété comme acquittement du bloc 2

→ **numérotation** des acquittements pour éviter la confusion des acquittements et garantir la retransmission des bloc perdu

Ces protocoles sont unidirectionnels, et ne permettent qu'une utilisation non optimale de la capacité du canal.



Couche Liaison-Contrôle de flux

❖ Protocole « Send and Wait » sans erreur

Soit

- T : temps d'envoi d'une trame
- T_{frame} : temps de transmission d'une trame (taille des paquets/bande passante)
- T_{prop} : temps de propagation (Longueur du lien/vitesse de propagation)
- T_{proc} : temps de traitement dans chaque station
- T_{ack} : temps de transmission d'un ACK

$$T = T_{\text{frame}} + T_{\text{prop}} + T_{\text{proc}} + T_{\text{ack}} + T_{\text{prop}} + T_{\text{proc}}$$

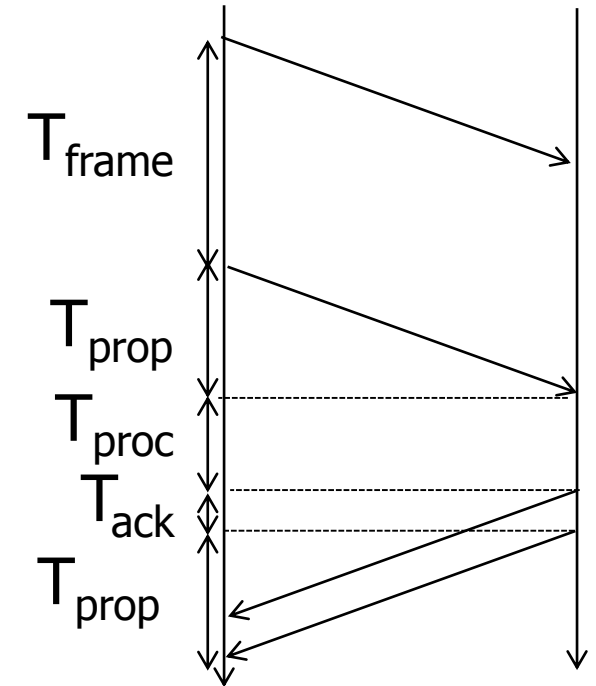
Supposons que

- T_{proc} et T_{ack} sont négligeables
- la taille de l'entête est négligeable : $T_{\text{frame}} \sim$ temps de transmission des bits utiles $\rightarrow T \approx T_{\text{frame}} + 2 T_{\text{prop}}$

• U = débit utile (efficacité du protocole)

$$U = \frac{T_{\text{frame}}}{T_{\text{frame}} + 2T_{\text{prop}}} = \frac{T_{\text{frame}}}{T} = \frac{1}{(1 + 2a)} \quad \text{où } a = T_{\text{prop}} / T_{\text{frame}}$$

Si $a \gg 1$ alors le protocole est inefficace



Couche Liaison-Contrôle de flux

- Protocole « Send and Wait » avec erreurs

P = probabilité qu'une trame ou son acquittement soit en erreur

N = Nombre moyen de transmission d'une trame = $1/(1-P)$

Supposons que le délai de garde (TO) est $2T_{\text{prop}}$ (~ au temps pour ACK)

alors

$$U = \frac{T_{\text{frame}}}{N T} = \frac{1}{N (1 + 2a)} = \frac{1 - P}{(1 + 2a)}$$

$$N = E[\text{transmissions}] = \sum_{i=1}^{\infty} (i \times \text{Pr}[i \text{ transmissions}]) = \sum_{i=1}^{\infty} (i P^{i-1} (1 - P)) = \frac{1}{1 - P}$$

Si a et/ou P >> alors l'efficacité du protocole << SAW est très peu utilisé

Couche Liaison-Contrôle de flux

❖ Protocoles à fenêtre coulissante: Sliding window

Principe:

- Emission de plusieurs trames à la suite sans attendre la réception d'un ACK
- Une trame de supervision peut acquitter un groupe de trames de données

→ + d'efficacité, + de complexité de gestion aussi

→ besoin de tampons pour trames non encore acquittées (et susceptibles d'être réémises).

Deux types:

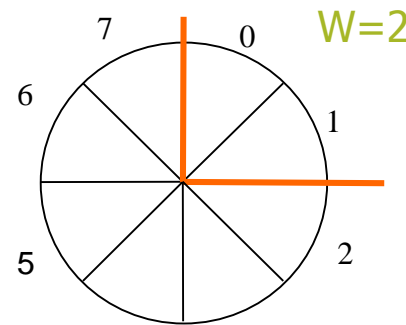
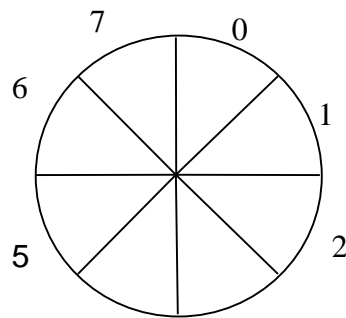
- Retransmission (**GO-Back-N**) de toutes les trames à partir de la trame erronée ou perdue au moyen d'une trame de supervision REJ
- Rejet selectif (**Selective Reject**) au moyen de la trame de supervision SREJ

Couche Liaison-Contrôle de flux

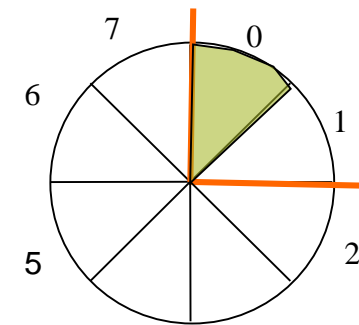
❖ Protocoles à fenêtre coulissante: **émetteur**

- Fenêtre d'émission/ anticipation : liste des numéros de séquence des trames autorisées à être émises
- W : taille de la fenêtre d'anticipation (nb. de trames autorisées sans attendre d'acquittement)
- L'émetteur stocke les trames non acquittées dans des zones tampons (au plus W trames)
- Si la fenêtre atteint son maximum, l'émetteur se bloque jusqu'à réception d'un acquittement

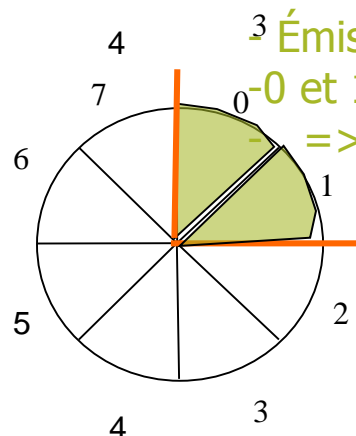
les trames ont
un numéro de
séquence codé
sur n bits



$W=2$

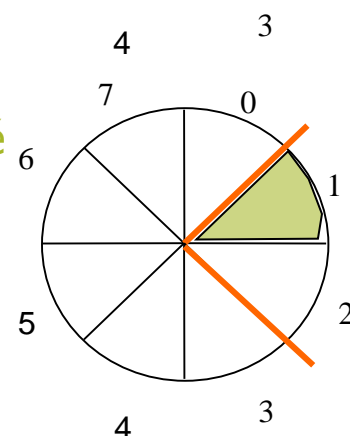


Émission de 0

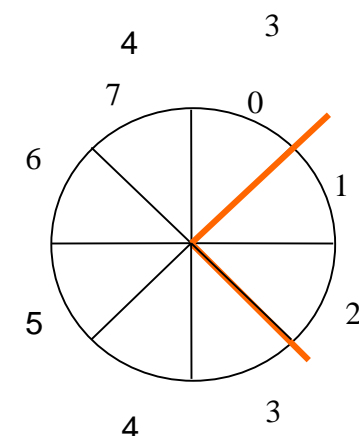


Émission de 1

- 0 et 1 non acquittées
=> émetteur bloqué



0 acquittée

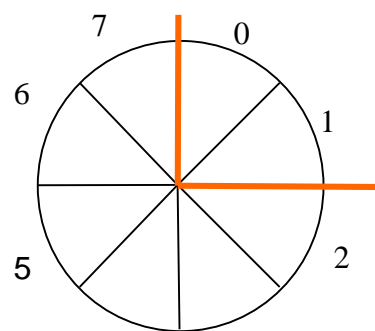


0 et 1
acquittées

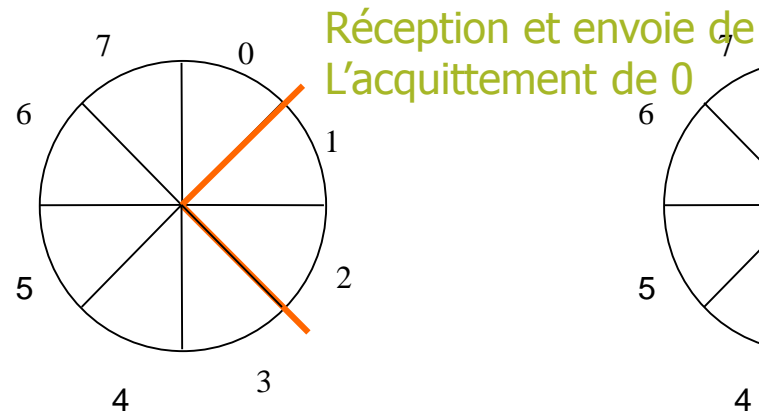
Couche Liaison-Contrôle de flux

❖ Protocoles à fenêtre coulissante: **récepteur**

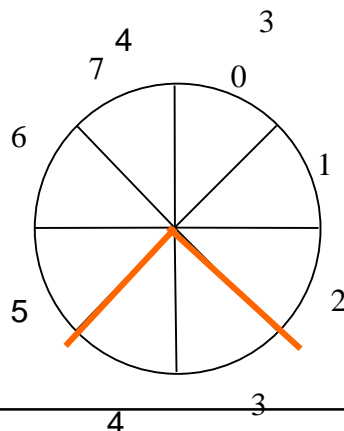
- Fenêtre de réception : liste des numéros de séquence des trames autorisées à être reçues
- R : taille de la fenêtre de réception (nb. de trames autorisées à être reçues)
- Le récepteur stocke les trames qui ne peuvent pas être acquittées (au plus $R-1$ trames)
- Les trames dont les numéros ne sont pas dans la fenêtre de réception sont rejetées



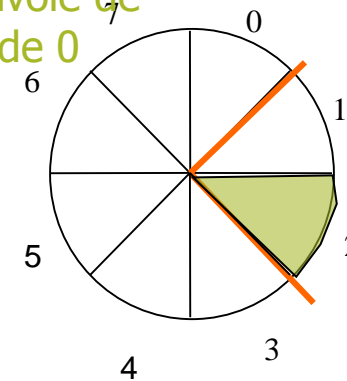
$R=2$



Réception et envoi de
l'acquittement de 0



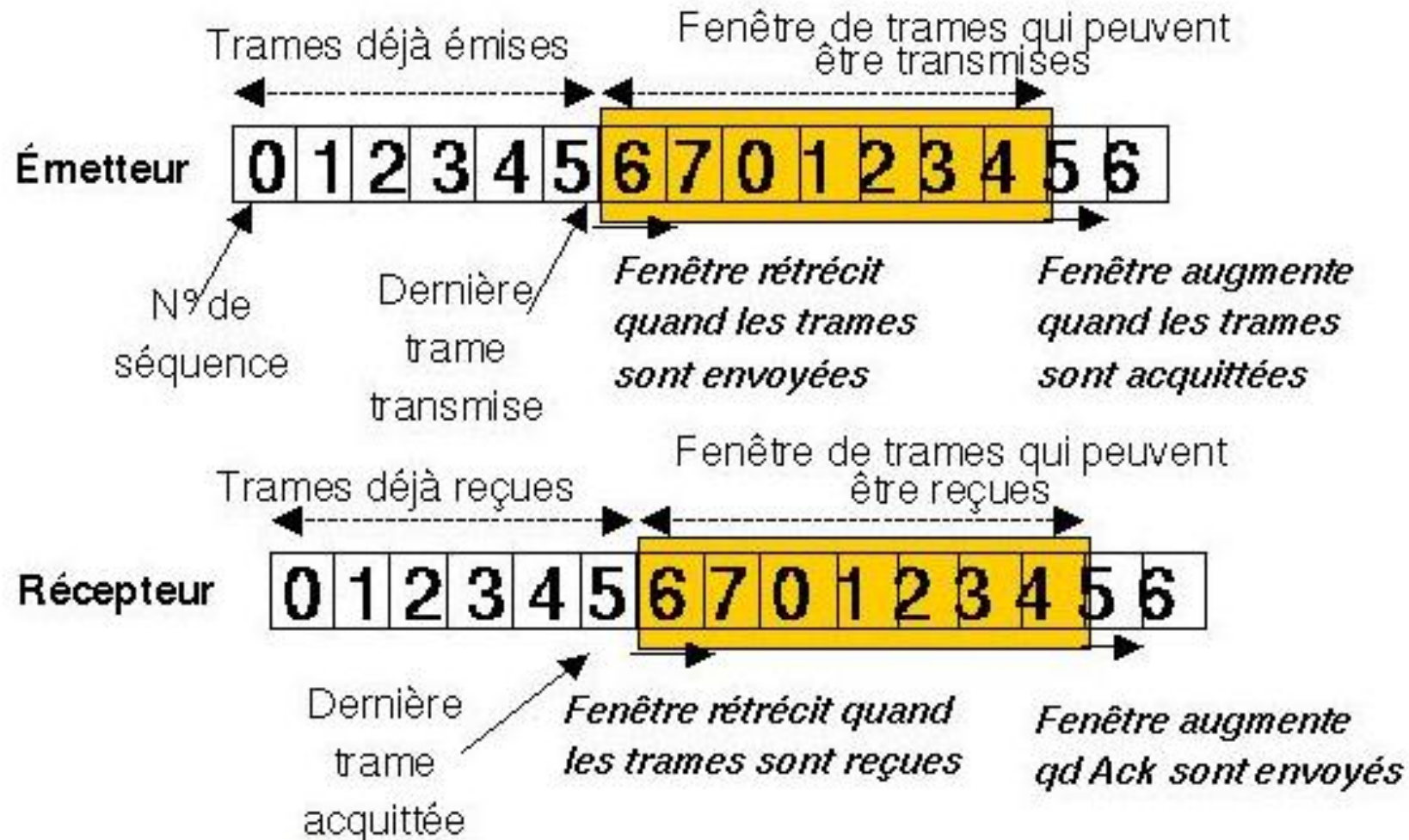
Réception de 1
Acquittement jusqu'à 2



Réception de 2 et envoi
de l'acquittement de 0

Couche Liaison-Contrôle de flux

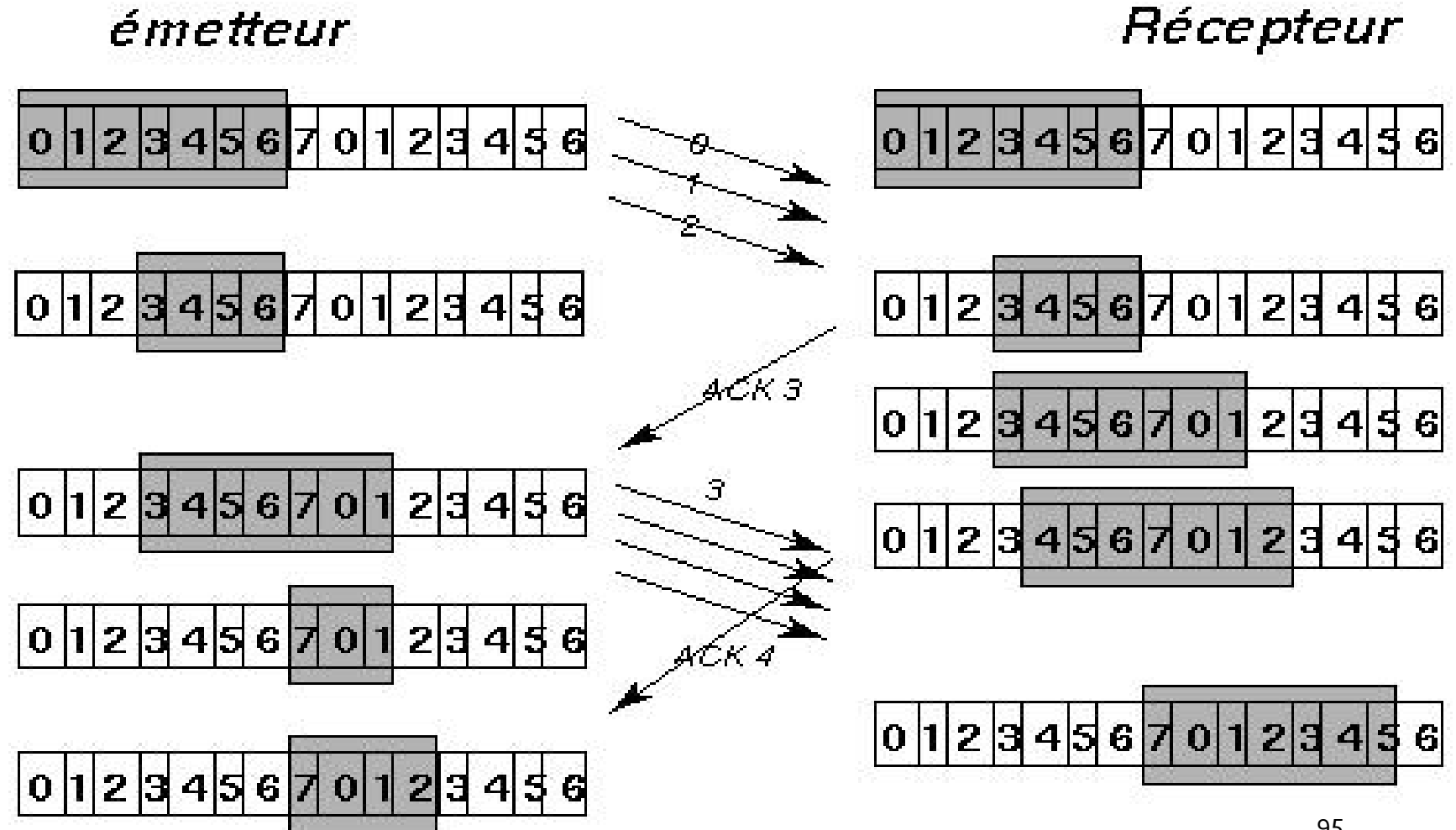
❖ Protocoles à fenêtre coulissante: gestion de la fenêtre ($n=3$, $W=8$)



