

Département Telecom & RSI – 1^{ère} année

Module RE110 & RE111: Introduction aux Réseaux

Introduction aux Réseaux

Amina NAHALI TEBOULBI

2025- 2026

- **Concepts généraux**
- Couche Liaison de Données
- Les Réseaux Locaux

■ Concepts généraux:

- Introduction
- Historique
- Types de réseaux
- Architecture des réseaux
- Normalisation
- Couche physique

Introduction – Bibliographie

- Principales références bibliographiques en français :
 - Guy Pujolle - **Les réseaux** - Eyrolles
 - Andrew Tanenbaum - **Réseaux, 4e édition** - Pearson Education
 - Claude Servin - **Réseau et télécom** - Dunod
 - Kurose and Ross - **Computer Networking: A Top-Down Approach, 5e édition** - Addison-Wesley
 - Gérard Mourier - **Guide des réseaux locaux** - Marabout
 - Mammeri - **Réseaux Locaux Industriels** - Eyrolles
 - Maurice Gagnaire - **Réseaux Hauts Débits ATM et RLI** – Interedition
 - Cours Cisco CCNA,1-4, version 3.1 copyright Cisco

Introduction – Présentation générale

Qu'est ce qu'un réseau?

un réseau désigne au sens concret « un ensemble de lignes entrelacées » et, au figuré « un ensemble de relations ».

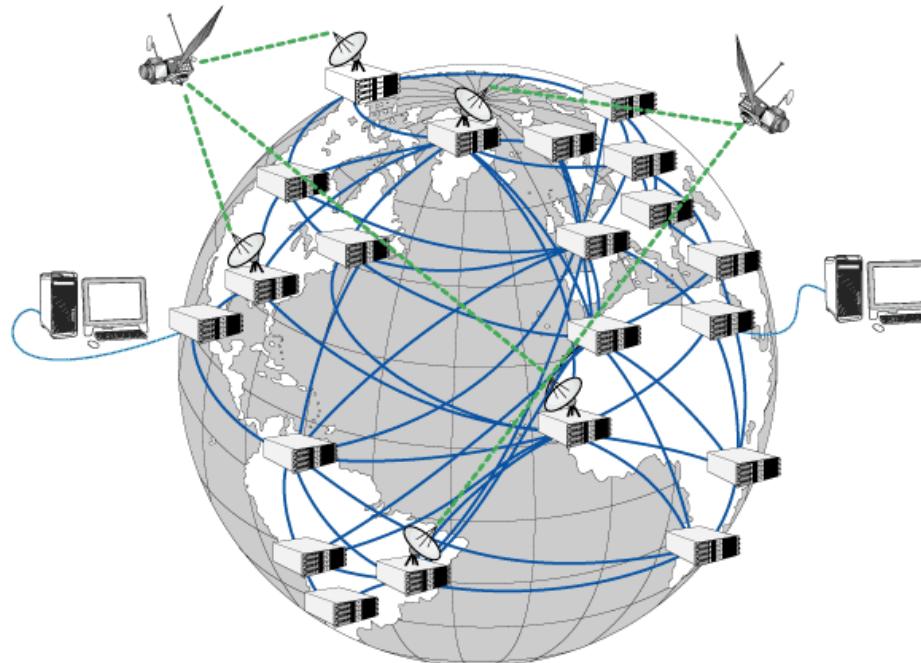
- Le réseau peut être
 - ***Matériel*** : (comme le réseau électrique, le réseau routier, le réseau sanguin),
 - ***Immatériel*** : (comme le réseau social),
 - ***Abstrait, symbolique ou normalisé*** : (comme le réseau de tâches de la méthode PERT)

Introduction – Présentation générale

Qu'est ce qu'un réseau?

Ensemble de nœuds interconnectés permettant l'acheminement de l'information

=> Système permettant d'écouler de l'information; on parlera de transmission de l'information et de communication.



Introduction – Présentation générale

Ensemble de nœuds interconnectés permettant
l'acheminement de l'information

Quels sont ces nœuds ?

Comment s'interconnectent-ils ?

Qu'est-ce que l'information ?

Comment est-elle acheminée/transportée ?

...

Notions utiles à l'apprentissage des réseaux:

Architecture

Protocoles

Données

Modèles

Technologies

Topologies

Types de réseaux

Services

Introduction – Présentation générale

Quels sont ces nœuds ?

- Hôtes (Terminals)

- Exécutent des applications (Web, email, etc)
- Génèrent de l'information ou utilisent l'information générée par d'autres

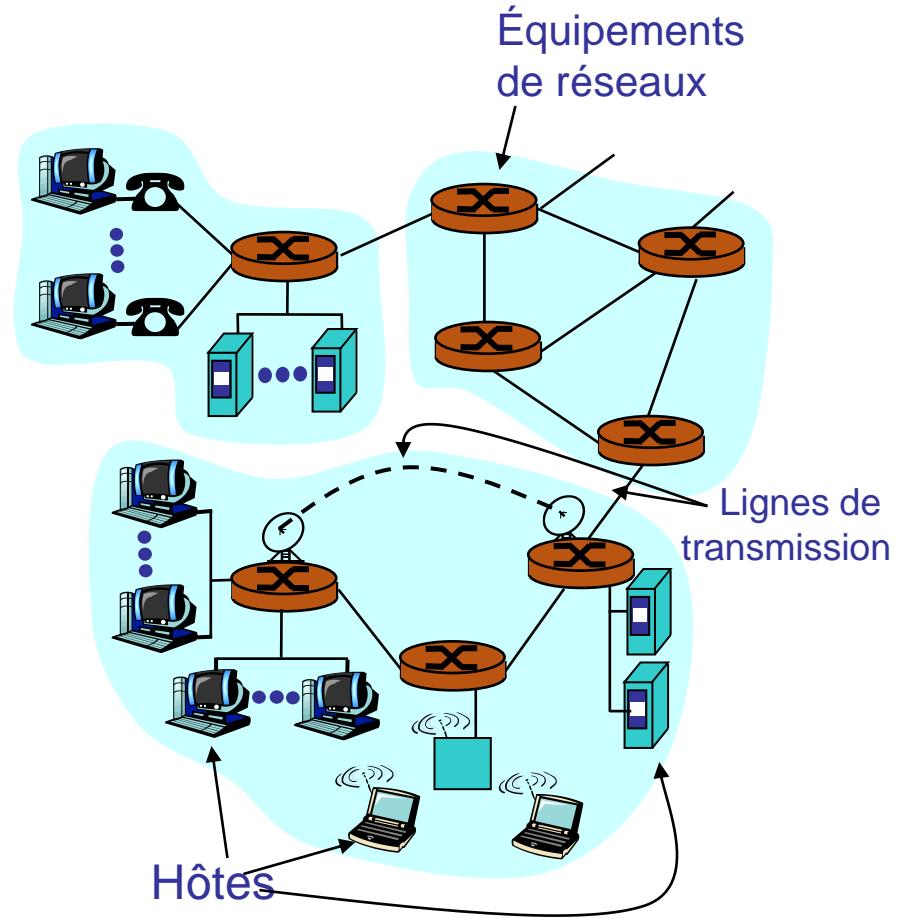
- Équipements de réseaux

- Acheminent l'information
- Assurent des fonctionnalités spécifiques

Comment s'interconnectent-ils ?

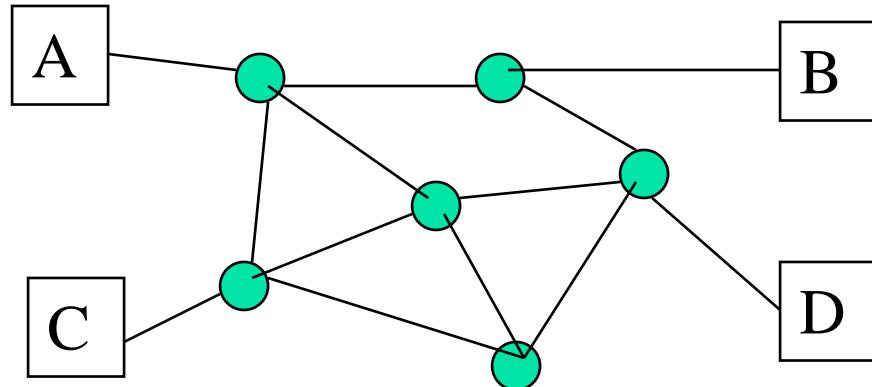
- Lignes de transmission

- Transportent l'information d'un nœud à un autre
- Câble en cuivre, fibre optique, ondes radio, ondes infrarouges



Introduction – Présentation générale

La vocation d'un réseau de communication est de **transporter des informations** d'un point A émetteur au point B récepteur sous forme électrique, lumineuse ou autre, en les détériorant le moins possible.



=> L'ensemble de ressources formant un réseau permet la **transmission de données** et offre des **services** aux utilisateurs

Introduction – Présentation générale

Quels sont les services réseaux couramment utilisés ?

- Le courrier électronique,
- Le transfert de fichiers,
- L'accès à distance,
- L'accès au World Wide Web,
- Les services utilisant le Web (documentation, commerce électronique, etc.)

Introduction – Présentation générale

Qu'est ce que l'information?

Information = données



Données discrètes: suite d'éléments appartenant à un ensemble dénombrable

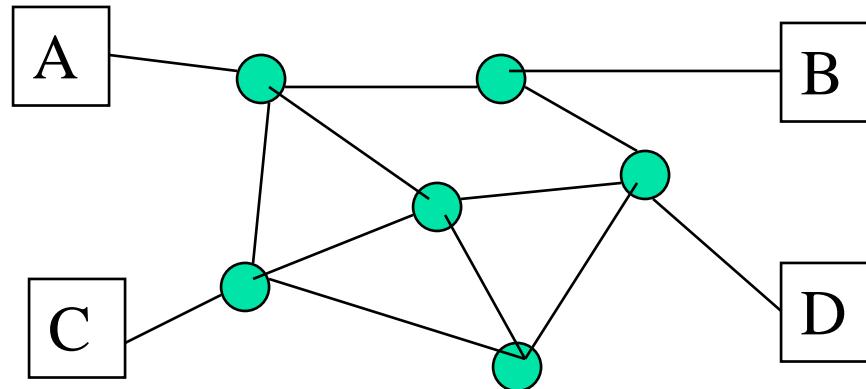
Données continues: éléments résultant de la variation continue d'un phénomène physique

Aujourd'hui,

=> Représentation de l'information (données) sous forme **numérique** (format binaire {0,1})

Introduction – Présentation générale

Comment l'information est-elle acheminée/transportée?



Au travers des lignes de transmission!

Sous différents formats (messages, paquets, cellules, ...)

ET en suivant des règles données => PROTOCOLES

Introduction – Présentation générale

Quels sont les objectifs des réseaux ?

1. Le partage des ressources du réseau :

- **Logique** : Les fichiers et Les applications
- **Physique** : Les périphériques comme des imprimantes, un scanner, un modem

2. La communication entre les membres du réseau :

- La messagerie interne ou externe
- L'accès à Internet
- L'accès à distance au réseau et à ses ressources

3. Le travail en groupe :

- La synchronisation des agendas, des notes de service
- Le suivie des différentes versions d'un même projet
- Le travail interactif entre les membres d'une même équipe

■ Concepts généraux:

- Introduction
- **Historique**
- Types de réseaux
- Architecture des réseaux
- Normalisation
- Couche physique

Historique – Avènement des réseaux

Avènement des réseaux:

- **Besoin:** transport d'information, partage de ressources, communication
- **1^{ère} révolution:** automatisation du transport des données (réseaux cablés, ondes, fibres optiques)
- **2^e révolution:** numérisation (ajout de services)
- **3^e révolution:** convergence des réseaux et services

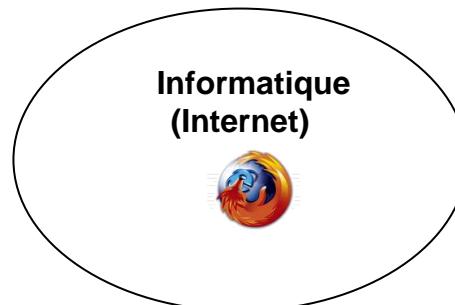
Historique – Avènement des réseaux

Familles de réseaux:



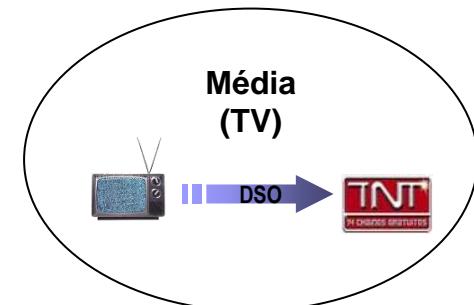
Services de Communications
1<->1

RTC, RNIS, ADSL, GSM, UMTS



Services de traitement/échange de données
N<->N

IP, Eth, WLAN, WMAN



Services de Diffusion
1->N

Analog, DVB-T/S/C/H

- Monde des Telecoms évolue grâce au passage au numérique
- Monde des Telecoms et de l’Informatique ont vite convergé autour de l’Internet:
 - Accès établi par les opérateurs télécom (modem RTC, ADSL)
 - Utilisation possible au travers des équipements informatiques (PC)
- Monde des diffuseurs média évolue grâce au passage au numérique
- Monde de l’Informatique a englobé les services du monde des Médias :
 - Codages, décodages des flux audio/video (MPEG)
 - Diffusion (VOD, IPTV)
- Future génération des réseaux : convergence autour d’IP
- => Offres Triple/Quadruple Play des opérateurs

Historique – Le passage au tout-numérique

Le numérique:

Lancé par l'informatique:

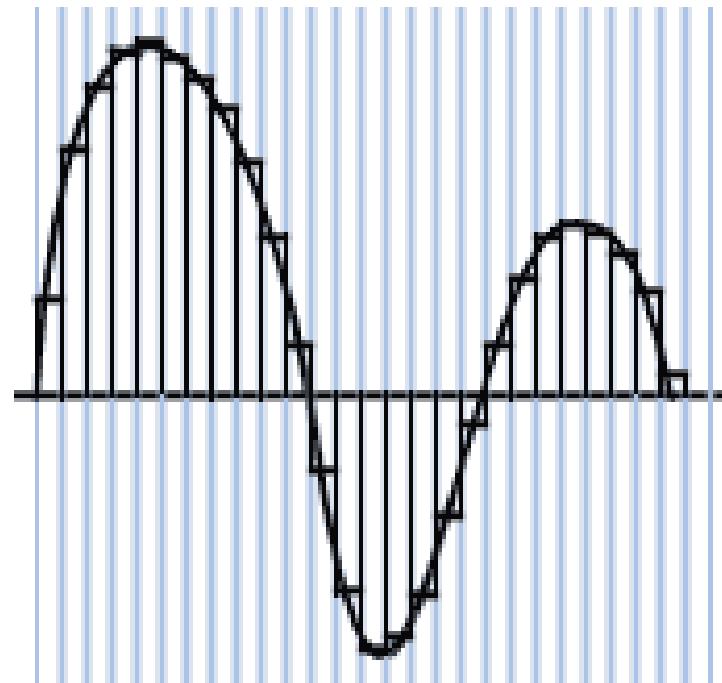
1. Information numérique
 - Série d'octets (de bits) représentant une information
 - Photos, disques, documents, ...
2. Supports de stockage numériques
 - Disque dur, mémoire flash
3. Transport numérique
 - Signal numérique entre appareils numériques

=> fusion d'appareils et de fonctionnalités différents

Historique – Le passage au tout-numérique

Caractéristiques du numérique:

- Numérisation (analogique->numérique):
 - Echantillonnage
 - Quantification
- Qualité du signal numérique dépend:
 - Taux d'échantillonnage
 - Résolution
- Théorème de Shannon



Historique – Le passage au tout-numérique

Convertisseurs analogiques numériques:

- Les cartes d'acquisition vidéo
- Les scanners
- Les cartes de capture sonore (la quasi-totalité des cartes-sons)
- La souris, l'écran et tout mécanisme de pointage
- Les lecteurs (optiques comme le lecteur de CD-ROM, magnétiques comme le disque dur)
- Les modems (à la réception)

Convertisseurs numériques analogiques:

- Les sorties audio des cartes-sons
- Les sorties vidéo
- Les imprimantes
- Les modems (à l'émission)

Historique – Le passage au tout-numérique

Avant 2000: réseaux dédiés au type d'information transmise:

- Voix, données informatiques, télévision

Aujourd'hui, convergence des réseaux dédiés vers un seul réseau (interconnexion de réseaux) pour tout type de données

=> Téléphonie+Internet+Télévision vers mobile ou ADSL

Historique – Le passage au tout-numérique

- Constraintes et techniques pour la téléphonie:
 - Constraintes:
 - Synchronisation en temps-réel;
 - Temps de traversée du réseau borné (300ms)
 - Perte d'information: non critique
 - Techniques:
 - Réservation de ressources sur le chemin (Commutation de circuit – circuit virtuel)
 - Technique non adaptée aux données numériques car taux d'utilisation faible
 - Solution: 1988 ATM, commutation de paquets de petite taille fixe (commutation de cellule)

Historique – Le passage au tout-numérique

- Constraintes et techniques pour les données informatiques:
 - Constraintes:
 - Liées a la taille du réseau
 - Liées aux équipements de réseau
 - Perte d'information critique
 - Techniques:
 - Identification de la liaison entre A et B par une référence, un numéro (commutation de paquets)
 - Identification des paquets par l'adresse de A et l'adresse de B (routage de paquets)

Historique – Le passage au tout-numérique

- Constraintes et techniques pour la télévision:
 - Constraintes:
 - Identique à la téléphonie avec débits + importants
 - Perte d'information non critique
 - Techniques:
 - Réseau dédié
 - Diffusion à un groupe de récepteurs dédiés
 - 1ers réseaux: technologie analogique sur câbles CATV

■ Concepts généraux:

- Introduction
- Historique
- **Types de réseaux**
- Architecture des réseaux
- Normalisation
- Couche physique

Types de réseaux

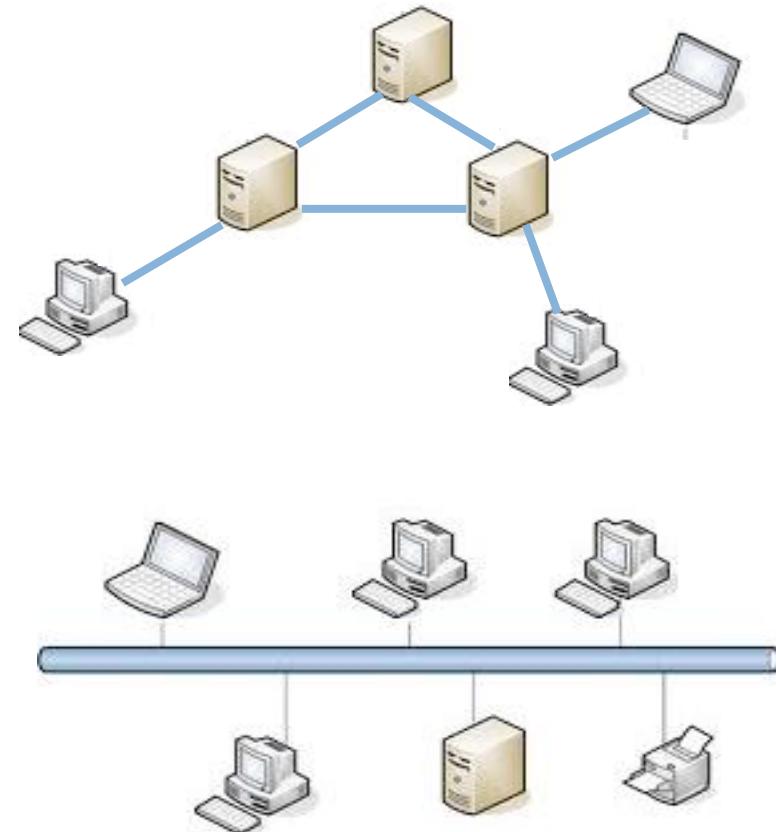
Plusieurs axes pour classifier les réseaux:

- Modes de transmission
- Topologie
- Taille: distance maximale entre les deux points les plus éloignés
- Type de supports de transmission

Types de réseaux – Modes de transmission

- Mode point-à-point:
 - Le support physique ne relie qu'une paire de nœuds

- Mode multipoint (ou à diffusion):
 - Partage du support de transmission entre différents nœuds



Types de réseaux – Topologies

La topologie réseau définit la structure du réseau. C'est la façon de raccorder différentes stations entre elles.

