

# Réseaux d'accès et réseaux haut débit

### Pré-requis:

- **Théorie de l'information**
- **Réseau téléinformatique et transmission de données**
- **Modélisation des réseaux de télécommunications**
- **Protocoles TCP/IP**

- ☐ Présenter les concepts fondamentaux des réseaux haut débit
- ☐ Traiter les techniques de commutation
- ☐ Présenter les technologies de transfert haut débit ATM et MPLS
- ☐ Présenter le concept des VPNs
- ☐ Traiter la qualité de service pour les réseaux haut débit
- ☐ Présenter les réseaux d'accès: LS, RNIS, ADSL, FO, BLR...

## Partie 1 : Introduction aux réseaux étendus haut débit (WAN)

- ✓ Introduction aux réseaux télécoms
- ✓ Services offerts par les réseaux télécoms
- ✓ Définition de réseau haut débit
- ✓ Caractéristiques des réseaux de cœur et réseaux d'accès
- ✓ Techniques de commutation
- ✓ Concept des VPNs
- ✓ Technologies de transfert à haut débit : :ATM, MPLS et SDH
- ✓ Qualité de service pour les réseaux haut débit

## Partie 2 : Les réseaux d'accès

### + Les réseaux d'accès avec support physique (filaire)

- ✓ Le réseau téléphonique (RTC)
- ✓ Les lignes numériques d'abonné xDSL
- ✓ Le réseau RNIS
- ✓ Les lignes louées
- ✓ La boucle d'accès optique : FTTx

### + La boucle locale radio (BLR)

- ✓ Architecture de la BLR
- ✓ Les Techniques d'accès multiple : FDMA/TDMA/CDMA
- ✓ Les technologies de la BLR : LMDS/MMDS/WIMAX
- ✓ La planification et déploiement de la BLR

# **INTRODUCTION AUX RESEAUX DE TELECOMMUNICATIONS**

- 👍 1865 : Télégraphe (S.B. Morse)
- 👍 1876 : Téléphone (Bell)
- 👍 1930 : Télévision (principes)
- 👍 1963 : Liaisons spécialisées bas débit
- 👍 1964 : Transmission de données sur RTC
- 👍 1969 : Internet
- 👍 1970 : Réseaux locaux
- 👍 1977 : Liaisons spécialisées 2.4kb/s à 2Mb/s
- 👍 1978 : Réseau de paquets X25
- 👍 1988 : RNIS (Réseau Numérique à Intégration de Services)
- 👍 1987-1989: SDH
- 👍 1995 : ATM (Asynchronous Transfert Mode)
- 👍 1996/1997 : MPLS

### **Une bonne définition du réseau est :**

*Un ensemble de matériels et logiciels permettant l'échange d'information*

*matériel= commutateurs, routeurs, supports,...*

*logiciels=IOS, algorithmes,...*

### **La notion d'information est la plus large possible :**

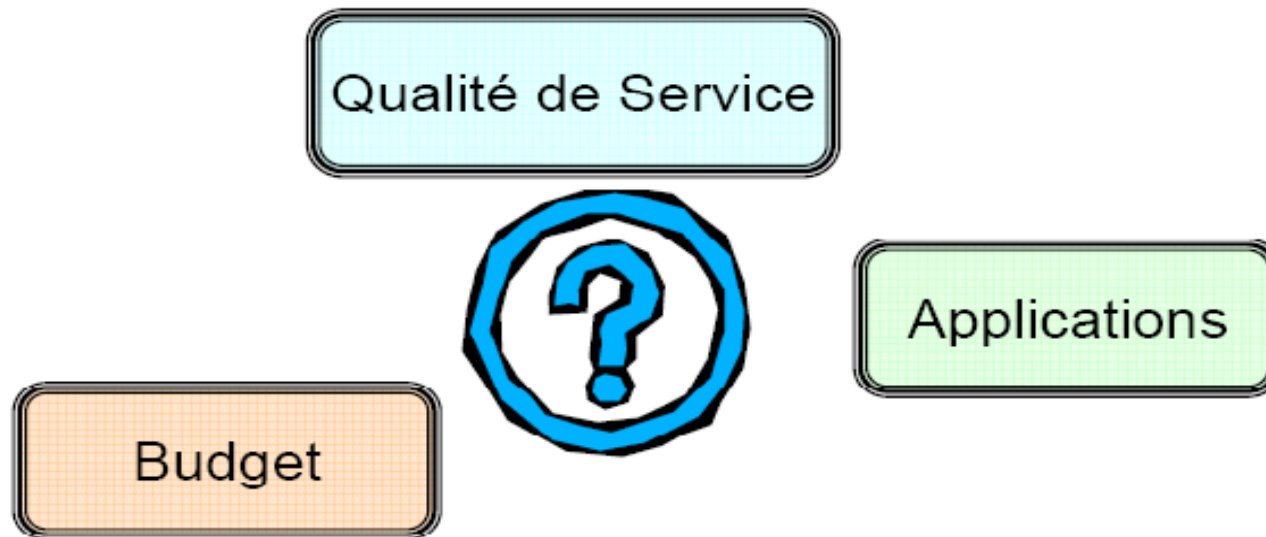
musique, image, données, voix, vidéo, graphiques, etc

### **Même s'il existe de nombreux types de réseaux de télécom, ils opèrent de façon similaire : chaque système est conçu pour échanger de l'information entre usagers (personnes, ordinateurs, etc.)**



- *Pour un opérateur télécom:*

Dimensionner un réseau = équation à 3 variables



- ✓ Applications = data ou voix ou vidéo
- ✓ QOS = disponibilité, débit, délais, taux d'erreurs,...

 **Les réseaux de télécommunication sont marqués par :**

- une demande de plus en plus diversifiée,
- une concurrence accrue
- des progrès techniques et technologiques Réseau étendu

 **La prise en compte de ces trois aspects est essentielle dans l'orientation et l'évolution des réseaux existants et la mise en place de nouvelles infrastructures.**



### Problématique:

*Soit 8 utilisateurs à interconnecter, ces utilisateurs sont repartis au quatre coins de territoire: Settat, Casa, Rabat et Oujda.*

Pour relier ces utilisateur il y a plusieurs solutions:

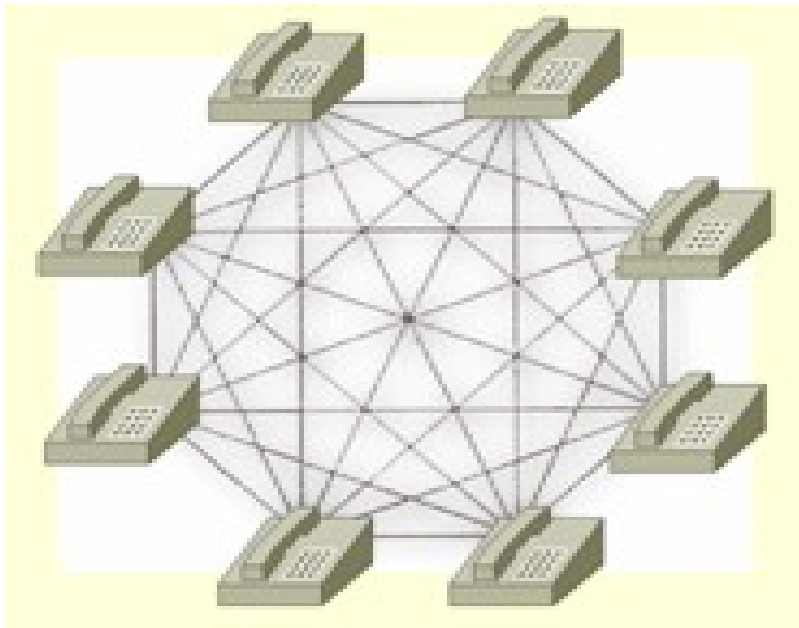
**Solution 1:** une liaison spécialisée (LS) reliant chaque abonné.