Couche Liaison-Contrôle de flux

❖ Protocoles à fenêtre coulissante: gestion de la fenêtre

NOTE: par convention
ACK# = sequence # de
la trame suivante



Couche Liaison-Contrôle de flux

❖ Protocoles à fenêtre coulissante: gestion de la fenêtre

Si la taille de la fenêtre est =1 ($W=1$ et $R=1$)

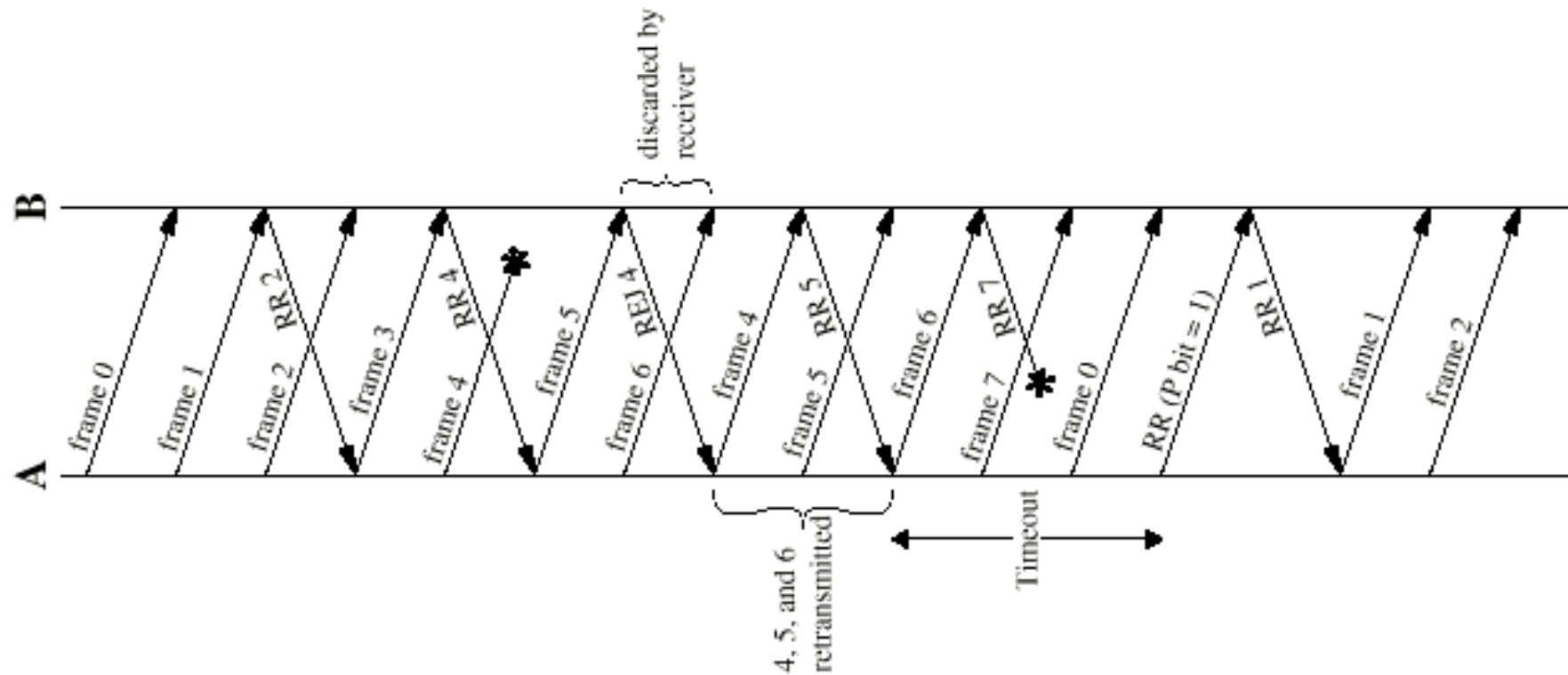
- Stop and Wait

Si la taille de la fenêtre est >1 ($W > 1$ et $R > 1$)

- Go Back N :
 - Si réception d'une trame avec un numéro non attendu => trames suivantes détruites et envoi d'un rejet qui précise le numéro attendu => l'émetteur retransmet à partir du numéro attendu
 - Peu efficace si la taille de la fenêtre est grande
- Selective Repeat
 - Dit aussi Selective Reject
 - Uniquement la trame rejetée est retransmise, les trames qui suivent (dans la fenêtre de réception) sont stockées dans des mémoires tampon
 - Minimise les retransmissions mais nécessite plus de mémoires tampon coté récepteur

Couche Liaison-Contrôle de flux

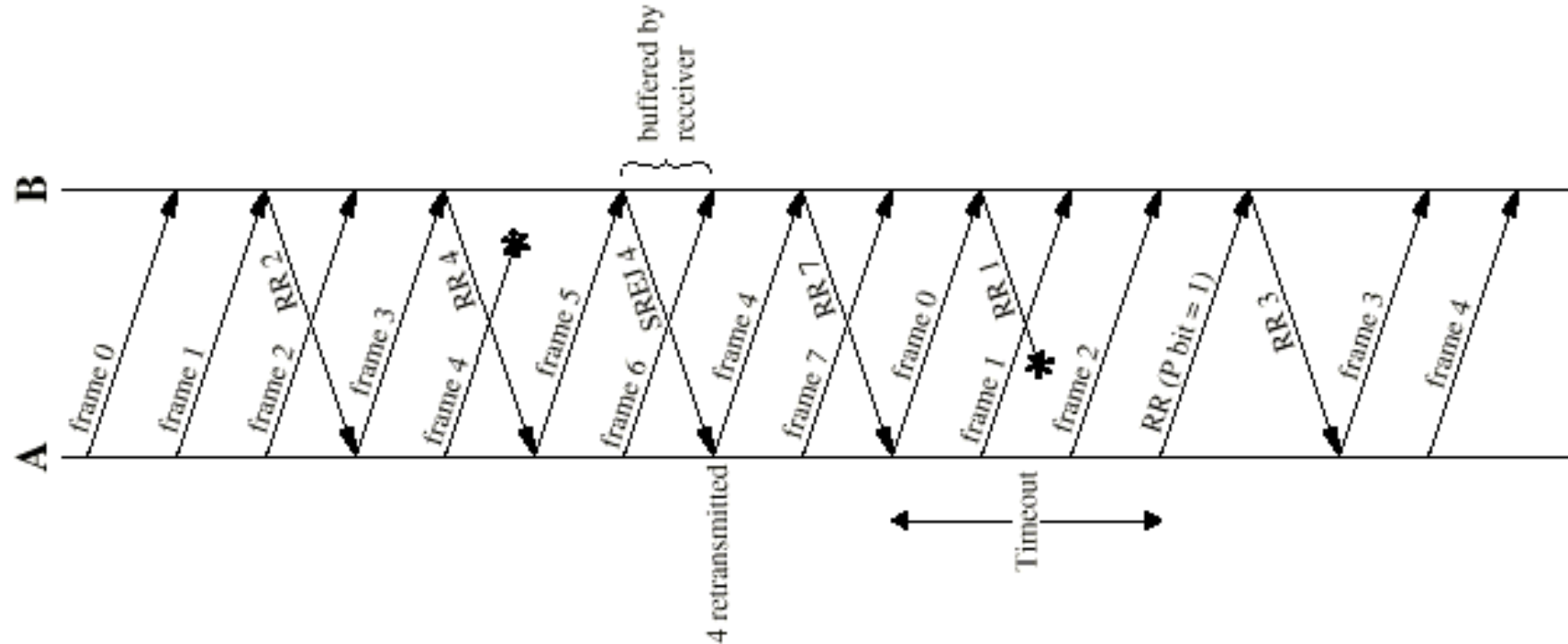
Exemple qui illustre Go-back-N



Note: Si l'émetteur ne reçoit pas l'acquittement cumulative (i+1), il envoie une commande **P bit=1** pour demander le numéro de séquence attendu au niveau du récepteur

Couche Liaison-Contrôle de flux

- Exemple qui illustre Selective Repeat



La nécessité d'avoir une mémoire tampon et le traitement de sélection (resp. d'insertion) des trames rejetés au niveau de l'émetteur (resp. récepteur) fait que le protocole SR soit moins utilisé que le GBN

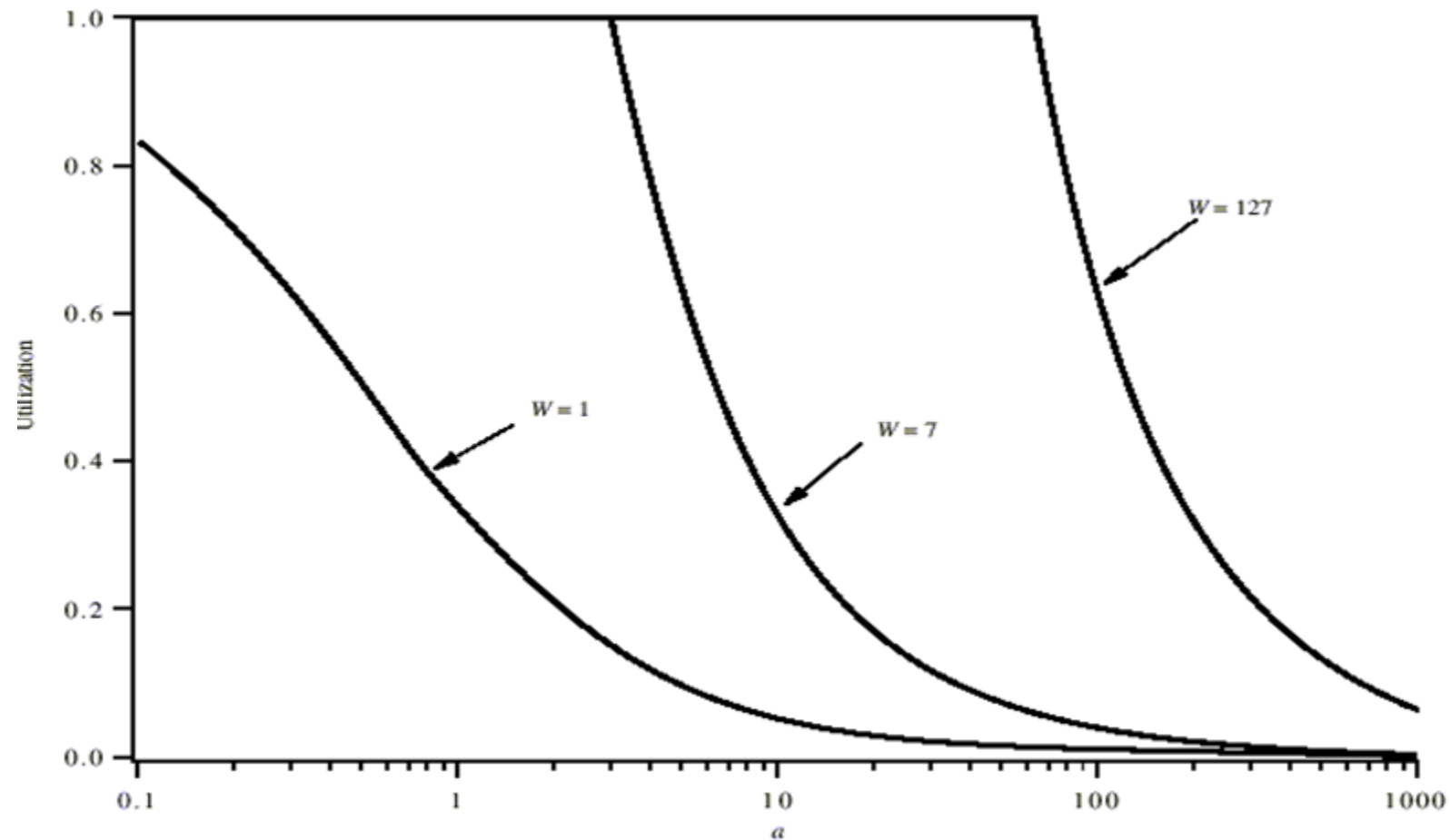
Couche Liaison-Contrôle de flux

- Efficacité des méthodes à fenêtre coulissante dans le cas **sans erreurs**
 - Si $W < 2a + 1$, l'émetteur se bloque après avoir émis W trames et jusqu'à réception d'un acquittement
 - Sinon il ne se bloque jamais

$$U = \begin{cases} 1 & W \geq 2a + 1 \\ \frac{W}{2a + 1} & W < 2a + 1 \end{cases}$$

Couche Liaison-Contrôle de flux

- Efficacité des méthodes à fenêtre coulissante dans le cas **sans erreurs**



Couche Liaison-Contrôle de flux

❖ Efficacité des méthodes à fenêtre coulissante dans le cas **avec erreurs**

- Selective Repeat $W > 1$ $R > 1$

$$U = \begin{cases} 1-P & \text{si } W \geq 2a+1 \\ \frac{W(1-P)}{2a+1} & \text{si } W < 2a+1 \end{cases}$$

En effet :

Le même raisonnement que pour SAW s'applique : il faut diviser par le nombre moyen de transmission d'une même trame

Couche Liaison-Contrôle de flux

❖ Efficacité des méthodes à fenêtre coulissante dans le cas **avec erreurs**

- Go Back N

$$U = \begin{cases} \frac{1-P}{1+2aP} & \text{si } W \geq 2a+1 \\ \frac{W(1-P)}{(2a+1)(1-P+WP)} & \text{si } W < 2a+1 \end{cases}$$

En effet:

- Le même raisonnement s'applique sauf qu'il faut revoir le calcul de N (nombre moyen de trames transmises pour réussir la transmission d'une trame)

$$N = \sum_{i=1}^{\infty} (f(i)P^{i-1}(1-P))$$

où $f(i)$ est le nombre total de trames transmises si une trame (originale) doit être retransmise i fois : Chaque erreur cause l'envoi de K trames plutôt qu'une seule trame

$$f(i) = 1 + (i-1)K = (1-K) + iK$$

Couche Liaison-Contrôle de flux

❖ Efficacité des méthodes à fenêtre coulissante dans le cas **avec erreurs**

- Go Back N

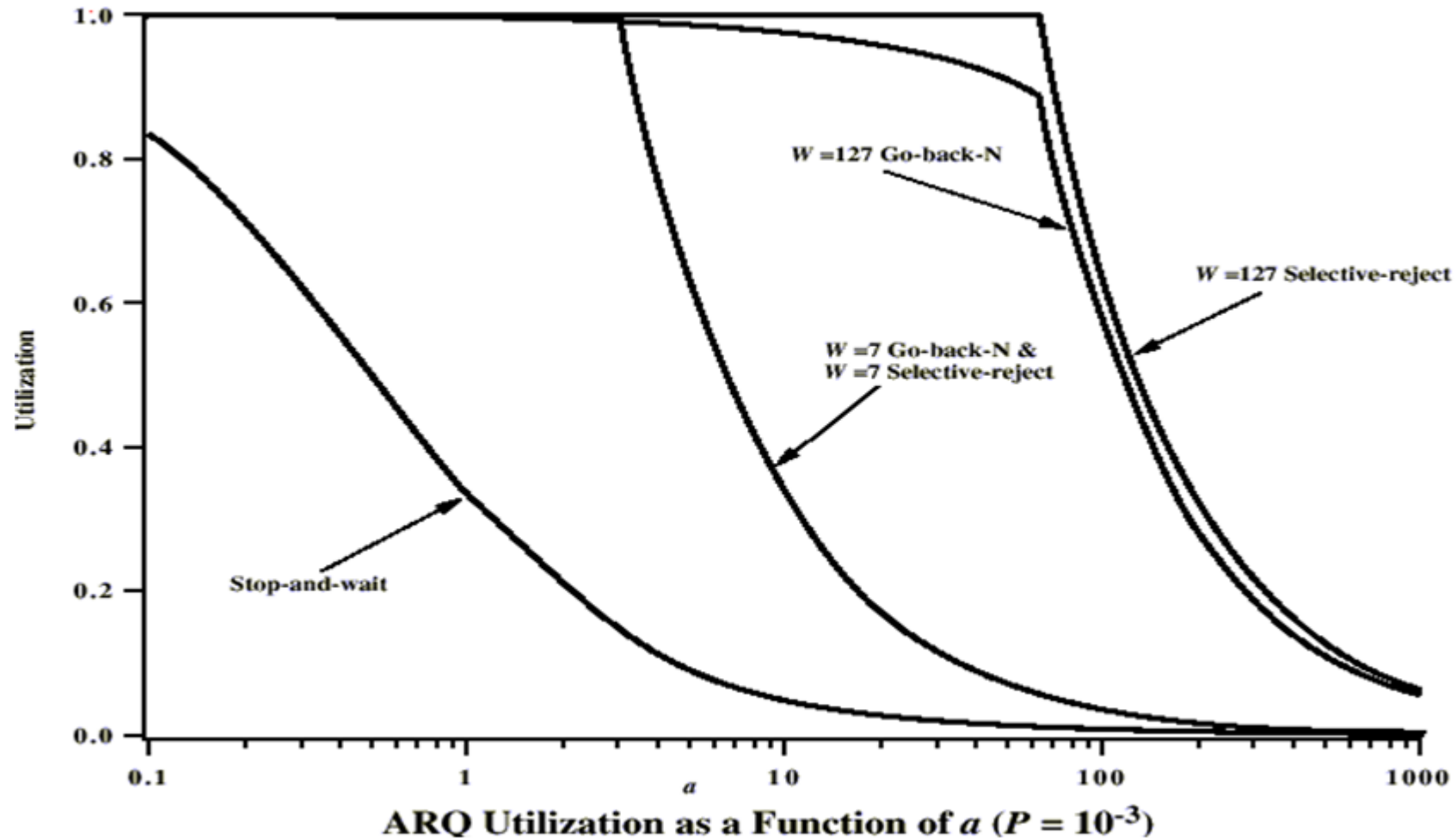
$$\begin{aligned} N &= \sum_{i=1}^{\infty} (f(i) P^{i-1} (1-P)) = (1-K) \sum_{i=1}^{\infty} P^{i-1} (1-P) + K \sum_{i=1}^{\infty} i P^{i-1} (1-P) \\ &= 1-K + \frac{K}{1-P} = \frac{1-P+KP}{1-P} \end{aligned}$$

