

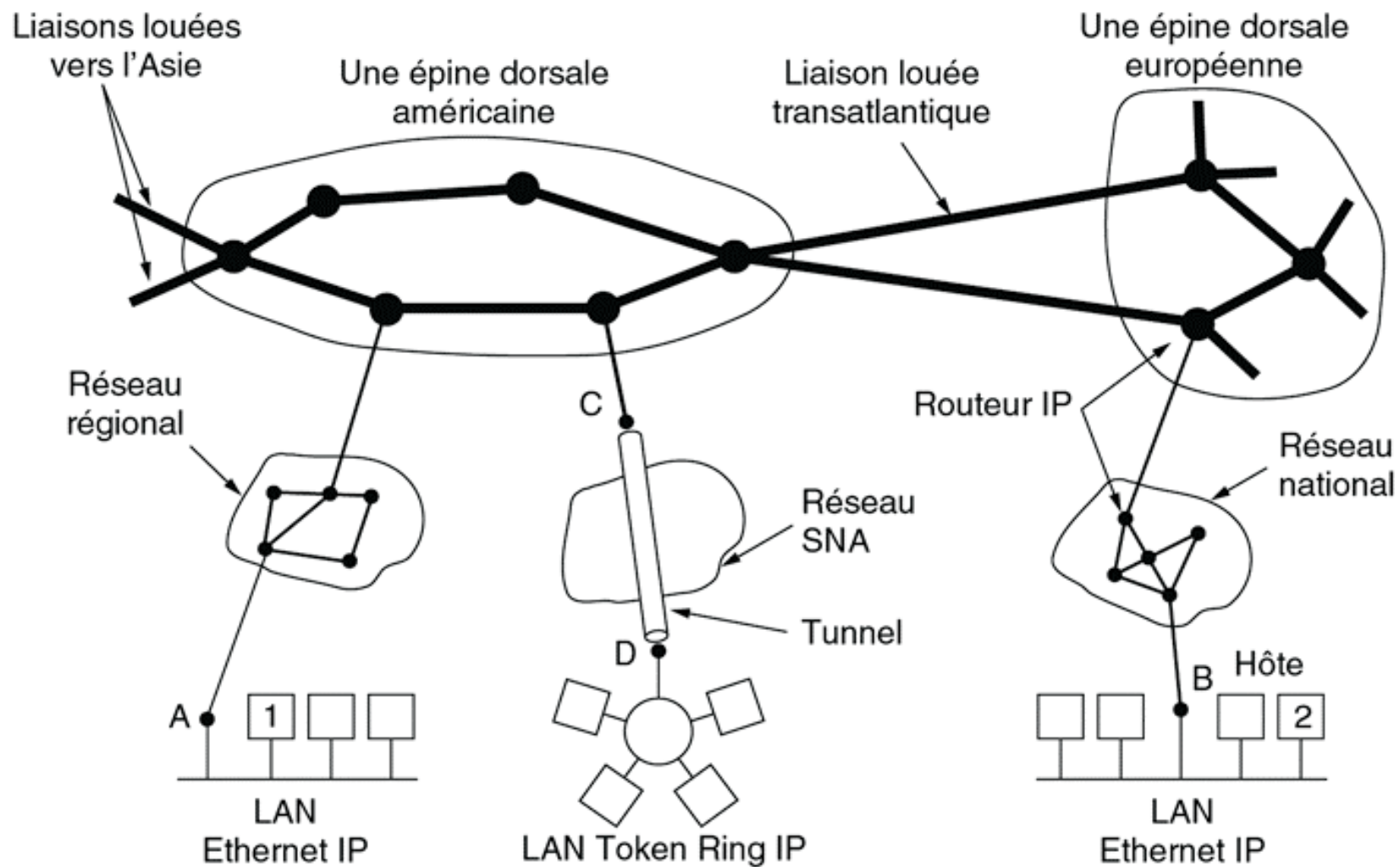
## **Initiation aux réseaux informatiques**