- Il faut 28 LS pour les 8 abonnés.
- La solution1 est techniquement fiable, mais présente un cout important, car elle nécessite un grand nombre de LS sur de grandes distances.

**Solution 2:** Placement d'un commutateur central reliant les 8 abonnés (8 LS).

**Solution 3:** Placement de plusieurs commutateurs interconnectés entre eux pour construire un réseau de commutateurs.

## Connexion directe (solution 1)



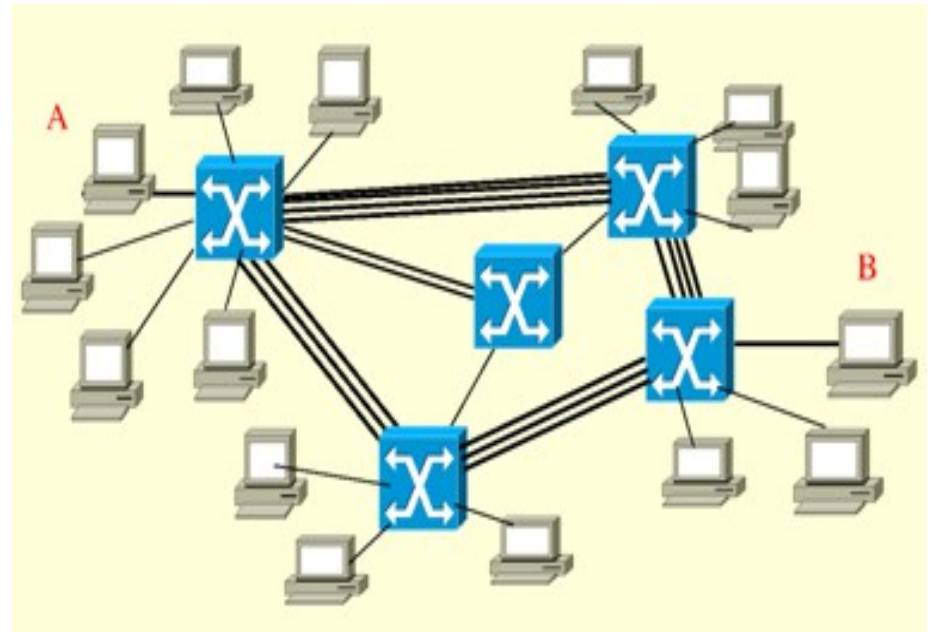
Clients	Paires de fils
10	45
50	1225
100	4950
$N$	$N(N-1)/2$

## Connexion par commutation (solutions 2 et 3)

### Définition:

**La commutation** c'est une opération qui permet à l'information de progresser vers son destination.

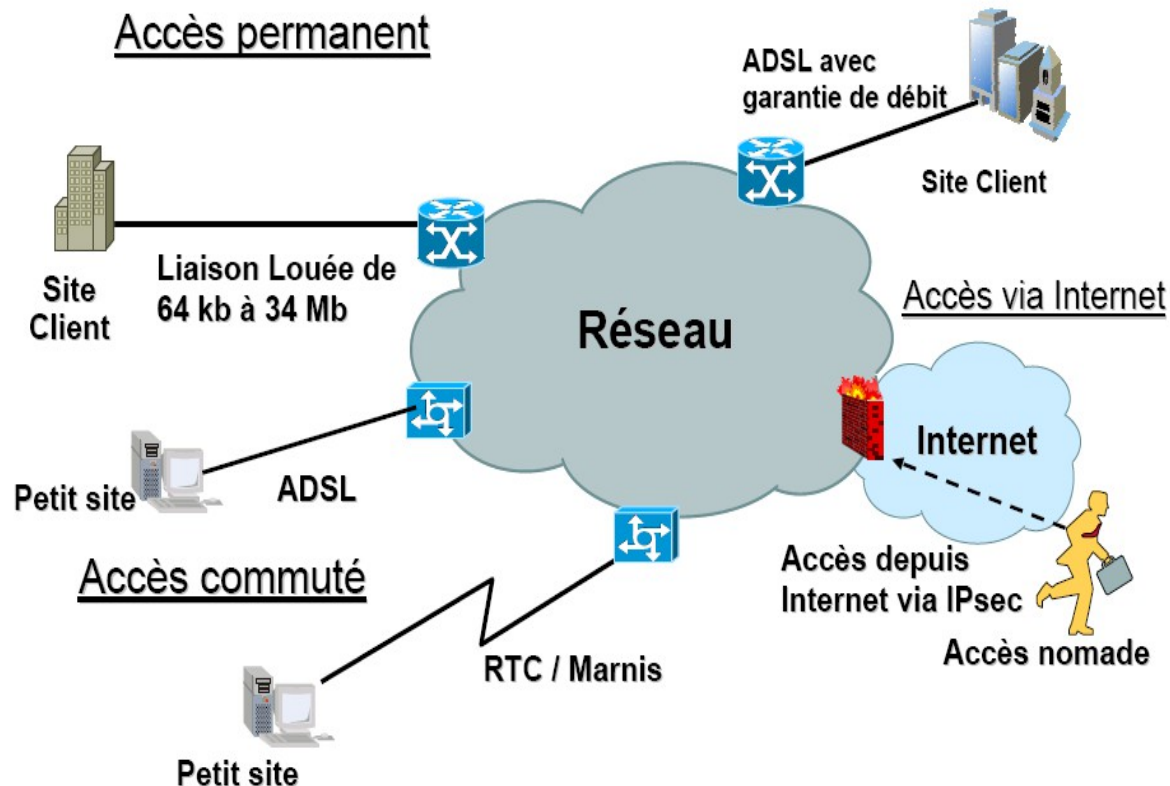
Elle consiste à établir à la demande et de façon autonome des **liaisons temporaires** entre des voies entrantes et des voies sortantes.



### ➤ Les techniques d'interconnexion

- **Les liaisons point à point (LS : liaisons spécialisées)**
  - Ressources dédiées, Débit garantis
- **Les réseaux à commutation de circuit**
  - RTC, RNIS
- **Les réseaux à commutation de paquets**
  - X25, FR, ATM, IP MPLS, VPN internet...

## ➤ Les techniques d'interconnexion



**Client: Comment choisir la technique d'interconnexion? Seizing**

# Caractérisation des réseaux

Les réseaux peuvent être caractérisés par :

- 1.- leur étendue
- 2.- leur topologie
- 3.- leur types de connexions
- 4.- leur nature (privée, publique)
- 5.- le type de services fournis
- 6.- leur mode de commutation.



# 1. leur étendue

- 👍 ***Réseaux locaux*** (LAN, Local Area Network) lorsque les stations peuvent être séparées au plus de quelques kilomètres.
- 👍 ***Réseaux métropolitains*** (MAN, Metropolitan Area Network) lorsque les stations couvrent une ville.
- 👍 ***Réseaux étendus*** (WAN, Wide Area Network) lorsque la distance entre stations atteint les centaines de kilomètres (au max.)