- Si $W \geq 2a+1$, pas de blocage, on approxime K par $(2a+1)$ trames jusqu'à la réception du rejet par l'émetteur
- Si $W < 2a+1$, blocage, on approxime K par W

$$N = \begin{cases} \frac{1+2aP}{1-P} & \text{si } W \geq 2a+1 \\ \frac{1-P+WP}{1-P} & \text{si } W < 2a+1 \end{cases}$$

Couche Liaison-Contrôle de flux

- Efficacité de différentes méthodes (fenêtre coulissante et SAW)



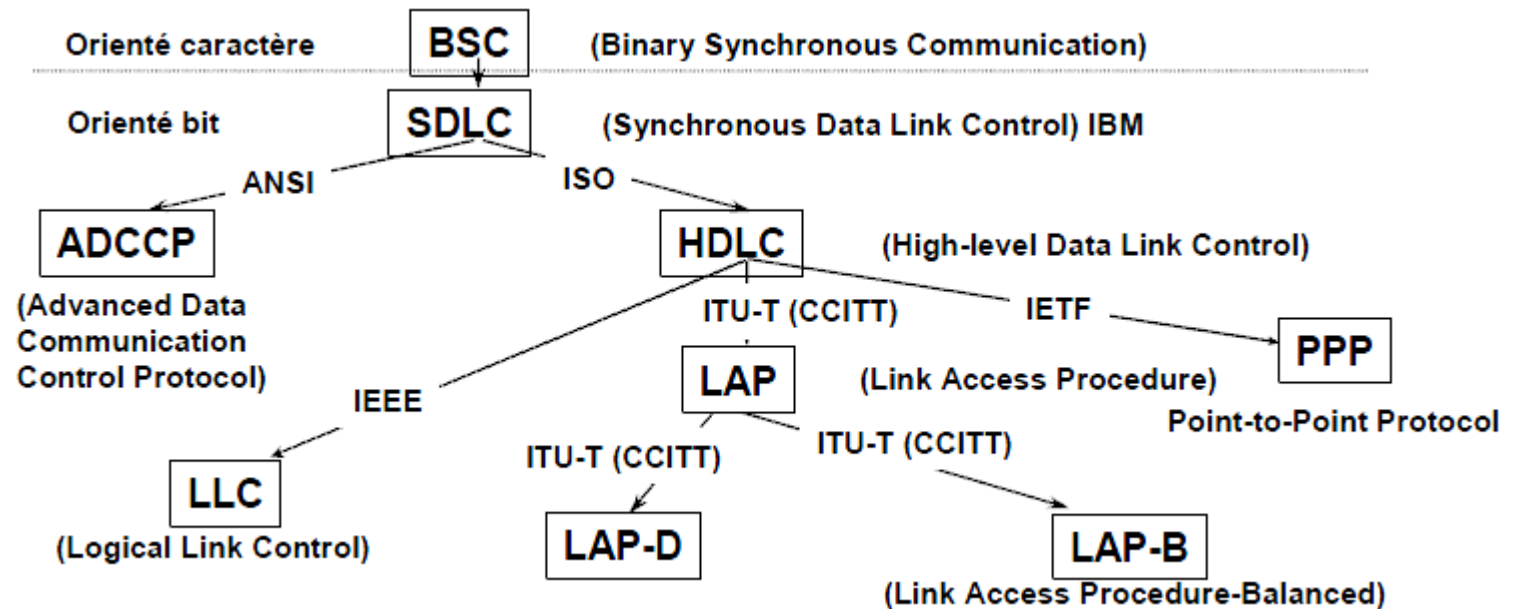
Couche Liaison-HDLC

❖ HDLC-High Level Data Link Control (ISO 33009, ISO 4335)

- Descendant de SDLC (Synchronous Data Link Control protocol) d'IBM
- Version très générale (LAP-B, LAP-D, LLC, PPP, LAP-X, ...), Utilisé dans de nombreux réseaux : LAN, Internet, GSM...
- HDLC combine un ensemble de fonction de DL (fragmentation, contrôle de flux, contrôle d'erreur, séquençement,...) en un seule protocole standard

• 3 paramètres :

- Type de station
- Configuration du lien
- Mode de transfert



Couche Liaison-HDLC

❖Types de station

- Station primaire
 - Contrôle les opérations sur le lien
 - Les trames émises sont dites des commandes
- Station secondaire
 - Sous le contrôle de la station primaire
 - Les trames émises sont dites des réponses
- Station combinée
 - Peut émettre des commandes et des réponses

→Maître esclave: le maître scrute les esclaves pour leur permettre de transmettre.
Les esclaves ne peuvent pas transmettre entre eux liaison multipoint.

→Mode équilibré: Deux machines dans le dialogue (liaison point à point).

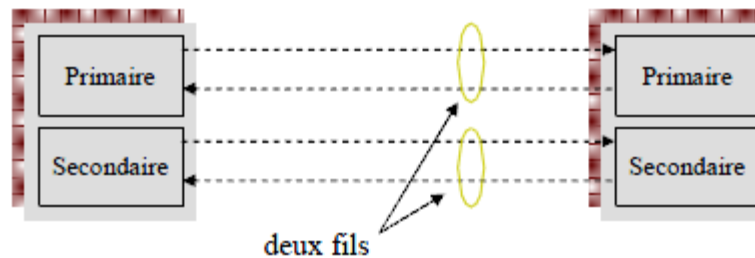
Couche Liaison-HDLC

❖ Configuration d'un lien

- « Unbalanced » (non-équilibré): entre une station primaire et une/d' autres secondaire(s), en semi duplex / duplex intégral



- « Balanced » (équilibré): entre 2 stations combinées, en semi duplex / duplex intégral



Couche Liaison-HDLC

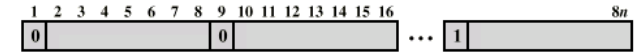
❖ Modes de transfert

- « Normal Response Mode » -NRM
 - « Unbalanced » (topologie multipoint)
 - Uniquement le primaire peut initier une transmission, le secondaire ne peut renvoyer que des réponses
 - Exemple d'utilisation: entre une unité centrale en tant que primaire et des terminaux en tant que secondaires
 - Pas de collisions .
- « Asynchronous Balanced Mode » - ABM
 - « Balanced »
 - Les 2 stations peuvent initier une transmission
 - Le plus utilisé
 - Pas de collision
- « Asynchronous Response Mode » - ARM – très peu utilisé
 - « Unbalanced »
 - mais les secondaires peuvent transférer des trames sans l'accord explicite du primaire
 - Collisions possibles.

Couche Liaison-HDLC

❖ Format de trame

- Fanion 01111110 pour délimiter chaque trame (1 octet)
- L'adresse sur un octet mais peut être étendue en multiple de 7 bits
 - adresse d'un couple primaire/secondaire opposés
 - Dans une trame commande, adresse de la station qui reçoit.
 - Dans une trame réponse, adresse de la station qui répond.
- FCS: Frame Check Sequence (polynôme sur 2 octets: $x^{16}+x^{12}+x^5+1$)
 - Calculé *avant* le rajout des bits de transparence à l'émission, *après* leur suppression à la réception.



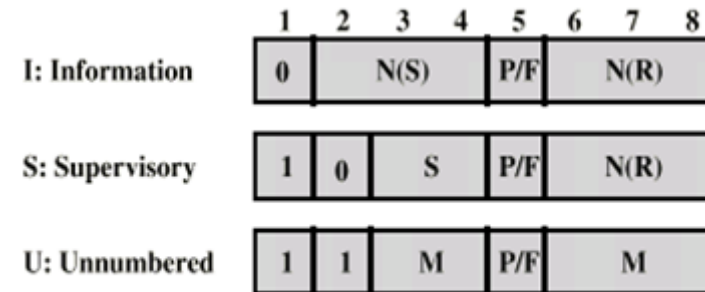
(b) Extended Address Field

Fanion	Adresse	Contrôle	Information	FCS	Fanion
01111110	du secondaire		≥ 0	$x^{16}+x^{12}+x^5+1$	01111110

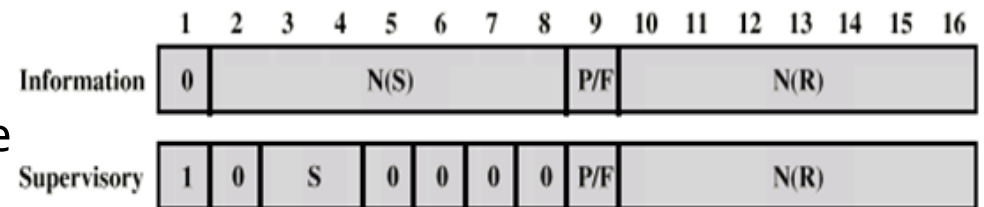
Couche Liaison-HDLC

❖ Format de trame

- Le champ contrôle (1 ou 2 octets) : définit le type de la trame et ses fonctions.
 - Type I : transfert de données.
 - Type S: accusé de réception et contrôle de flux.
 - Type U: connexion, déconnexion, erreurs,
- N(S) : numéro trame I envoyée.
- N(R) : numéro trame I attendue.
- P/F (Poll/Final) : P pour commandes, F pour réponses. L'utilisation du bit P/F dépend du contexte:
 - P=1 le primaire exige une réponse du secondaire
 - F=1 le secondaire répond à la demande du primaire



8-bit control field format



16-bit control field format

Couche Liaison-HDLC

❖Format de trame-Trame de supervision

S	S	Commande	Commentaires
0	0	RR Receiver Ready	La station est prête à recevoir la trame numéro $N(R)$ et accuse réception positivement des trames jusqu'à $N(R) - 1$
0	1	RNR Receiver Not Ready	La station n'est pas prête à recevoir des trames mais accuse réception positivement des trames jusqu'à $N(R) - 1$
1	0	REJ Reject	La station rejette les trames à partir du numéro $N(R)$. L'émetteur est obligé de retransmettre
1	1	SREJ Select Reject	= REJ mais uniquement pour la trame numéro $N(R)$

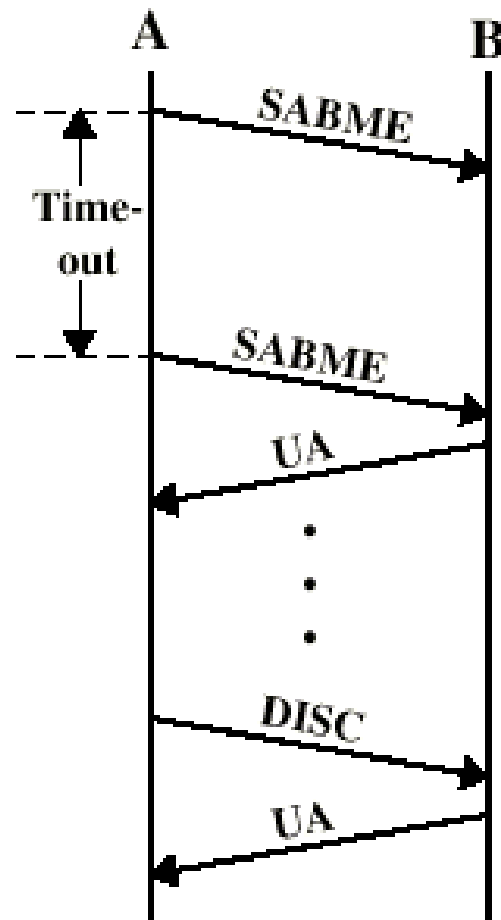
Couche Liaison-HDLC

❖Format de trame-Trame non numérotée

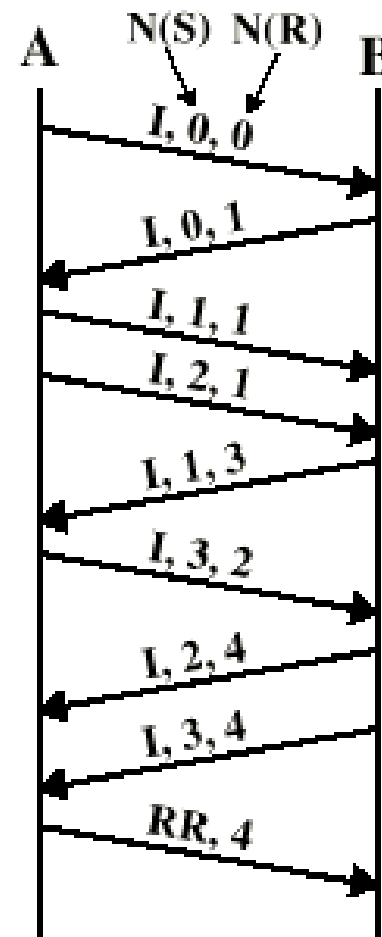
Poids binaire								Commande	Commentaires
7	6	5	4	3	2	1	0		
M	M	M	P/F	M	M	1	1		
0	0	0	F	1	1	1	1	DM Disconnect Mode	Indique à une des extrémités est interrompue
0		1	P		1	1		SABM Balanced Mode	Etablissement de la liaison demandée par une station
0	1		P	0		1	1	DISConnect	Commande de libération
	1	1		0	0		1	UA Unnnunumbered	Acquittement non numérotée

Couche Liaison-HDLC

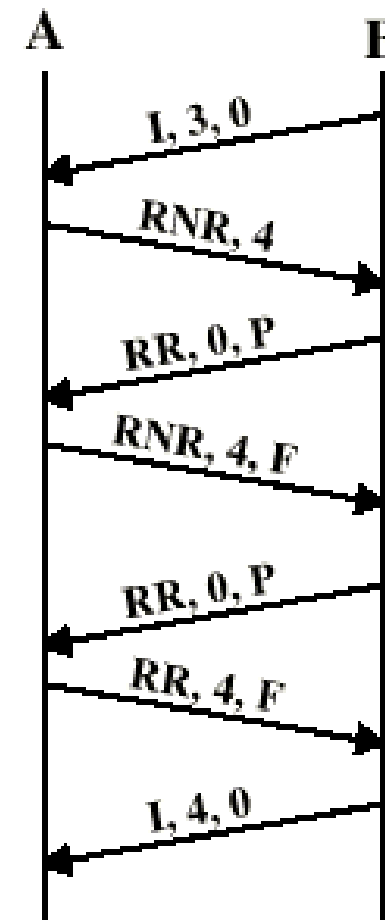
❖ Exemples de séquences



(a) Link setup and disconnect



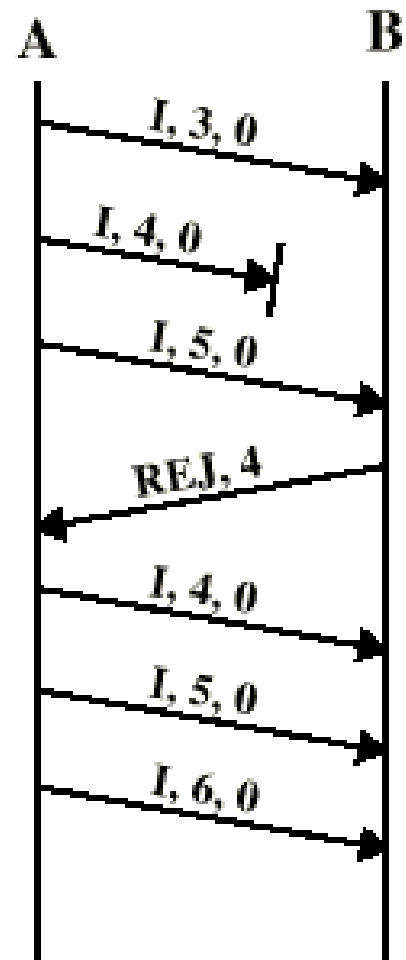
(b) Two-way data exchange



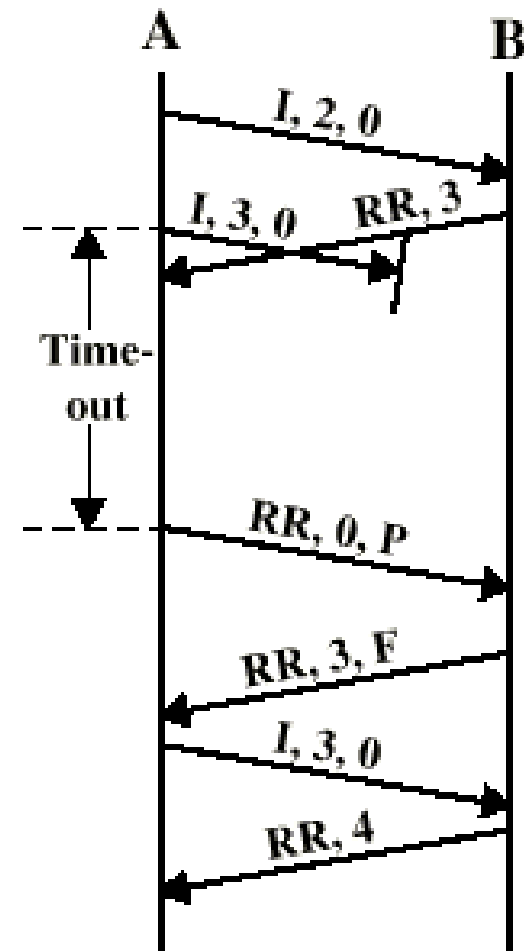
(c) Busy condition

Couche Liaison-HDLC

❖ Exemples de séquences



(d) Reject recovery



(e) Timeout recovery

Couche Liaison-Autres protocoles

❖LAPB : « Link Access Procedure, Balanced »