# **Partie 1 : historique et notions de base**

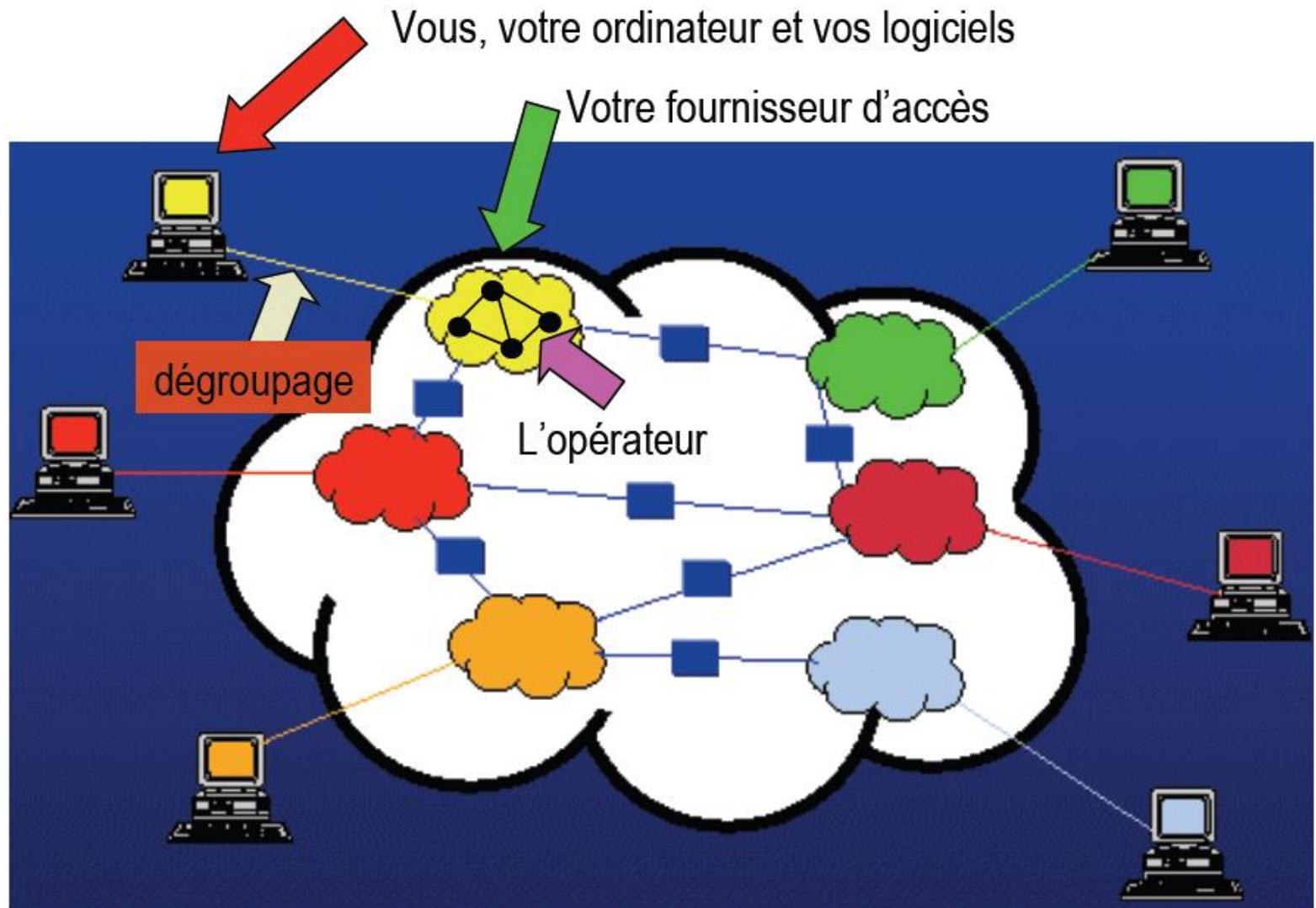
Pr Khalid BOURAGBA

# Objectif du cours

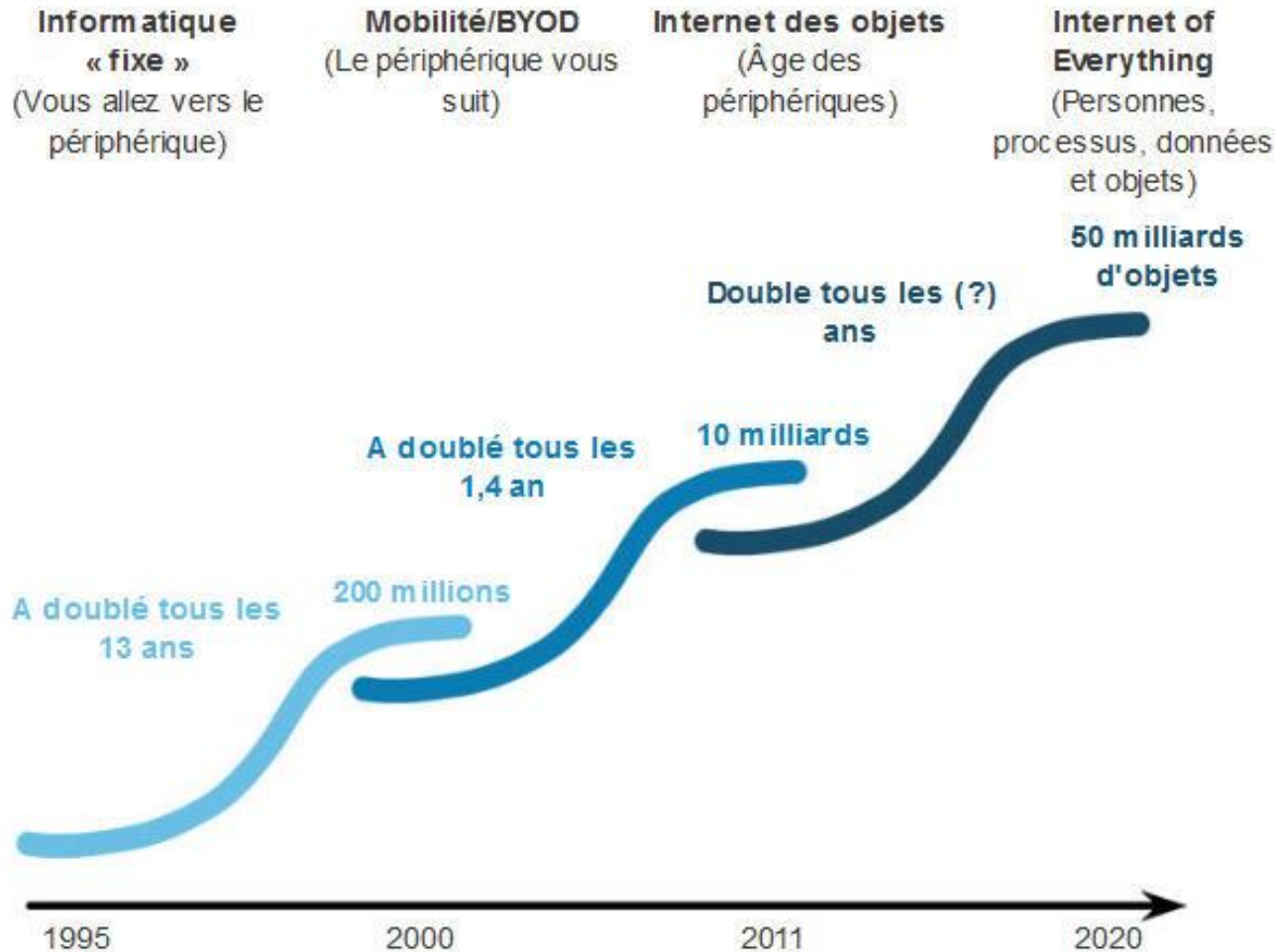
- Donner des bases solides et claires des caractéristiques techniques des réseaux de transport de l'information, de leur fonctionnement, ainsi que leur évolution.



# L'Internet, en vrai...



# Les réseaux aujourd'hui



# Plan

- Partie 1: Historique, normalisation et notions de base en réseau
- Partie 2 :Modèle de protocoles OSI , TCP/IP et architectures de réseau
- Partie 3: Accès réseau
- Partie 4: Couche réseau
- Partie 5: Adressage réseaux

# Bibliographie

- Cisco Academy
- « Réseaux », 4<sup>ème</sup> édition, Andrew Tanenbaum, Pearson Education
- « Réseaux et Télécom », Claude Servin, Dunod
- « Cours réseaux et Télécoms », Guy Pujolle, Eyrolles
- « Pratique des réseaux d'entreprise » , Jean-Luc Montagnier, Eyrolles

# Webographie

- Internet...
- <http://www.urec.cnrs.fr>
- <http://www.guill.net>
- <http://perso.menara.ma/~elkharki/>
- <http://www.commentcamarche.net>
- <http://www.courseforge.org/courses/>
- [www.cisco.com](http://www.cisco.com)
- <http://rangiroa.essi.fr/cours>



# HISTORIQUE

# Bref historique (1)

- 1832: alphabet de Morse (système de transmission codée)
  - Brevet en 1840
  - Première liaison en 1844
  - 1856 en France
  - Première liaison transatlantique en 1858
- 1899: première liaison télégraphique par onde hertzienne France/Angleterre
- 1938 : principe de numérisation du signal
  - MIC: Modulation par Impulsions Codées
- 1948: Invention du transistor

## Bref historique (2)

1956: Premier câble téléphonique transocéanique avec 15 répéteurs immergés

1962: Satellite Telstar 1 -> première liaison de télévision transocéanique

1969: Premiers pas de l'homme sur la lune en direct

1979: Ouverture au public du premier réseau mondial de transmission de données par paquets X.25 (France: Transpac)

1981: Le minitel

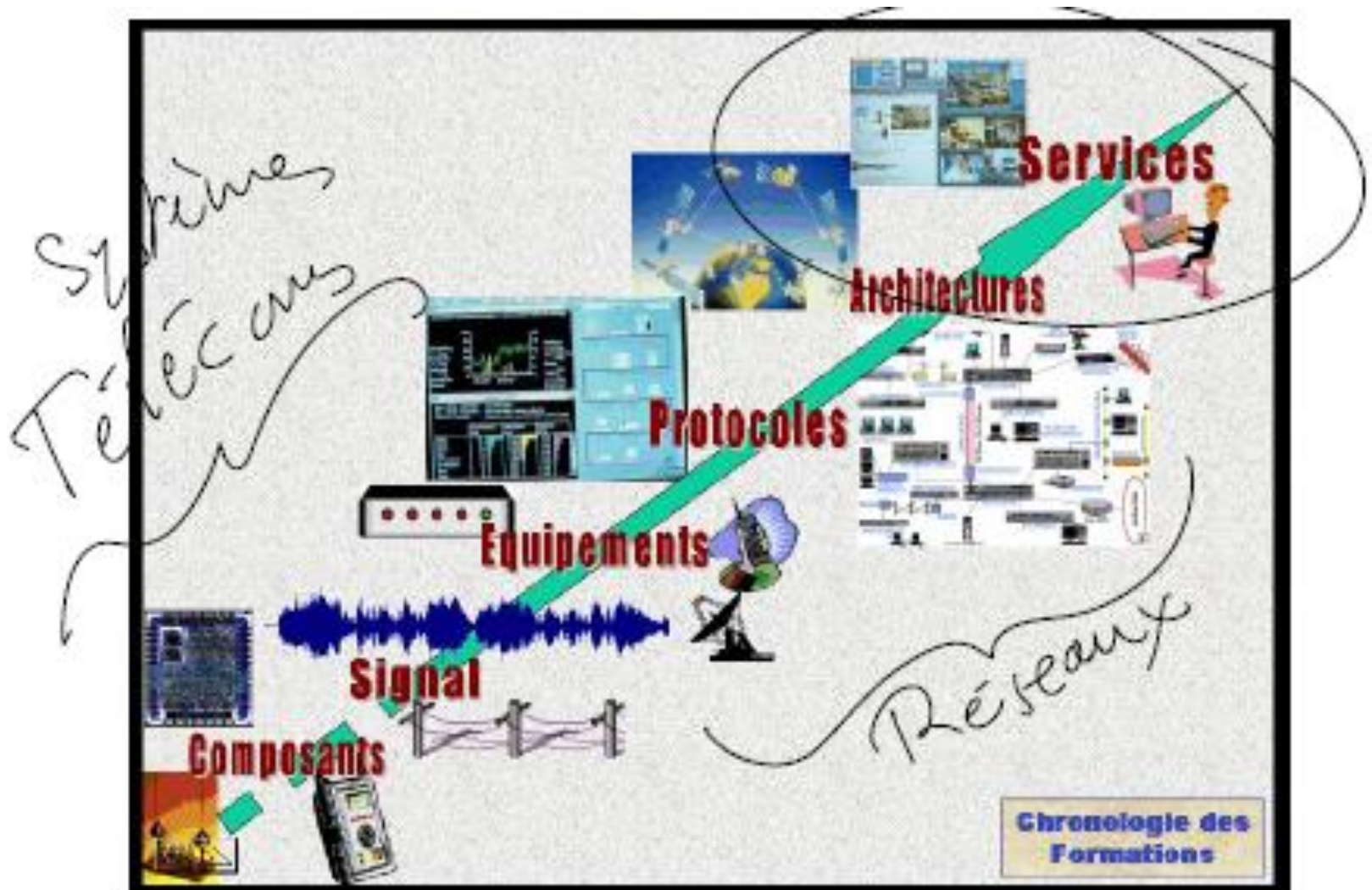
# Bref historique (3) ... et Internet?