## 2. leur topologie

Il existe de nombreuses topologies de réseau, dont quelques unes sont “standardisées” pour certaines technologies:

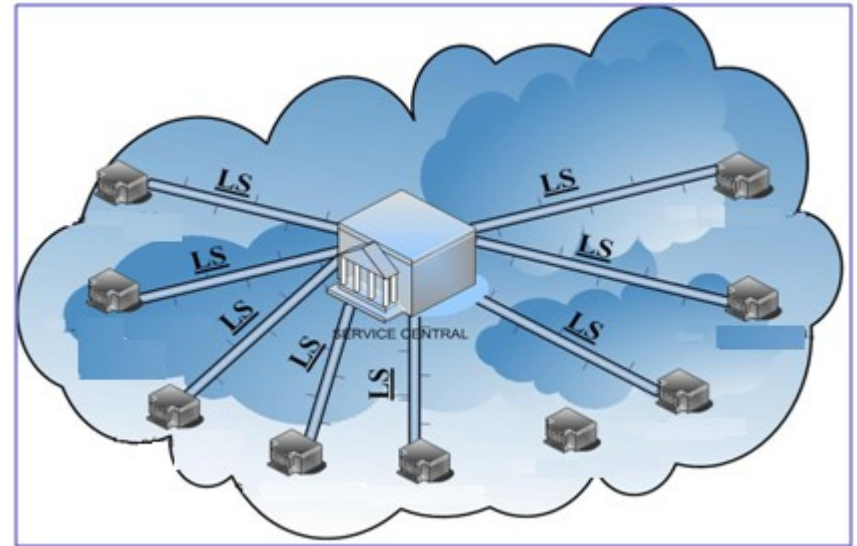
- Point à point
- Bus (Multipoint)
- Étoile
- Arborescence
- Anneau
- Grilles

**Exemple:** *Soit 7 sites à interconnecter, ces sites sont repartis au 3 coins de territoire: 3 sites à Settat, 3 sites à Casa et un site à Rabat. Comparer les 3 architectures d'interconnexion suivante: point à point, étoile et arborescence.*

## 2. topologie

### ➤ L'interconnexion centralisée en LS (en étoile):

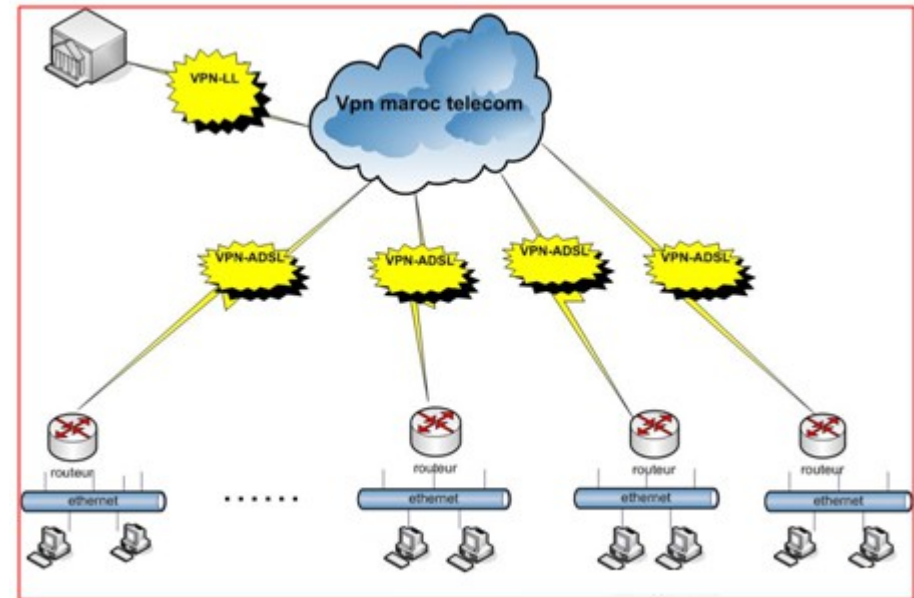
- Des liaisons LS dédiées
- Flux centralisés vers un seul système
- Architecture très couteuse



## 2. leur topologie

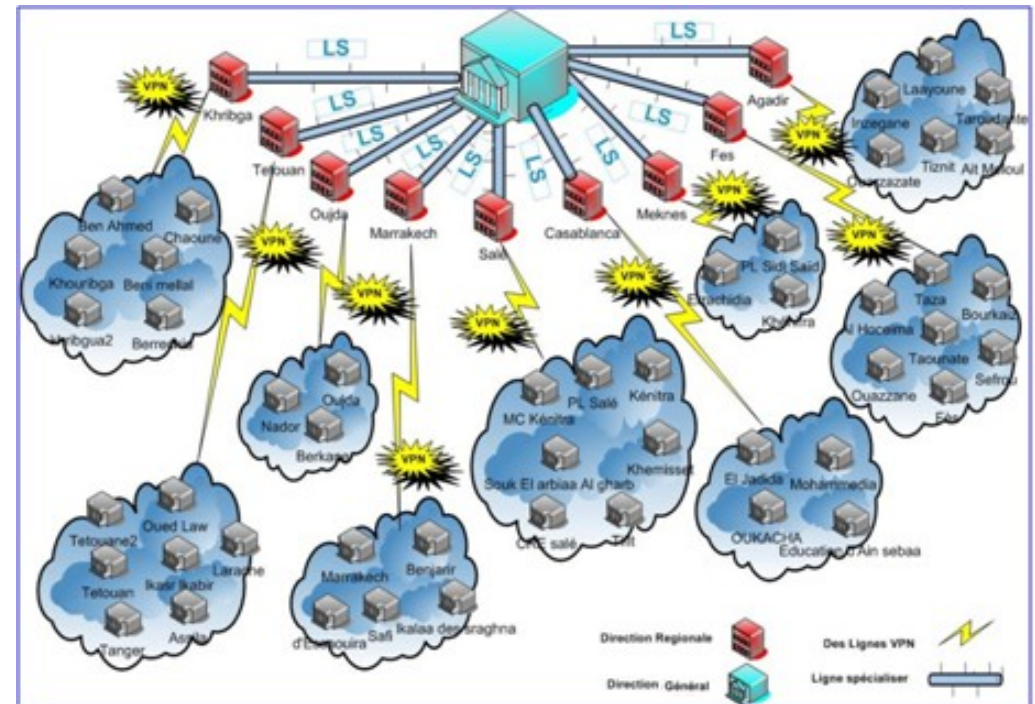
### ➤ L'interconnexion centralisée en VPN MPLS (en étoile) :

- Des liaisons VPN sur une infrastructure partagée
- Technique d'accès: LL ou ADSL
- Flux centralisés vers un seul système
- Architecture moins couteuse



## 2. leur topologie

- L'interconnexion arborescente (hiérarchique):
  - Réseau hiérarchique à 2 niveaux
  - Flux décentralisés vers plusieurs systèmes



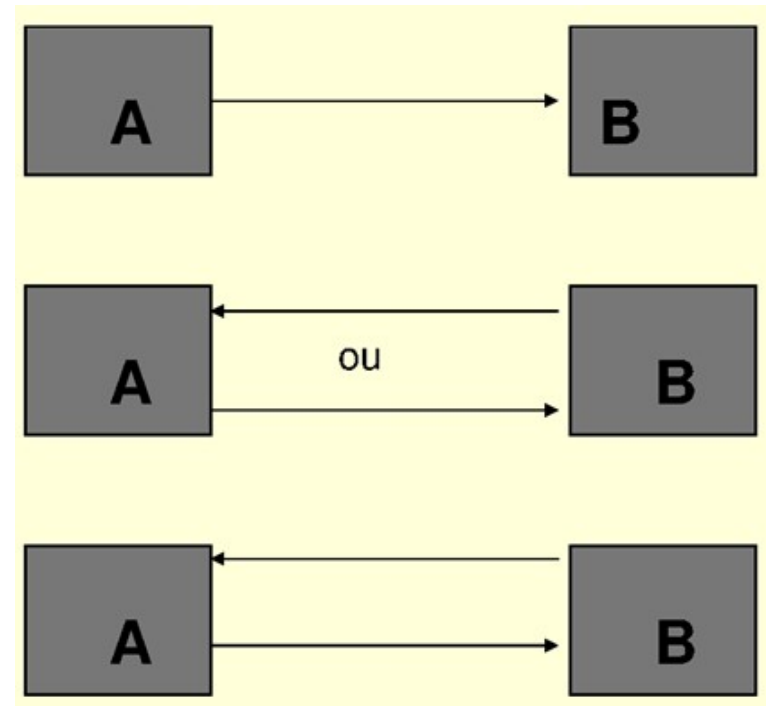
## 2. leur topologie

### ➤ Comparaison des 3 architectures:

	Avantages	Inconvénients
<b>Architecture en étoile (LS): Interconnexion en LS</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- liaison dédiée</li><li>- qualité de service contrôlable</li><li>- liaison sécurisée sans cryptage</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Très couteuse</li></ul>
<b>Architecture en étoile (MPLS): Interconnexion en VPN-MPLS</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Economique</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Qualité de service best effort en standard avec possibilité d'achat des classes QOS.</li><li>-Sécurité avec cryptage de données</li></ul>
<b>Architecture arborescente (hiérarchique): LS+VPN-MPLS</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Coût réduit</li><li>-Favorable pour les architectures décentralisées (Serveurs installés au niveau des directions régionales)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>-Risque d'isolement d'un ensemble de sites si la LS de la d'un site principal tombe en panne.</li></ul>