- On distingue deux types de topologies
 - **La topologie physique** : c'est la configuration proprement dite du câblage ou du média
 - **La topologie logique** : elle définit de quelle façon les hôtes accèdent aux médias pour envoyer des données. Aussi la façon dont les données transitent dans les lignes de communication.

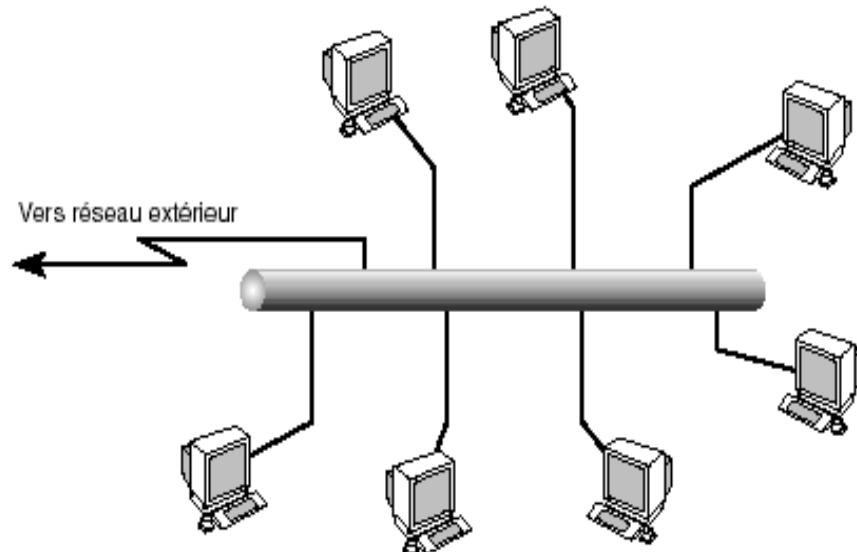
Types de réseaux – Topologies

- Topologies actuelles:
 - Bus
 - Etoile
 - Arbre

- Topologies anciennes:
 - Maillage régulier/irrégulier
 - Anneau (ou boucle)

Types de réseaux – Topologies

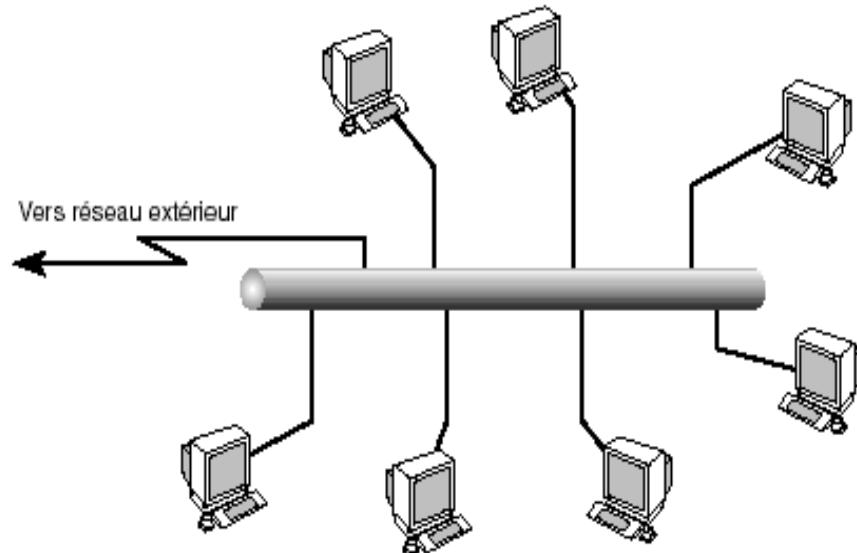
Bus



- Le support est partagé
- Toutes les stations peuvent émettre en même temps
- Le réseau gère les collisions

Types de réseaux – Topologies

Bus



Inconvénients

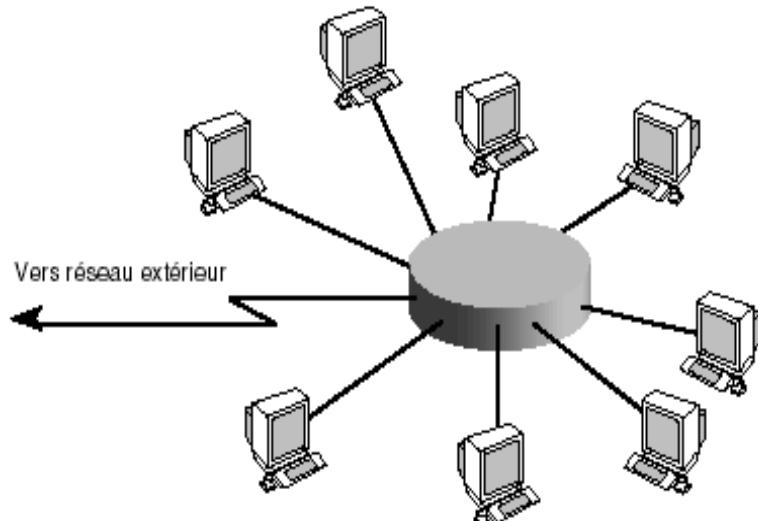
- Topologie peu évolutive
- Si un câble est brisé, il fera planter le réseau

Avantages

- Si une station plante, le réseau ne plantera pas

Types de réseaux – Topologies

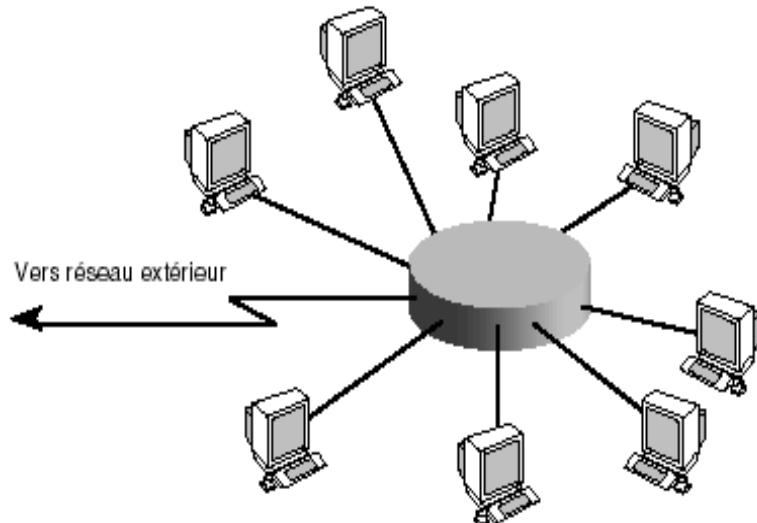
Etoile



- Le nœud gère les conflits
- Chaque station dispose du débit maximum.
- Le nœud donne souvent accès à un serveur.

Types de réseaux – Topologies

Etoile



Inconvénients

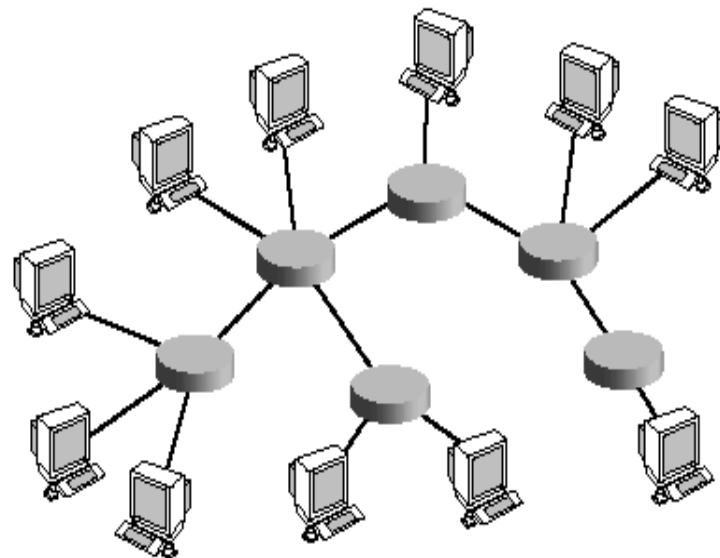
- Si une unité de connectivité lâche, le réseau plantera

Avantages

- Si une station plante, le réseau ne plantera pas
- Si un câble est brisé, le réseau ne plantera pas

Types de réseaux – Topologies

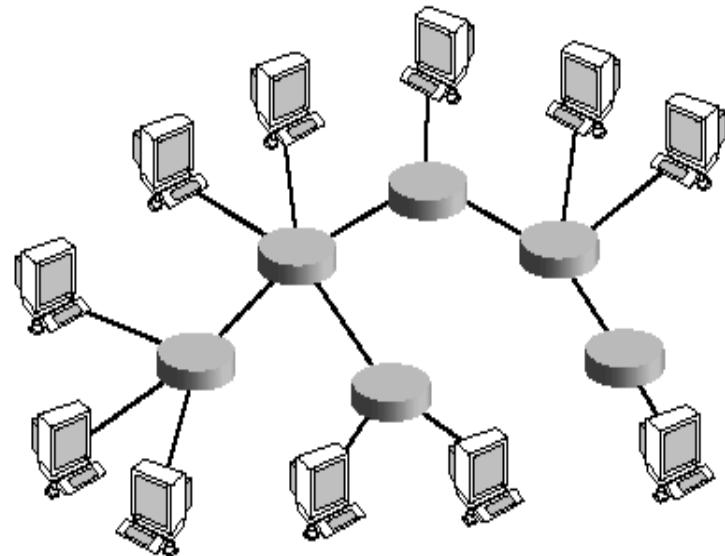
Arbre



- Des étoiles interconnectées
- Le nombre de nœuds peut être limité

Types de réseaux – Topologies

Arbre



Inconvénients

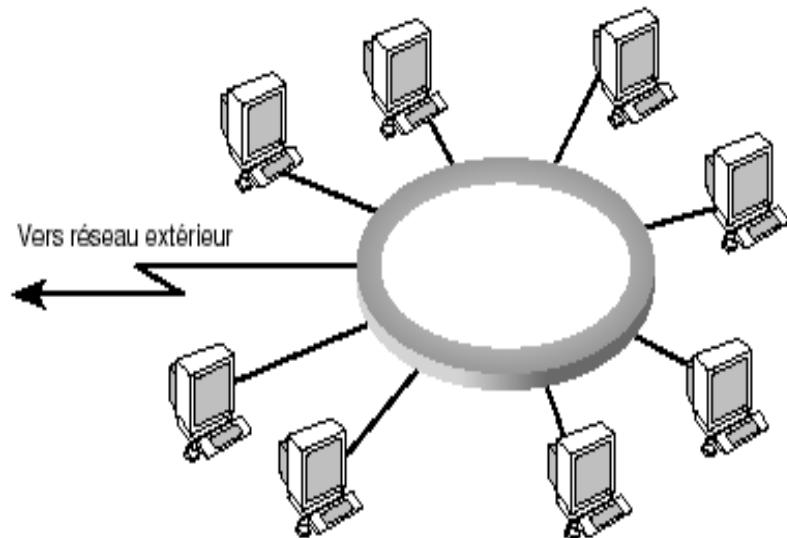
- Paralysie d'une partie du réseau en cas de panne du nœud père de la hiérarchie

Avantages

- Absence de boucle dans la transmission des données

Types de réseaux – Topologies

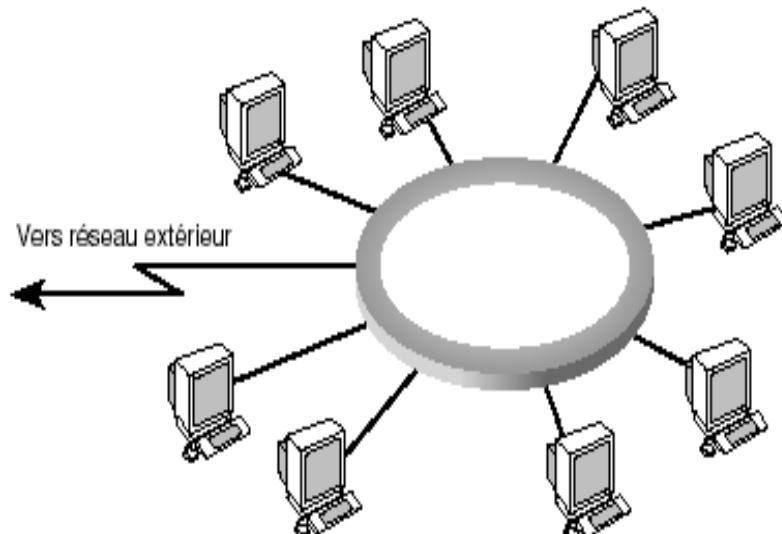
Anneau



- Les stations peuvent émettre lorsqu'elles y sont invitées.
- Les stations se passent la parole à tour de rôle.
- Le débit est à peu près fixe.

Types de réseaux – Topologies

Anneau



Inconvénients

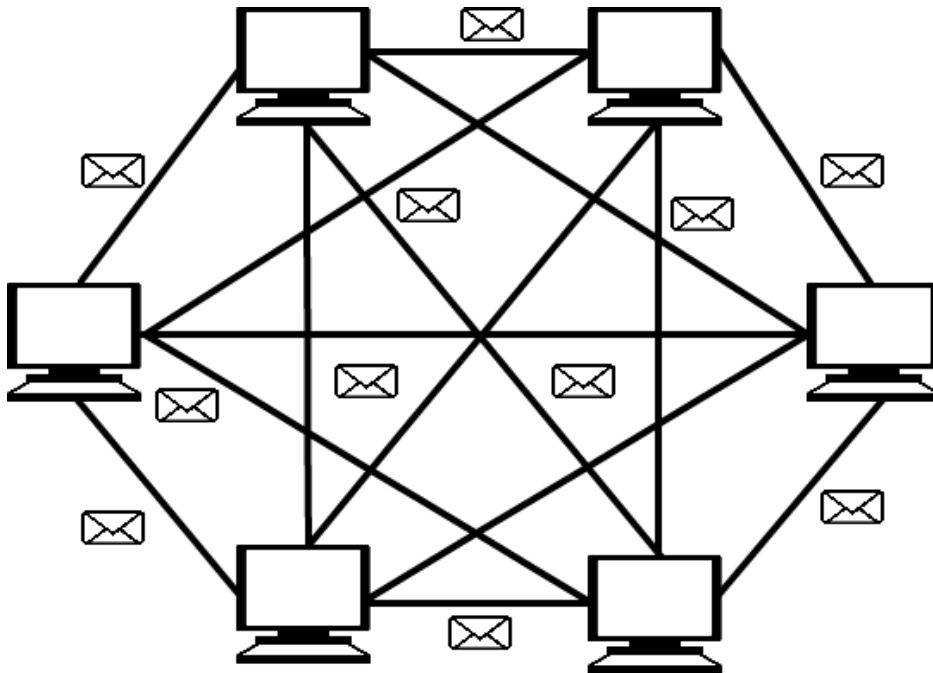
- Si une station plante, le réseau plantera
- Si un câble est brisé, il fera planter le réseau

Avantages

- Topologie évolutive

Types de réseaux – Topologies

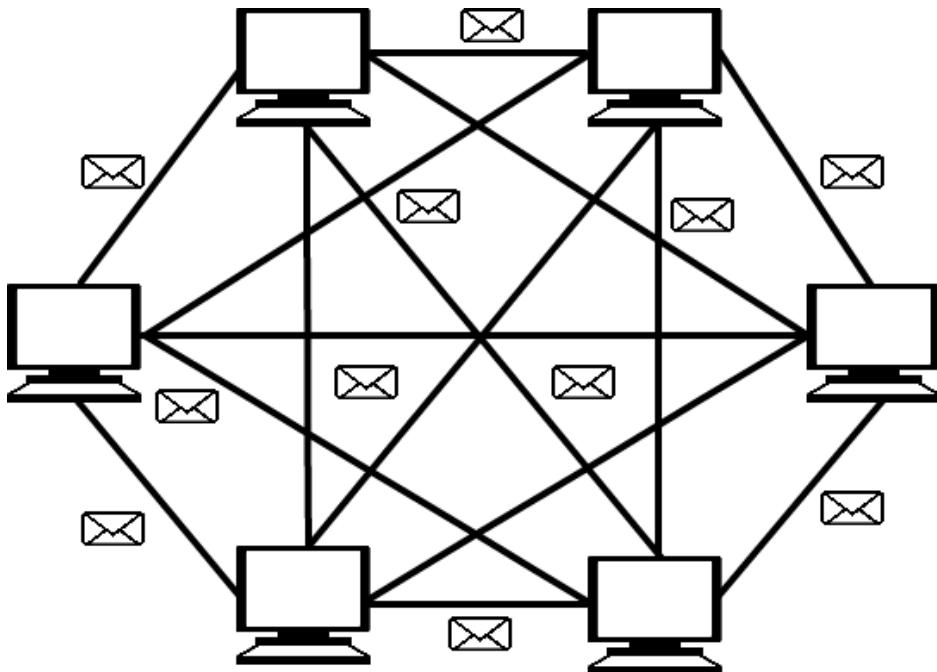
Maillée



- Une topologie de réseau dans laquelle tous les nœuds de réseau sont connectés les uns avec les autres

Types de réseaux – Topologies

Maillée



Inconvénients

- Coût de la mise en œuvre
- Certaines liaisons ne sont pas exploitées

Avantages

- Garantie d'une meilleure stabilité du réseau en cas d'une panne du nœud (Redondance)

Types de réseaux – Topologies & modes

Mode point-à-point:

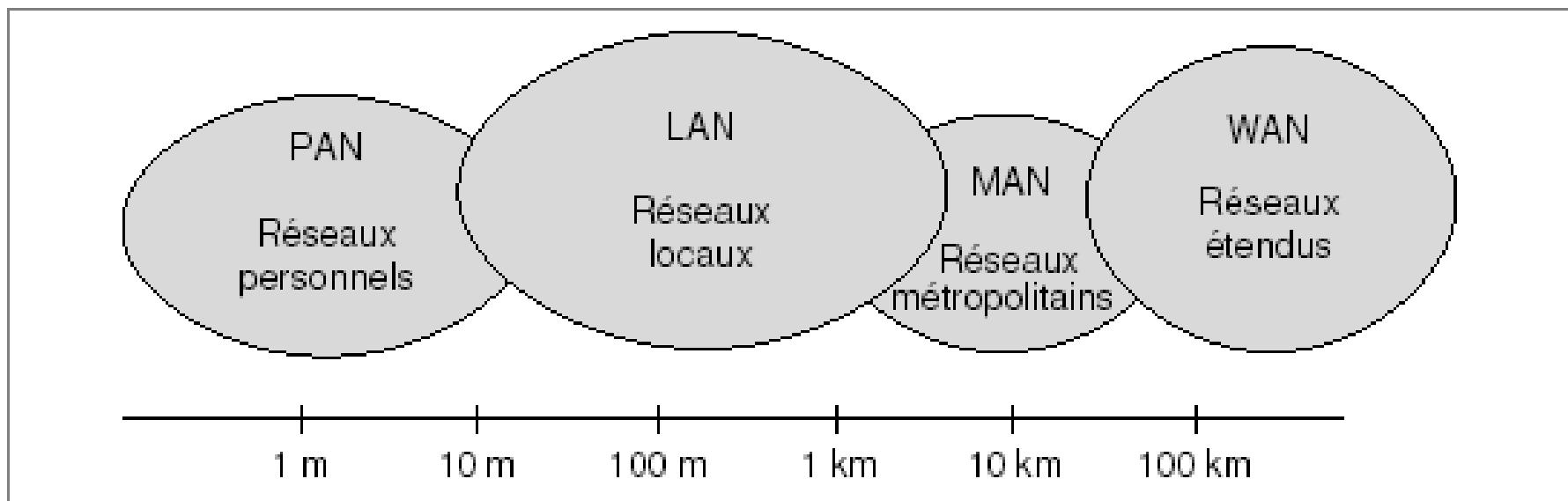
- Nœuds intermédiaires pour relier 2 utilisateurs non directement connectés.
- Etoile : fonctionnement simple mais rupture du nœud central paralyse tout le réseau.
- Anneau simple : fonctionnement simple mais si un élément tombe en panne, alors tout s'arrête (d'où la double boucle).
- Maillage régulier : fiabilité optimale mais pas le coût.
- Maillage irrégulier : coût plus bas mais acheminement plus complexe.