- X.25
- Sous-ensemble de HDLC – ABM (Asynchronous Balanced Mode)
- Le champs de l'adresse contient une de deux adresses de ETTD et ETCD

❖LAPD « Link Access Procedure, D-Channel »

- RNIS
- Sous-ensemble de ABM
- Numéro de séquence sur 7 bits (uniquement)
- L'adresse est utilisée pour identifier l'équipement (3 bits) ainsi que l'entité de la couche supérieure (3 bits)

❖Logical Link Control (LLC)

- IEEE 802, protocole non-HDLC
- Format de trame différent (DSAP, SSAP, champ contrôle)
- La couche liaison est scindée en deux sous-couches MAC et LLC
- Détection des erreurs au niveau MAC

Couche Liaison-Autres protocoles

❖ LAPF : « Link Access Procedure for Frame-Mode Bearer Services »

- Frame Relay
- ne concerne que les éléments terminaux et non pas les nœuds du réseau
- Deux sous-couches
 - Contrôle- similaire à HDLC : contrôle de flux ...
 - Noyau (Core) : commutation de trame, détection d'erreurs (uniquement), indication de congestion ...
- ABM
- Numéro de séquence sur 7-bits
- Les adresses sont sur 2, 3 ou 4 octets (combinée avec les champs de controles)
- Identifie des connexions logiques: « Data Link Connection Identifier » (DLCI)

❖ ATM « Asynchronous Transfer Mode »

- Non basé sur HDLC
- Format de trame : la cellule de taille Fixe 53 octets

Couche Liaison-PPP

❖ PPP : « Point to Point Protocol »

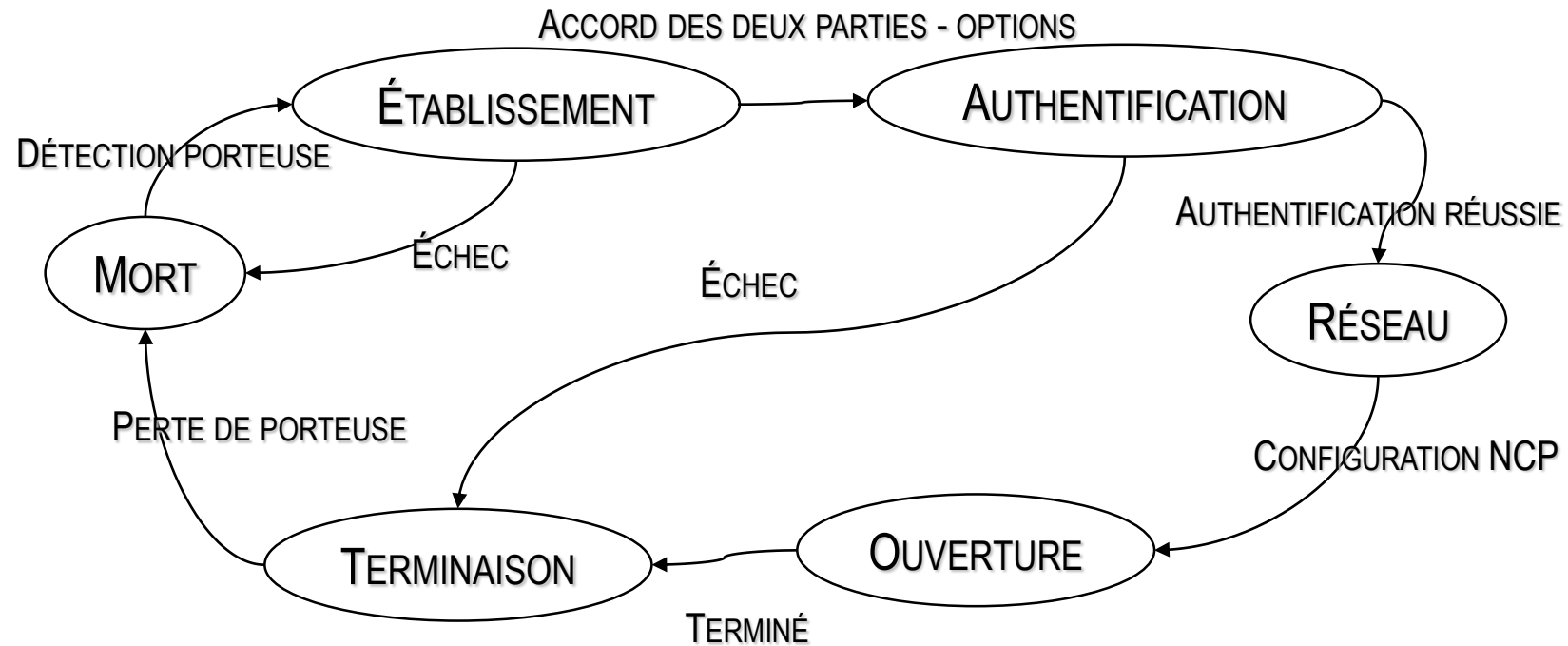
- Encapsulation du paquet PPP dans une trame HDLC simplifiée

fanion	@ diffusion	Trame U	Protocole	Information	CRC	fanion
01111110	11111111	00000011	2 octets	<=1500		01111110

- trame U => trame non numérotée de HDLC (les trames numérotées sont rarement utilisées)
- Protocole : pour définir le type des données dans le champs information qui peuvent être des données spécifiques aux LAN, des données de contrôle de lien (**LCP**) ou de contrôle du réseaux (**NCP**).
- Un protocole de contrôle du lien "Link Control Protocol" (**LCP**) : établir, authentifier les extrémités, configurer (taille, compression ...) et tester (rupture, rebouclage, ...) la liaison de données
- Un protocole de contrôle de réseau "Network Control Protocol" (**NCP**): établir, configurer différents protocoles de la couche réseau (IP, IPX ...)

Couche Liaison-PPP

❖ Diagramme simplifié d'une liaison PPP



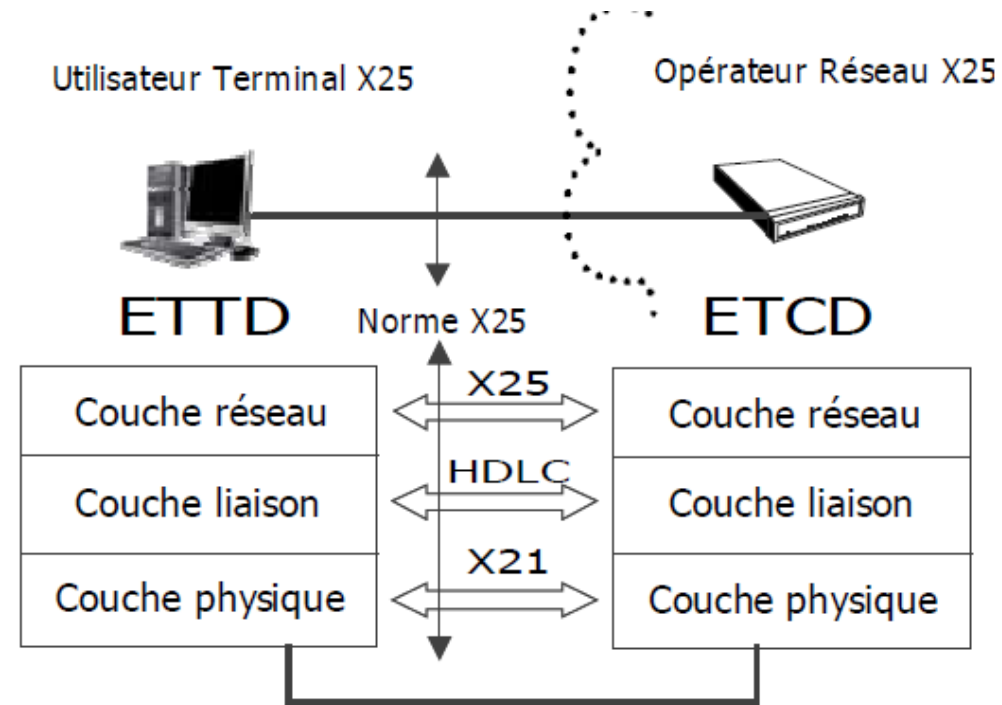
Les réseaux étendus & technologies associées

RTC- Réseau Téléphonique Commuté

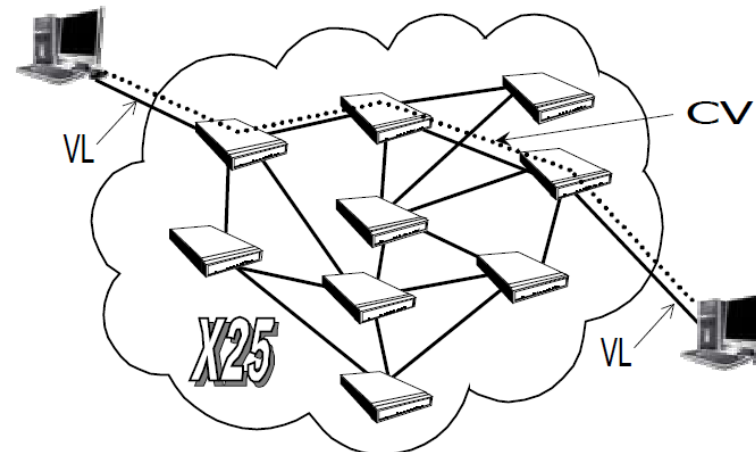
- Le réseau d'accès RESTE ANALOGIQUE
 - ❖ La boucle locale est exploitée pour les accès xDSL
- Le réseau interne est NUMERIQUE
 - ❖ des liaisons à multiplexage PDH
 - ❖ des liaisons à multiplexage SDH
 - ❖ Auto-commutateurs numériques
 - ❖ La signalisation est numérique

X.25

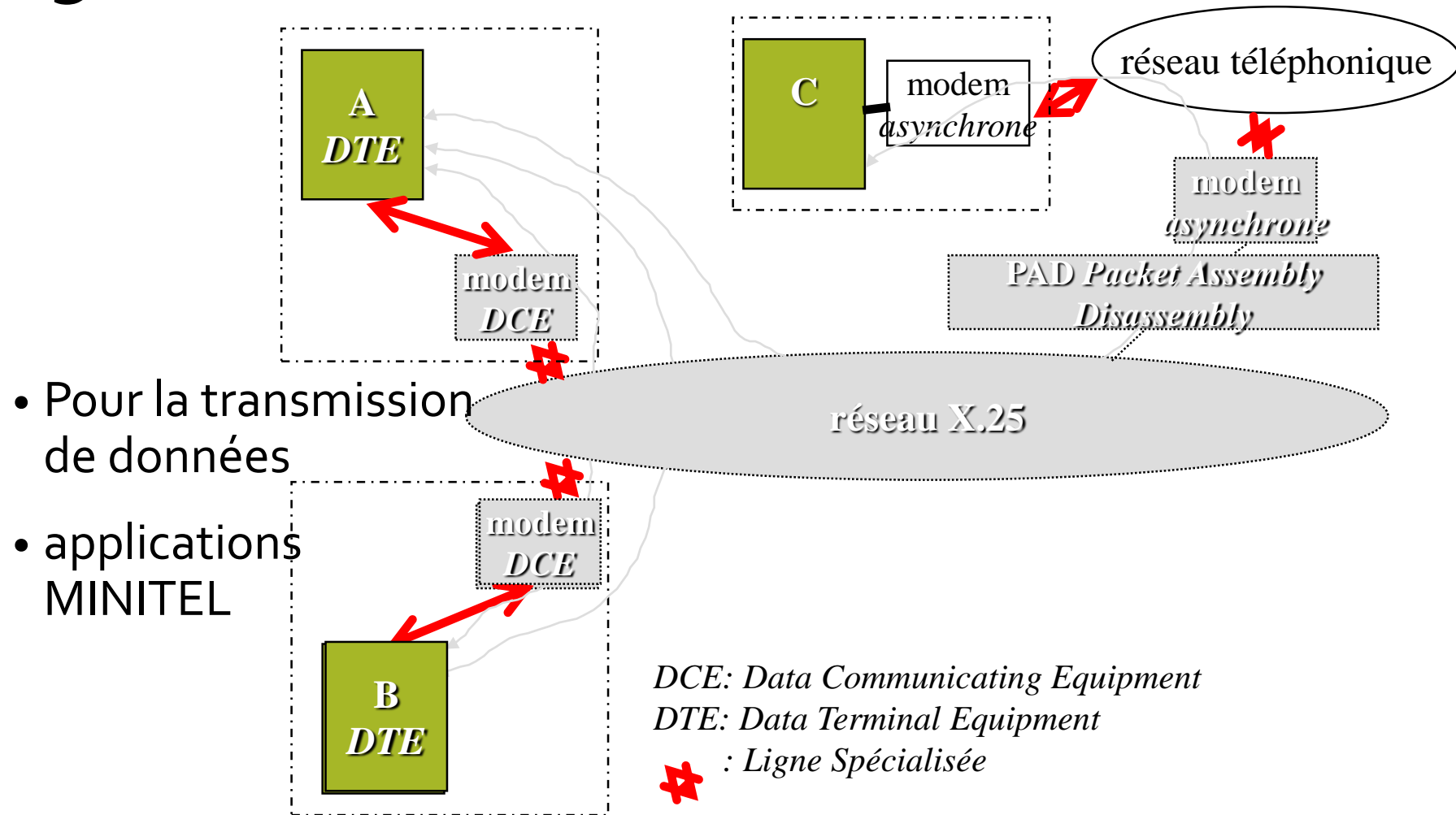
- X.25 précise l'interface d'accès au réseau



- Orienté connexion
- Utilisation du mode circuit virtuel
- contrôle de flux, détection d'erreurs....



X.25



✓ Evolution vers de plus hauts débits: **Frame Relay**

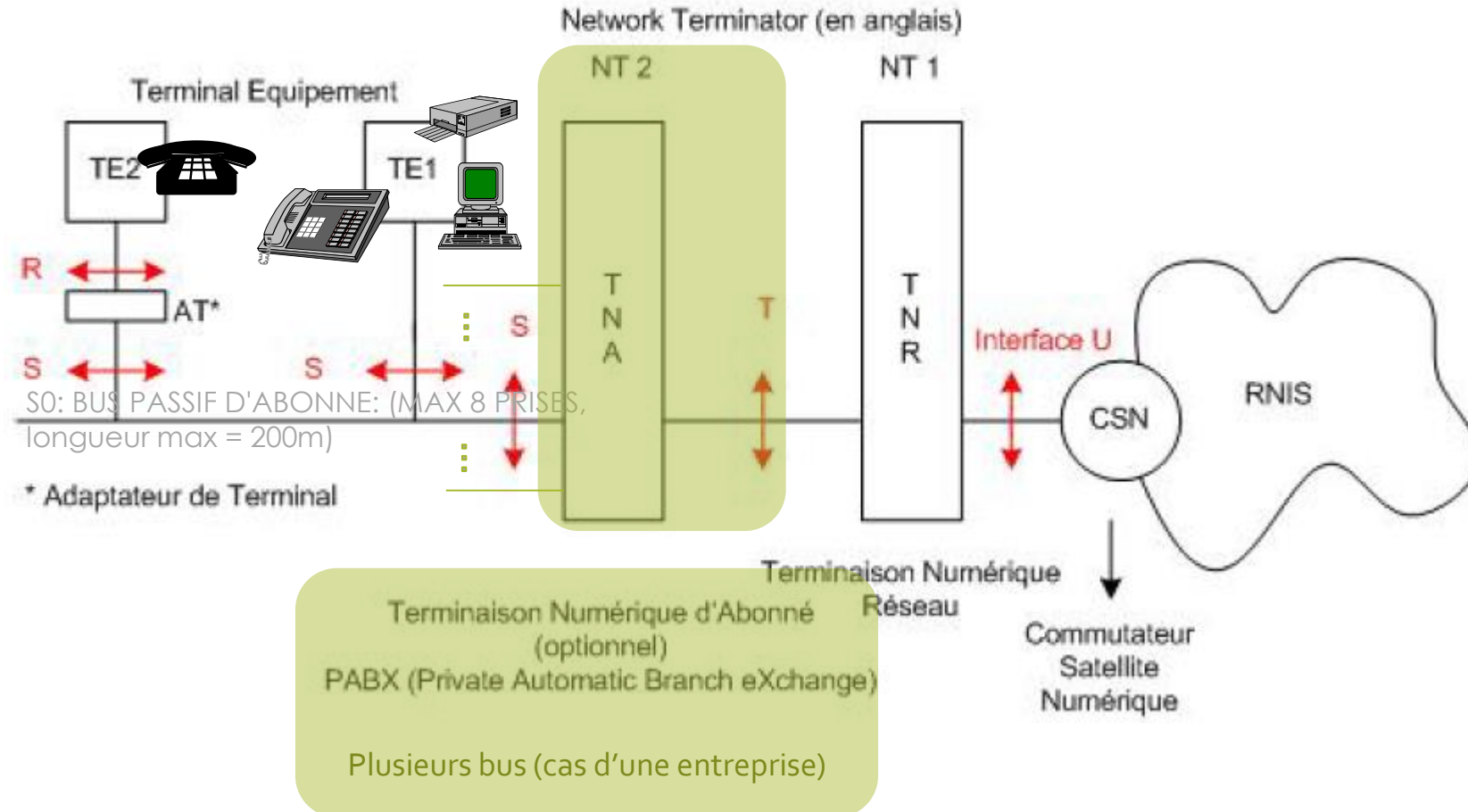
RNIS bande étroite

- RNIS = Réseau Numérique à Intégration de Service = *ISDN* « *Integrated Service Digital Network* »
- INTEGRATION DE TOUS LES SERVICES SUR UN MEME RESEAU
 - ❖ Applications multi-média chez l'abonné (voix + données + images)
 - ❖ *Numérique de bout en bout*
- RNIS **bande de base** fournissent des services à faible débit : de 64 kbit/s à 2 Mbit/s
- RNIS **large bande** (ATM) pour les services à haut débit : de 10 Mbit/s à 622 Mbit/s.
- Se base sur plusieurs canaux numériques :
 - ❖ Canaux de type B (64 kbit/s) servent au transport de données et peuvent être agglomérés pour augmenter la bande passante.
 - ❖ Canaux de type D (16 kbit/s) servent à la signalisation