### 3. Type de connexion

- **Simplex:** transmission possible en 1 direction
- **Half-duplex:** transmission bidirectionnelle mais pas simultanée.
- **Full-duplex:** transmission dans les deux sens



## 4. Nature des réseaux

**Deux grand types de réseaux: privés et publics :**

👍 Les **réseaux privés** utilisent des liens physiques ou logiques dédiés (ne pouvant pas être utilisés par d'autres usagers). Ces liens privés sont bâtis ou loués à des fournisseurs de services. Les liens loués sont fournis à des vitesses standardisées (56/64 kbps, T1 (1.544 Mbps, etc.).

**NB:** ne pas confondre réseau privé avec réseau propriétaire

Exemple de réseaux propriétaire: ONCF, militaire, gendarmerie, CHU, ...

👍 Le **réseau public** (ou réseau commuté) utilise la notion de commutation pour pouvoir accommoder tous les usagers.



### 5. Types de services fournis

Deux grand types de réseaux: privés et publics :

👍 ***Monoservice*** : typiquement le téléphone ou les réseaux de données.

👍 ***Multiservice*** : pouvant fournir différents types de services tel la voix, les données, la vidéo, la vidéo sur demande etc.

## 6. Types de commutation

Typiquement il existe deux grands types de commutation :

- 👍 ***Commutation de circuit*** : Lorsqu'un appel se présente, un circuit est établi entre la source et la destination. Les ressources nécessaires seront allouées pour la durée de l'appel. S'il n'y a pas suffisamment de ressources, l'appel est refusé.
- 👍 ***Commutation de paquet*** : L'information est transformée en paquets. Les paquets sont gardés dans un tampon tant que les ressources nécessaires à leur transmission ne sont pas disponibles. Les appels ne sont généralement pas refusés mais l'information subit du délai.

### 6. Types de commutation

**Exemple:** calcul de temps de traversée d'un fichier en commutation de circuits

Quel est le temps de transit d'un fichier de 640 000 bits d'un host A à un host B?

On suppose que

- le débit totale est égal à 1,536000 Mbps
- le réseau est basé sur une technique d'accès TDM à 24 slots/s
- le temps d'établissement de circuit est estimé à 500ms.



👍 **Routeur**

👍 **Commutateur**

👍 **Modem**

👍 **Serveur de communication**

## Couche 3

👍 **Acheminement des paquets au travers de réseaux**

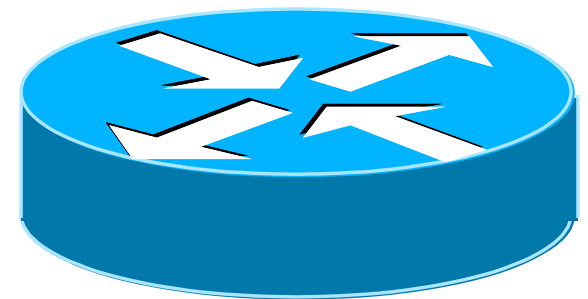
👍 **Offre des interfaces LAN et WAN**

👍 **Exemple :**

👉 **Routeur ADSL\*/RNIS\*\***

**\* Asymetric Digital Subscriber Line**

**\*\* Réseau Numérique à Intégration de Services (ISDN)**



## Couche 2

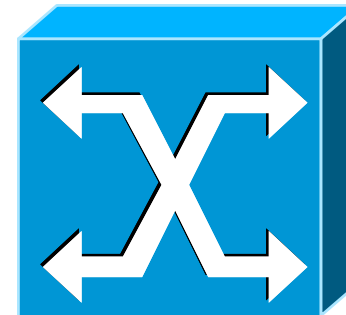
- Commutation du trafic WAN
- Présent au cœur d'un réseau WAN

### 👍 Exemples :

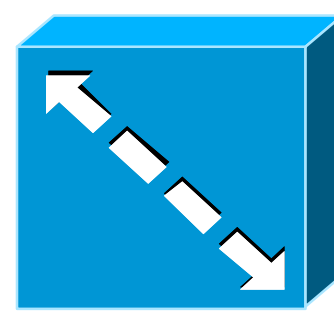
- Commutateur RNIS
- Commutateur ATM\*
- Commutateur Frame Relay

\* **Asynchronous Transfer Mode**

Switch ATM



Switch ISDN

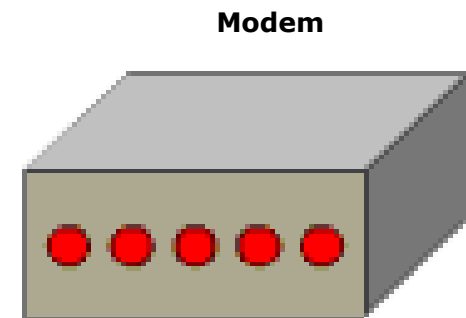


## Couche 1

- Placé aux extrémités d'une liaison WAN
- Adapte les signaux au format désiré de chaque côté

## Exemples :

- Modem analogique (56K/V.90)
- Modem RNIS
- Modems pour les Liaisons louées

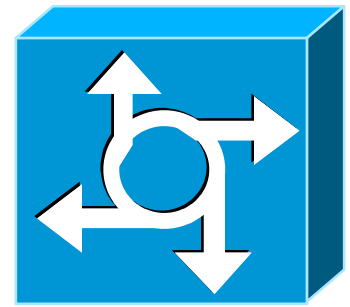


## Couche 7

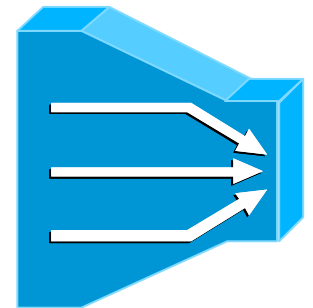
- Concentre/commute les communications utilisateur entrantes et sortantes

## Exemples :

- PABX (Private Automatic Branch eXchange): standard téléphonique  
2 types de PABX: PABX IP et PABX classique (stand alone)  
(Avaya, Cisco,...)
- DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexor)  
(équilibre de charge pour internet haut débit)