Types de réseaux – Topologies & modes

Mode multipoint:

- Bus
- Message reçu par tous les utilisateurs
 - Adresse placée dans le message : permet à chacun de décider s'il est ou non destinataire du message.
- Un seul utilisateur à la fois:
 - Protocoles spécifiques à chaque architecture: permettent de décider qui transmet et quand.
- Exemples : WiFi, Ethernet partagé.
- Avantage : une panne d'un utilisateur ne provoque pas de panne globale du réseau.

Types de réseaux – Catégories par taille



(BAN: Body Area Network)

PAN : Personal Area Network

LAN : Local Area Network

MAN : Metropolitan Area Network

WAN : Wide Area Network

Types de réseaux – Catégories par taille

Définition et usage d'un LAN

- Les **réseaux locaux informatiques** (en anglais **LAN**, *Local Area Network*) sont destinés aux communications locales, généralement au sein d'une **même entité** (entreprise, administration, etc.), sur de **courtes distances** (quelques kilomètres au maximum).
- **Les réseaux locaux répondent donc à trois besoins majeurs :**
 - 1. Les besoins liés à **l'informatique**
 - 2. Les besoins liés à **l'automatique** (pour les LAN industriels)
 - 3. Les besoins entre les **hommes** (communication et productivité)

Types de réseaux – Catégories par taille

- Les réseaux locaux (LAN) comprennent les éléments suivants:
 - Ordinateurs
 - Cartes réseau
 - Équipements périphériques
 - Médias réseau
 - Équipements de réseau
- Quelques **technologies** de réseau local :
 - Ethernet
 - Token Ring
 - WiFi

Types de réseaux – Catégories par taille

Réseaux Métropolitains (Metropolitan Area Network – MAN)

- Un réseau MAN est un réseau qui s'étend à une zone métropolitaine telle qu'une ville.
- Un réseau MAN comprend habituellement au moins deux réseaux LAN situés dans une zone géographique commune.
- Par exemple, une banque possédant plusieurs agences peut utiliser ce type de réseau.
- En général, on fait appel à un fournisseur de services pour connecter au moins deux sites de réseau local au moyen de lignes de communication privées ou de services optiques.

Types de réseaux – Catégories par taille

Réseaux étendus (Wide Area Network – WAN)

- Les réseaux étendus interconnectent des réseaux locaux
- Les réseaux étendus permettent le partage d'ordinateurs, imprimantes et autres équipements raccordés à un LAN situé sur un lieu distant.
- Les réseaux étendus fournissent des communications instantanées à l'intérieur de grandes zones géographiques.
- Quelques technologies courantes liées aux réseaux étendus:
 - Modems
 - RNIS (*Réseau Numérique à Intégration de Services*)
 - DSL (*Digital Subscriber Line*)
 - Frame Relay
 - T1, E1, T3 et E3
 - SONET (*Synchronous Optical Network*)

Types de réseaux – Catégories par Type de support

- **Réseaux filaires**

Un support physique est utilisé pour la transmission

Câble coaxial, paire torsadée, fibre optique, courant électrique.

Ethernet, CPL,...

- **Réseaux sans fil**

Système de transmission sans les contraintes du câblages.

Onde infra-rouge ou onde radio

Infra rouge, bluetooth, WiFi,...

Types de réseaux – Catégories par Type de support

- Réseaux sans fil

- Réseaux personnels sans fil (WPAN): Bluetooth, USB sans fil, INSTEON, ZigBee ou Z-Wave
- Réseaux locaux sans fil (WLAN) : WIFI
- Réseaux métropolitains sans fil (WMAN): *WIMAX (IEEE 802.16)*
- Réseaux étendus sans fil (WWAN) : *GSM, GPRS, EDGE, UMTS, LTE*

- **Concepts généraux:**
 - Introduction
 - Historique
 - Types de réseaux
 - **Architecture des réseaux**
 - Normalisation
 - Couche physique

Architecture des réseaux - Objectifs

- **Objectif des réseaux:** permettre à des applications de s'échanger des informations sans avoir à tenir compte de l'hétérogénéité des moyens et procédés de transmission.
=> Taches complexes pour implémenter les fonctionnalités nécessaires au fonctionnement du réseau
- Mise en oeuvre :
 - Adapter la technologie au support
 - Masquer les phénomènes altérant la transmission
 - Maintenir la qualité demandée
 - Offrir l'interopérabilité
 - Optimiser l'utilisation des ressources
 - Assurer la pérennité des choix

Architecture des réseaux

- Modèle repose sur trois principes importants:
 - Les couches ;
 - Les protocoles ;
 - Les interfaces

Architecture des réseaux - Couches

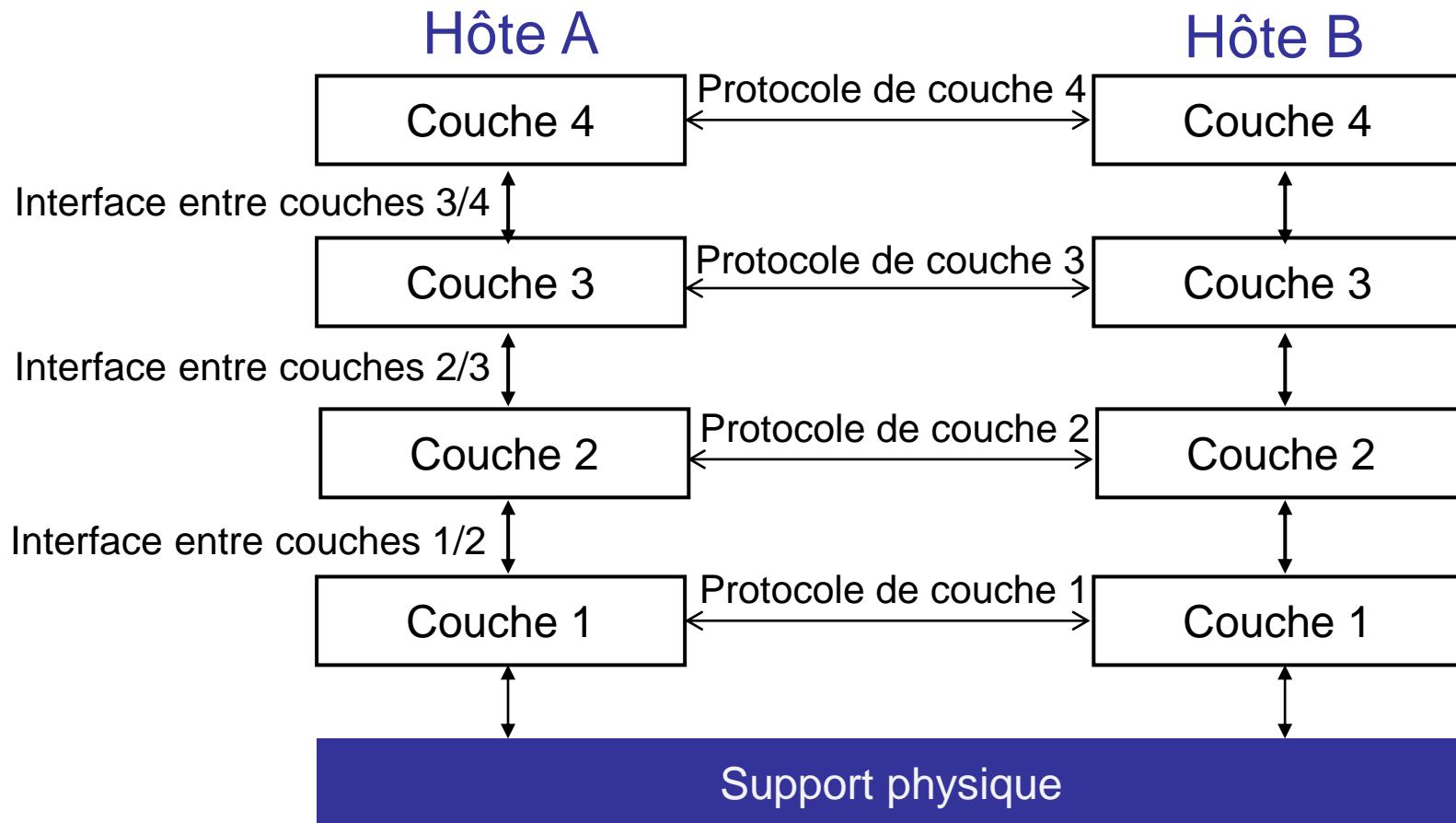
- Modèle en couches
- **Une couche = une fonction**
- Minimisation des flux d'information entre les couches
- Optimisation du nombre de couches

=> Réduction de la complexité de description, de conception,
et de gestion des réseaux

Architecture des réseaux – Protocole

- Un **protocole** est une convention acceptée entre deux éléments d'une couche sur la façon dont leur dialogue doit prendre place
 - Format des messages
 - Action à faire à la réception/transmission des messages
- Un protocole de la couche i est distribué parmi les entités (hôtes et équipements de réseaux) qui implémentent ce protocole

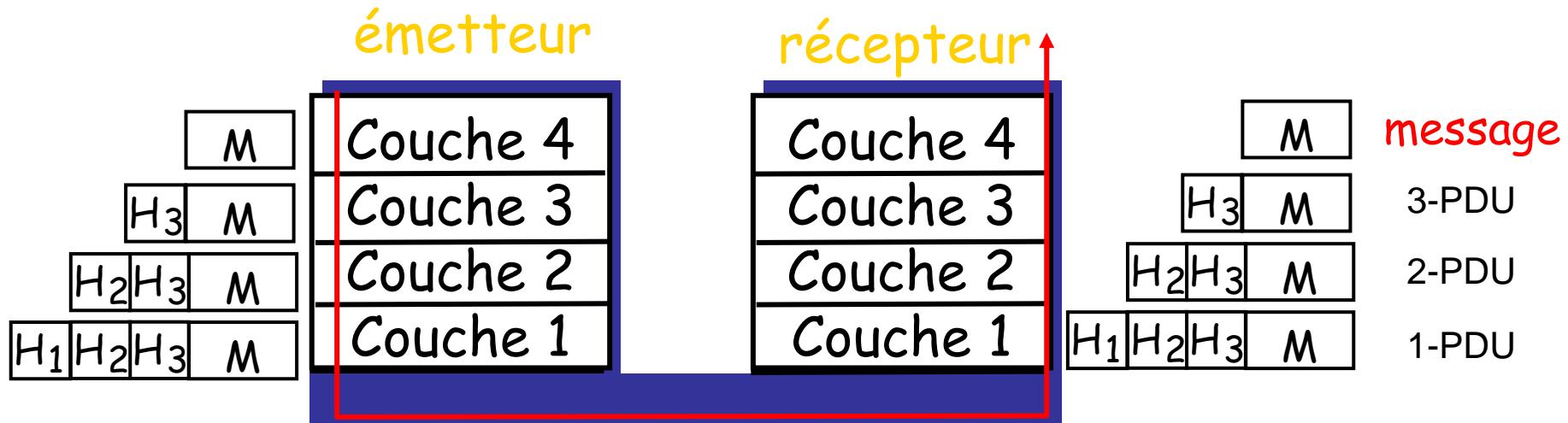
Architecture des réseaux – Vue



Architecture des réseaux – Encapsulation

Encapsulation et Protocol data unit (PDU) :

- Chaque couche reçoit des données (en forme de message) par la couche immédiatement supérieure
- Ajoute un **en-tête** (information de contrôle)
- Passe le nouveau message à la couche immédiatement inférieure \Rightarrow le message de la couche supérieure a été encapsulé dans ce message



Architecture des réseaux – Modèle OSI

- Le modèle de référence OSI (Open System Interconnection) publié en 1984 est le modèle descriptif de réseau créé par l'ISO
- Ce modèle propose aux fournisseurs un ensemble de normes assurant une compatibilité et une interopérabilité accrues entre divers types de technologies réseau produites par de nombreuses entreprises à travers le monde

Architecture des réseaux – Modèle OSI

- Modèle en 7 couches
- Décomposition du problème de la transmission sur un réseau ouvert en sous problèmes plus simples
- Chaque couche définit des **fonctionnalités** réalisées par un **protocole** associé
- Chaque couche rend un **service** à la couche supérieure
- Chaque couche utilise les informations de la couche inférieure pour réaliser sa fonction
- Pour fournir un service, la couche inférieure utilise **l'encapsulation** pour placer les **Protocol Data Unit (PDUs)** de la couche supérieure dans son champ de données

Architecture des réseaux – Modèle OSI

Les 7 couches du modèle OSI

7.Application

6.Présentation

5.Session

4.Transport

3.Réseau

2.Liaison

1.Physique

Architecture des réseaux – Modèle OSI

Couches basses

7.Application

6.Présentation

5.Session

4.Transport

3.Réseau

2.Liaison

1.Physique

- La couche physique :
 - Adapter les informations au support physique
 - Déplacer des bits
- Composants fonctionnant au niveau physique:
 - Câbles et connecteurs d'interfaces
 - Modems
 - Hubs

Architecture des réseaux – Modèle OSI

Couches basses

7.Application

6.Présentation

5.Session

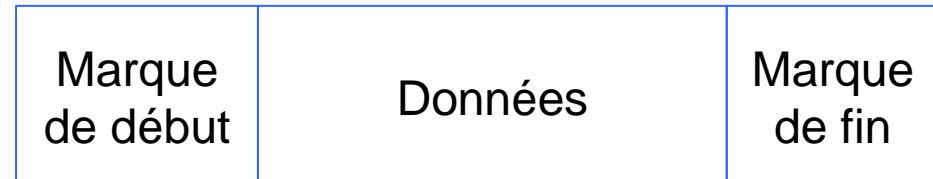
4.Transport

3.Réseau

2.Liaison

1.Physique

- La couche Liaison :
 - Transmettre l'information sous forme de trame entre deux nœuds du réseau
 - Une trame = une suite de bits
 - Déetecter des erreurs (et si possible corriger)
 - Adressage physique (Adresse MAC)
 - Trame type :



Architecture des réseaux – Modèle OSI

Couches moyennes

7.Application

6.Présentation

5.Session

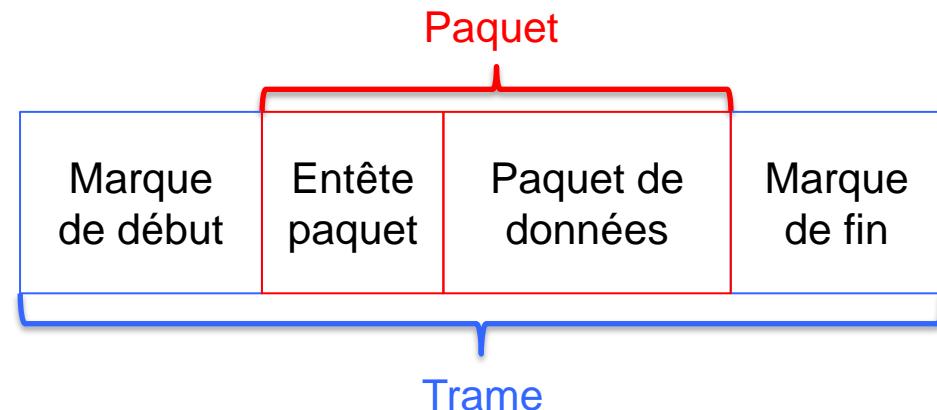
4.Transport

3.Réseau

2.Liaison

1.Physique

- La couche Réseau :
 - Acheminer les données dans le réseau sous la forme de paquet
 - Un paquet est véhiculé par une trame sur chaque liaison du réseau



Architecture des réseaux – Modèle OSI

Couches moyennes

7.Application

6.Présentation

5.Session

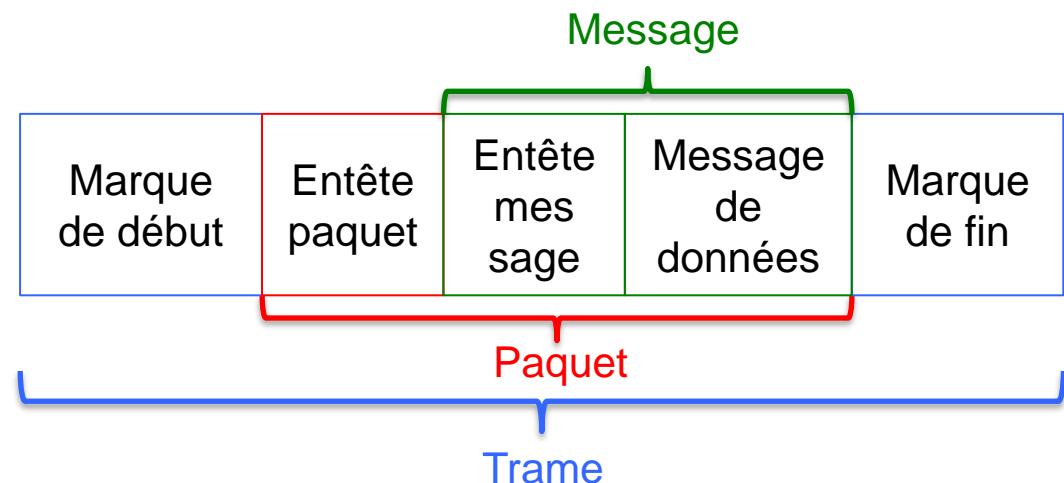
4.Transport

3.Réseau

2.Liaison

1.Physique

- La couche Transport :
 - Gérer le multiplexage de bout en bout
 - Faire du contrôle d'erreur
 - Intervient la notion de port



Architecture des réseaux – Modèle OSI

Couches hautes

7.Application

6.Présentation

5.Session

4.Transport

3.Réseau

2.Liaison

1.Physique

- La couche Session :
 - Gérer la session réseau entre deux utilisateurs
 - S'assurer de la présence de l'hôte distant avant d'envoyer des données
 - Points de reprise pour reprendre la session en cours

Architecture des réseaux – Modèle OSI

Couches hautes

7.Application

6.Présentation

5.Session

4.Transport

3.Réseau

2.Liaison

1.Physique

- La couche Présentation :
 - Convertir les données binaires en objets
 - L'application manipule des objets (texte, image, son ...), la syntaxe de ces objets est propre à chaque système
 - Dans un environnement hétérogène, cette couche est primordiale pour mettre en forme les données
 - Gère le chiffrement et déchiffrement des données,