- 1959-1968: Programme ARPA
  - Ministère américain de la défense : lancer un réseau capable de supporter les conséquences d'un conflit nucléaire.
- 1969: ARPANET, l'ancêtre d'Internet
  - Les universités américaines s'équipent de gros ordinateurs et se connectent au réseau ARPANET
- 1970-1982: Ouverture sur le monde
  - Premières connexions en Europe
- 1983: Naissance d'Internet
  - Protocole TCP/IP->tous les réseaux s'interconnectent, les militaires quittent le navire

# Bref historique (4) ... et Internet?

- 1986: Les autoroutes de l'Information
  - La National Science Foundation décide de déployer des super-ordinateurs pour augmenter le débit Internet
- 1987-1992: Les années d'expansion
  - Les fournisseurs d'accès apparaissent, les entreprises privées se connectent au réseau
- 1993-2003: L'explosion d'Internet
  - Ouverture au grand public
  - Avènement du WEB et courrier électronique
  - -> Marché considérable

# Historique (5)



# Normalisation

# La normalisation

- « Normalisation »: ensemble de règles destinées à satisfaire un besoin de manière similaire
  - Réduction des coûts d'études
  - Rationalisation de la fabrication
  - Garantie d'un marché plus vaste
  - Garantie d'inter-fonctionnement, d'indépendance vis-à-vis d'un fournisseur, de pérennité des investissements
- Aboutissement d'une concertation entre industriels, administrations et utilisateurs
- Exemple dans les réseaux mobiles:
  - GSM 900, DCS 1800 en Europe
  - D-AMPS 900 et 1900 aux Etats-Unis



# Organismes de normalisation

- U.I.T Union Internationale des Télécommunications (ex CCITT) (Genève) <http://www.itu.ch>
  - Recommandations pour les pays moins avancés
  - Recommandations pour les télécommunications internationales
    - \* UIT-R: Radiocommunications (allocations des fréquences)
    - \* UIT-T: Télécommunications
    - \* UIT-D: Développement

## Organismes de normalisation(2)

- E.T.S.I European Telecommunications Standard Institute (Sofia Antipolis) <http://www.etsi.org>
  - Responsable de la normalisation des Télécommunications en Europe (réseaux publics et leur moyen d'accès)
  - Recommandations identiques à celles de l'U.I.T
- A.N.S.I American National Standard Institute (New York) <http://www.ansi.org>
  - équivalent américain de l'ETSI
- I.E.E.E Institute of Electrical & Electronics Engineers (USA) [www.ieee.org](http://www.ieee.org)
  - Plus grande organisation professionnelle et universitaire du monde
  - Groupe de normalisation pour l'informatique (IEEE 802 pour les réseaux locaux)

# Organismes de normalisation(3)

- I.S.O International Standardization Organization
  - Organisation non gouvernementale
  - Centaine de pays membres
  - Édite des normes dans tous les domaines
  - Membre de l'UIT
- A.F.N.O.R Association Française de NORmalisation (Paris la défense et régions) [www.afnor.fr](http://www.afnor.fr)
  - Responsable de la normalisation en France
  - Membre de l'ISO

# La réglementation

- Loi de réglementation des Télécommunications (LTR) Le 18 juin 1996
  - \* - Aménage la concurrence des réseaux et services
    - Assure le maintien et le développement du service public
    - Crée **une autorité de régulation indépendante (ART)** (ANRT pour le Maroc)
  - \* Libéralisation totale du secteur Le 1<sup>er</sup> janvier 1998
  - \* Incidence sur la tarification
    - Rapprocher coûts/tarifs
    - Obligation du service universel (2 postes téléphoniques doivent pouvoir être mis en relation à tout instant)
    - Loyauté de la concurrence

# NOTIONS DE BASE EN RESEAU

# Qu'est ce qu'un réseau de communication?

- Un réseau de communication peut être défini comme l'ensemble des ressources matériels et logiciels liées à la transmission et l'échange d'information entre différentes entités. Suivant leur organisation, ou architecture, les distances, les vitesses de transmission et la nature des informations transmises, les réseaux font l'objet d'un certain nombre de spécifications et de normes.

# Qu'est-ce qu'un réseau informatique (1) ?

- Comment éviter la duplication de l'équipement et des ressources ?
- Comment communiquer de manière efficace ?
- Comment mettre en place et gérer un réseau ?

**Solution**



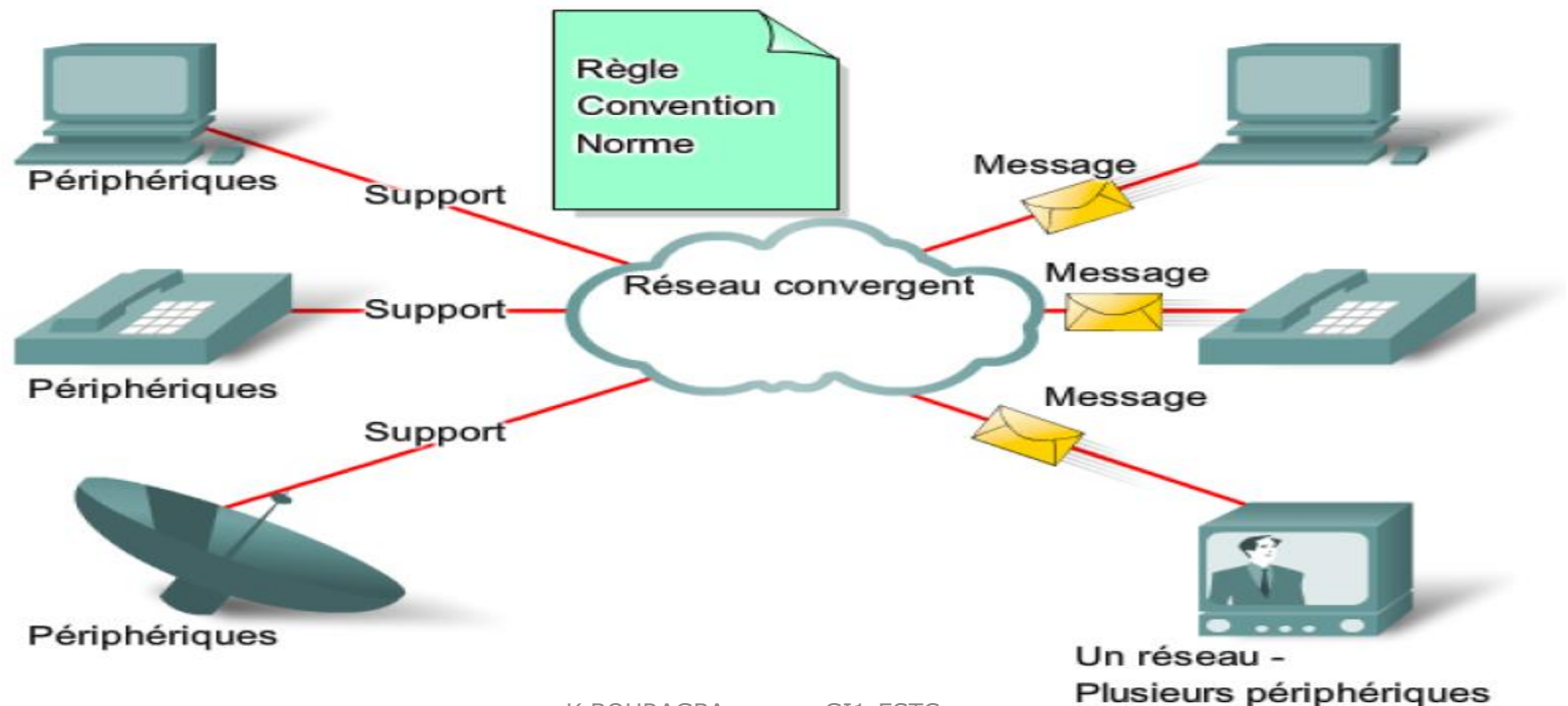
Réseaux locaux d'entreprises (LANs)