Serveur de com



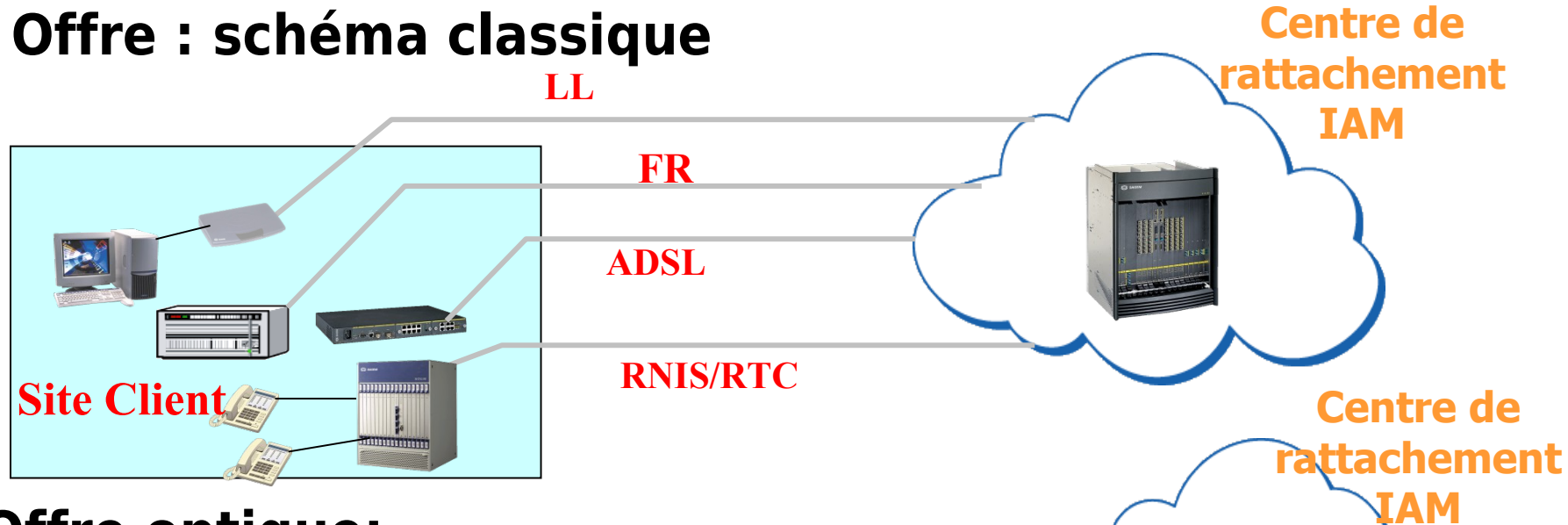
DSLAM



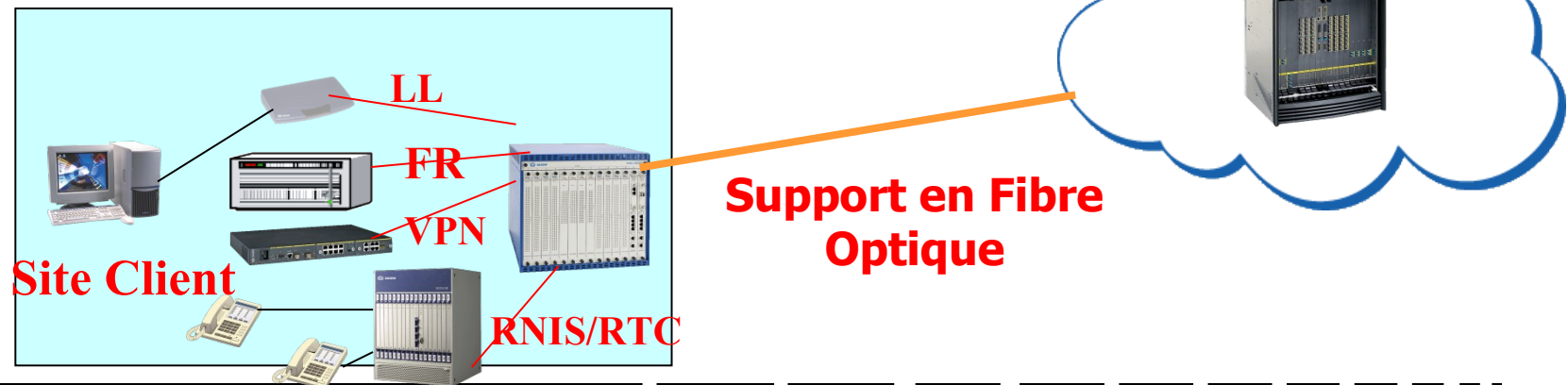
# CARACTÉRISTIQUES DES RÉSEAUX DE CŒUR ET RÉSEAUX D'ACCÈS

# Exemple IAM: Réseaux de cœur et réseaux d'accès

## ❖ Avant Offre : schéma classique



## ❖ Avec Offre optique:



## 👍 Réseau d'accès ("access network")

- ✓ Permet aux utilisateurs d'accéder au cœur du réseau
- ✓ Moyen par lequel les stations des utilisateurs sont connectées au réseau.
- ✓ Exemple : Wifi, la ligne téléphonique

## 👍 Réseau du coeur ("core network", "backbone network")

- ✓ Permet d'interconnecter les réseaux d'accès entre eux
- ✓ Moyen indirect par lequel toutes les stations des utilisateurs sont interconnectées entre elles

## 👍 **Caractéristiques des réseaux d'accès**

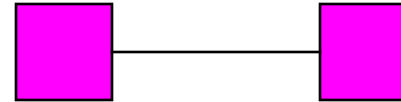
- ✓ Faible coût d'accès
- ✓ Etendue limitée (env. 100 m)
- ✓ Gestion aisée (particulier ou entreprise)
- ✓ Généralement, c'est un réseau à diffusion et à accès multiple
- ✓ Hétérogénéité des techniques d'accès

## 👍 **Caractéristiques des Réseaux du cœur**

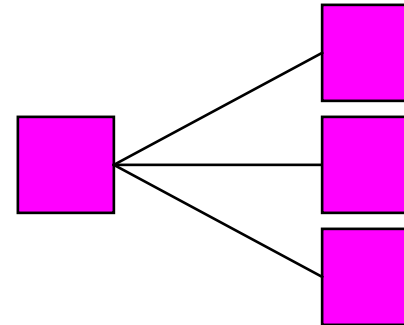
- ✓ Grand débit (Tbit/s), grande étendue (plusieurs 100 km), gestion pointue (opérateur de réseau)
- ✓ Généralement, c'est un réseau à base de liaisons point-à-point
- ✓ S'appuie principalement sur des liaisons optiques (ou satellitaires)