Architecture des réseaux – Modèle OSI

Couches hautes

7.Application

6.Présentation

5.Session

4.Transport

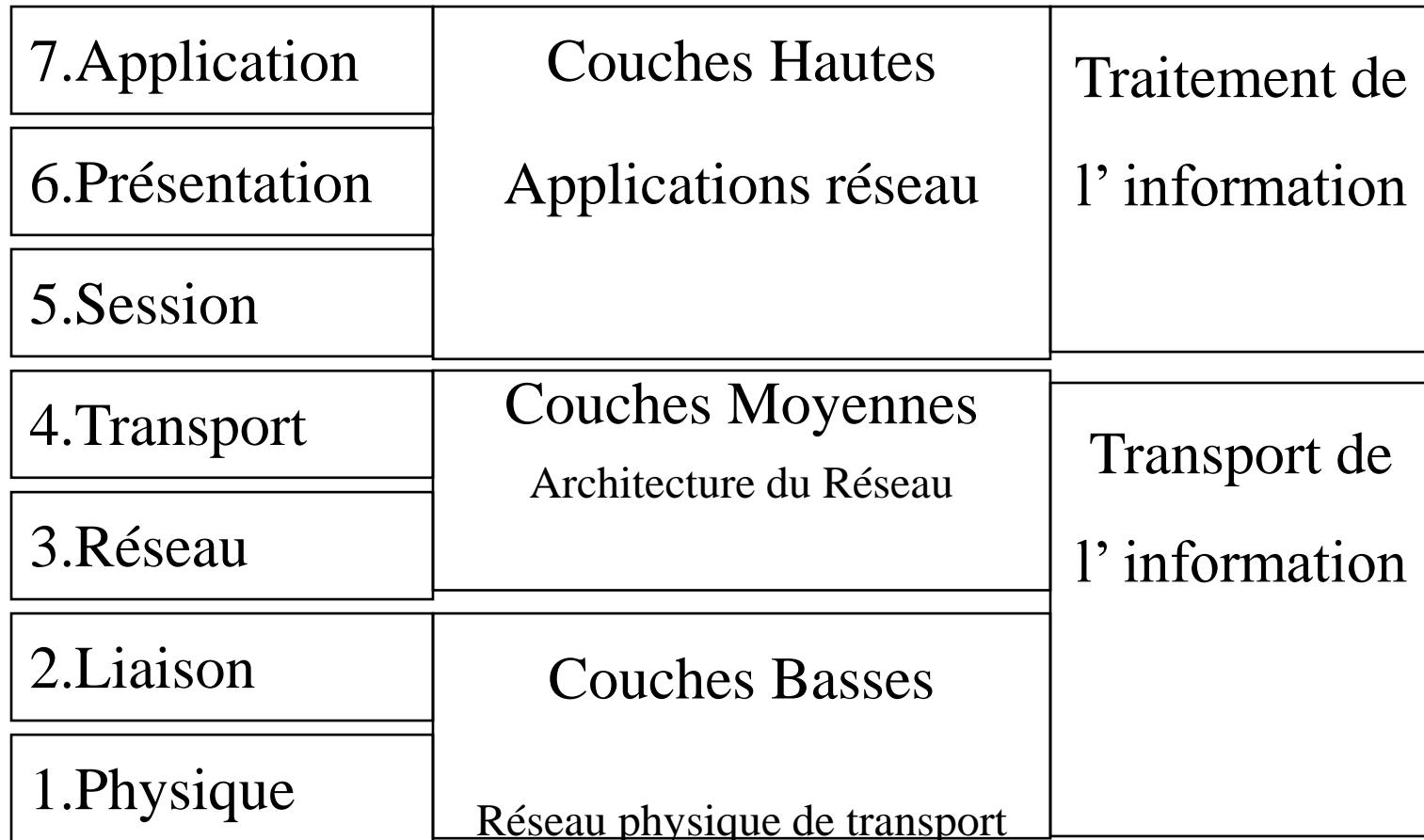
3.Réseau

2.Liaison

1.Physique

- La couche Application :
 - Point d'accès aux services réseaux
 - Gérer la sémantique de la transaction
 - Définir tout type de protocoles utilisés dans les programmes en réseaux :
 - Messagerie électronique
 - Transfert de fichier
 - Partage de ressources
 - Web
 - ...

Architecture des réseaux – Modèle OSI



Architecture des réseaux – Modèle OSI

Conversation OSI

Hôte A

7.Application

6.Présentation

5.Session

4.Transport

3.Réseau

2.Liaison

1.Physique

Hôte B

7.Application

6.Présentation

5.Session

4.Transport

3.Réseau

2.Liaison

1.Physique

Équipement de réseau (niveau 3)

3.Réseau

2.Liaison

1.Physique

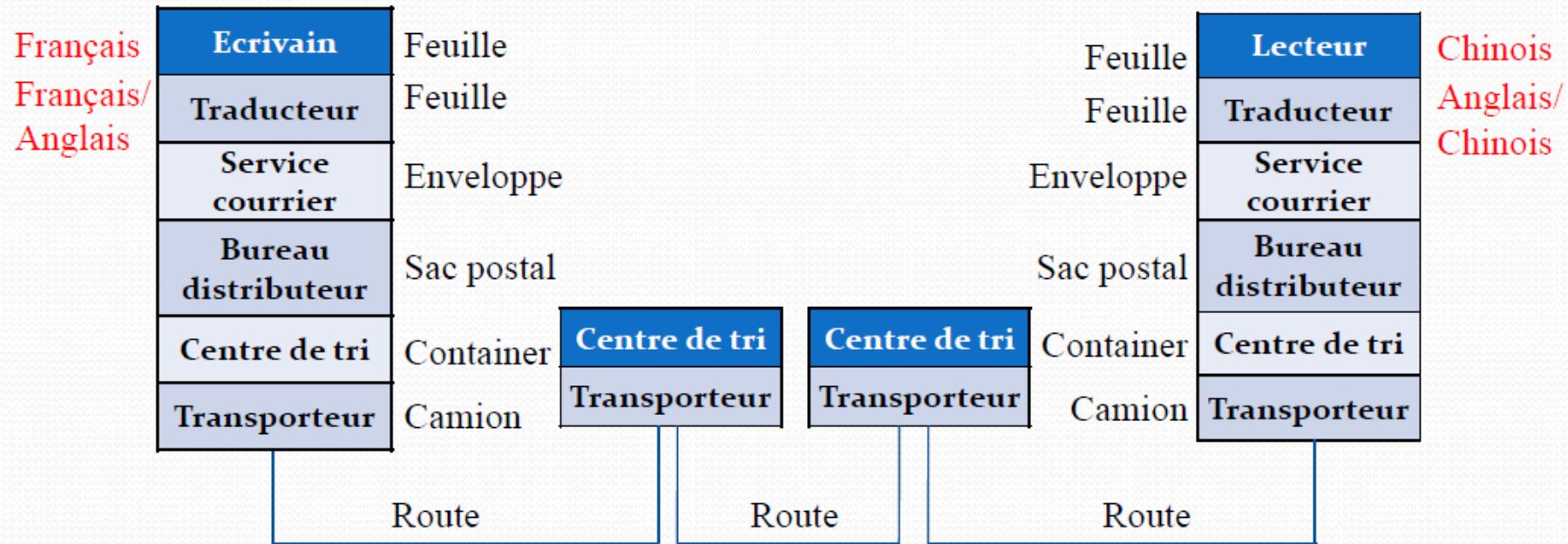
3.Réseau

2.Liaison

1.Physique

Architecture des réseaux – Modèle OSI

Exemple



Architecture des réseaux – modèle OSI

Mode connecté ou non connecté

- Avec connexion:
 - Dialogue en 3 phases (établissement, transfert, terminaison)
 - Réservation de ressources
 - Messages: contiennent des informations interprétables que par la connaissance du contexte
 - Ex: PPP, TCP
- Sans connexion:
 - Entités homologues qui savent à priori quelles sont les possibilités de communications existantes
 - Messages auto-suffisants
 - Ex: IP, UDP

Architecture des réseaux – modèle OSI

- Mode avec connexion: accord entre l'émetteur et le récepteur sur des règles de communication
 - Ex: TCP, X25
- Mode sans connexion: envoi de blocs de données, des datagrammes, sans vérifier si le récepteur ou les nœuds intermédiaires actifs
 - Ex: IP, UDP

Architecture des réseaux – modèle OSI

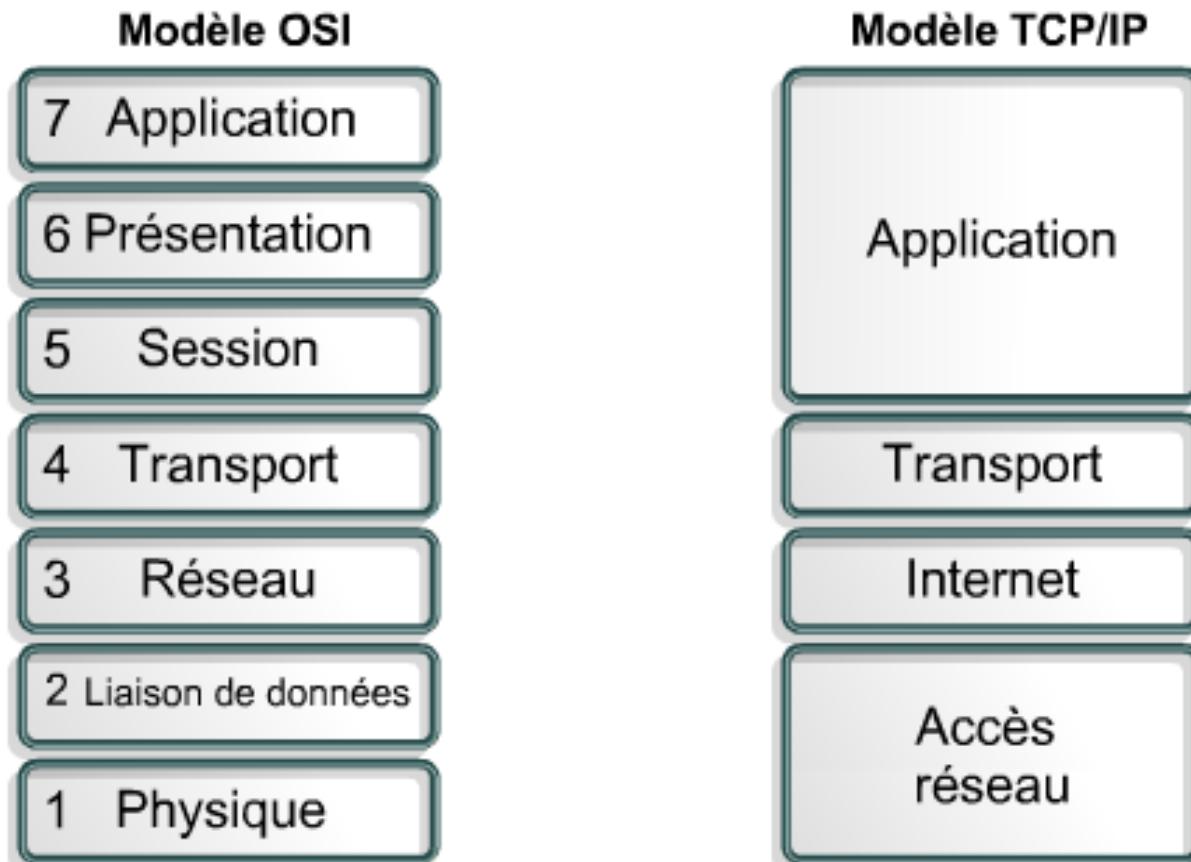
- Mode avec connexion:
 - Scénario identique pour toutes les communications:
 - Etablissement de la connexion (test de disponibilité, négociation QoS): mise en place du circuit entre les 2 entités (physiques ou virtuelles)
 - Envoi des données
 - Libération de la connexion
 - Avantage:
 - Qualité du transfert
 - Connaissance de l'état
 - Inconvénients:
 - Etablissement lourd même pour peu d'information
 - Diffusion difficile
 - Exemple: Téléphone

Architecture des réseaux – modèle OSI

- Mode sans connexion:
 - Scénario:
 - Envoi des données
 - Avantages:
 - + souple pour chacun
 - + rapide
 - + optimisé en termes de données utiles
 - Inconvénients:
 - + contraignant pour l'ensemble (gestion de réseau)
 - aucune qualité de service possible
 - Ex: service postal

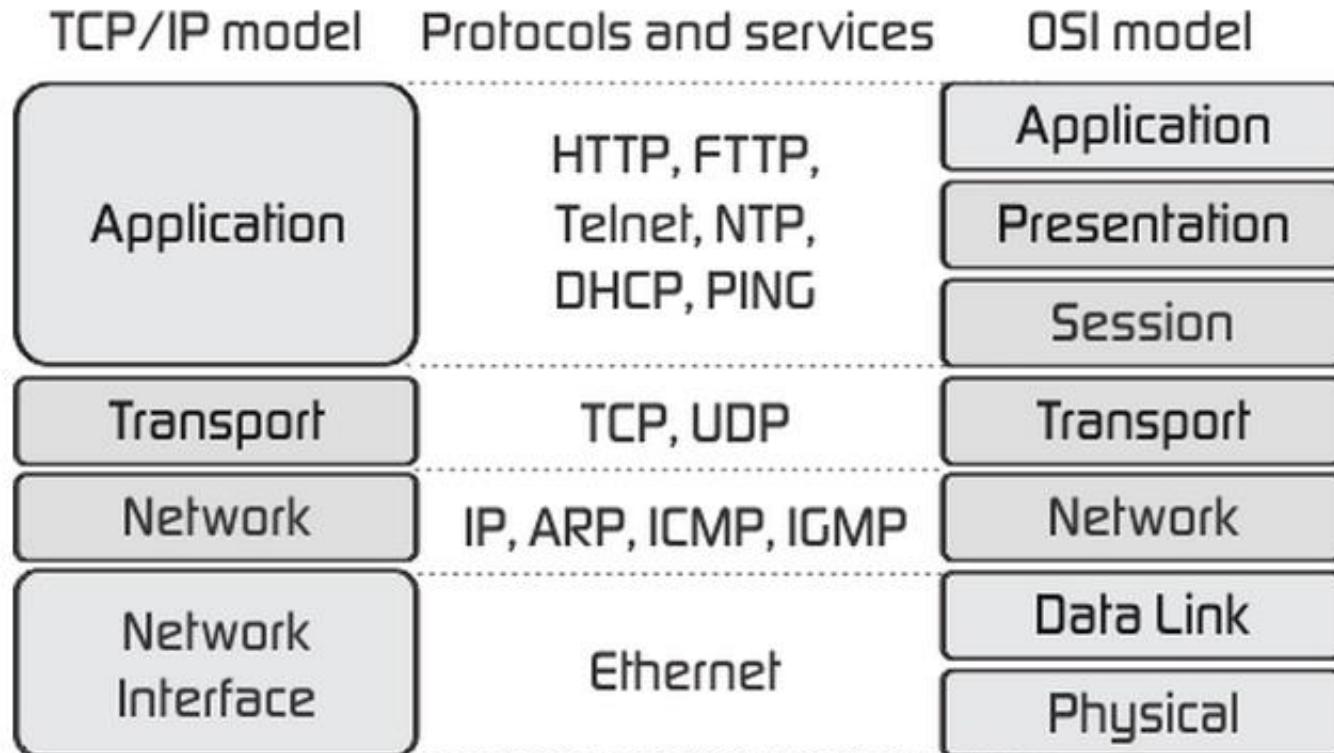
Architecture des réseaux – comparaison modèles

Comparaison modèle OSI/modèle TCP/IP



Architecture des réseaux – comparaison modèles

Comparaison modèle OSI/modèle TCP/IP



Architecture des réseaux – comparaison modèles

- Origine modèle TCP/IP: interconnexion de réseaux hétérogènes
- Architecture du réseau Internet
- IP (Internet Protocol) niveau 3 OSI: transmission de paquets en mode non connecté
- TCP (Transport Control Protocol) niveau 4 OSI: protocole fiable orienté connexion
- UDP (User Datagram Protocol) niveau 4 OSI: protocole sans connexion, non fiable
- Applications:
 - Accès terminal distant (Telnet)
 - Transfert de fichiers (FTP)
 - Serveur de messagerie (SMTP, POP3)
 - Navigation Web (http)

TELNET	FTP	SMTP	
	TCP		UDP
		IP	

Architecture des réseaux – comparaison modèles

Comparaison modèle OSI/modèle TCP/IP

- Les différences sont les suivantes:
 - TCP/IP intègre la couche présentation et la couche session dans sa couche application.
 - TCP/IP regroupe la couche physique et la couche liaison de données du modèle OSI dans la couche d'accès réseau.
 - TCP/IP paraît plus simple, car il comporte moins de couches.
 - Les protocoles TCP/IP constituent la norme sur laquelle s'est développé Internet. Aussi, le modèle TCP/IP a-t-il bâti sa réputation sur ses protocoles. En revanche, les réseaux ne sont généralement pas architecturés autour du protocole OSI, même si le modèle OSI puisse être utilisé comme guide.

Architecture des réseaux – comparaison modèles

- Bien que les protocoles TCP/IP constituent les normes sur lesquelles repose Internet
- Le modèle OSI est une norme générique et indépendante du protocole
- Le modèle OSI comporte davantage de détails, ce qui le rend plus utile pour l'enseignement et l'étude
- Remarques :
 - L'opinion de nombreux professionnels des réseaux diffère quant au modèle à utiliser. En raison des tendances de l'industrie, il est nécessaire de se familiariser avec les deux. Tout au long de ce cursus, il sera fait référence aux modèles OSI et TCP/IP. L'accent sera mis sur les points suivants:
 - TCP et UDP en tant que protocoles de couche 4 OSI
 - IP en tant que protocole de couche 3 OSI
 - Ethernet en tant que technologie de couche 2 et de couche 1

■ Concepts généraux:

- Introduction
- Historique
- Types de réseaux
- Architecture des réseaux
- **Normalisation**
- Couche physique

Normalisation

- Objectif: compatibilité des protocoles et des équipements
- 1947: ISO (International Standardisation Organisation)
- < 80/90: standards développés par les opérateurs nationaux
- Depuis: harmonisation (mondialisation), facteur essentiel du développement des télécommunications
- Facteurs: progrès techniques (numérisation, commutation, intégration), complexité et dynamique du milieu, nécessité d'établir des règles communes
- Renforcement de la tendance avec la déréglementation et la disparition progressive des monopoles

Normalisation

- Evolution:
 - Normalisation aujourd'hui: activité stratégique
 - Préparation des standards et normes en amont des organismes de normalisation
- Ex:
 - 3GPP pour la 3G
 - DVB pour la diffusion
 - WiFi pour les réseaux locaux sans-fil
 - WiMax pour l'accès haut débit sans-fil
 - IEEE pour les technologies d'accès au support
 - IETF pour les technologies réseau et transport

Normalisation

- Organismes de normalisation
- Telecom:
 - UIT-T (Union Internationale des Telecoms – Télécommunications)
 - UIT-R (Radiocommunications)
 - ETSI (European Telecommunications Standard Institute)
- Internet:
 - IETF (Internet Engineering Task Force)

■ Concepts généraux:

- Introduction
- Historique
- Types de réseaux
- Architecture des réseaux
- Normalisation
- **Couche physique**

La Couche Physique

- Couche Physique
 - **Définitions**
 - Transmission du signal
 - Codage & modulation
 - Multiplexage
 - Supports de transmission

La Couche Physique – Définitions

- La couche physique fournit les moyens mécaniques, électriques, fonctionnels et procéduraux nécessaires à l'activation, au maintien, et à la désactivation des connexions physiques destinées à la transmission de bits entre 2 entités de liaisons de données
- Transmission physique d'un flot de bits d'information d'une machine à une autre

La Couche Physique – Définitions

- La couche physique est responsable de bits au niveau du réseau de transmission entre les nœuds.
- Dans les réseaux de cuivre, la couche physique est chargée de définir des spécifications pour les signaux électriques.
- Dans les réseaux de fibre optique, la couche physique est chargée de définir les caractéristiques des signaux lumineux.
- La couche physique définit des éléments tels que: les types de connecteurs, les types de câbles, des tensions, ...