RNIS bande étroite

- Une interface d'accès à un réseau RNIS est une association de canaux B et D.
- Le nombre de canaux utilisés peut varier suivant les besoins, le débit maximum étant fixé par le type d'interface.
- Deux interfaces standards correspondent à deux catégories d'utilisation distinctes :
 - ❖ Résidentielle ou pour privé ou petite entreprise
 - utilisation simultanée des services téléphoniques et d'une connexion Internet
 - BRI= *Basic Rate Interface*: $2 \times 64 \text{ kbit/s} + 1 \times 16 \text{ kbit/s}$ →
Interface NT1 (2B+D)
 - ❖ Usage professionnel
 - PRI= *Primary Rate Interface*: $30 \times 64 \text{ kbit/s} + 1 \times 16 \text{ kbit/s}$ () →
Interface NT2 (30B+D en Europe)
Ou PRI (23B+D) aux USA et au Japon
 - ❖ Commutation de circuits (canaux B) + Commutation de paquets (canal D)

RNIS bande étroite



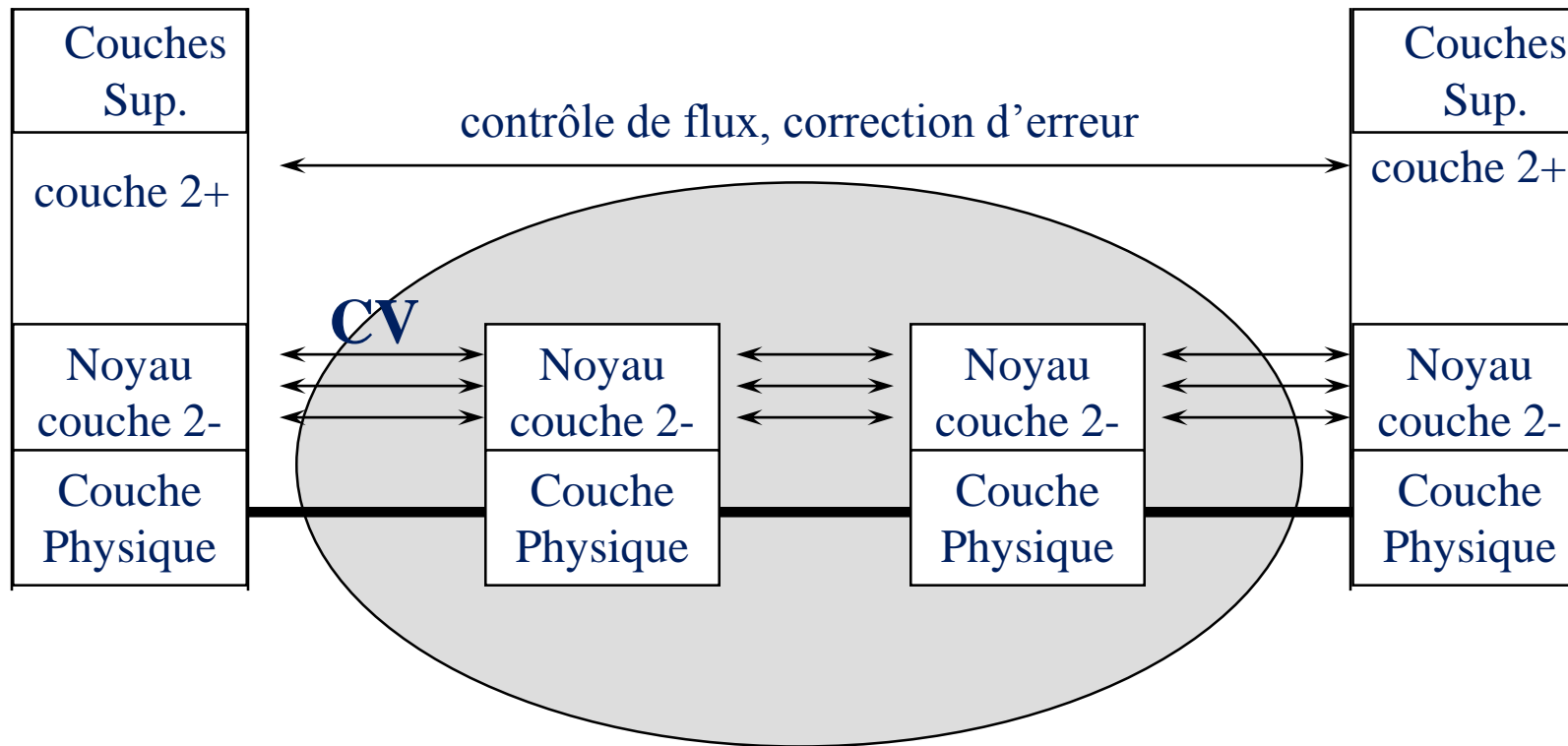
« Frame Relay »

- Le FR a été initialement défini comme étant un protocole orienté connexion.
 - ❖ Commutation de paquets (mais au niveau de la couche liaison : trame)
 - ❖ Etablissement de liaisons virtuelles : circuit virtuel
 - Liaison virtuelle à la demande SVC ou
 - permanent(PVC)
 - ❖ La liaison virtuelle est caractérisée par un identificateur de lien logique : **DLCI** (**D**ata **L**ink **C**onnexion **I**dentifier)

« Frame Relay »

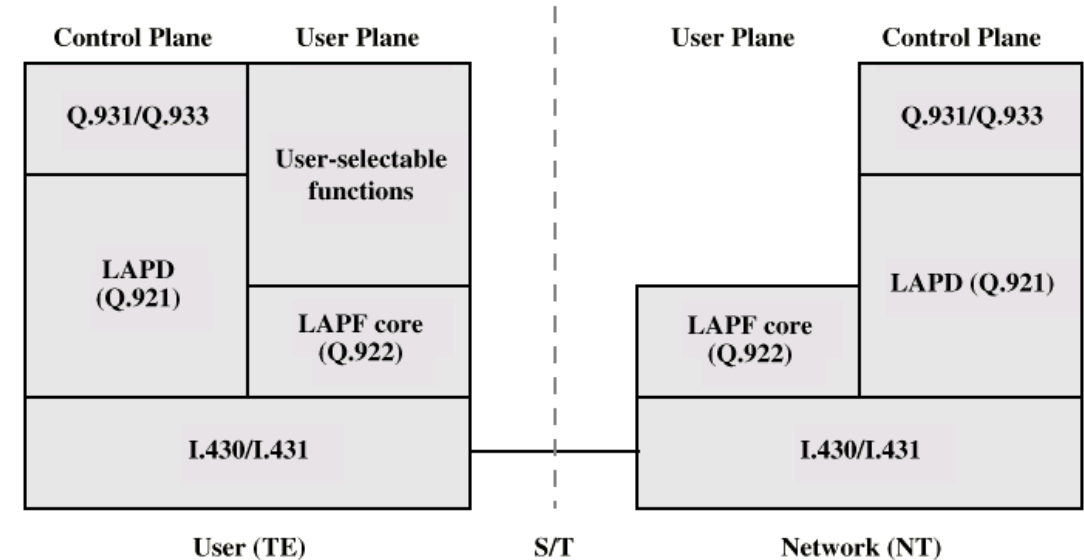
	Commutation de paquets X.25	Relayage de trames
Existence d'un CRC	OUI	OUI
Retransmission en cas d'erreur	OUI	NON
Contrôle de flux	OUI	NON

« Frame Relay »



« Frame Relay »

- Control Plane
 - ❖ Between subscriber and network
 - ❖ Data link layer
 - ❑ LAPD (Q.921): reliable data link control, flow control ...
 - ❑ Used for exchange of Q.933 control signal messages
- User Plane
 - ❖ End to end functionality
 - ❖ LAPF (Link Access Procedure for Frame Mode Bearer Services) Q.922
 - ❑ Frame delimiting,
 - ❑ detection of transmission errors
 - ❑ Congestion control functions ...

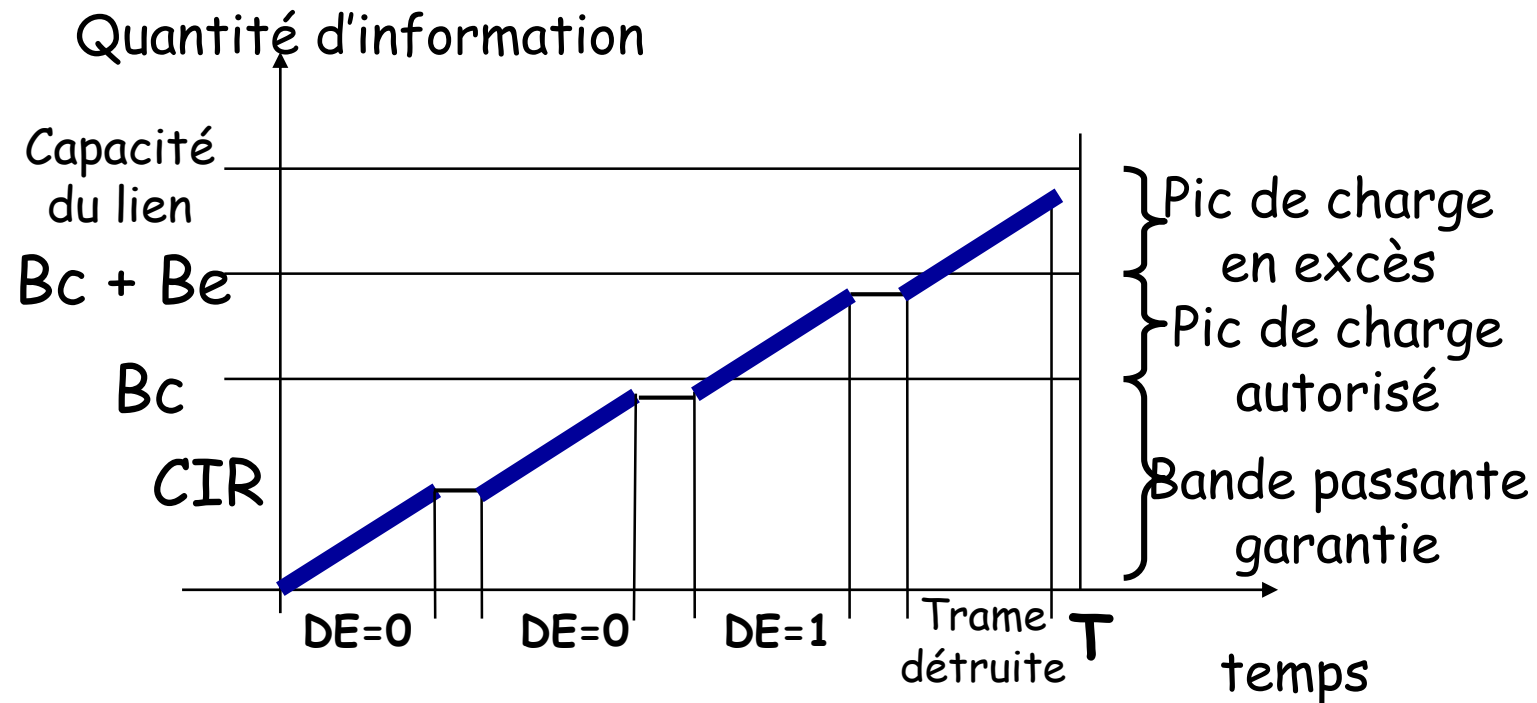


« Frame Relay »

- ✓ Multicast : le routeur envoie la trame sur un DLCI réservé comme groupe multicast et le réseau délivre la trame à une liste de nœuds
- ✓ Le FR offre la possibilité d'écouler les pics de charge (burst) des usagers (LAN).
 - ❖ Négociation de divers paramètres (QoS) entre le prestataire de service et le client.
 - Le CIR (Committed Information Rate) représente le débit moyen, garanti par le prestataire, sur un intervalle de temps donné.
 - Le Bc (Committed Burst size) : pic de charge autorisé
 - Le Be (Excess Burst size) : pic de charge en excès
 - ❖ Respect des informations de congestion.

« Frame Relay »

- Le réseau FR surveille si le flux de trafic de l'utilisateur respecte son contrat : utilisation de l'indicateur **DE** (**D**iscard **E**ligibility)

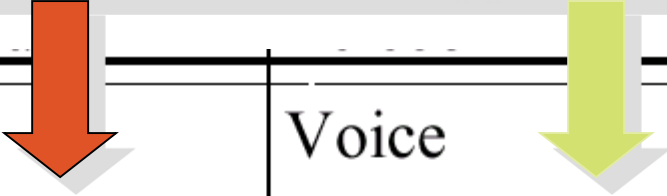


RNIS LARGE-BANDE (ATM)

- Transmission de l'image animée (Haute-Définition), avec les données et la voix
- Support de transmission: fibres optiques, infrastructures SDH
- Mode de commutation rapide: l'**ATM**
- Commutation de cellules – niveau 2
- Le service peut être synchrone ou asynchrone. On a à la fois les avantages de la commutation de circuits et de la commutation de paquets
- Le service est orienté connexion. Les adresses sont remplacées par des labels de circuits virtuels VC ou VP

RNIS LARGE-BANDE (ATM)

Approprié pour une connexion d'ordinateurs ou application télécom

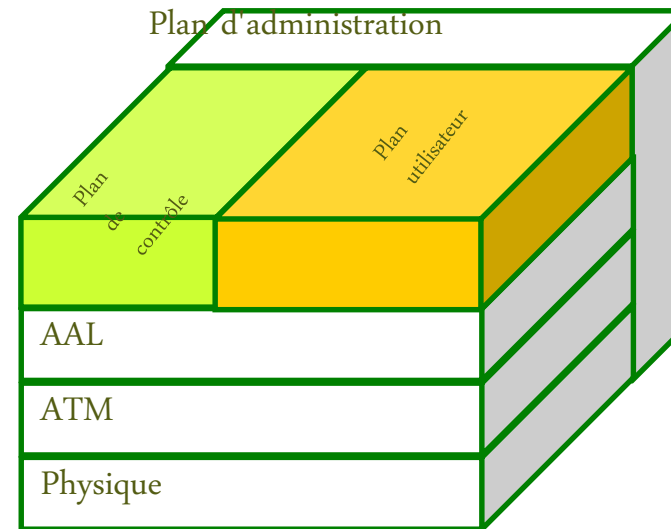


Traffic	Data	Voice
Switching	Packet	Circuit
Arrivals	Bursty	Periodic
Quality of Service	Best effort	Guaranteed
Delay Variation	Not critical	Critical
Resource Alloc	Shared	Dedicated
Connections	Connectionless	Connection-oriented

RNIS LARGE-BANDE (ATM)

- Le modèle ATM

- ❖ ATM Adaptation Layer (AAL) : interface avec les couches supérieures
- ❖ Plan de contrôle (C-Plane) : contrôle des connexions (établissement, fermeture ...)
- ❖ Plan utilisateur (U-Plane) : transferts des données utilisateur
- ❖ Plan d'administration (M-Plane) : interactions entre les plans U et C



Modèle ATM

RNIS LARGE-BANDE (ATM)

- Le modèle ATM

- ❖ La couche physique : utilisation des standards déjà déployés tels que ceux pour la fibre optique (SONET, SDH) et ceux pour la paire torsadée (T3/E3)...