## Différentes formes de liaisons

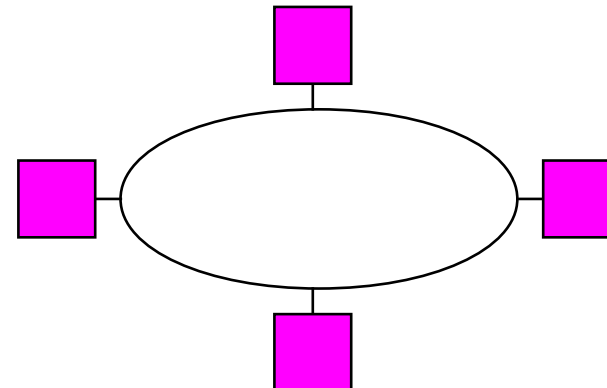
👍 **Point à point**



👍 **Point à Multipoint**



👍 **En boucle ou anneau**



# **LES SERVICES OFFERTS PAR LES RESEAUX DE TELECOMMUNICATIONS**

Les plus grand type de réseaux actuels: *INTERNET* et *TELEPHONE*

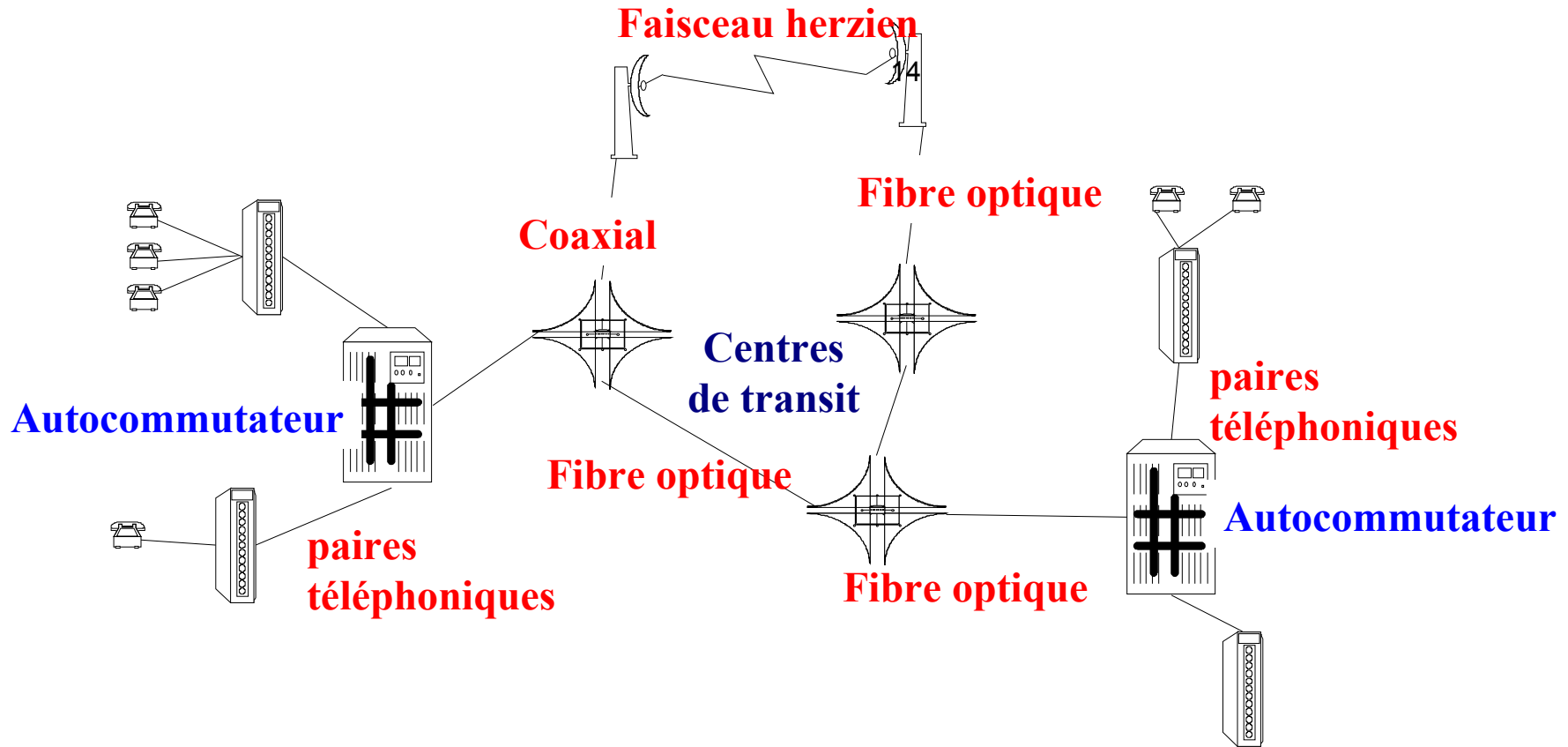
### Réseaux téléphoniques

- Terminaux sans intelligence
- Intelligence dans le réseau (le réseau garde des informations sur l'état du système)
- La qualité de service est garantie
- Basés sur la commutation de circuits

### Internet

- Intelligence dans les terminaux
- Le réseau ne garde pas d'informations sur l'état de la situation
- Pas de garantie de qualité de service
- Basé sur la commutation de paquets

## 👍 Réseau téléphonique





### Exercice de calcul de débit

On désire diffuser de la vidéo au rythme de 25 images par seconde. La résolution des images est 800x600 en 256 couleurs (En 256 couleurs, chaque pixel nécessite un octet). Le son associé à la vidéo est échantillonné à 44 100 Hz sur 16 bits.

Quel doit être (en bits par seconde) le débit du réseau utilisé pour la diffusion ?

# LES RESEAUX HAUT DEBIT

## LES RESEAUX HAUT DEBIT

---

- Les premiers modems étaient lents : **300 bits/s**. Comme il faut environ 10 bits pour représenter un caractère.  
Pas question, dans ces conditions, de véhiculer la moindre image
- De 1973 au 1988: Les réseaux à commutation de paquets X.25 avec des débit inférieure ou égale à **64kb/s**
- Après l'apparition de réseau à commutation de paquets niveau 2 Frame Relay a permit d'atteindre des débits de **2 Mbps**
- ATM et MPLS

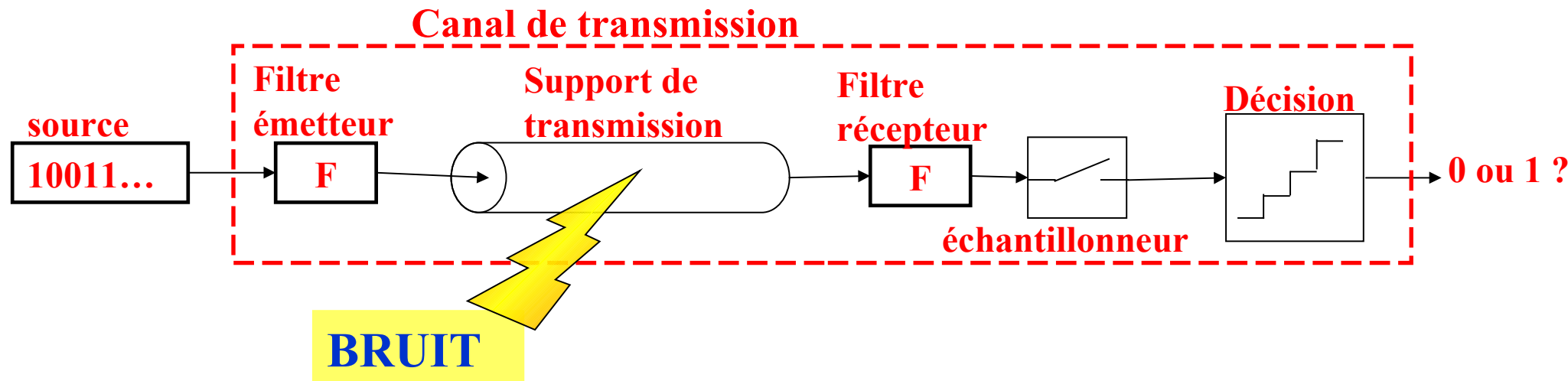
Il faut agir sur : **Information (codage et modulation) + Canal de transmission**

- Un canal de transmission assure le support d'une transmission d'information
- Rôle d'un canal = transmettre l'information entre un émetteur et un récepteur de manière fiable et à faible coût