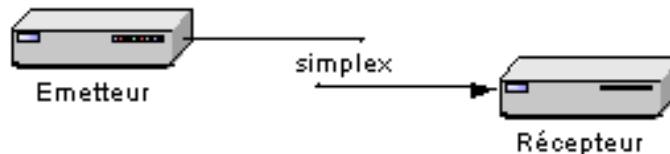
La Couche Physique – Définitions

- Fonctionnalités de la couche physique:
 - Type de signaux émis (modulation, puissance, portée)
 - Nature et caractéristiques des supports de transmission (câble, fibre optique, ...)
 - Procédures de synchronisation
 - Répartition des ressources (multiplexage)
 - Déroulement de la transmission (début, fin)
 - Maintenance, contrôle

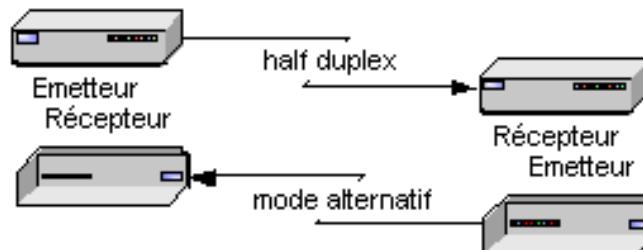
La Couche Physique – Définitions

■ Modes de transmission:

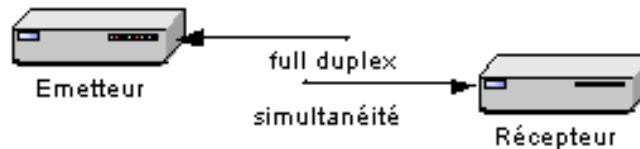
- Simplex: unidirectionnel



- Semi-duplex ou half-duplex: bidirectionnel à l'alternat



- Duplex intégral ou full duplex: bidirectionnel



La Couche Physique

- Couche Physique
 - Définitions
 - **Transmission du signal**
 - Codage & modulation
 - Multiplexage
 - Supports de transmission

La Couche Physique – Transmission du signal

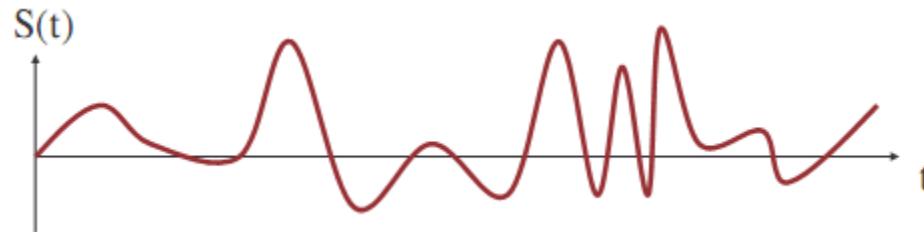
- Comment transmettre des données?
 - Ondes transmises sur un canal
 - Ondes électriques
 - Supports métalliques
 - Ondes radio
 - Canal sans fil
 - Ondes lumineuses
 - Fibre optique
 - Ondes acoustiques
 - Milieu sous-marin
- => Voir cours de « communications numériques »
 - + détails en annexe

La Couche Physique

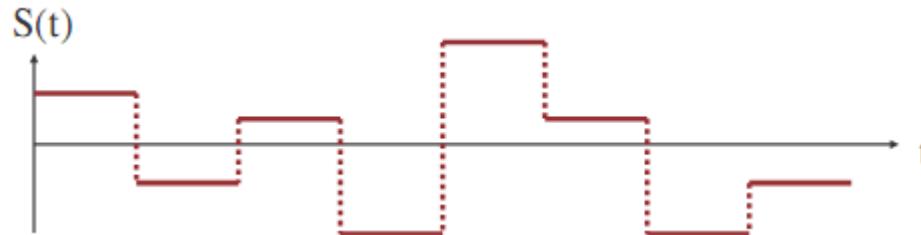
- Couche Physique
 - Définitions
 - Transmission du signal
 - **Codage & modulation**
 - Multiplexage
 - Supports de transmission

La Couche Physique – Codage & modulation

- Un signal analogique est un signal variant de manière continue dans le temps (signal sinusoïdal)



- Un signal numérique est un signal variant de manière discontinue dans le temps



La Couche Physique – Codage & modulation

- Transmission en bande de base
 - Signaux « tout ou rien » (binaires)
 - Pas de décalage de fréquence entre signal informatique et signal transmis
- Transmission en large bande
 - Correspond à une transposition de fréquence
 - Signaux sinusoïdaux (analogiques)
 - Modulation du signal
 - Transposition de fréquence autour de la fréquence de la porteuse

La Couche Physique – Codage & modulation

- Comparaison
- Signaux numériques: transmission en bande de base (baseband)
 - +: très simple et peu couteuse à mettre en place
 - +: naturelle dans le cas de transmission de données
 - -: débits élevés que sur courtes distances
- Signaux analogiques: transmission en large bande (broadband)
 - +: débits élevés sur de longues distances
 - -: complexe et couteuse à mettre en œuvre (transformation complexe du signal)
 - -: non naturelle dans le cas de transmission de données

La Couche Physique – Codage & modulation

Transmission en bande de base

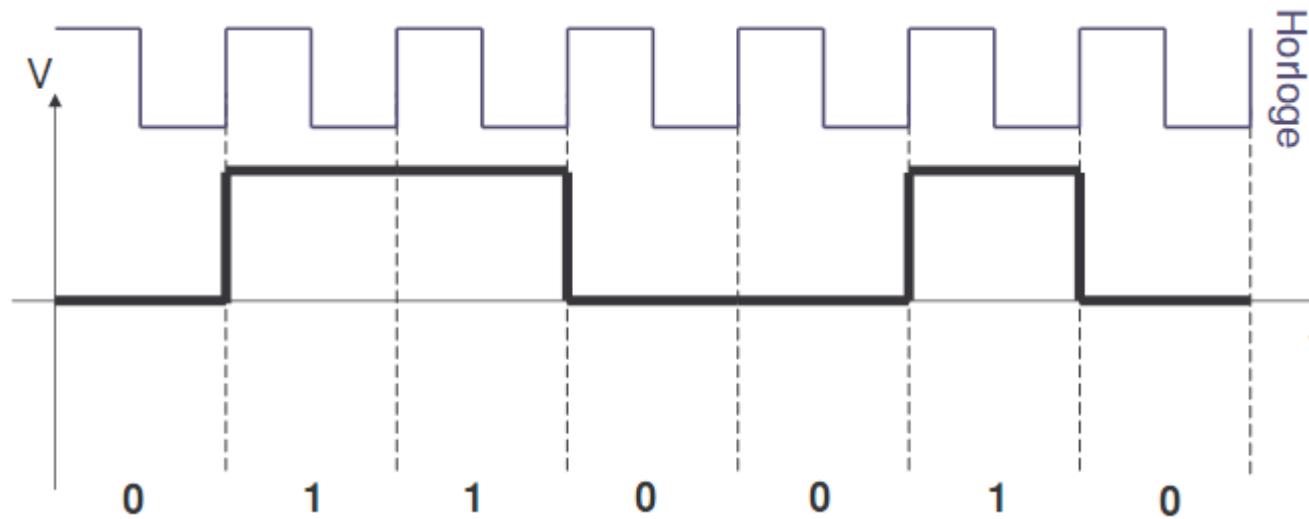
- Transmission synchrone de bits
 - Tous les bits sont transmis calés sur la même horloge
 - La synchronisation se fait en régénérant le signal d'horloge à la réception
 - On peut également utiliser des séquences de synchronization
 - Le signal doit présenter de nombreuses transitions
- Codage en bande de base
 - Choix du tps élémentaire (pour adapter à la bande passante du canal) + choix de la valence (et des états)
 - Grande variété de codages

La Couche Physique – Codage & modulation

Transmission en bande de base

■ Codage Tout-ou rien

- Le signal est transmis tel quel
- Pb: pas de distinction entre 0 et pas de transmission

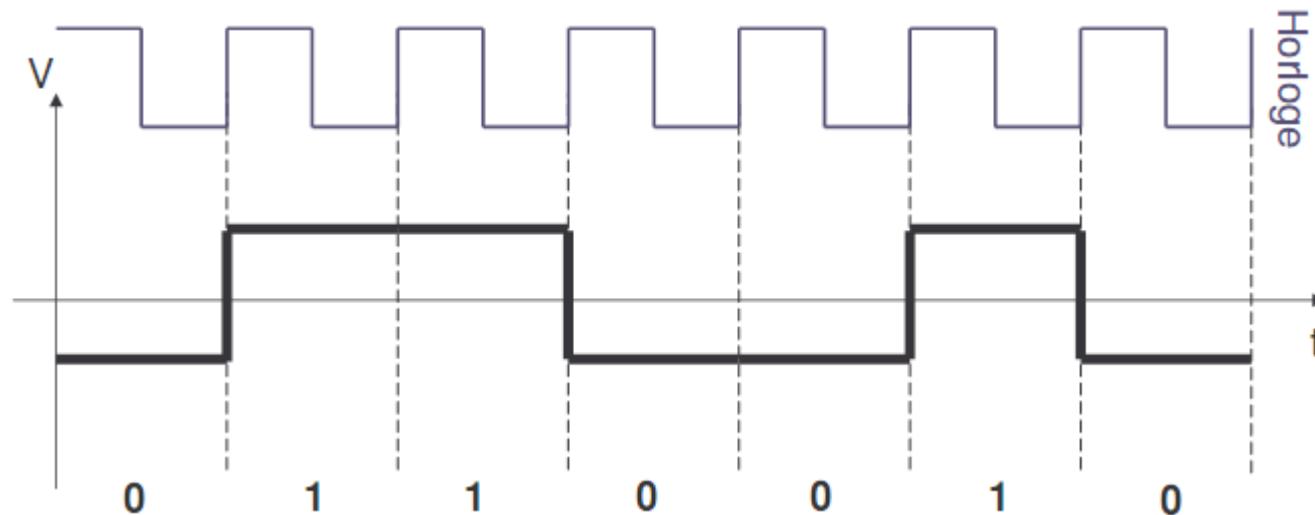


La Couche Physique – Codage & modulation

Transmission en bande de base

■ Codage NRZ (Non Return to Zero)

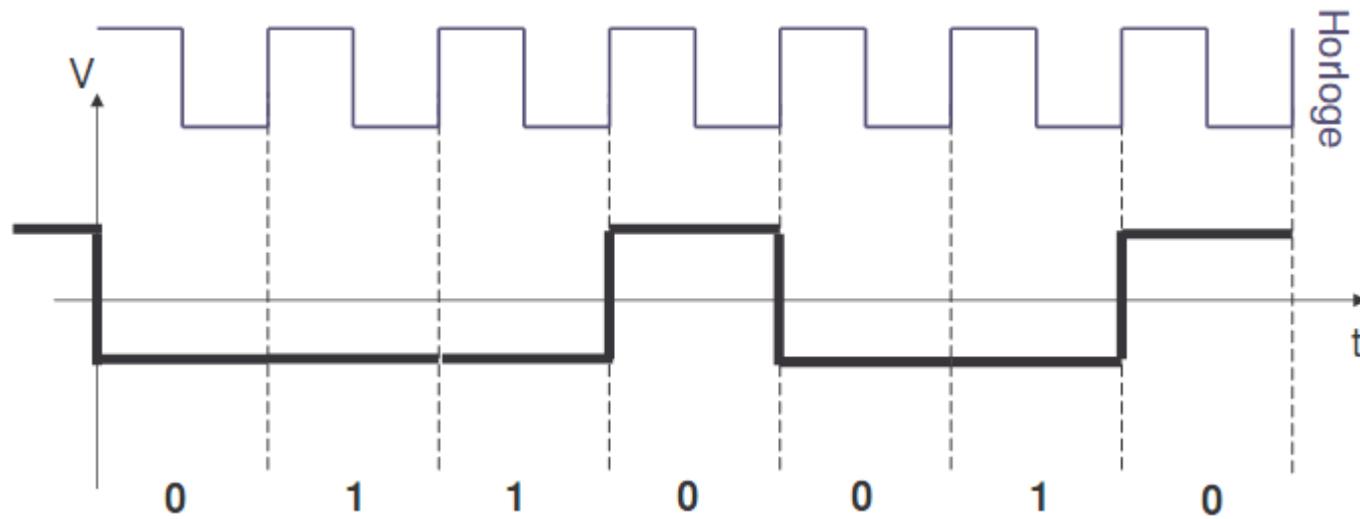
- 1 est codé par +T Volt, 0 est codé par -T Volt
- Problème des longues suites de 0 ou 1 (signal continu)
- => perte de synchronisation
- Dépendance vis-à-vis de la polarité



La Couche Physique – Codage & modulation

Transmission en bande de base

- Codage NRZI (Non Return to Zero Inverted)
 - Le signal ne change pas d'état si 1, change d'état si 0



La Couche Physique – Codage & modulation

Transmission en bande de base

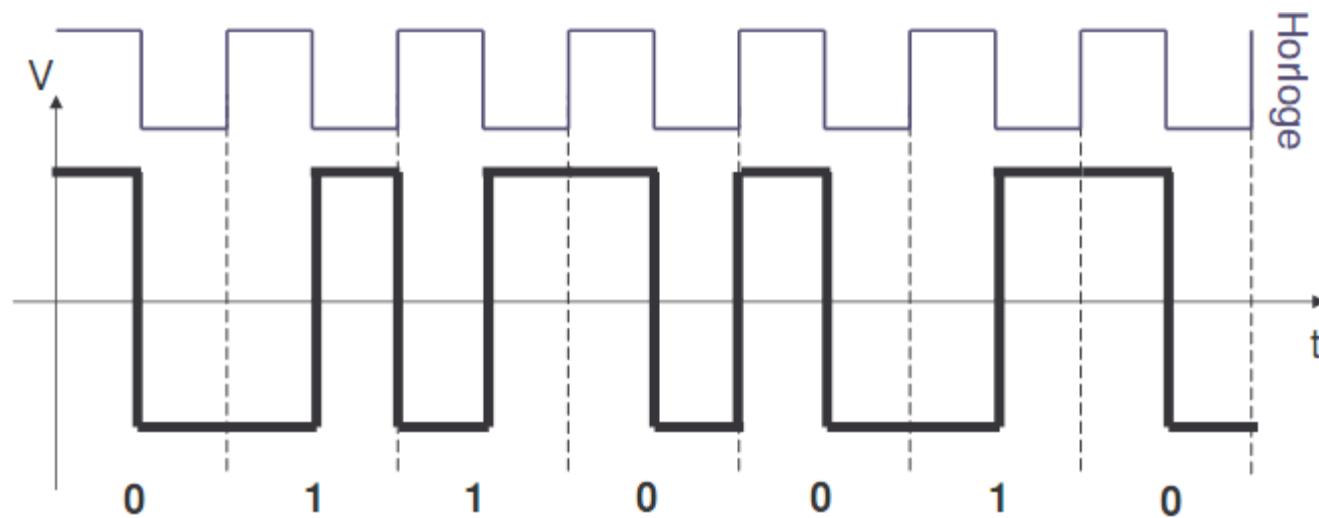
■ Codage biphasé ou Manchester

- À chaque bit envoyé, une transition d'amplitude a lieu
- La quantité d'information est dupliquée
- Codage suivant l'horloge (XOR)
 - Ex: 0 -> 10 (front descendant), 1 -> 01 (front montant) ou inverse
- Temps bit divisé par 2
- Intégration de l'horloge dans la transmission du signal
- Les problèmes de synchronisation sont évités
 - Emetteur et récepteur synchronisés à chaque bit
 - Codage utilisé par Ethernet à 10Mbps

La Couche Physique – Codage & modulation

Transmission en bande de base

- Codage biphasé ou Manchester
 - XOR entre les données et l'horloge

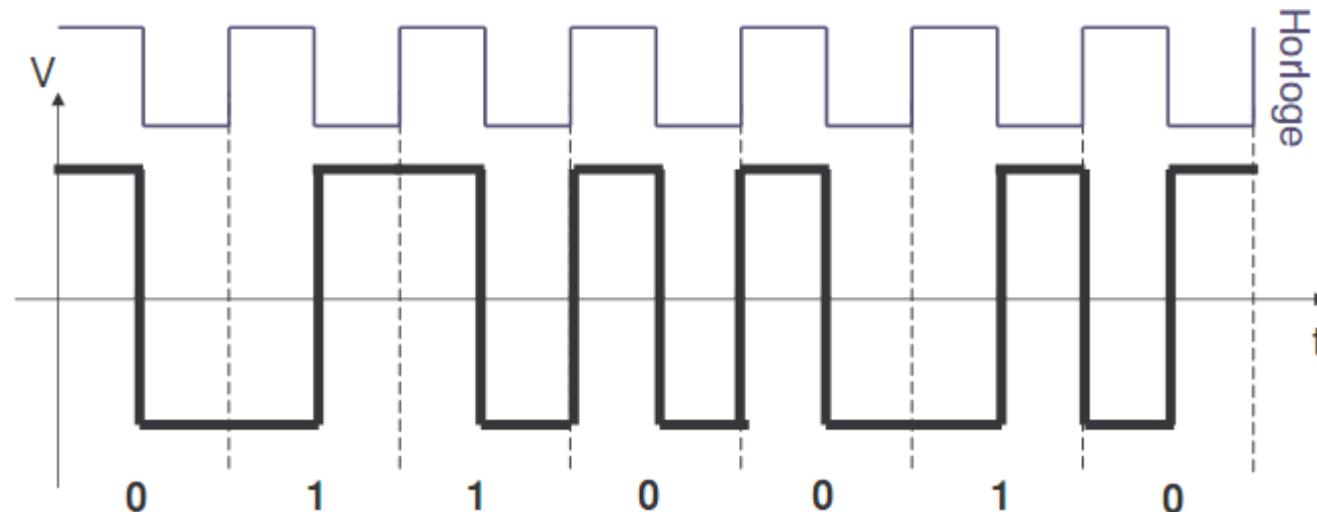


La Couche Physique – Codage & modulation

Transmission en bande de base

- Codage Manchester Différentiel

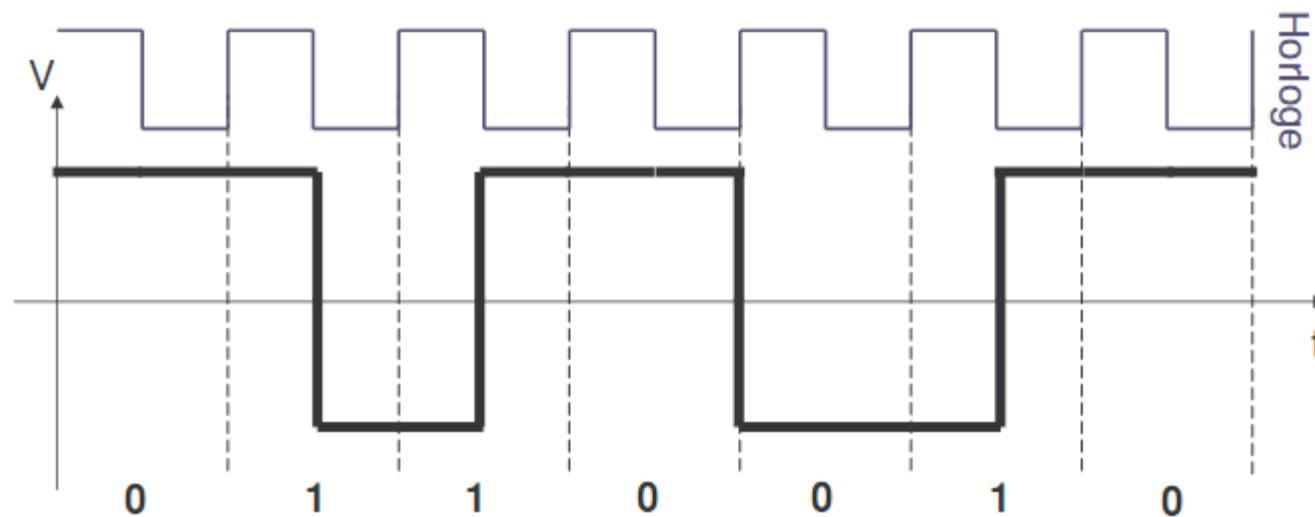
- Changement de front effectué lors de la transmission d'un 1
- Pas de changement de front lors de la transmission d'un 0
- Sens du front inversé par rapport au précédent pour le 0, garder pour le 1
- Meilleure protection contre les parasites



La Couche Physique – Codage & modulation

Transmission en bande de base

- Codage Miller
 - Une transition à la $\frac{1}{2}$ période si 1
 - Une transition à la fin de la période si 0 et si le bit suivant est aussi 0