Réseaux entre les entreprises (MANs & WANs)

# Qu'est-ce qu'un réseau informatique (2) ?

- Plusieurs types de réseaux, chacun offre des types de services différents
- Les nouvelles technologies utilisent les réseaux convergents capable de fournir plusieurs types de service à la fois





# Types de réseaux

## **Les réseaux locaux LAN (Local Area Network) IEEE 802:**

- Couvrent une région géographique limitée
- Permettent un accès multiple aux supports à large bande
- Ils assurent une connectivité continue aux services locaux (Internet, messagerie, ...)
- Ils relient physiquement des unités adjacentes

*Exemple : Une salle*

## Types de réseaux (2)

### **Les réseaux métropolitains MAN (Metropolitan Area Network)**

- Norme :IEEE 802.6
- Fédération de réseaux locaux
- Dimension:un campus, une ville

## Types de réseaux (3)

### **Les réseaux étendus WAN (Wide Area Network) :**

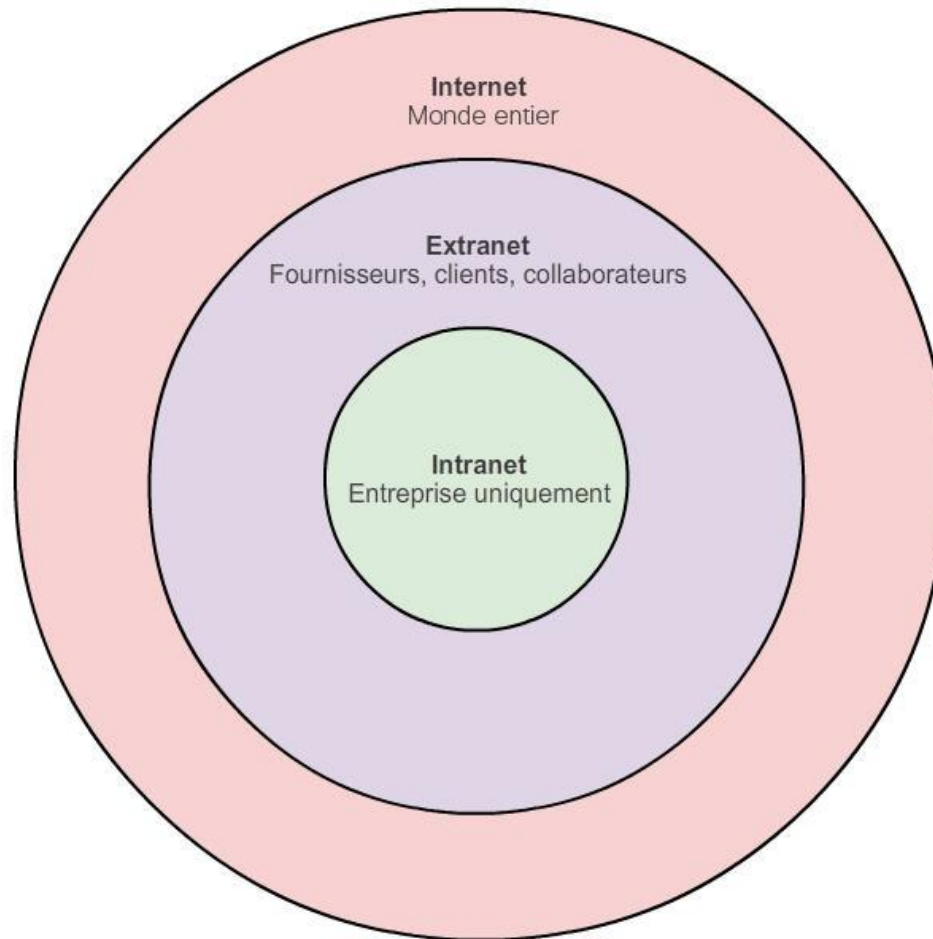
- Couvrent une vaste zone géographique
- Assurent une connectivité pouvant être continue ou intermittente
- Relient des unités dispersées à une échelle planétaire

*Exemple : Internet*

# Types de réseaux (4)

Distance entre les unités centrales	Emplacement des	Nom
0.1 m	Circuit imprimé Assistant personnel	Carte mère Réseau personnel (PAN)
1.0 m	Millimètre Mainframe	Réseau de systèmes informatiques
10 m	Pièce	Réseau local (LAN) Votre salle de cours
100 m	Bâtiment	Réseau local (LAN) Votre école
1000 m = 1 km	Campus	Réseau local (LAN) Université de Stanford
100,000 m = 100 km	Pays	Réseau WAN Cisco Systems, Inc.
1,000,000 m = 1,000 km	Continent	Réseau WAN Afrique
10,000,000 m = 10,000 km	Planète	Wide area network (WAN) The Internet
100,000,000 m = 100,000 km	Système Terre-Lune	Réseau WAN Satellites terrestres et artificiels

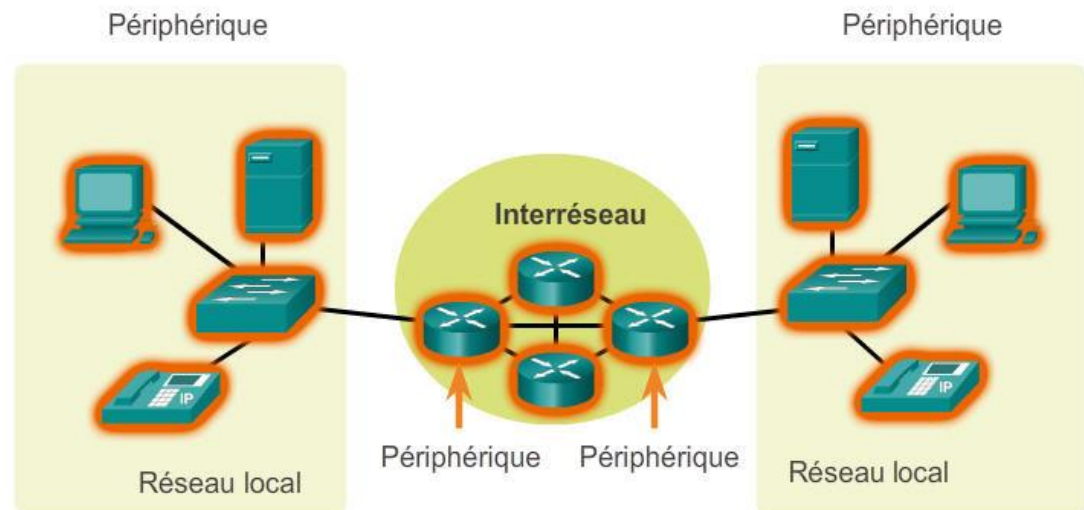
# Internet, Intranet et Extranet



# Composants d'un réseau

Les composants d'un réseau se classent en trois catégories :

- Les périphériques
- Les supports de transmission
- Les services



# Les périphériques finaux

Voici quelques exemples de périphériques finaux :

- Ordinateurs (stations de travail, ordinateurs portables, serveurs de fichiers, serveurs Web)
- Imprimantes réseau
- Téléphones VoIP
- Terminal TelePresence
- Caméras de surveillance
- Appareils portatifs (smartphones, tablettes, PDA, lecteurs de carte sans fil et lecteurs de codes à barres)

# Équipements de l'infrastructure réseau

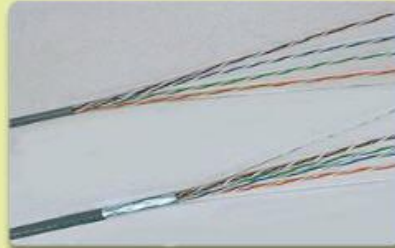
Parmi ces périphériques réseau intermédiaires, citons :

- Les périphériques d'accès réseau (commutateurs et points d'accès sans fil)
- Les périphériques interréseau (routeurs)
- Les dispositifs de sécurité (pare-feu)