- ❖ La couche ATM

- ❑ construction de la cellule ATM
 - ❑ multiplexage/démultiplexage
 - ❑ commutation des cellules
 - ❑ Contrôle de flux

- ❖ La couche AAL (ATM Adaptation Layer)

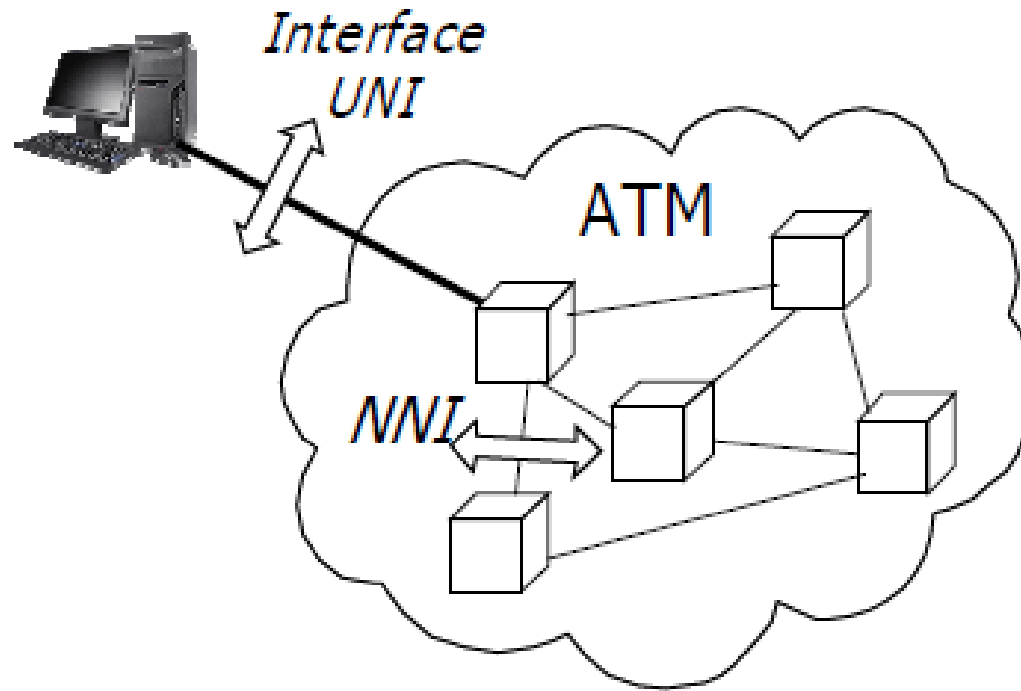
- ❖ Adaptation des entre les caractéristiques du réseau et celles attendues par la couche sup.
 - ❖ Segmentation et Réassemblage (SAR)
 - ❖ Dépend des besoins des niv. sup.
 - ❖ On distingue une AAL par type de trafic

Application
Transport
Réseau
Adaptation à l'ATM (AAL)
ATM
Physique

RNIS LARGE-BANDE (ATM)

Classe	A	B	C	D
Compensation de gigue (Délai/synchro)	Nécessaire (garantie)		Non nécessaire (variable)	
Débit binaire	Constant (CBR)	Variable (VBR)		
Mode de connexion	Orienté connexion			datagramme
Type AAL	AAL1	AAL2	AAL3/4	AAL5
Exemple	Téléphonie Visio conf	Audio, vidéo compressée	~ X.25, ~Frame Relay	IP ADSL

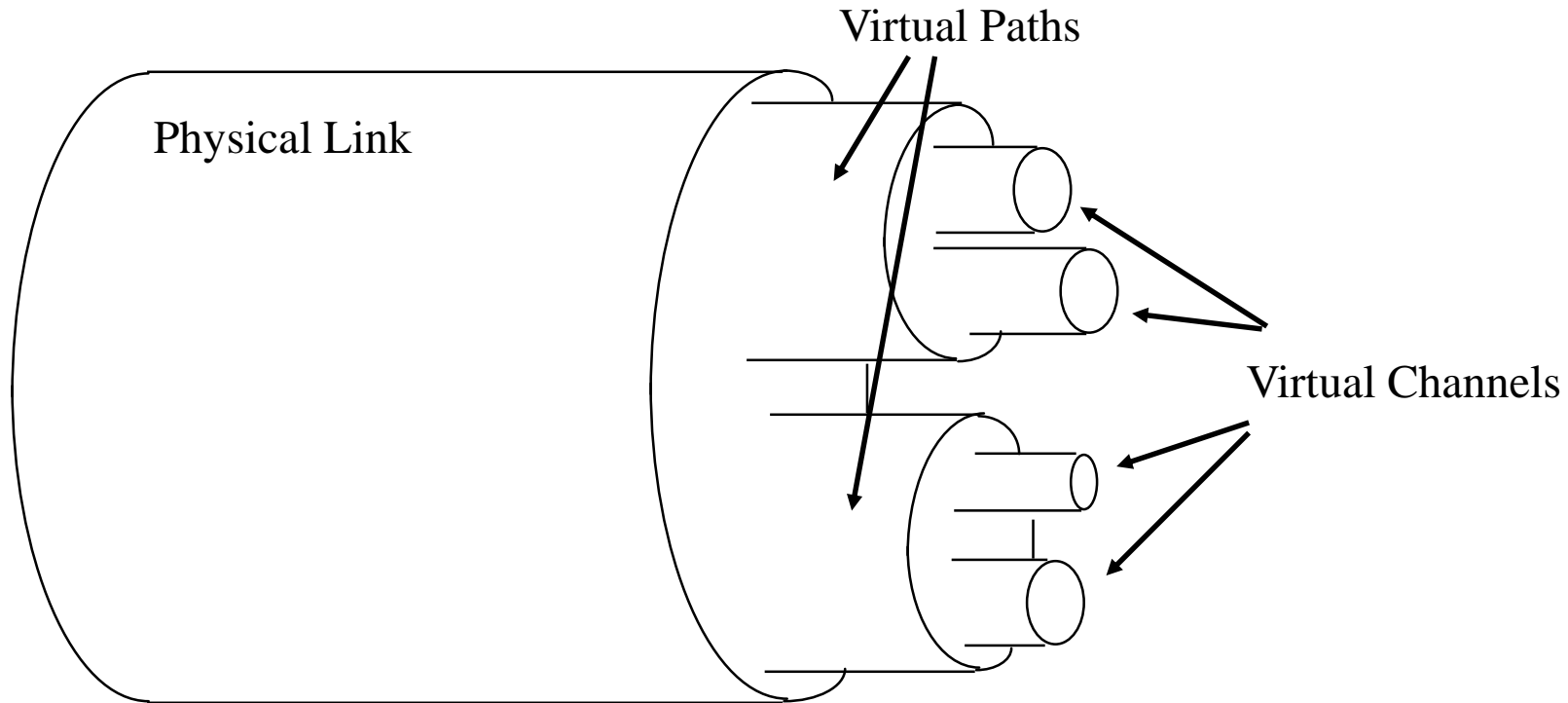
RNIS LARGE-BANDE (ATM)



UNI : « User-Network Interface »

NNI : « Network-Network Interface »

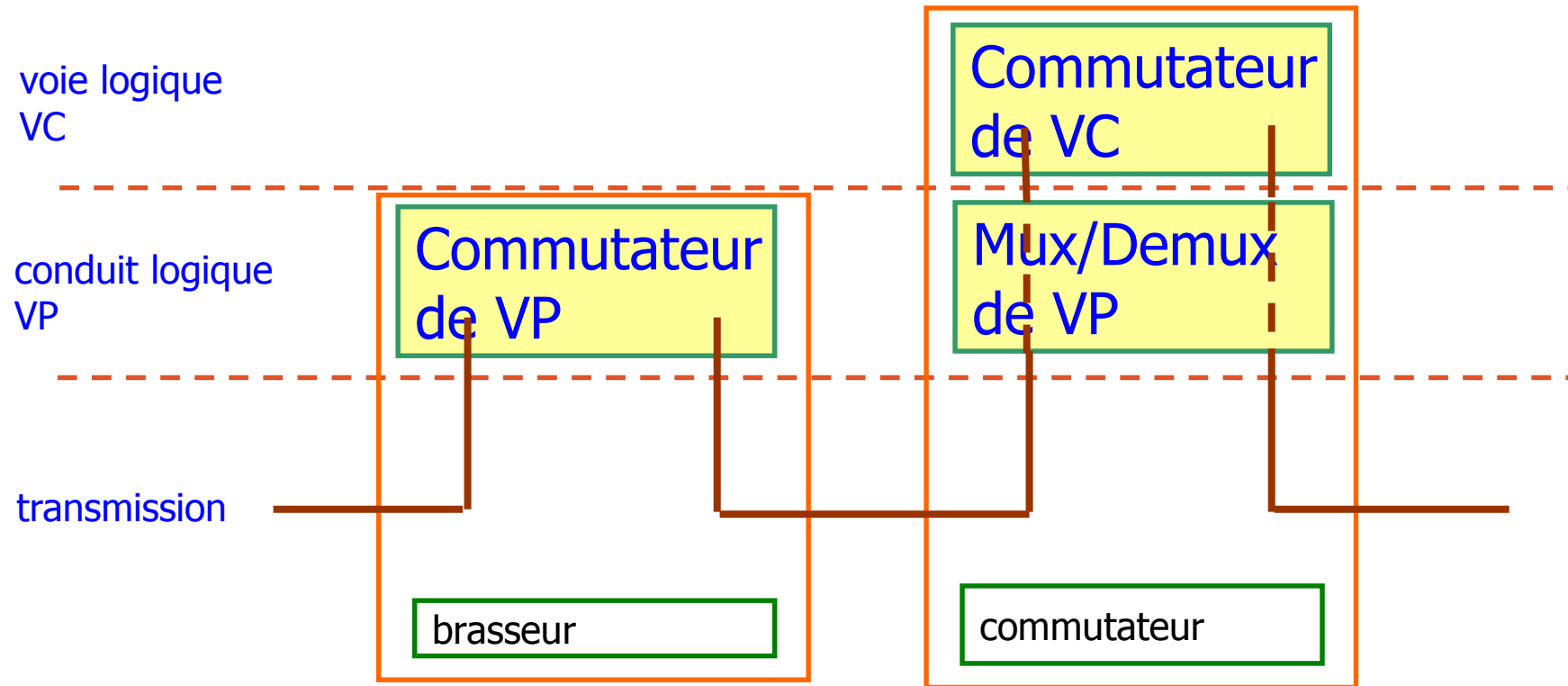
RNIS LARGE-BANDE (ATM)



RNIS LARGE-BANDE (ATM)



RNIS LARGE-BANDE (ATM)



Des commutateurs de VC
qui répondent appel par appel

Des brasseurs de VP qui sont les organes de
gestion du trafic haut-débit du réseau ATM

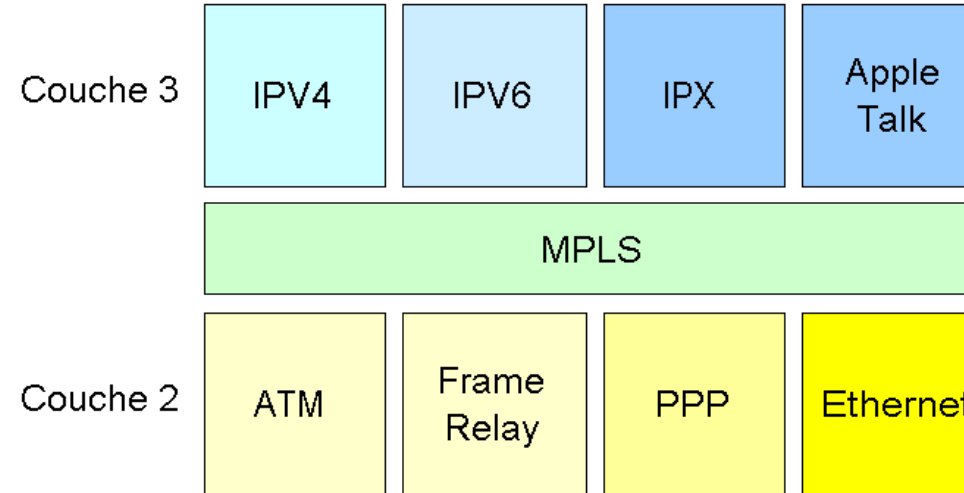
Double routage des cellules: VP et VC

Multi-Protocol Label Switching

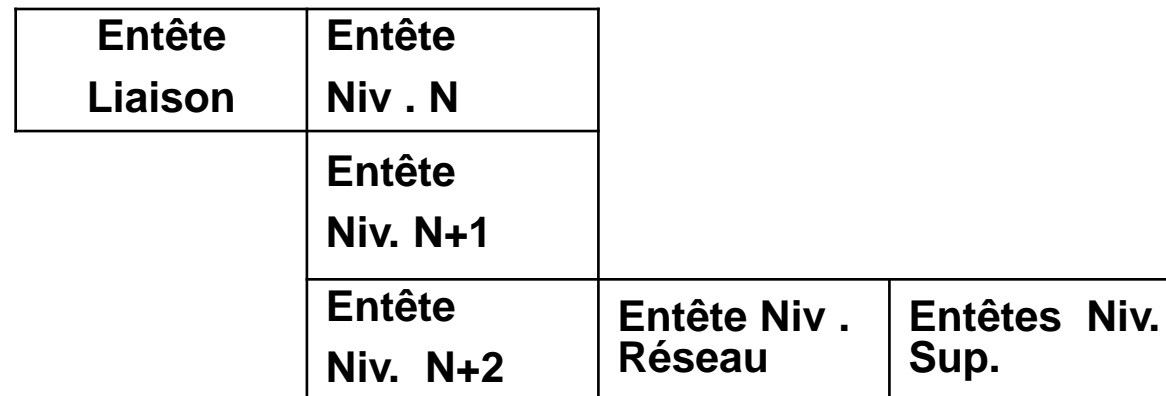
- Au début, Internet ne servait que pour transmettre des données: E-mail, pages html ... Aujourd'hui, Internet supporte les communications téléphoniques, la visioconférence ...
- L'IETF met au point un protocole afin de passer à la "commutation IP":
MPLS - « **Multiprotocol Label Switching** »
 - ❖ Objectif : permettre la définition de contrats de qualité de service (ne garder de l'ATM que sa capacité commutation)
 - ❖ Tous les paquets ayant la même destination forme une classe d'équivalence (FEC: Forwarding Equivalence Class) et reçoivent un **label** qui identifie le trajet (path) que les paquets vont traverser => **Commutation de labels**
 - "Lookup" rapide Label court (comme c'est le cas pour les circuits virtuels)
 - Possibilité d'agréger des destinations
 - Unicast ordinaire : "longest match" (@D)
 - Unicast avec ToS : "exact match " (@D +ToS)

Multi-Protocol Label Switching

- MPLS /OSI

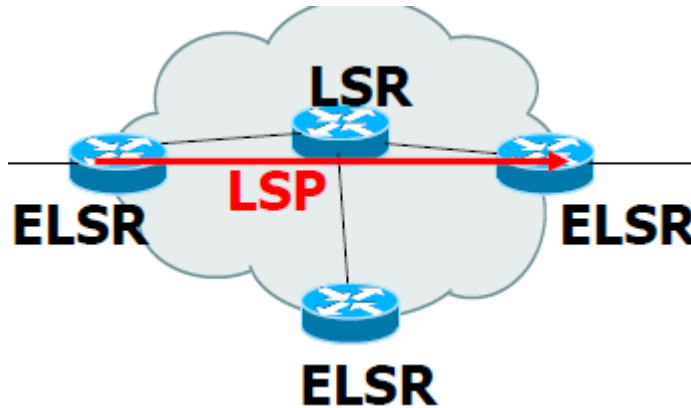


- Commutation hiérarchique
 - ❖ Empilement d'entête MPLS



Multi-Protocol Label Switching

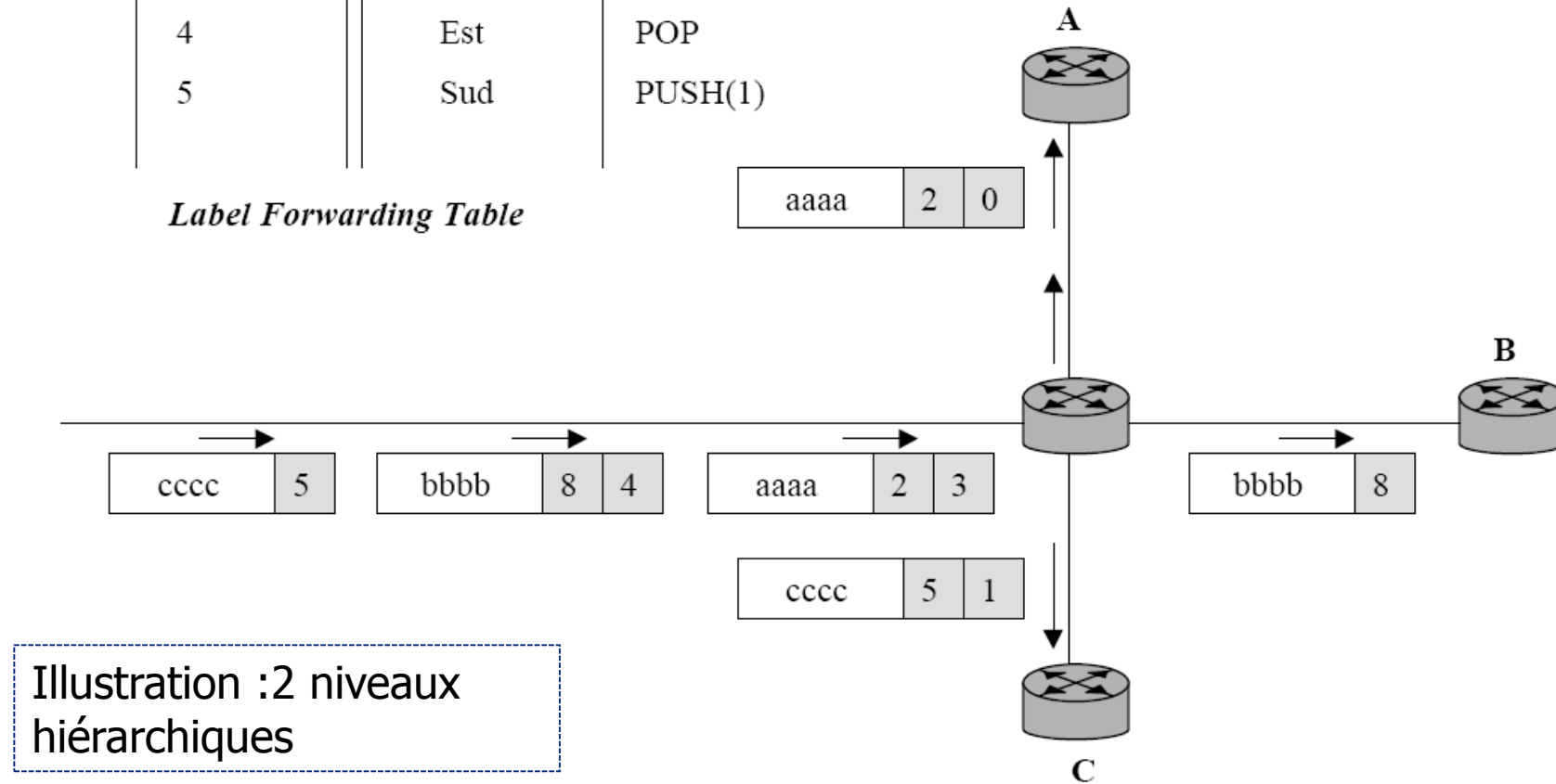
- LSR: Label Switching Router
- ELSR: Edge Label Switching Router (Ingress/Egress)
- LSP: Label Switched Path