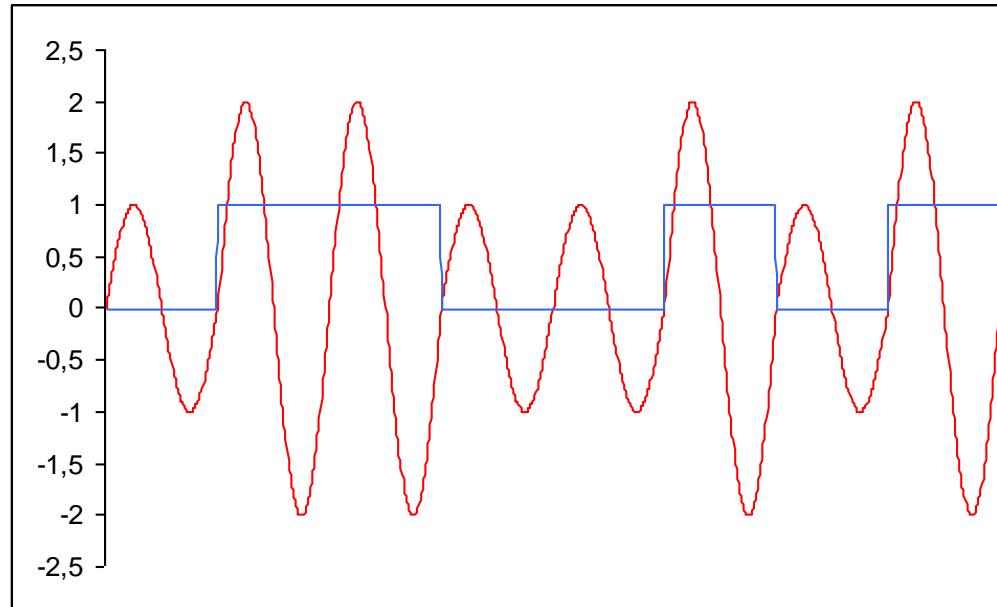


La Couche Physique – Codage & modulation

- Problème de la transmission en bande de base:
 - Dégradation rapide du signal lorsque la distance s'accroît
 - Usage limité à des réseaux locaux (<5km)
- Transmission large bande = transposition en fréquence / modulation
 - Utilisation d'un modem (MOdulateur – DEModulateur)
 - Conversion numérique <-> analogique
- Le signal analogique représente une forme sinusoïdale appelée porteuse
- On module un ou plusieurs paramètres de ce signal pour transporter l'information:
 - 3 principaux types de modulation:
 - Modulation d'amplitude
 - Modulation de fréquence
 - Modulation de phase

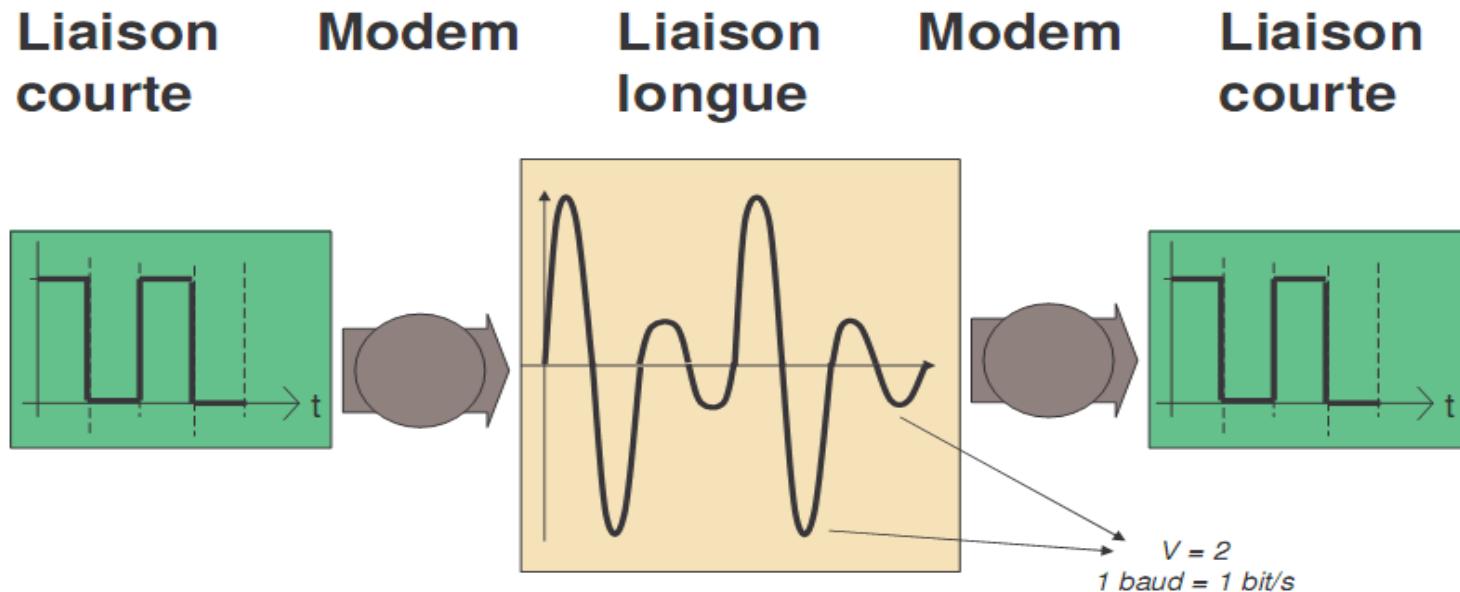
La Couche Physique – Codage & modulation

- Modulation d'amplitude:
 - ASK (Amplitude Shift Keying)
 - Exemple: modulation à 2 niveaux d'amplitude
 - amplitude 1 pour coder 0
 - amplitude 2 pour coder 1
 - Peu utilisée telle quelle



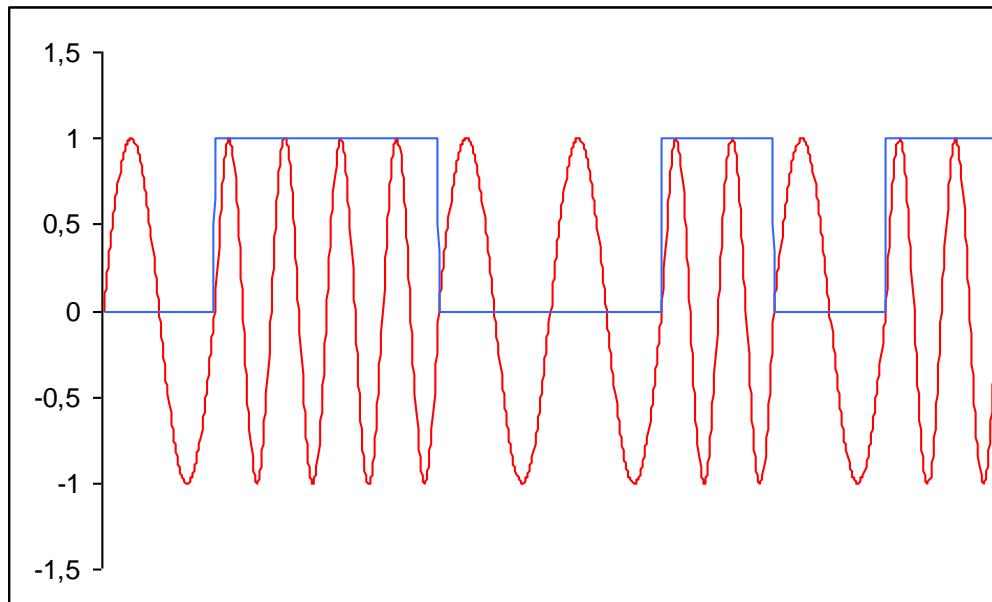
La Couche Physique – Codage & modulation

■ Modulation d'amplitude



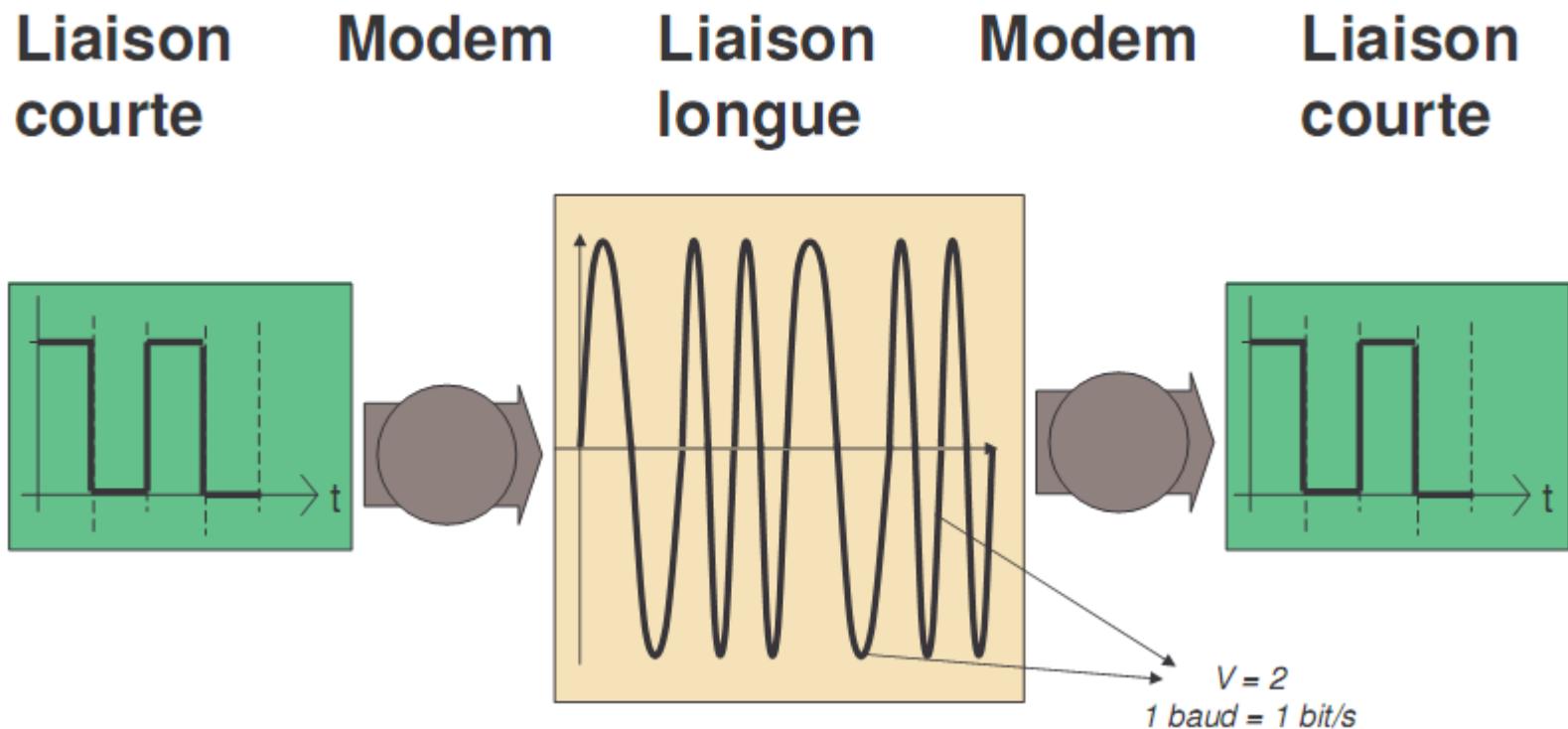
La Couche Physique – Codage & modulation

- Modulation de fréquence
 - FSK (Frequency Shift Keying)
 - Exemple : modulation à 2 niveaux de fréquence
 - Un niveau de fréquence pour 0
 - Un niveau de fréquence pour 1
 - Ce type de modulation réclame de grandes largeurs de bande passante
 - Ex: radio FM



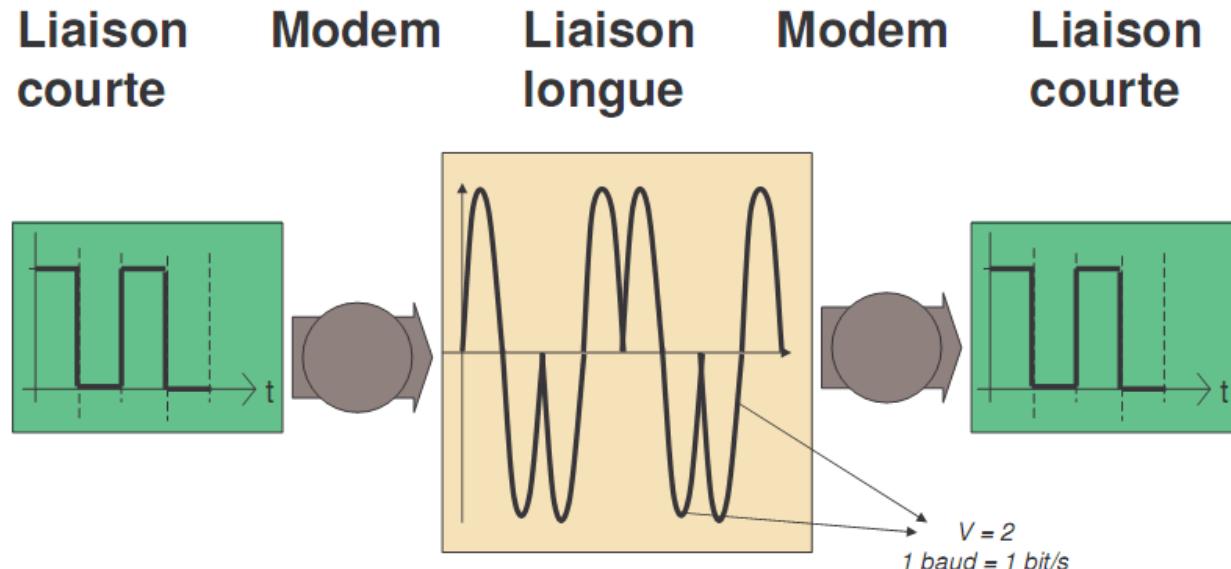
La Couche Physique – Codage & modulation

■ Modulation de fréquence



La Couche Physique – Codage & modulation

- Modulation de phase
 - PSK (Phase Shift Keying)
 - la distinction entre 0 et 1 est effectuée par un signal qui commence à des endroits différents de la sinusoïde
 - Les bits de valeur 1 et 0 sont représentés respectivement par des phases montantes ou descendantes
 - La modulation de phase est la plus employée dans les modems

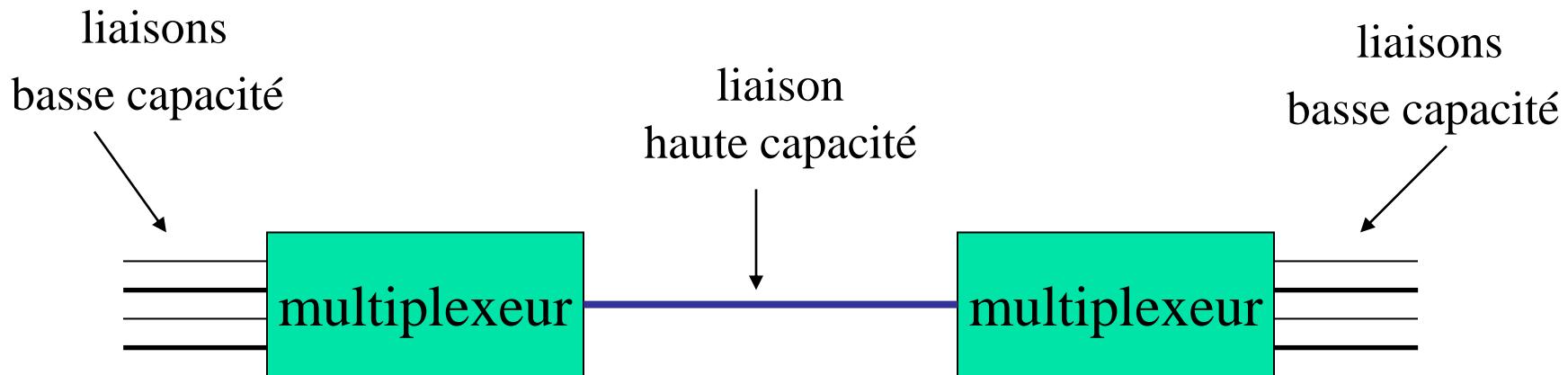


La Couche Physique

- Couche Physique
 - Définitions
 - Transmission du signal
 - Codage, modulation, synchronisation
 - **Multiplexage**
 - Supports de transmission

La Couche Physique – Multiplexage

- Le multiplexage est l'opération consistant à transmettre simultanément sur un lien unique des informations provenant de plusieurs voies d'entrée
- Le démultiplexage est l'opération inverse, consistant à séparer les informations distinctes transmises sur le lien unique vers les voies de sortie
- Le multiplexage consiste donc à partager un même support physique entre plusieurs utilisateurs (partage=diminution des coûts)



La Couche Physique – Multiplexage

- Objectif:
 - Optimiser l'usage des canaux de transmission
 - => transit simultané du maximum d'informations
- Principe:
 - Traiter le signal pour concentrer des flux d'origines diverses sous forme d'un signal composite unique
 - => signal multiplex
- Equipement:
 - Multiplexeur: équipement permettant d'utiliser une voie haute vitesse sur une liaison haute capacité pour écouler le trafic provenant de plusieurs voies basses vitesses sur des liaisons basse capacité

La Couche Physique – Multiplexage

- Types de multiplexage:
 - Multiplexage en fréquence (FDMA: Frequency Division Multiple Access)
 - Multiplexage temporel (TDMA: Time Division Multiple Access)
 - Multiplexage par code (CDMA: CDMA: Code Division Multiple Access)
 - Multiplexage OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplex Access)
 - Multiplexage WDM (Wavelength Division Multiplex)
 - Multiplexage hybride
- Voir cours de « Communications Numériques »
 - + détails en annexe

La Couche Physique

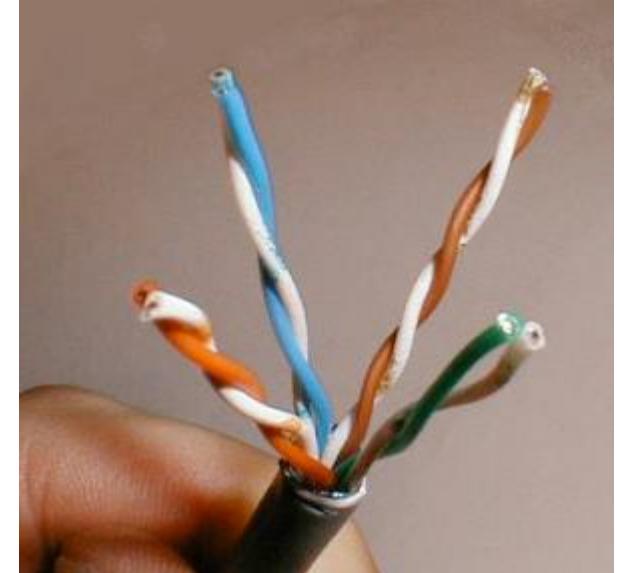
- Couche Physique
 - Définitions
 - Transmission du signal
 - Codage, modulation, synchronisation
 - Multiplexage
 - **Supports de transmission**

La Couche Physique – Supports de transmission

- Avec guide physique (câble)
 - Câbles électriques, fibres optiques
- Sans guide physique (onde)
 - Ondes radio ou lumineuses
- Caractéristiques des supports:
 - Bande passante
 - Affaiblissement
 - Sensibilité aux bruits
 - Cout (du support, des équipements d'extrémité, de l'installation)

La Couche Physique – Supports de transmission

- Câbles électriques à paires torsadées
 - 2 conducteurs en cuivre enroulés de façon hélicoïdale
 - Réseaux téléphoniques ou réseaux locaux
 - Signaux analogiques ou numériques
- 2 types:
 - Câbles UTP (Unshielded Twisted Pair)
 - Câbles de catégorie 3: 4 paires
 - Câbles de catégorie 5: mieux adaptés aux transmissions à haut débit
 - Câbles STP (Shielded Twisted Pair)
 - Chaque paire est blindée séparément