# Supports de transmission

Cuivre



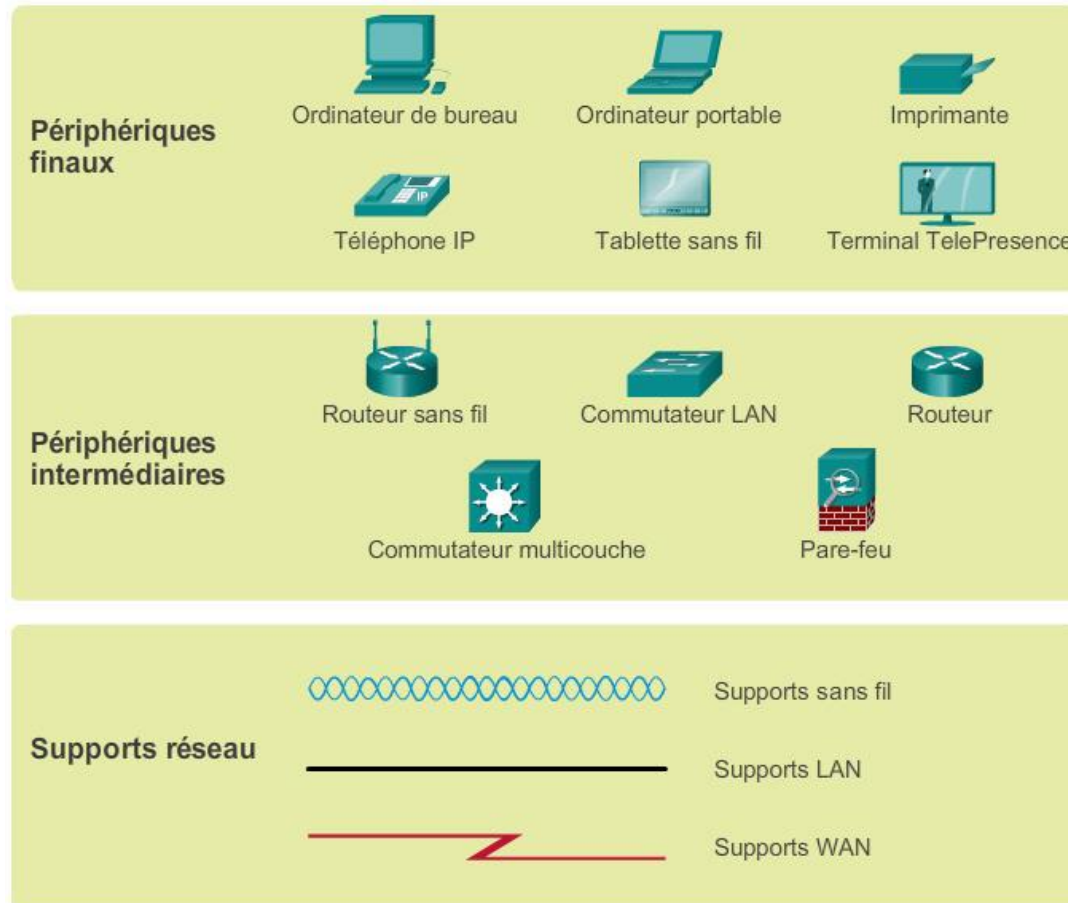
Fibre optique



Sans fil



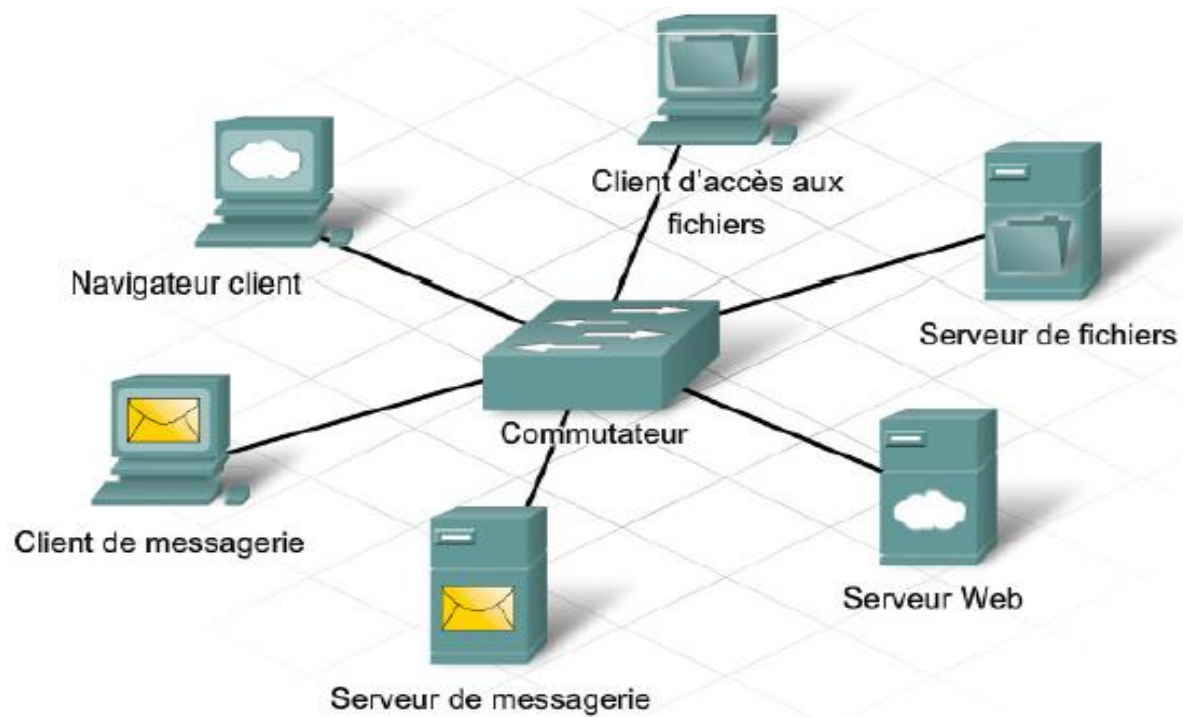
# Représentations graphiques des réseaux



# Rôles des ordinateurs au sein du réseau (1)

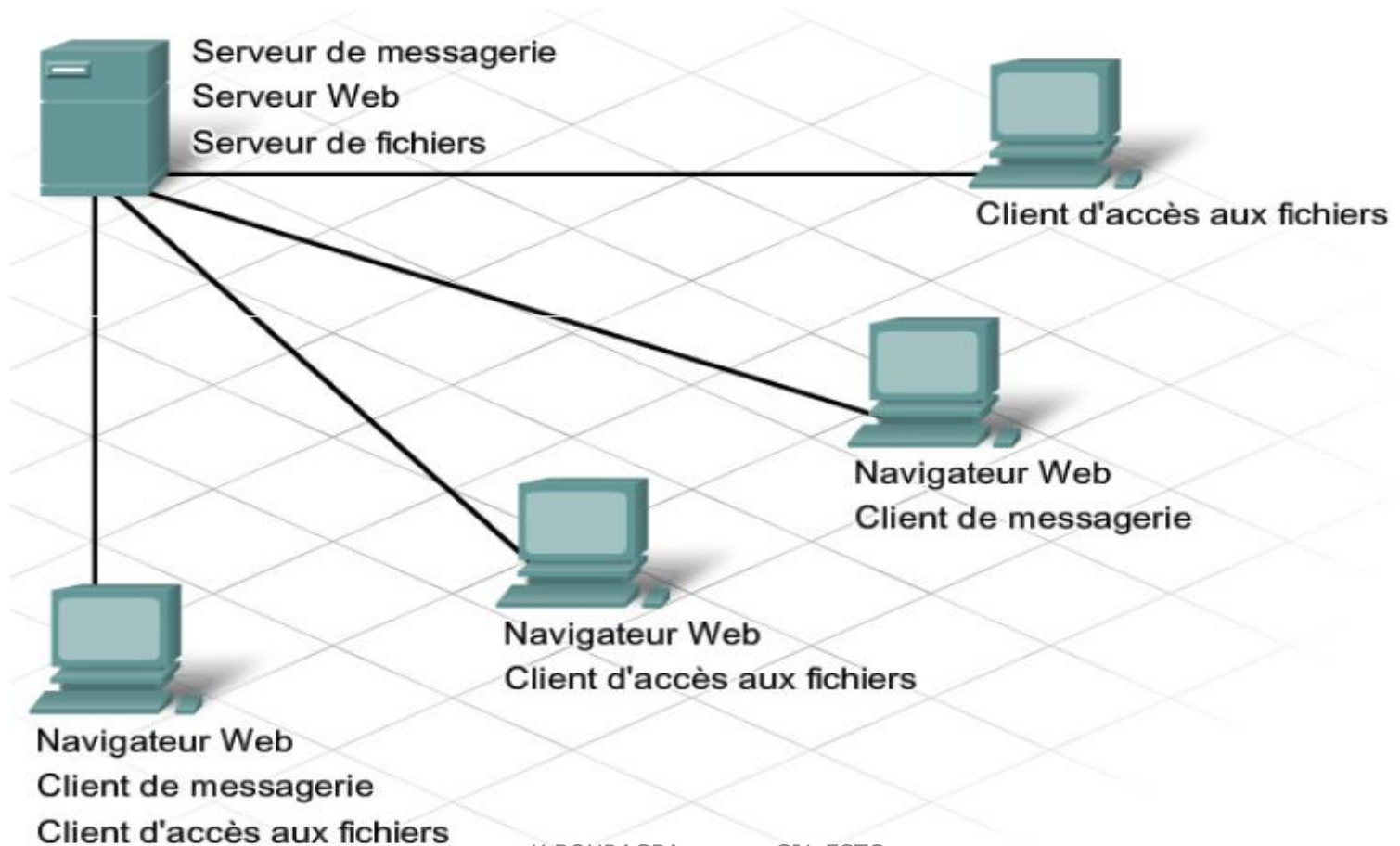
- Dans un réseau actuel, un hôte peut jouer le rôle d'un client ou d'un serveur:
  - ✓ **Serveur** : un hôte équipé des logiciels leur permettant de fournir des informations, comme des messages électroniques ou des pages Web, à d'autres hôtes sur le réseau. Chaque service nécessite un logiciel serveur distinct.
  - ✓ **Client** : ordinateurs hôtes équipés d'un logiciel qui leur permet de demander des informations auprès du serveur et de les afficher.