Multi-Protocol Label Switching

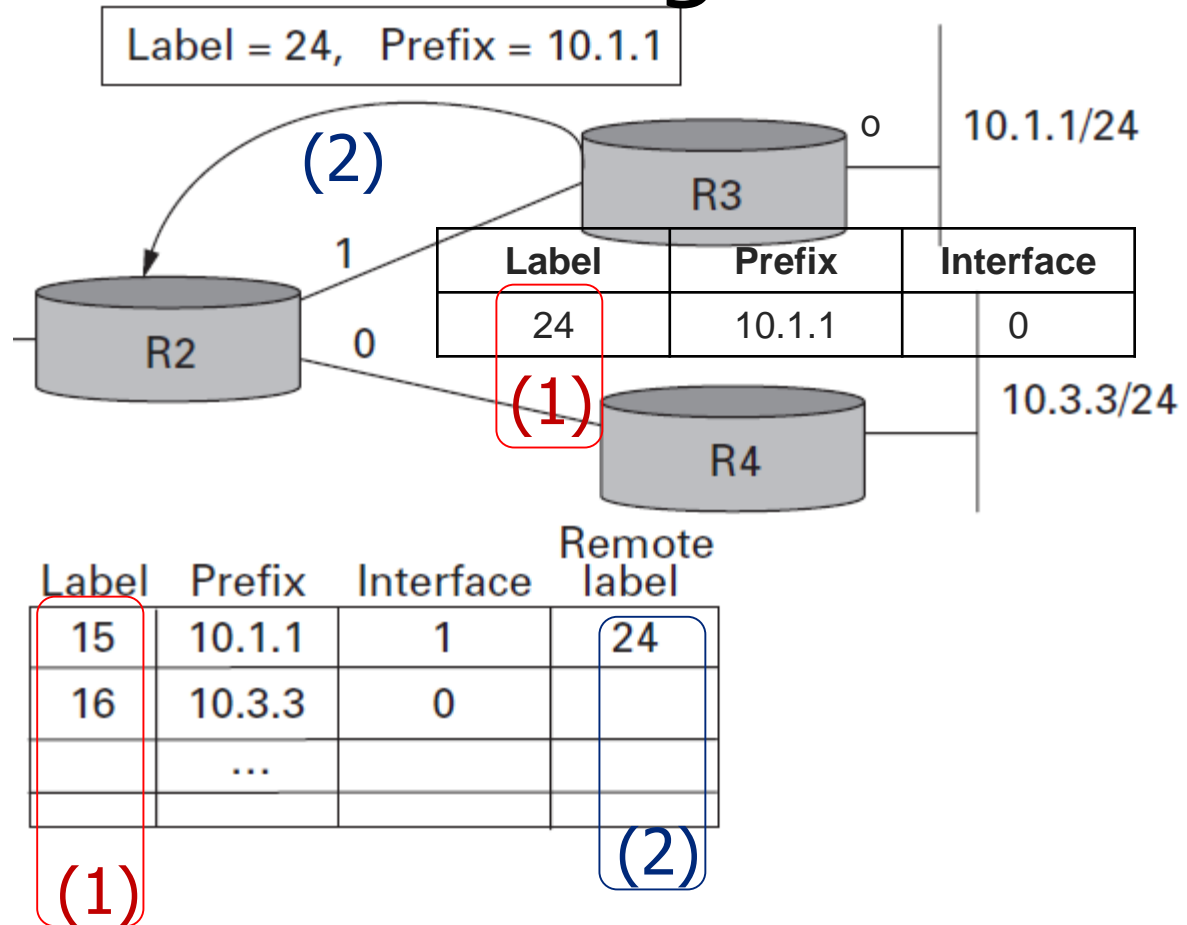
InPort	InLabel	OutPort	Operation(s)
Ouest	3	Nord	SWAP(0)
Ouest	4	Est	POP
Ouest	5	Sud	PUSH(1)

Label Forwarding Table



Multi-Protocol Label Switching

- Distribution des Labels



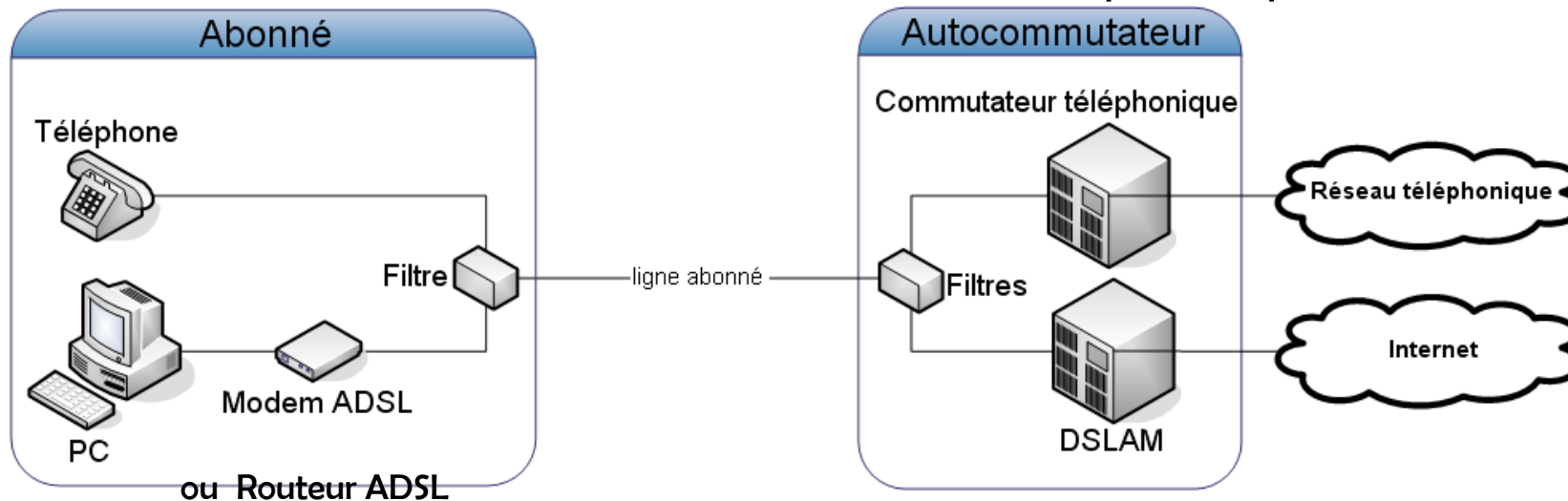
- Exemple de distribution des labels : quand MPLS est activé sur un routeur
 - (1) le routeur alloue un label pour chaque préfixe dans la table de routage
 - (2) et annonce à la fois le label et le préfixe à ses voisins (transportés à travers le LDP "Label Distribution Protocol")

xDSL

- xDSL (Digital Subscriber Loop) : **Ligne numérique d'abonné**
 - ❖ Principe : tirer le maximum possible de la paire en cuivre
 - ❖ regroupe l'ensemble des technologies mises en place pour le transport de données numériques.
 - IDSL: ISDN DSL utilisé par RNIS/ISDN (voir plus loin)
 - ADSL: Asymmetric DSL, débit asymétrique
 - SDSL: Symetric DSL même débit dans les deux sens.
 - HDSL: High Speed DSL
 - VDSL: Very high bit-rate DSL

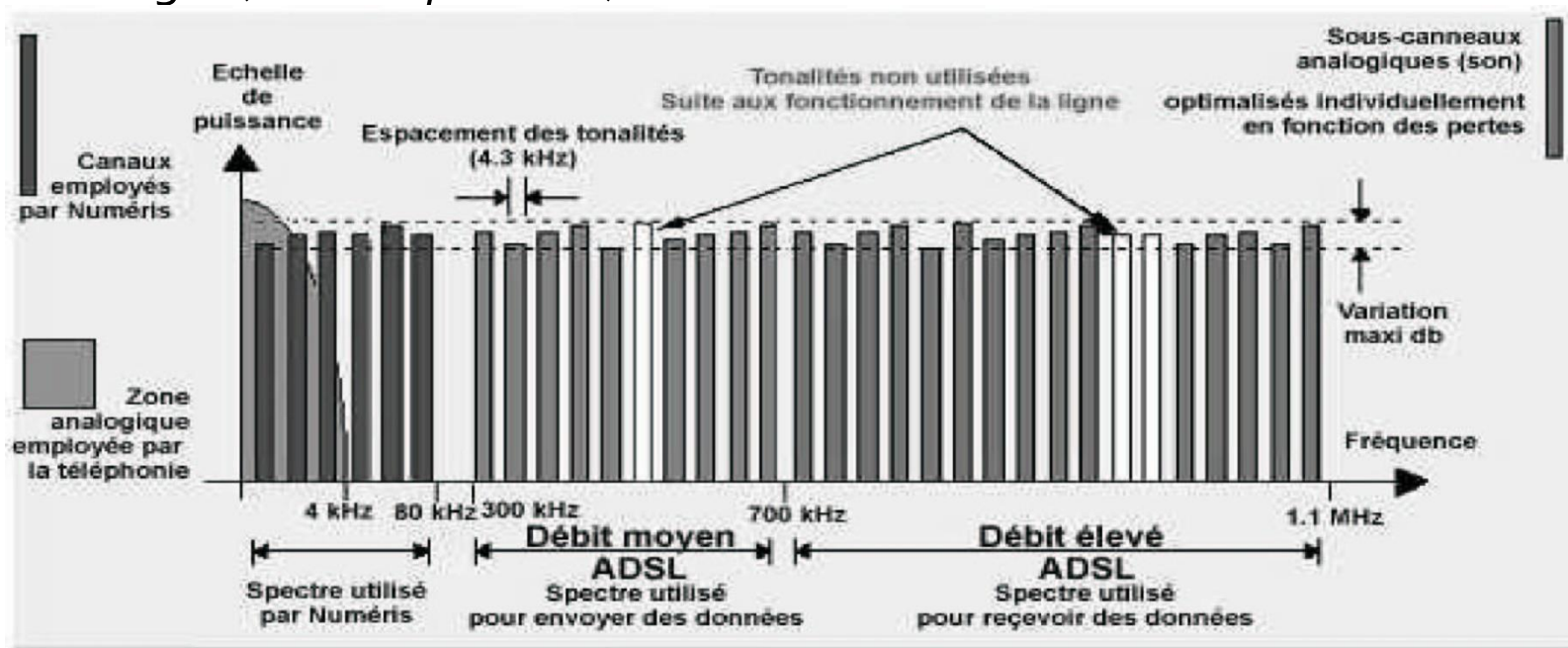
ADSL

- Les signaux utilisés pour la téléphonie classique (sonnerie, numérotation multifréquence, voix) occupent une bande de fréquence qui s'étend entre 25 et 3 400 Hz environ
- Le principe de l'ADSL consiste à exploiter une autre bande de fréquence, située au-dessus de celle utilisée pour la téléphonie, pour échanger des données numériques en parallèle avec une éventuelle conversation téléphonique sur la boucle locale

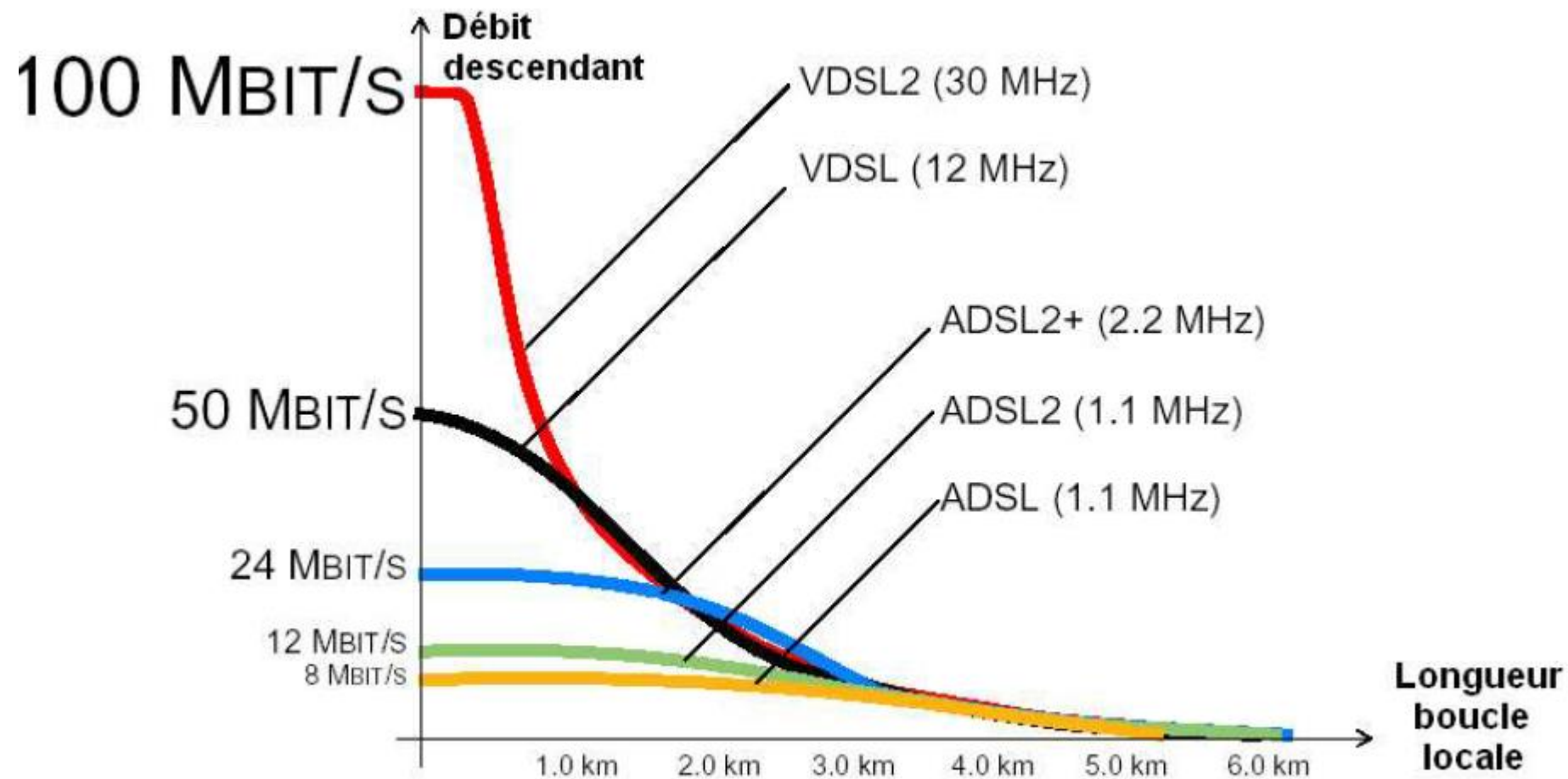


Accès ADSL

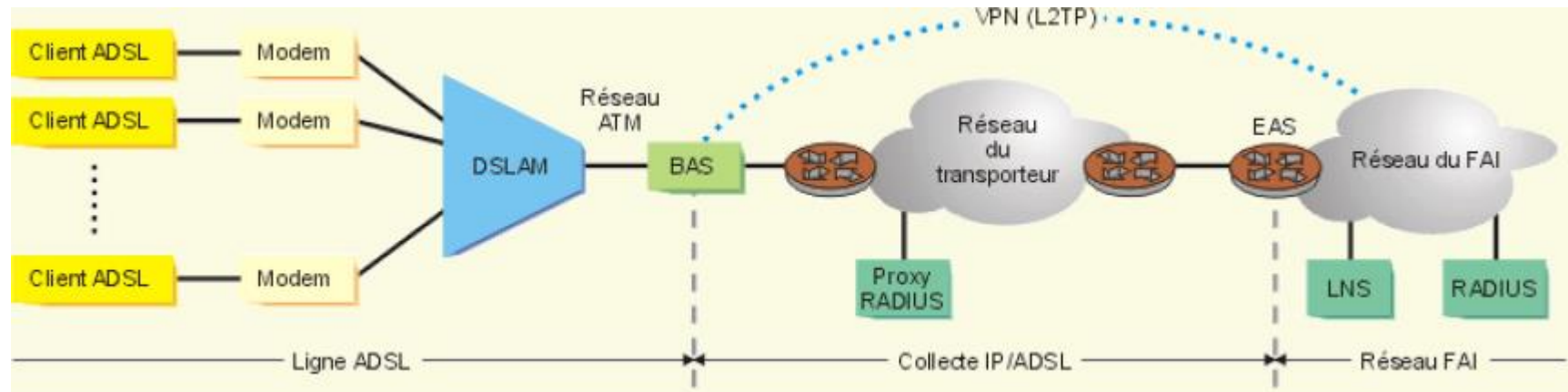
- Technologie DMT (Discrete MultiTone): divise la bande passante en 256 sous-canaux (En ADSL2 : 512 porteuses sur une bande de 2,2 MHz)
- d'une largeur de 4,3 kHz
- Chaque sous-canal est modulé indépendamment en utilisant la technique du QAM
- Procédure de négociation (*handshake*) pour mesurer la qualité de la transmission et adapter le débit en fonction de la ligne (*rate adaptative*).