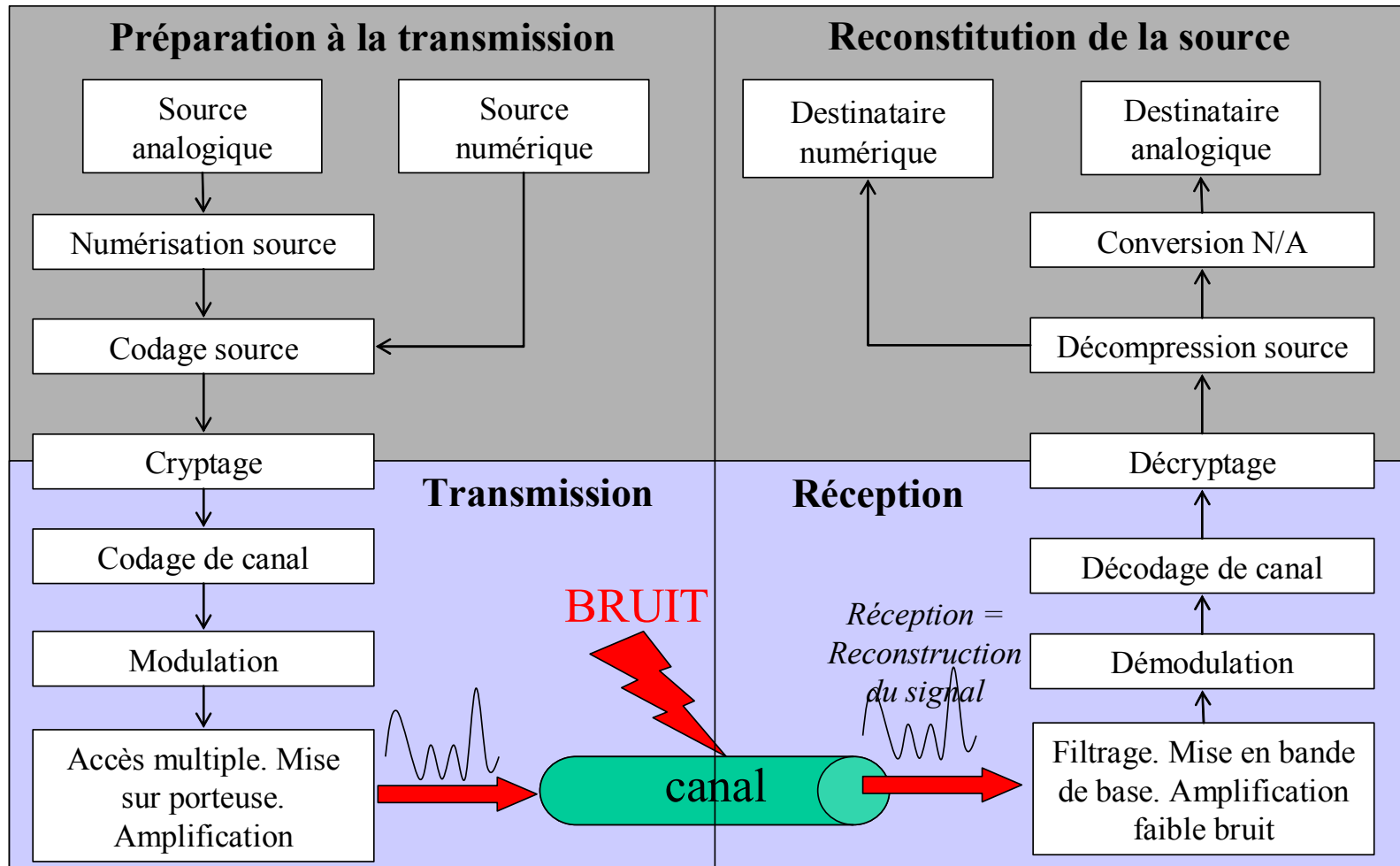
**Problème** : le signal transmis est soumis à des perturbations lors de la traversée du canal,

Comment s'assurer que le récepteur reçoit le signal sans erreur ?

- Architecture générale d'un canal de transmission numérique :



### Architecture général d'un systeme de transmission



### Exemples:

T y p e s	B a n d e p a s s a n t e	U t i l i s a t i o n
P a i r e s T o r s a d é e s	> 1 0 0 K H z	T é l é p h o n i e , L A N
C o a x i a l	> 1 0 0 M H z	T é l é p h o n i e , L A N
F i b r e s O p t i q u e s	> 1 G H z	L A N , M A N e t W A N
F a i s c e a u x H e r t z i e n s	V a r i a b l e ( n a t u r e e t f r é q u e n c e )	W A N , M A N
S a t e l l i t e s	X c a n a u x > 1 0 M H z	W A N
L A N : L o c a l A r e a N e t w o r k M A N : M e t r o p o l i t a n A r e a N e t w o r k W A N : W i d e A r e a N e t w o r k		

## 👉 Bande Passante (Hz) :

👉 Caractérise tous les supports de transmission, c'est la bande de fréquences dans laquelle les signaux sont correctement reçus

$$BP = F \text{ maximale} - F \text{ minimale}$$

👉 Définit pour un rapport de puissance ( $P_e/P_r$ ) en dB

$$10 \log (P \text{ émission} / P \text{ reçue}) \leq N$$

👉 Par convention, on prend  $N = 3$  soit 50 % de "perte" ( $P_r \geq P_e/2$ )

## 👉 Exemples :

- Sensibilité de l'oreille dans la bande de fréquence 20 à 20000 Hz
- Caractéristiques Haut parleur Hi-fi : 30 à 18000Hz
- Bande passante du téléphone 300 à 3700 Hz ( $4000 \text{ Hz} \pm 300 \text{ Hz}$ )



### **Bande Passante (Hz) :**

- Sensibilité de l'oreille dans la bande de fréquence 20 à 20000 Hz
- Bande passante du téléphone 300 à 3700 Hz ( $4000 \text{ Hz} \pm 300 \text{ Hz}$ )

Contrairement au système audio de haute fidélité, dont les bandes passantes sont comprises entre 20 Hz et 20 kHz, le téléphone opère dans la bande de 300 Hz à 3,4 kHz. Quels sont les effets de cette limitation de bande téléphonique sur une communication vocale ?

## 👍 Le débit binaire (D) (bits/s ou bps) :

### 👉 Formule de Shannon

- Est une fonction directe de la bande passante (BP) :

$$D = BP \log_2 (1 + S/N)$$

$$S/N = \text{signal/bruit}$$

C'est la quantité maximale d'information transmissible sur une voie

- **Exemple : Les lignes téléphoniques**

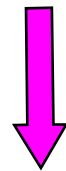
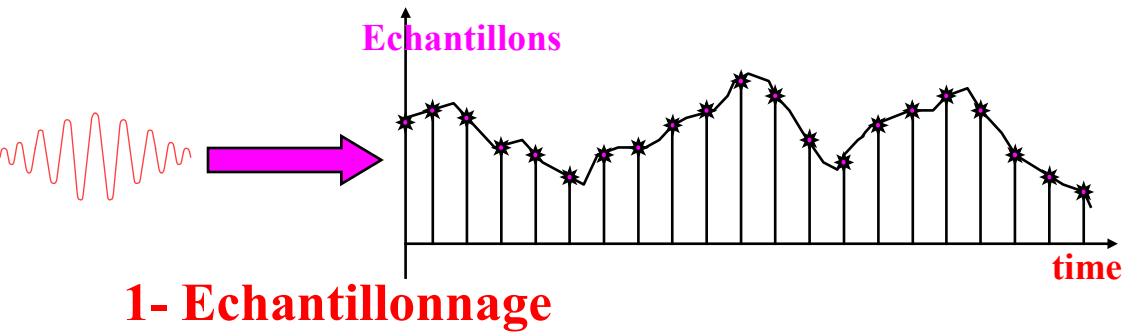
- $BP \approx 3400 \text{ Hz}$
- $S/N \approx 1000 \Rightarrow$  Débit binaire **maximal théorique**  $\approx 34000 \text{ bits/s}$