## Rôles des ordinateurs au sein du réseau (2)



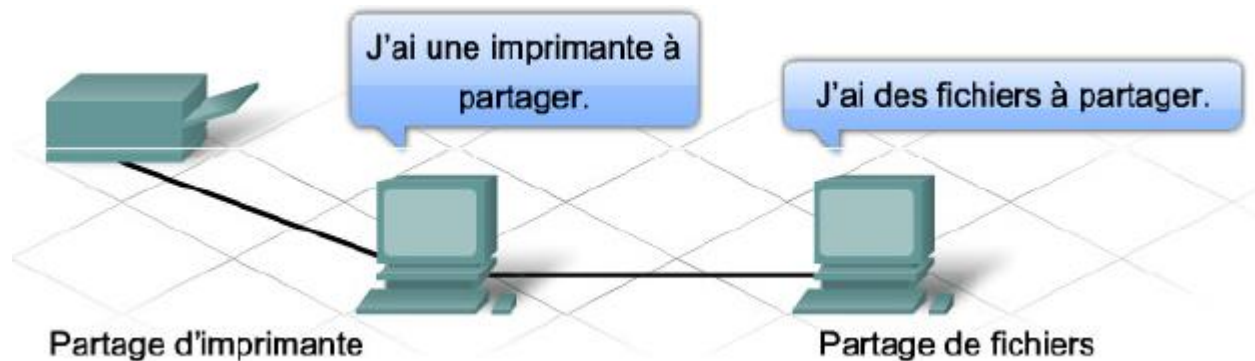
# Rôles des ordinateurs au sein du réseau (3)

Un ordinateur équipé d'un logiciel serveur peut fournir des services à un ou plusieurs clients en même temps



# Réseaux Peer-to-Peer

- les PCs se comportent comme des partenaires égaux, chacun peut assurer la fonction du client et du serveur.
- chaque utilisateur contrôle ses propres ressources et peut décider de les partager ou non avec ou sans mot de passe.



## Avantages d'un réseau peer to peer :

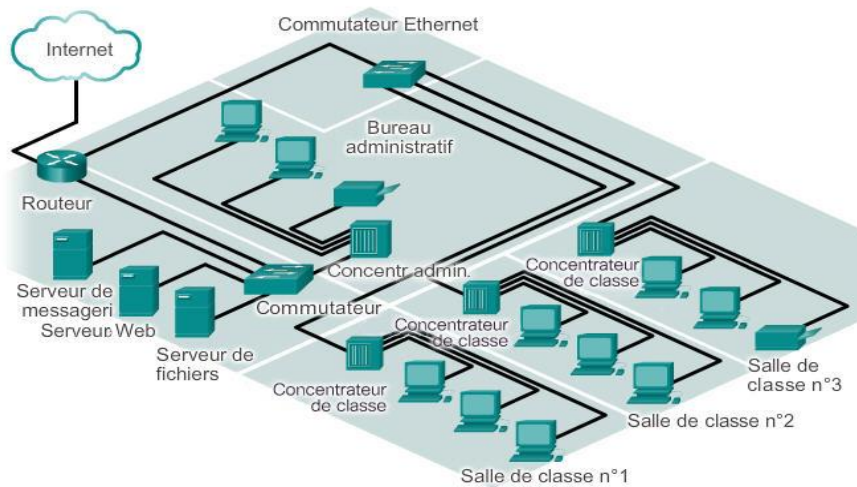
- facile à configurer ;
- plus simple ;
- coûte moins cher car les périphériques réseau et les serveurs dédiés peuvent ne pas être nécessaires ;
- peut servir pour des tâches simples, telles que le transfert de fichiers et le partage d'imprimantes.

## Inconvénients d'un réseau peer to peer :

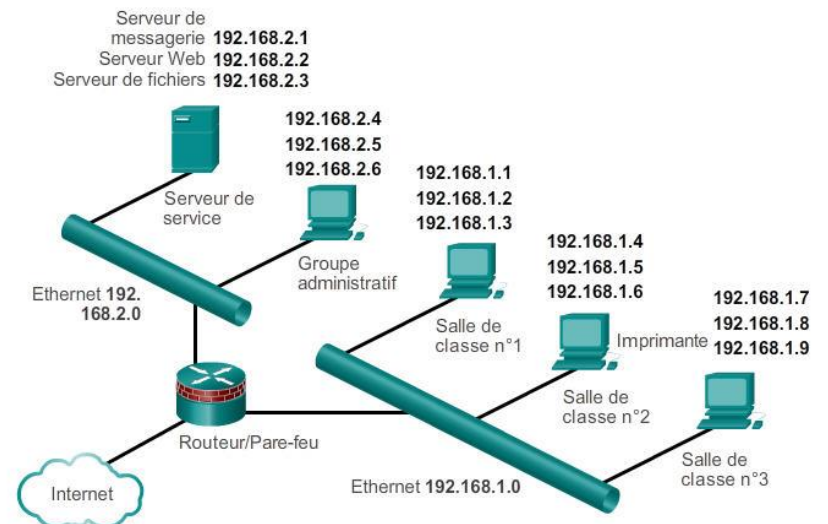
- aucune administration centralisée ;
- n'est pas aussi sécurisé ;
- n'est pas extensible ;
- tous les périphériques peuvent servir à la fois de client et de serveur, ce qui peut ralentir leurs performances.