La Couche Physique – Supports de transmission

- Câbles coaxiaux
 - Composés de 2 conducteurs métalliques imbriqués (tresse, cœur) séparés par un isolant
 - Large bande passante
 - Excellente immunité aux bruits
 - Câbles coaxiaux en bande de base
 - Transmission de signaux numériques
 - Hauts débits (jusqu'à 2Gbps sur 1km)
 - Câbles coaxiaux en large bande
 - Transmission de signaux transposition de fréquences
 - Fréquences de 300 à 450MHz
 - Distances proches de 100km
 - Très utilisé dans les MAN:
 - Câbles pour TV analogique, TV numérique, internet, téléphonie (Triple play sur le câble)



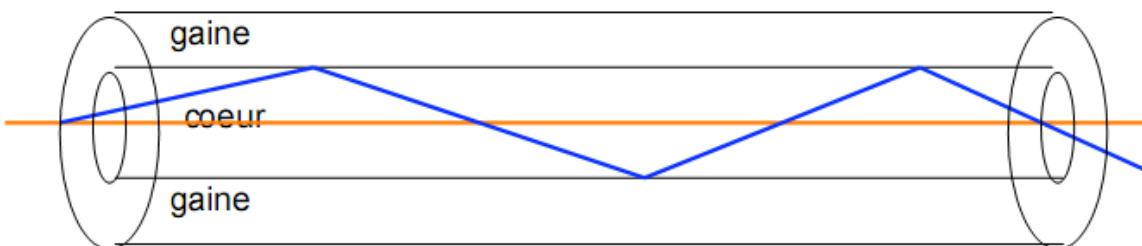
La Couche Physique – Supports de transmission

■ Fibre optique

- Bits transmis sous forme d'impulsions lumineuses:
 - 1: impulsion, 0: absence d'impulsion
 - Lumière: onde de fréquence $\sim 10^{14}$ Hz
 - Bande passante de potentiel énorme
- Système formé de 3 composants:
 - Support de transmission de la lumière (fibre)
 - Dispositifs d'émission et réception de l'onde lumineuse:
 - LED (Light Emitting Diode), laser en émission
 - Photodiode ou phototransistor en réception
- Système de transmission en général unidirectionnel
 - Câble optique: au moins 2 fibres

La Couche Physique – Supports de transmission

- Fibre composée de couches concentriques:
 - Le cœur transmet le signal utile
 - Indice de réfraction constant (fibre à saut d'indice)
 - Ou indice de réfraction variable (gradient d'indice)
 - La gaine (cladding) d'indice de réfraction plus faible
 - Et la protection
- Signal :
 - Propagation directe dans le cœur
 - Signaux réfléchis sur la gaine => retard



La Couche Physique – Supports de transmission

■ Fibre optique

■ Fibre multimode :

- plusieurs rayons (modes) se propagent dans la fibre
 - Retard, interférence => limite débit
 - moins coûteux
 - Diamètre (gradient d'indice) :
 - Cœur 50 à 62,5 µm
 - Gaine 125 à 150 µm

■ Fibre monomode :

- un seul rayon (mode direct) se propage dans la fibre
 - Meilleur débit
 - Distances plus longues
 - Diamètre
 - Cœur 10 µm
 - Gaine 125 µm

■ Possibilité de multiplexage (D)WDM

- (Dense) Wavelength Division Multiplexing

La Couche Physique – Supports de transmission

- Ondes sans support:
 - Transmission sans fil
 - Ondes radioélectriques ou lumineuses
 - Suivant fréquence
 - Radio électriques omnidirectionnelles
 - Diffusion
 - À basses fréquences :
 - Forte atténuation en fonction de la distance
 - À Hautes fréquences :
 - Propagation en ligne droite
 - Tendance à rebondir sur les obstacles
 - Réseaux GSM, Wifi

La Couche Physique – Supports de transmission

- Ondes sans support:
 - Faisceaux hertziens
 - Ondes électromagnétiques de courte longueur d'onde (micro-ondes)
 - Se propagent en ligne droite
 - Antennes paraboliques directionnelles
 - Emetteur et récepteur doivent être alignés
 - Tours hertziennes
 - Fréquences > 800 MHz en transmission de données
 - Hauts débits
 - Liaisons satellitaires
 - Satellite géostationnaires GEO (36000 km altitude)
 - Fixes/sol, long délais de propagation
 - Satellites à défilement (constellations, LEO, MEO)
 - Délais plus faibles, changement de satellite

La Couche Physique – Supports de transmission

- Ondes sans support:

- Ondes Infra-Rouges (IR)
 - Communications à faible portée/débit
 - Omnidirectionnelles
 - Ne traversent pas les obstacles
 - Meilleure sécurité contre écoutes indiscrètes
 - Utilisées dans RL sans fil à l'intérieur des bâtiments
- Ondes laser
 - Se propagent en ligne droite
 - peu couteuses, large bande passante
 - sensibles aux perturbations météorologiques

La Couche Physique – Supports de transmission

■ Conclusion:

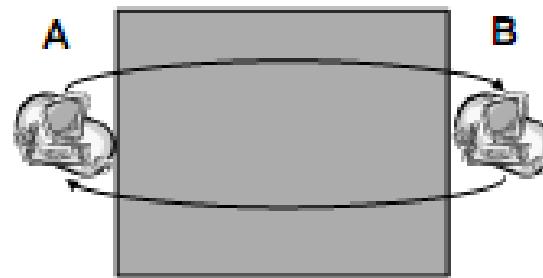
- Transmissions sur câble:
 - Paires torsadées pour LAN
 - Paire téléphonique (ADSL), coaxial (TV) pour accès
 - Fibres optiques pour réseaux LAN haut débit ou liaison des MAN ou WAN (câbles trans-océaniques)
- Transmissions sans fil:
 - Faisceaux hertziens : moins coûteux que les fibres optiques
 - Sites difficilement accessibles, liaisons mobiles temporaires
 - Réseaux locaux sans fil (Wifi, Bluetooth)
 - Téléphonie cellulaire (GPRS, UMTS)
 - Réseaux satellite (large couverture)

Annexes

- **Annexe: Types de commutation**

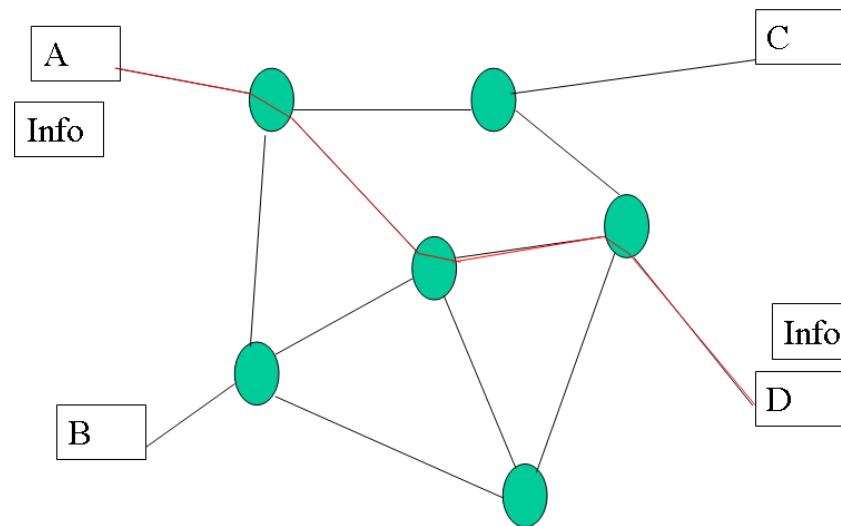
Type de commutation

- Problème:
 - Comment envoyer des informations de A à B?
 - Réservation de ressources physiques: commutation de circuits
 - Réservation de ressources logiques: commutation de paquets



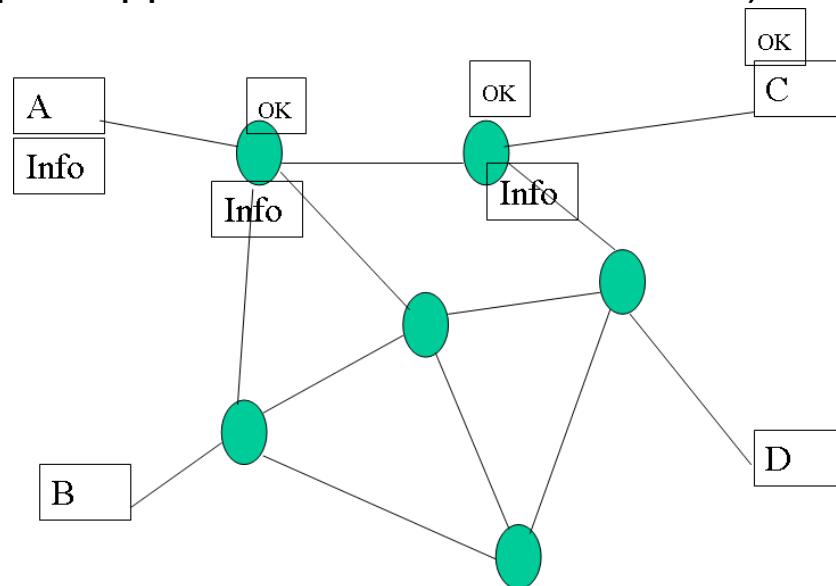
Type de commutation

- Commutation de circuits
 - Exemple: téléphonie analogique
 - Etablissement d'un circuit physique propre à la communication entre 2 entités distantes
 - Inconvénients: temps d'établissement long, mauvaise utilisation du support
 - Avantage: temps de transmission court



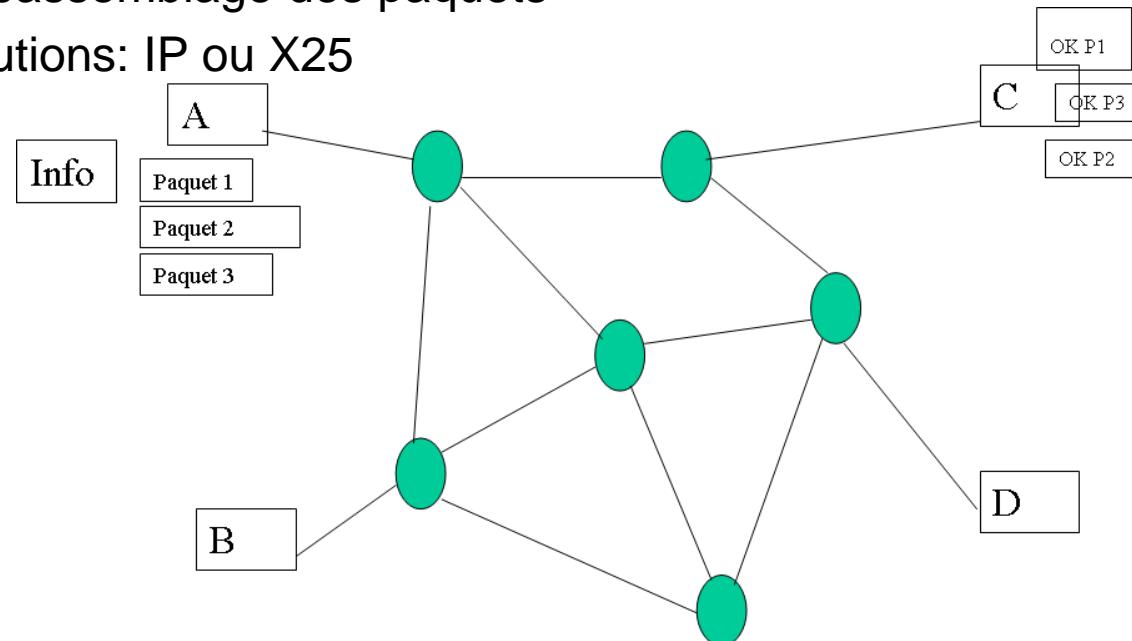
Type de commutation

- Commutation de messages
 - Données informatiques fragmentées en message (ex: fichier)
 - Technique du Store & Forward:
 - Message stocké et transmis entièrement de proche en proche entre l'émetteur et le récepteur
 - Inconvénient: grande capacité de stockage requise
 - Avantage (par rapport à la commutation circuit): support mieux utilisé

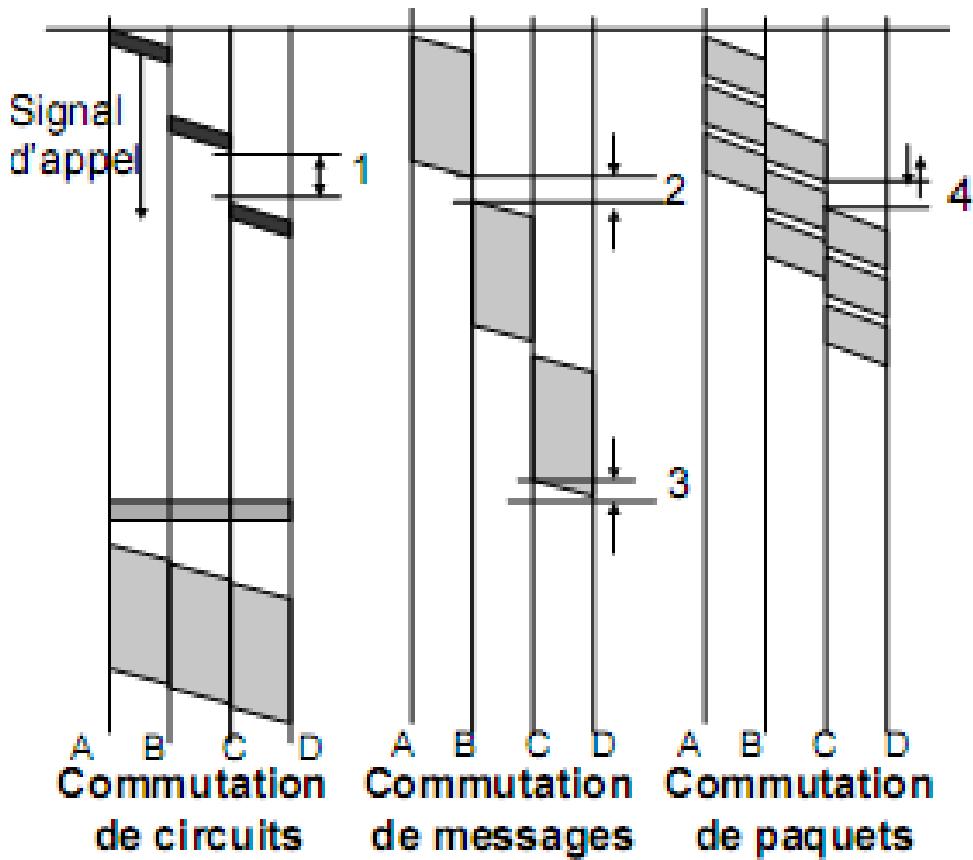


Type de commutation

- Commutation de paquets:
 - Découpage des messages en paquets (de taille max: 1 à 2 kbits)
 - Avantage: mémoires + petites
 - Optimisation du support: gain de temps
 - Reprise sur erreur + simple
 - Pb: réassemblage des paquets
 - 2 solutions: IP ou X25



Type de commutation



1: tps d'établissement de la liaison de proche en proche

2: tps de traitement d'un message

3: tps de propagation

4: tps de traitement d'un paquet

Type de commutation

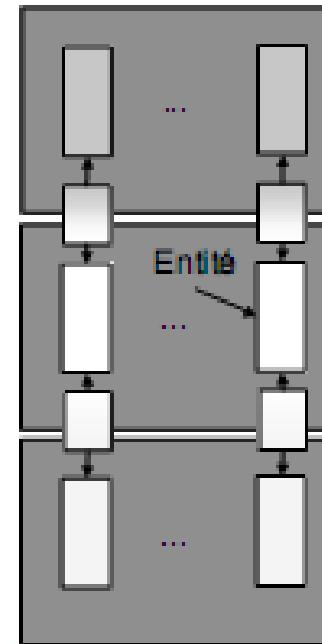
- Extensions:
- Commutation de trames: frame relay
 - Extension de la commutation par paquets
 - Abandon de fonctionnalités: - cher mais – complet
- Commutation de cellules: ATM
 - Cellule: paquet de petite taille fixe (53 octets)
 - Etablissement d'un chemin virtuel (mélange de commutation de circuits et de commutation de paquets à taille fixe)

Annexe: Détails du modèle OSI

Architecture des réseaux – modèle OSI

Eléments de description:

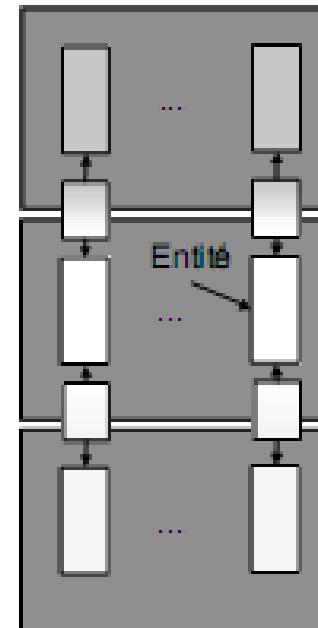
- **Système** : composant matériel ou logiciel du réseau
 - Exemple : équipement de réseau (commutateur, routeur, station de travail)
- **Sous-système** : élément d'une division hiérarchique d'un système
 - Interaction avec les niveaux > et <
- **Entité** : élément actif d'un sous-système
 - Processus ou programme qui réalise et exécute un protocole particulier



Architecture des réseaux – modèle OSI

Eléments de description:

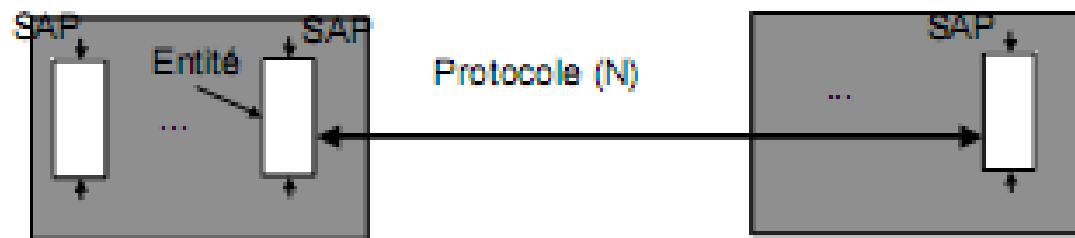
- **Couche** : subdivision de l'architecture OSI
 - Fournit un ou plusieurs services à la couche >
- **Service** : fonction réalisée par une couche
 - Fournit à la couche > par des primitives de service
 - Mise en œuvre par des entités dans des sous-systèmes