### 👍 Numérisation de la voix : codage MIC

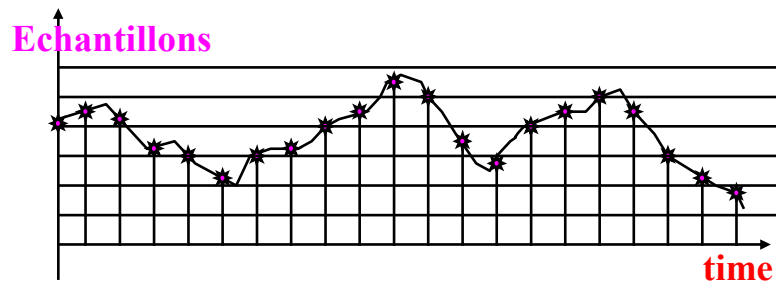
- 👉 Voix = signal analogique
- 👉 Numérisation = échantillonnage + quantification + codage
  - Intérêt de la numérisation : faible taux d'erreur, facilité de multiplexage
- 👉 Bande passante du téléphone est 300Hz à 3400 Hz
  - Donc  $F_e = 8000$  Hz (théorème de Shannon): 8000 échantillons/seconde
  - $F_e = 8000$  Hz  $\rightarrow$  période  $T_e = 125 \mu s$
- 👉 Quantifiés sur 256 niveaux de quantification
  - Codés sur 8 bits
- 👉 La voix codée MIC génère un flux périodique d'octets :  
1 octet/ $125 \mu s \rightarrow$  débit de 64 Kbit/s

**MIC : Modulation par Impulsion Codée**

# Codage MIC



**2- Quantification**



**3- Codage**



$$1\text{octet}/125\mu\text{s} = 64\text{Kbit/s}$$

👍 **Haut débit c'est une notion évolutive : de 10 à 100 Mbit/s et au delà**

## 👍 **Son Haute Fidélité**

👉 Fréquence maximale = 20 000 Hz (20 kHz)

👉 Fréquence échantillonnage utilisée : 44100 Hz

👉 Codage sur 16 bits

👉 Débit **0.7 Mb/s** en mono (1 voie), **1.4 Mb/s** (2 voies) pour un signal stéréo

## 👍 **Vidéo**

👉 **1 Image** (hauteur h, largeur l, n bits pour coder un pixel):  $h \times l \times n$  bits

👉 Qualité VCR  $(352 \times 240 \times 24) \times (25 \text{ images/s}) \approx \mathbf{32 \text{ Mb/s}}$

👉 Qualité TV  $(768 \times 576 \times 24) \times (25 \text{ images/s}) \approx \mathbf{250 \text{ Mb/s}}$

👉 Qualité TVHD  $(1920 \times 1080 \times 24) \times (30 \text{ images/s}) \approx \mathbf{1120 \text{ Mb/s}}$

👍 **Nécessité de compression pour réaliser ce type de transmission à grande échelle**

### 👍 Évolution des services locaux

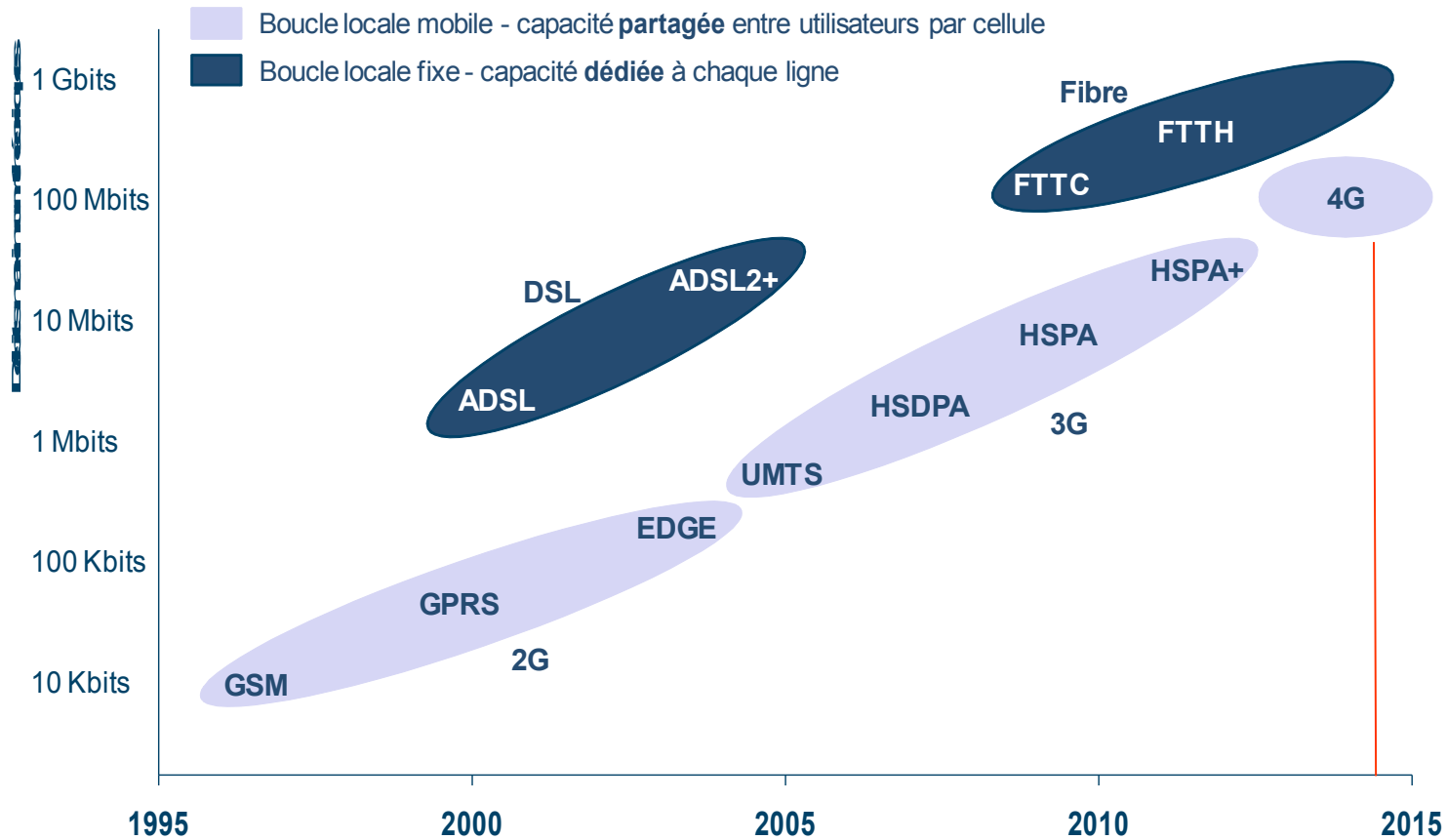
- applications distribuées
- VDIs (génère un trafic énorme sur le réseau)
- distribution de fichiers (pair à pair)
- visualisation à distance
- convergence voix/données (NGN): vidéo, multimédia, téléphonie, . . .

### 👍 Réseaux fédérateurs (backbone)

- augmentation du nombre d'utilisateurs
- augmentation du trafic cumulé

- 👍 Le HD fixe et mobile nécessitent plus de débit aussi bien pour le grand public que le monde de l'entreprise
- 👍 Très haut débit > 50 mb/s
  - 👉 La fibre optique = 200 Mb/s symétriques
  - 👉 La 4G débit théorique 100 puis 150 Mb/s
- 👍 Débits descendant et remontant importants ouvrent de nouvelles perspectives par rapport à l'ADSL (besoin de débit dans les deux sens)
- 👍 Nouveaux usages:
  - 👉 Cloud
  - 👉 Vidéo, téléprésence
  - 👉 e-médecine, e-éducation, e-administration, e-médecine
  - 👉 Télétravail, en situation de mobilité

## comparaison des débits offerts par les différentes technologies fixes et mobiles





## ➤ Connexion serveur-commutateur

- Au moins 10 ou 100 Mbit/s

## ➤ Connexion entre commutateurs

- Au moins 1Gbit/s

## ➤ Aggrégation des liens

- Cumul de bande passante entre différents liens
- Couramment utilisé avec ATM et Ethernet Trunking (Sun), EtherChannel (Cisco), Bonding (Linux). . .
- Permet d'avoir des liens de capacité élevée pour un moindre coût

# Le haut débit sur WAN

---

- SDH
- ATM
- MPLS
- WDM
- DWDM