# Schémas de topologie

Topologie physique



Topologie logique





Tendances relatives aux réseaux

# Le BYOD (Bring Your Own Device)





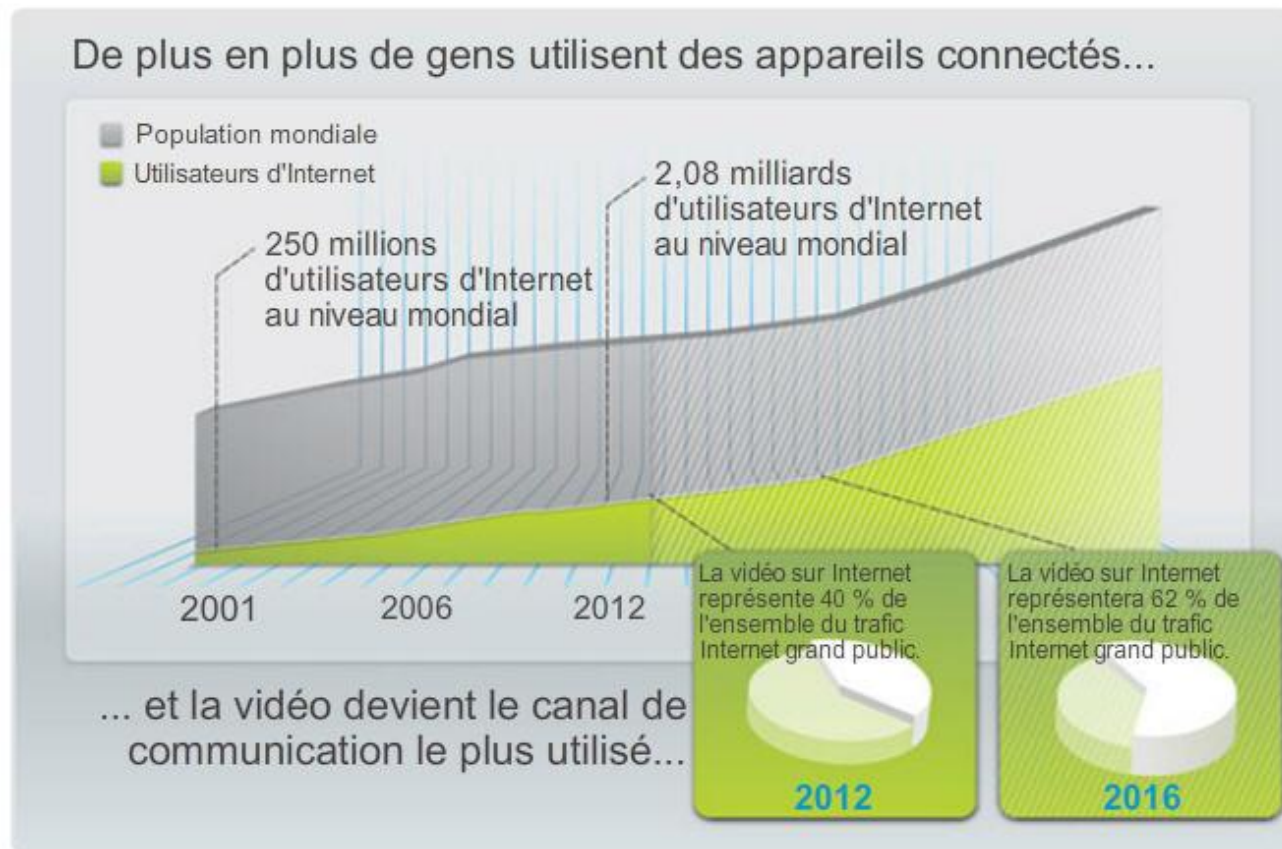
## Tendances relatives aux réseaux

# Collaboration en ligne



## Tendances relatives aux réseaux

# Communication vidéo



## Tendances relatives aux réseaux

# Cloud computing

Il existe quatre types principaux de cloud :

- Clouds publics
- Clouds privés
- Clouds personnalisés
- Clouds hybrides



## Tendances relatives aux réseaux

# Cloud computing

- Poussée à l'extrême, la dématérialisation conduit à l'entreprise virtuelle
- Le client n'est plus en contact avec le producteur, il commande en ligne sur la base d'un catalogue en ligne, paie en ligne, se forme en ligne...
- Cloud computing: Informatique dans le nuage (début 2000)
- Google Apps, Microsoft (Azure, Office Web Apps), IBM (Blue Clouds, LotusLive), Amazon (AWS), JoliCloud...



# Tendances relatives aux réseaux

## Cloud computing



# **Tendances relatives aux réseaux**

## **Cloud computing**

### **Types de services de cloud computing**

- IaaS (Infrastructure as a Service)
- PaaS (Platform as a Service)
- SaaS (Software as a service)

**Les clouds publics ont plusieurs locataires**

**Les clouds privés ont un seul locataire**

## Tendances relatives aux réseaux

# Data centers

Un data center héberge des systèmes informatiques et les composants associés :

- Connexions de communication de données redondantes
- Serveurs virtuels haut débit (parfois appelés batteries de serveurs ou clusters de serveurs)
- Systèmes de stockage redondants (généralement, technologie SAN)
- Alimentations redondantes ou de secours
- Systèmes de contrôle de l'environnement (par exemple, climatisation, système d'extinction des incendies)
- Dispositifs de sécurité