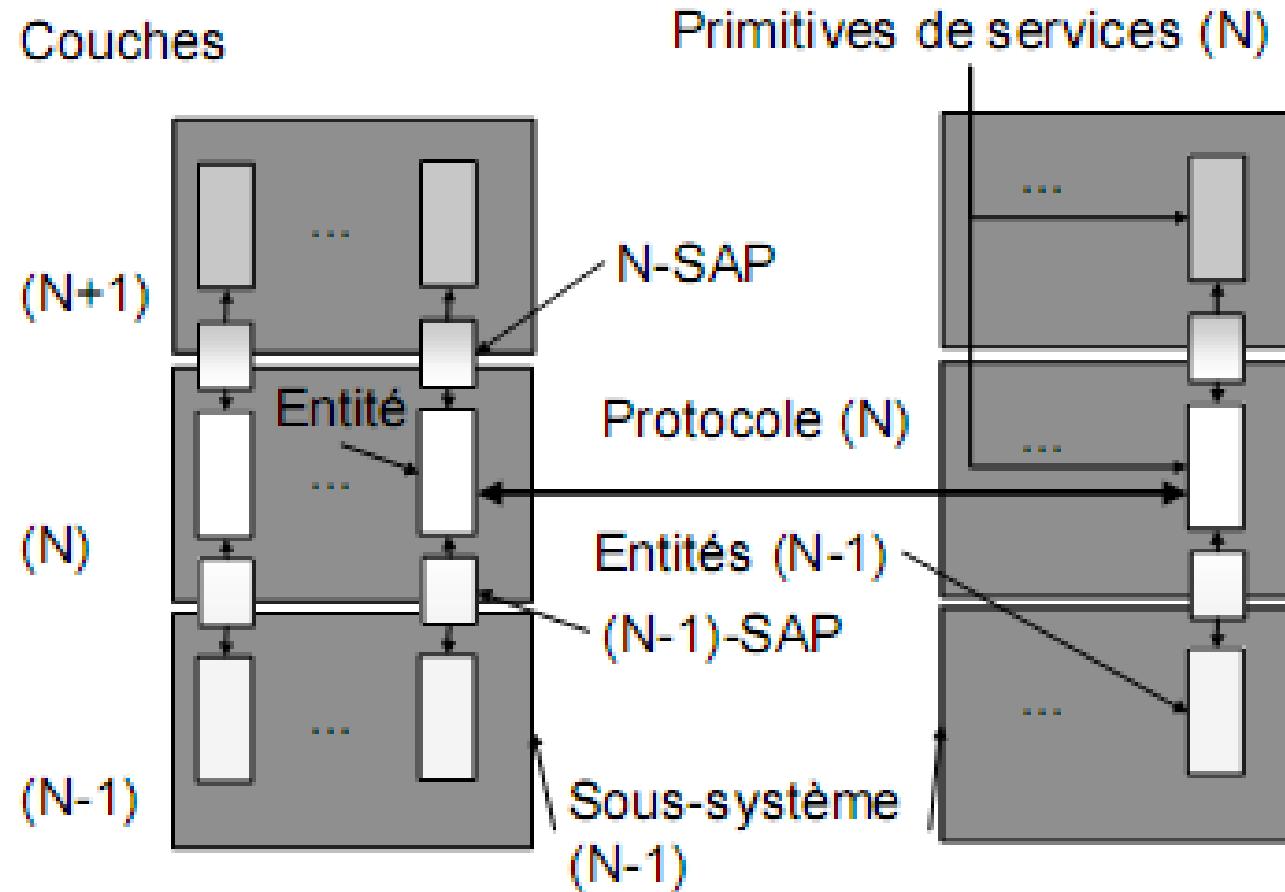
Architecture des réseaux – modèle OSI

Eléments de description:

- SAP (Service Access Point) : point où les services sont fournis
- Protocole :
 - Ensemble de règles et de formats déterminant les caractéristiques de communications entre deux entités distantes pour réaliser un service

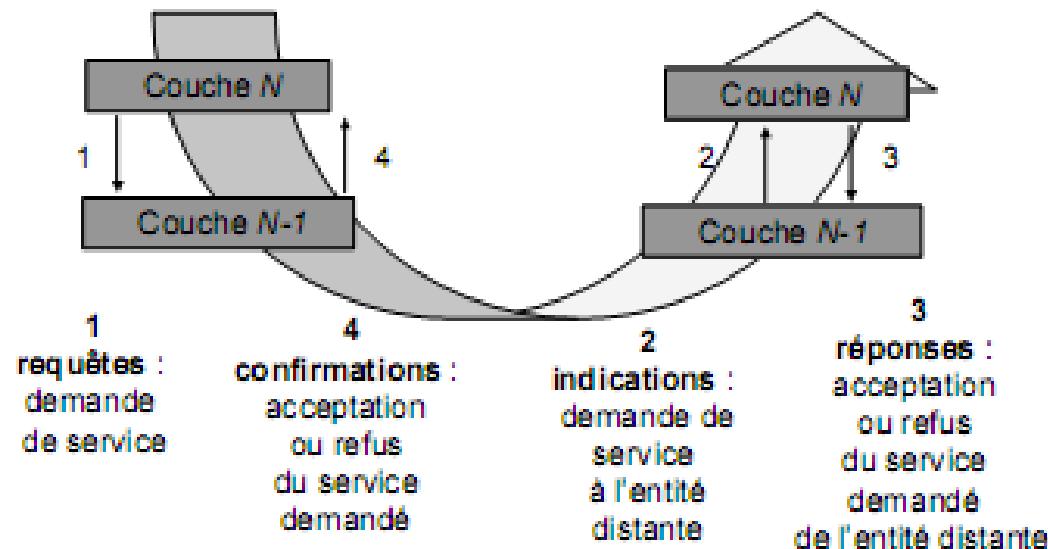


Architecture des réseaux – modèle OSI



Architecture des réseaux – modèle OSI

Primitives de service



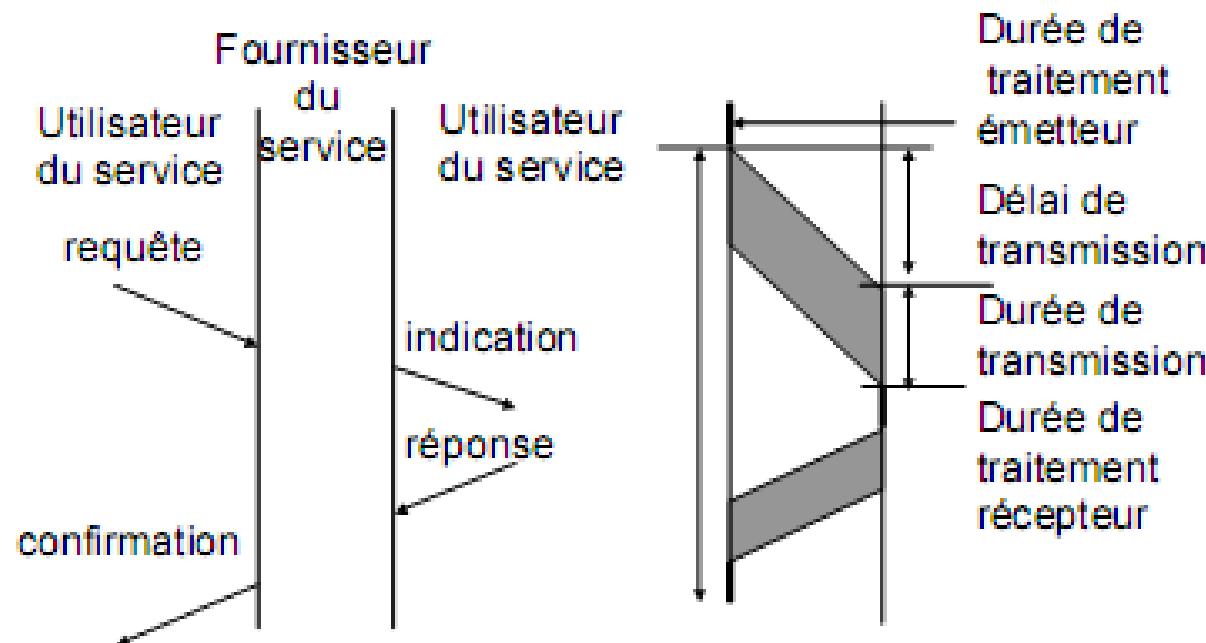
Architecture des réseaux – modèle OSI

Types de services:

- Services obligatoires ou optionnels
 - Obligatoire : envoi de données
 - Optionnel : accusé de réception
- Services confirmés ou non confirmés
 - Confirmé : établissement de connexion
 - Non confirmé : libération de connexion.

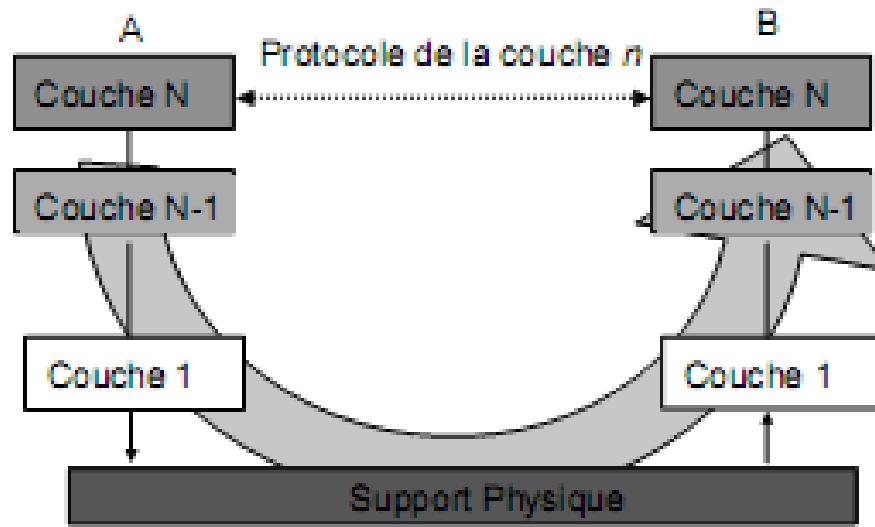
Architecture des réseaux – modèle OSI

Représentation temporelle



Architecture des réseaux – modèle OSI

Parcours effectif de l'information



Annexe: Transmission du signal (Couche Physique)

La Couche Physique – Transmission du signal

- Comment une onde est-elle transmise
 - Série de Fourier, calcul des coefficients, harmoniques
 - Quelles sont les contraintes sur la transmission ?
 - Un canal fait subir des déformations aux signaux
 - Affaiblissement (diminution amplitude)
 - Décalage de phase (retard)
 - Bruit (blanc ou non)
 - Pour certains canaux, les signaux sont transmis avec des affaiblissements d'amplitude négligeables jusqu'à une fréquence f_c , dite fréquence de coupure
 - Fréquences $> F_c$ fortement atténées
 - La bande passante est l'intervalle des fréquences que le canal transmet sans affaiblissement
 - On parle le + svt d'un affaiblissement inférieur à un seuil (3dB)

La Couche Physique – Transmission du signal

- Relation entre bande passante du canal et signal transmis:
 - L'affaiblissement dû au canal s'applique indépendamment à chaque harmonique du signal
 - Pour qu'un signal soit correctement transmis sur un canal, il faut que la plage des fréquences correspondant aux principales harmoniques du signal soit comprise dans la bande passante du canal

La Couche Physique – Transmission du signal

- Relation débit et harmoniques
 - $D=1/T$: débit binaire en bits/sec (b/s)
 - T : période du bit
 - Pour un débit binaire de D b/s:
 - Le temps nécessaire pour transmettre un caractère (octet) est $8/D$ sec (au moins une transition par caractère)
 - La fréquence de l'harmonique fondamentale est $D/8$ Hz
 - Liaison tél analogique possède une bande passante fixée à environ 3000Hz
 - Intervalle des fréquences de la voix [300Hz, 3400Hz]
 - Nb d'harmoniques transmises: $3000/(D/8)$
 - Quand D augmente, le nb d'harmoniques permettant de reconstituer le signal diminue
- Conclusion: limiter largeur de la bande passante limite le débit binaire maximal sur le canal

La Couche Physique – Transmission du signal

- Théorème d'échantillonnage (de Nyquist)
 - $R_{\max} = 2H$
 - R : fréquence d'échantillonnage
 - H : bande passante de la ligne
 - Si un signal quelconque est appliqué à l'entrée d'un filtre passe-bas ayant une bande passante H , le signal ainsi filtré peut être entièrement reconstitué en effectuant un échantillonnage de ce signal à une cadence égale à $2H$
- Ex: si canal téléphonique de 4000Hz, voix échantillonnée 8000 fois/sec

La Couche Physique – Transmission du signal

- Conséquences du théorème de Nyquist
 - Si un signal comporte un nombre V de niveaux significatifs (V = valence du signal, nb d'états différents que peut prendre le signal), alors le débit binaire maximum est:
 - $D_{\max} = 2H \log_2 V$
 - Exemple:
 - BP du canal = $3000H_z$
 - $V = 2$ (signal bivalent) => $D_{\max} = 6000$ b/s
 - $V = 4$ (signal quadrivalent) => $D_{\max} = 12000$ b/s
 - Signal multivalent: optimisation de l'utilisation de la bande passante

La Couche Physique – Transmission du signal

- Cas des canaux bruités:
 - S/N: rapport signal sur bruit
 - S: énergie du signal
 - N: énergie des bruits et parasites
 - Exprimé en décibels: $(S/N)_{\text{db}} = 10 \log_{10} (S/N)$
 - Exemple:
 - $S/N = 10 \Rightarrow 10\text{dB}$
 - $S/N = 1000 \Rightarrow 30\text{dB}$ (le bruit fait varier le signal original d'un millième)
- Théorème de Shannon:
 - $D_{\text{max}} = H^* \log_2 (1 + S/N)$ (max théorique)
 - Exemple:
 - $H = 3000\text{Hz}$
 - $S/N = 30\text{dB} \Rightarrow D_{\text{max}} \sim 30\text{K b/s}$, $S/N = 10\text{dB} \Rightarrow D_{\text{max}} \sim 10\text{K b/s}$

Annexe: Couche Physique - Synchronisation

La Couche Physique – Synchronisation

■ La synchronisation bit:

- Un coupleur de communication doit sérialiser l'info à l'émission et la désérialiser à la réception
- Le récepteur doit échantillonner le signal reçu:
 - À la bonne fréquence
 - À la bonne phase
- La synchronisation bit peut être maintenue:
 - En permanence: transmission synchrone
 - Rétablie pour chaque caractère: transmission asynchrone
 - Rétablie à chaque trame (ex: ethernet half-duplex)

La Couche Physique – Synchronisation

■ Transmission asynchrone

- Synchronisation maintenue pendant la durée d'émission (réception) d'un caractère
- Code à 2 niveaux (actif et repos)
- Caractère encadré par bits START et STOP
 - Bit START: fait passer la ligne de repos à actif
 - Bit STOP: remet la ligne à l'état de repos

La Couche Physique – Synchronisation

■ Transmission synchrone

- L'horloge du récepteur est (re-)synchronisée en permanence sur celle de l'émetteur:
 - Le signal d'horloge est transmis:
 - Sur une ligne séparée (entre ETTD et ETCD)
 - Véhiculée dans le signal (codes à transition)
- Ajustement de la phase (synchro caractère)
 - Synchro caractère se fait au niveau des groupes de bits (blocs ou trames):
 - Ex: préambule Ethernet 10101010...11
 - Insertion de caractères de synchronisation
 - Permet de décoder les informations même si les premiers bits sont perdus

La Couche Physique – Synchronisation

- ETTD (Equipement Terminal de Transmission de Données)
 - Fonction d'émission / réception des données
 - Contrôleur de communication ou coupleur:
 - Sérialisation / désérialisation, protection contre les erreurs, etc.
 - Ex: ordinateur et sa carte réseau
- ETCD (Equipement Terminal de Circuit de Données)
 - Codage (bande de base ou modulation)
 - Rapidité de modulation, débit binaire
 - Transmission synchrone / asynchrone
 - Sens de transmission (half ou full duplex)
 - Ex: modem (téléphonique, câble, ADSL, ...)

Annexe: Couche Physique - Multiplexage

La Couche Physique – Multiplexage

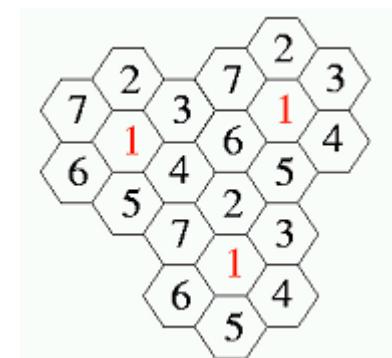
- Types de multiplexage:
 - Multiplexage en fréquence
 - FDMA: Frequency Division Multiple Access
 - Partage la bande passante du support en un nombre de canaux (ou sous-bandes) plus étroits, à l'aide de techniques de modulation et de filtrage
 - Chaque sous-bande est affectée à une voie de transmission
 - Pour limiter les interférences, une bande de garde est nécessaire entre chaque canal.
 - Ce type de multiplexage est utilisé :
 - pour la transmission de signaux analogiques,
 - par câble ou voie hertzienne,
 - pour des applications telles que le téléphone, la radio ou la télévision

La Couche Physique – Multiplexage

■ Types de multiplexage:

■ Multiplexage en fréquence

- Premières applications: communications longues durées nécessitant peu de ressources (téléphonie)
- Evolution: utilisation dans les systèmes sans-fil
- Exemple: GSM 2G
 - 124 canaux montants entre 890 – 915MHz
 - 124 canaux descendants entre 935 – 960MHz
 - Bandes de 200kHz
 - Un utilisateur sur une bande
 - Espace découpé en cellule
 - Fréquences différentes dans cellules voisines



La Couche Physique – Multiplexage

■ Types de multiplexage:

■ Multiplexage temporel

- TDMA: Time Division Multiple Access
- Affecte à tour de rôle à chaque utilisateur la totalité de la bande passante pendant un instant (partage dans le temps)
- Temporel statique:
 - Le temps est découpé en tranches fixes (IT) qui sont allouées cycliquement aux voies basses vitesses
 - Les intervalles de temps (IT) sont affectés à chaque utilisateur de façon rigide et invariable dans le temps
 - Il n'est pas nécessaire d'identifier les émetteurs
 - Remplissage des IT inutilisées
 - Inconvénient: gaspillage important si utilisateurs ont un taux d'activité faible

La Couche Physique – Multiplexage

- Une partie de la bande passante est réservée à la signalisation
 - Signalisation hors bande (1 ou plusieurs IT réservés)
 - Signalisations dans la bande (1 ou plusieurs bits de signalisation sont ajoutés aux IT)
- Verrouillage de la trame:
 - Permet de délimiter le début de la trame (caractère de synchronisation)
 - Prise de synchronisation entre les multiplexeurs
- Ex: téléphonie numérique MIC
 - Transmission de voix numérisée sur des réseaux téléphoniques numériques (conversion de signaux analogiques en numériques)
 - R=8000Hz, les voix basse vitesse ont un débit de 64kbps
 - Le débit normalisé sur la voie haute vitesse est des 2048kbps ($32 \times 64\text{kbps}$)
 - 30 IT contiennent des données utiles
 - 2 IT sont réservées à la signalisation
 - Une voie MIC transporte 30 voies téléphoniques

La Couche Physique – Multiplexage

■ Types de multiplexage:

■ Multiplexage temporel

- TDMA: Time Division Multiple Access

■ Temporel statistique:

- Le prélèvement sur les différentes voies reliées au multiplexeur n'est plus cyclique mais modifié dynamiquement en permanence selon l'activité réelle sur chacune d'elle
- Récupérer la bande passante des voies inactives (mais obligation de transmettre l'adresse de la voie émettrice)
- Le contenu de chaque voie active est précédé d'un entête incluant:
 - Numéro de la voie concernée
 - Nombre de caractères transférés pour cette voie
- Aucune place n'est allouée aux voies inactives
- Codage des données transparent

La Couche Physique – Multiplexage

- Si tous les canaux entrants deviennent actifs en même temps, alors le débit global ne peut être écoulé. Le multiplexeur doit:
 - Stocker une partie de l'information pour la retransmettre plus tard => mémoire tampon
 - Bloquer le trafic sur une ou plusieurs voies entrantes: Contrôle de flux (protocole XON/XOFF)
 - Risque de pertes si débordement mémoire tampon
- Le MT statistique offre de meilleures performances mais aussi:
 - Un risque de pertes de données
 - Retard de transmission + important et variable (gigue)
- Utilisé pour faire du multiplexage dans les réseaux à commutation de paquets ou de trames

La Couche Physique – Multiplexage

- Types de multiplexage:
 - Multiplexage par code
 - CDMA: Code Division Multiple Access
 - Chaque émetteur a un code et utilise les n fréquences
 - Avantage: chaque utilisateur transmet tout le temps sur tout le spectre alloué au système
 - Ex: téléphonie mobile US
 - Multiplexage OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplex Access)
 - Canal haut débit sur une porteuse ou plusieurs canaux bas débits sur plusieurs porteuses
 - Un utilisateur sur plusieurs sous-bandes
 - Multiplexage WDM (Wavelength Division Multiplex)
 - Multiplexage hybride
 - Mixage de plusieurs techniques de multiplexage
 - GSM fréquentiel + temporel