Accès ADSL



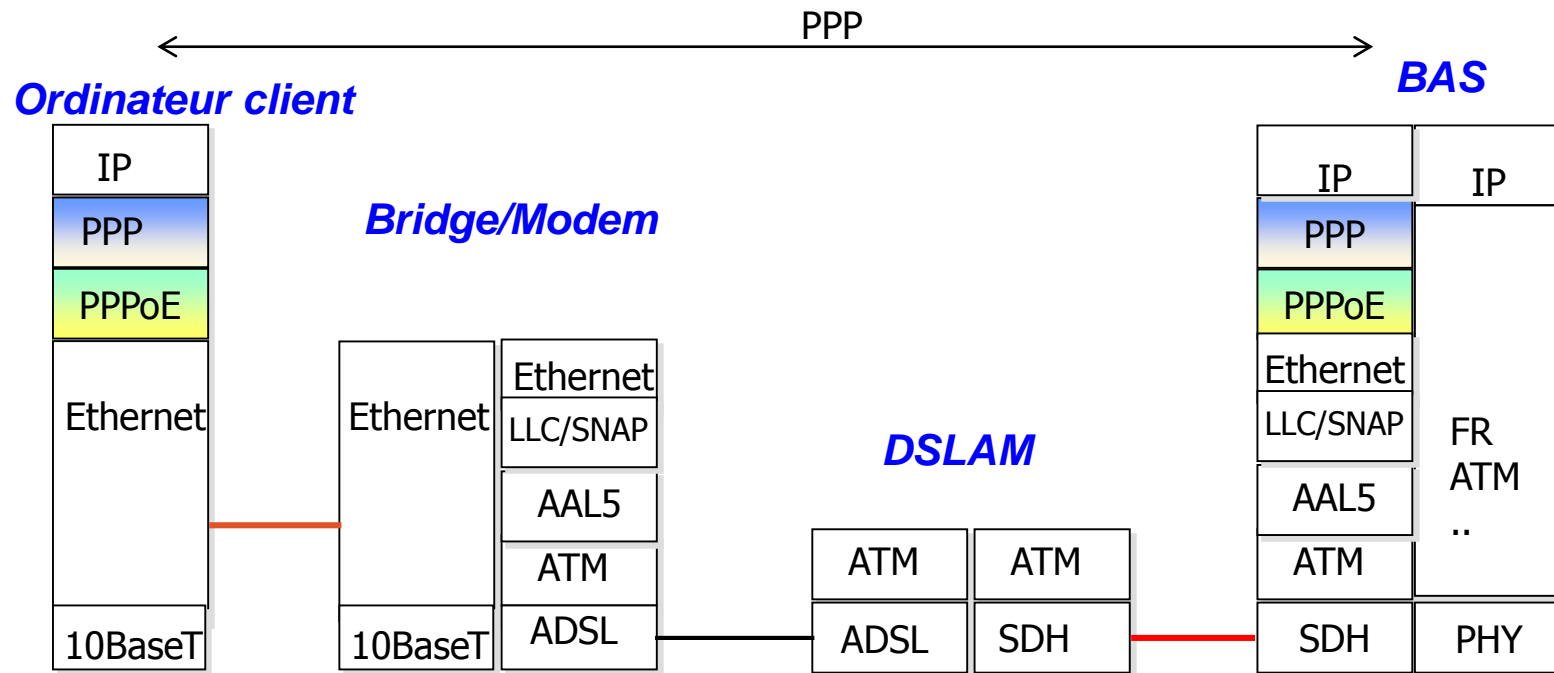
ADSL-Architecture protocolaire



- BAS ou BRAS** "Broadband Remote Access Server" : centralise les connexions ADSL et les redirige vers les fournisseurs d'accès. Il assure la gestion des sessions utilisateurs (authentification, offre de service ...). Il est considéré comme étant un routeur IP permettant de joindre le routeur du FAI. Lorsque un VPN est utilisé le BAS joue le rôle d'un **LAC** (L2TP Access Concetrator) : une extrémité du VPN.
- DSLAM** "Digital Subscriber Line Access Multiplexer" : Multiplexeur d'accès de lignes d'abonnés numériques.
- EAS**: Equipement d'Accès au service:routeur reliant au FAI
- L2TP** : Layer 2 Tunneling Protocol
- LNS** : L2TP Network Server

ADSL-Architecture protocolaire

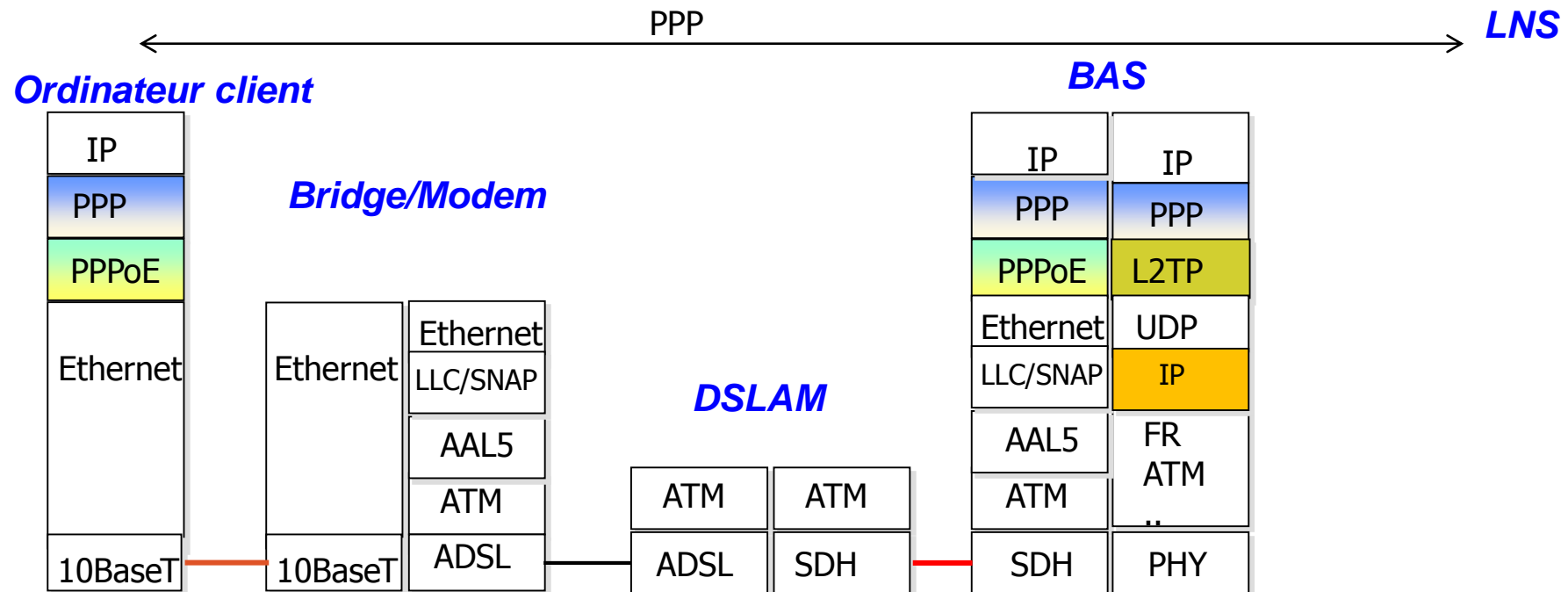
« PPP terminated aggregation » : la session PPP se termine au niveau du BAS



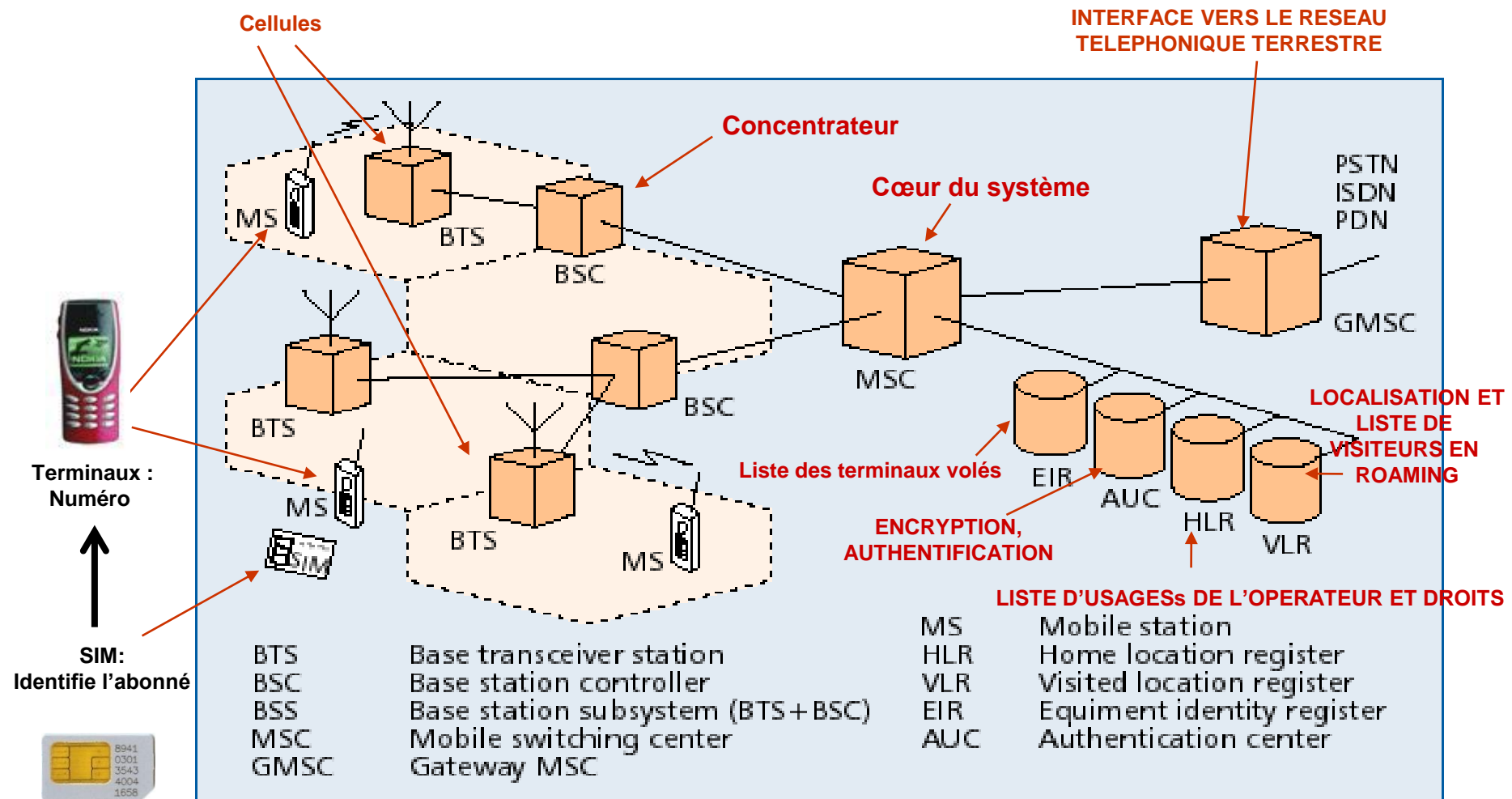
- ✓ PPPoE : PPP over Ethernet
- ✓ Il existe d'autres architectures d'accès faisant appel à d'autres protocoles d'encapsulation comme PPPoA (PPP over ATM) ou encore IPoA

ADSL-Architecture protocolaire

« L2TP Access aggregation » : la session PPP se prolonge jusqu'au LNS



GSM « Global System for Mobile communication »



GPRS et UMTS

- GPRS « General Packet Radio Service »
 - ❖ Un réseau à commutation de paquets avec gestion de la mobilité et accès par voie radio
 - ❖ Le terminal mobile dispose d'une adresse IP dont le champ réseau est spécifique au réseau GPRS
- UMTS « Universal Mobile Telecommunications System »
 - ❖ Couverture mondiale, multi-opérateurs, multi-fournisseurs de services, permet le roaming international, multi-services, débit élevé (→ 2 Mbits/s), ...

Tableau récapitulatif des technologies de téléphonie mobile

Génération	Acronyme	Intitulé
1G	Radiocom 200	Radiocom 2000 (analogique) de France Télécom, SFR 2000 (analogique) de SFR
2G	GSM (échanges de type voix uniquement)	Global System for Mobile communication (9.6 kbits/sec)
2.5G	GPRS (échange de données sauf voix)	Global Packet Radio Service (171.2 kb/s)
2.75G	EDGE(basé sur réseau GPRS existant)	Enhanced Data Rate for GSM Evolution
3G	UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (2Mb/s)
3.5G ou 3G+ ou Super 3G	HSDPA (dérivé de l'UMTS)	High Speed Downlink Packet Access
3.9G	LTE	<i>Long Term Evolution (100 Mb/s)</i>
4G	LTE Advanced	<i>Long Term Evolution Advanced</i> 1 Gb/s à l'arrêt et de 100 Mb/s en mouvement

ANNEXE

Tunisie - SDH

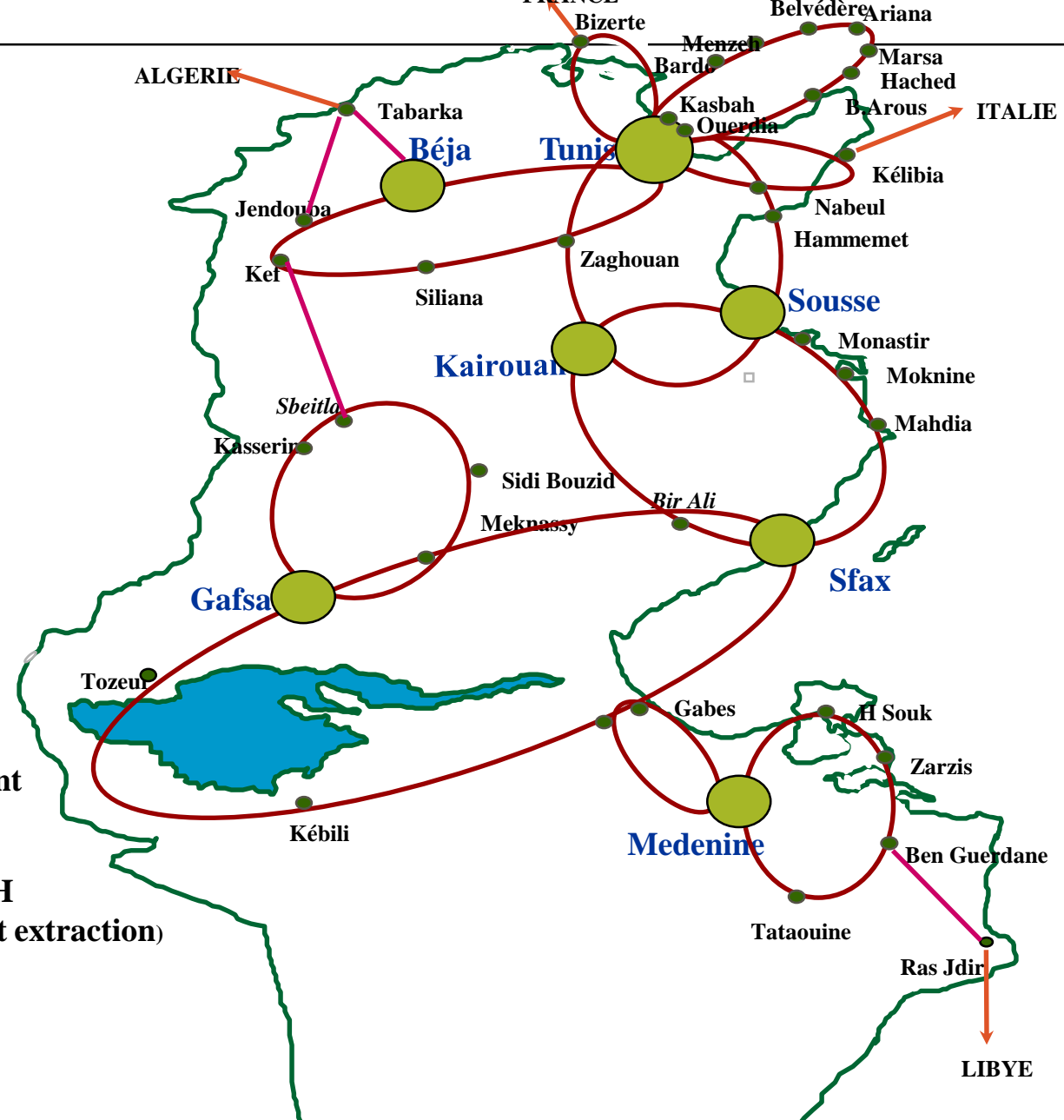


— Liaison SDH point à point

- **Noeud de transmission SDH (commutateur à injection et extraction)**

● Centre de gestion du réseau

 **Boucles SDH**



RESEAU NATIONAL DE TRANSMISSION PAR FIBRES OPTIQUES (Boucles SDH)

Backbone en tunisie