Technologies réseau domestiques

# Tendances technologiques domestiques

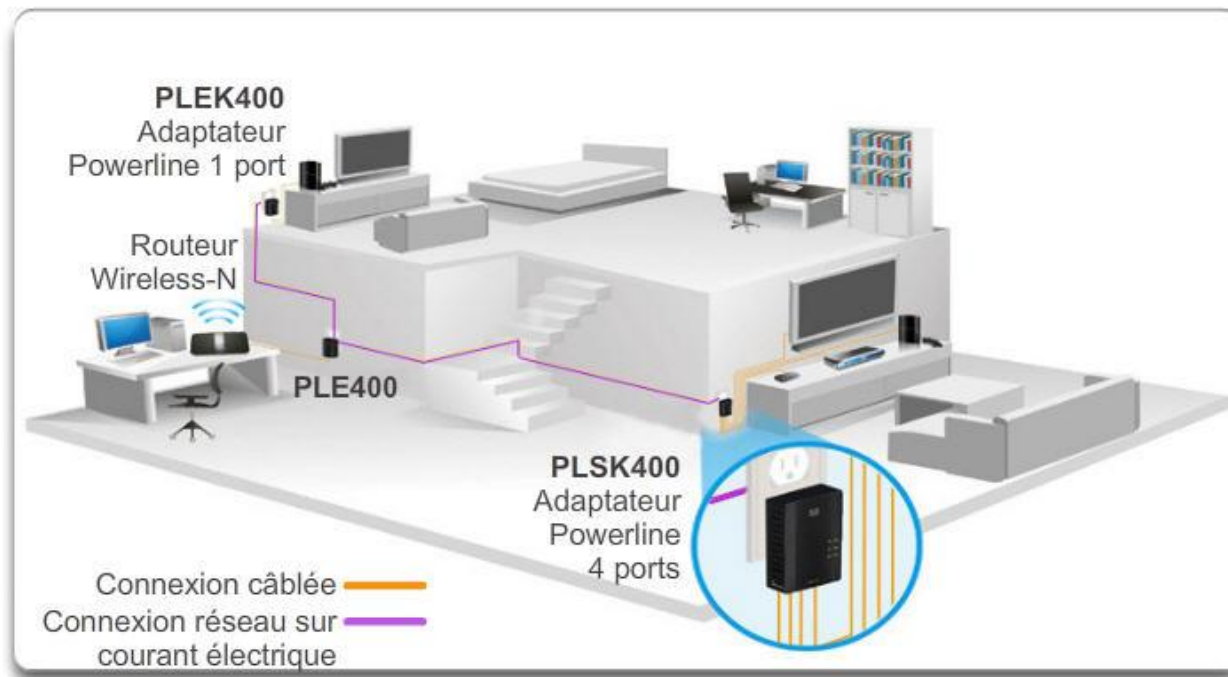
Technologies domestiques intelligentes





# Réseau sur courant électrique

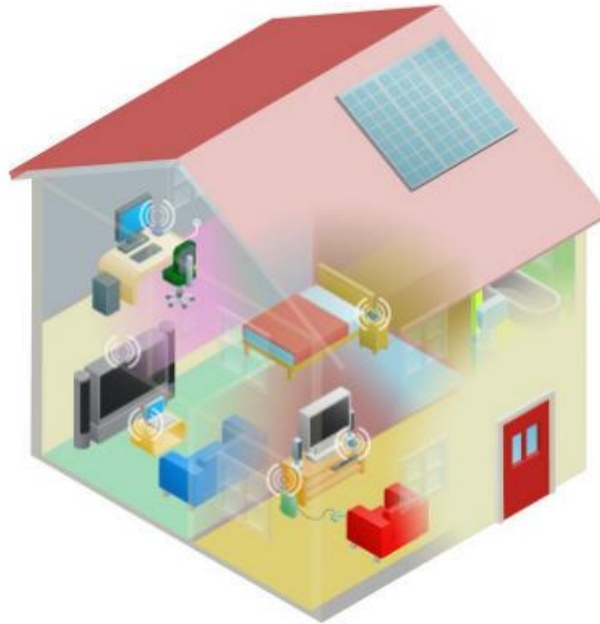
## Réseau sur courant électrique



# Technologies réseau domestiques

## Haut débit sans fil

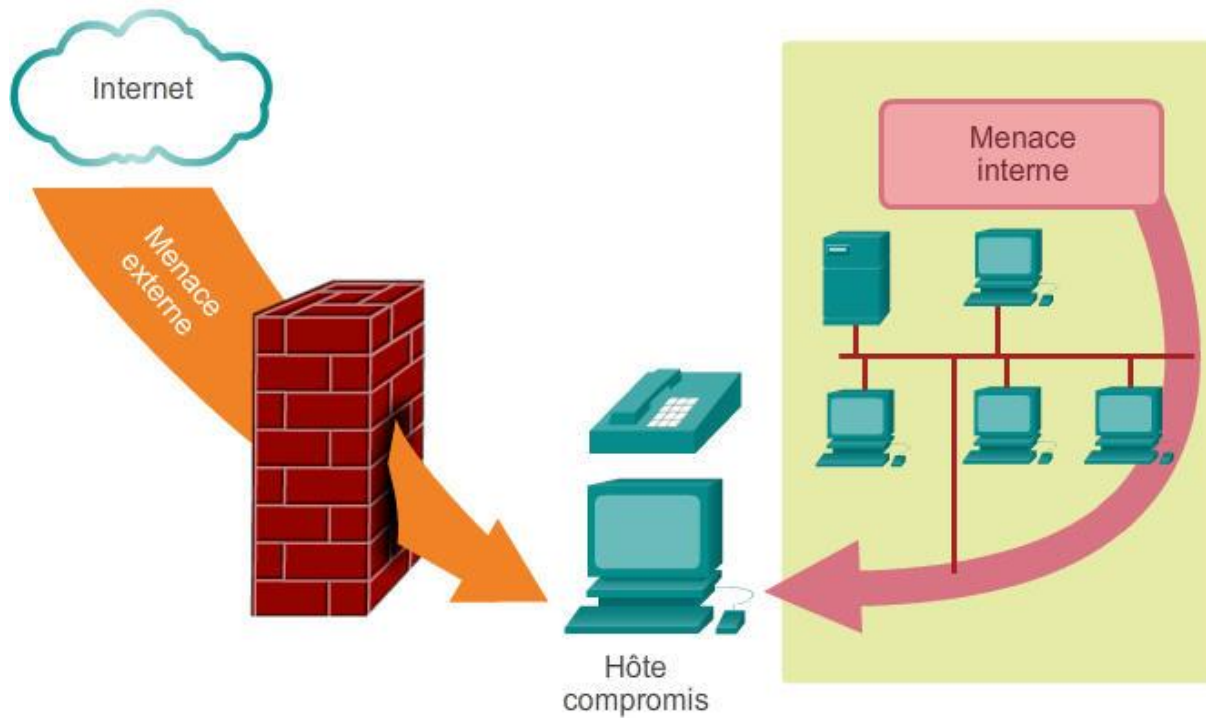
Service haut débit sans fil



# L'avenir des réseaux

## Sécurité du réseau

### Menaces envers les réseaux



# Menaces pour la sécurité

Les menaces externes les plus courantes pour les réseaux sont les suivantes :

- Virus, vers et chevaux de Troie
- Logiciels espions et logiciels publicitaires
- Attaques zero-day (également appelées attaques zero-hour)
- Piratage informatique
- Attaques par déni de service
- Interception et vol de données
- Usurpation d'identité

# Solutions de sécurité

La sécurité du réseau repose souvent sur les éléments suivants :

- Antivirus et logiciel anti-espion
- Filtrage au niveau du pare-feu
- Systèmes de pare-feu dédiés
- Listes de contrôle d'accès (ACL)
- Systèmes de protection contre les intrusions
- VPN

# Fondements des réseaux

# Information (1)

- Les informations à échanger peuvent être de nature multiple :
  - données informatiques,
  - parole
  - musique
  - images fixes,
  - séquences vidéo,
  - combinaisons de ces différents médias (multimédia).
- Ces informations subissent, tout au long du processus de communication, un certain nombre de manipulations et de transformations avant d'être délivrée à son destinataire. Ce sont les phases de :
  - codage,
  - stockage et traitement,
  - transmission sur le support physique.

# Information (2)

- Information analogique : Par nature même, certaines informations sont analogiques, c'est à dire qu'elles peuvent prendre une infinité de valeurs continues.

Exemple : La parole, la musique, les images fixes ou animées de la télévision sont des informations de nature analogique.

- Information numérique : d'autres informations sont par nature numérique et ne peuvent prendre qu'un petit nombre de valeurs discontinues (on dit aussi discrètes) dans un ensemble (S) fini.

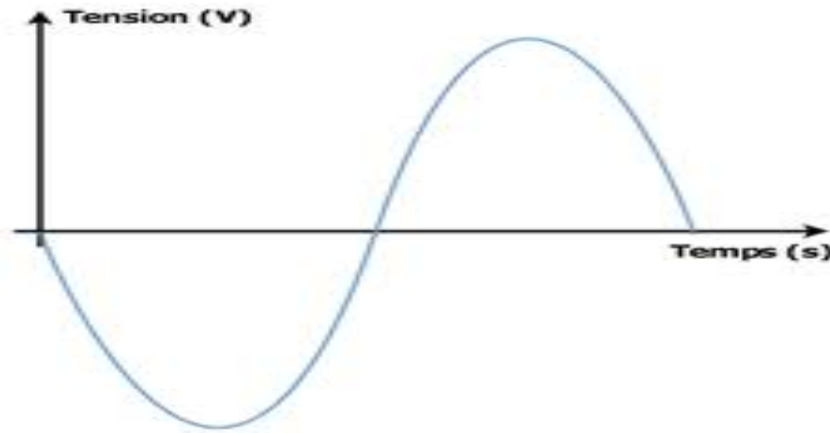
Exemple : un texte est une suite de caractères appartenant à un alphabet d'un nombre fini de symboles.

Remarque : Si  $\text{Card}(S) = 2$ , alors on parle d'information binaire (bit).



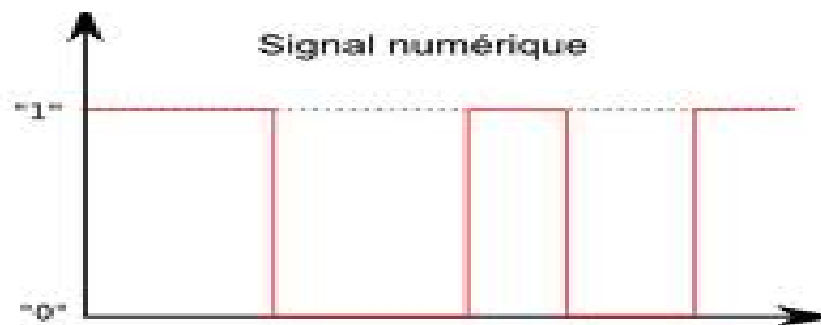
# TRANSMISSION ANALOGIQUE

- Transmission Analogique : Un signal analogique est un signal continu qui peut prendre une infinité de valeurs.



# TRANSMISSION NUMERIQUE

- Transmission Numérique : un signal numérique varie à des instants déterminés (discontinue) dans le temps et ne peut prendre que des valeurs distinctes dans un ensemble fini.



# Numérisation

- Numériser une grandeur analogique consiste à transformer la suite continue de valeurs en une suite discrète et finie
- C'est le cas du réseau téléphonique RNIS (Réseau Numérique d'Intégration de Service)
- Il s'agit de la « Numérisation » du signal au moyen d'une conversion analogique-numérique en émission et d'une conversion inverse en réception
- Trois opérations sont nécessaires à l'émission :
  - Échantillonnage
  - Quantification
  - codage

# Échantillonnage

- Elle consiste à prélever des échantillons du signal à une cadence déterminée (fréquence d'échantillonnage).
- Théorème de Shannon
  - $F_e \geq 2 * F_{\max}$
  - La fréquence d'échantillonnage  $F_e$  doit être au moins le double de la fréquence maximale  $F_{\max}$  du signal à échantillonner

# Quantification/Codage

- L'amplitude de chaque échantillon est quantifiée.
- Le codage de l'échantillon sur  $n$  bits est alors obtenu.
- Exemples de codages
  - Codage MIC (Modulation par Impulsions codés) sur 8 bits ou PCM (Pulses Codes Modulation)
  - Codage Compact disc sur 16 bits

# Exemple

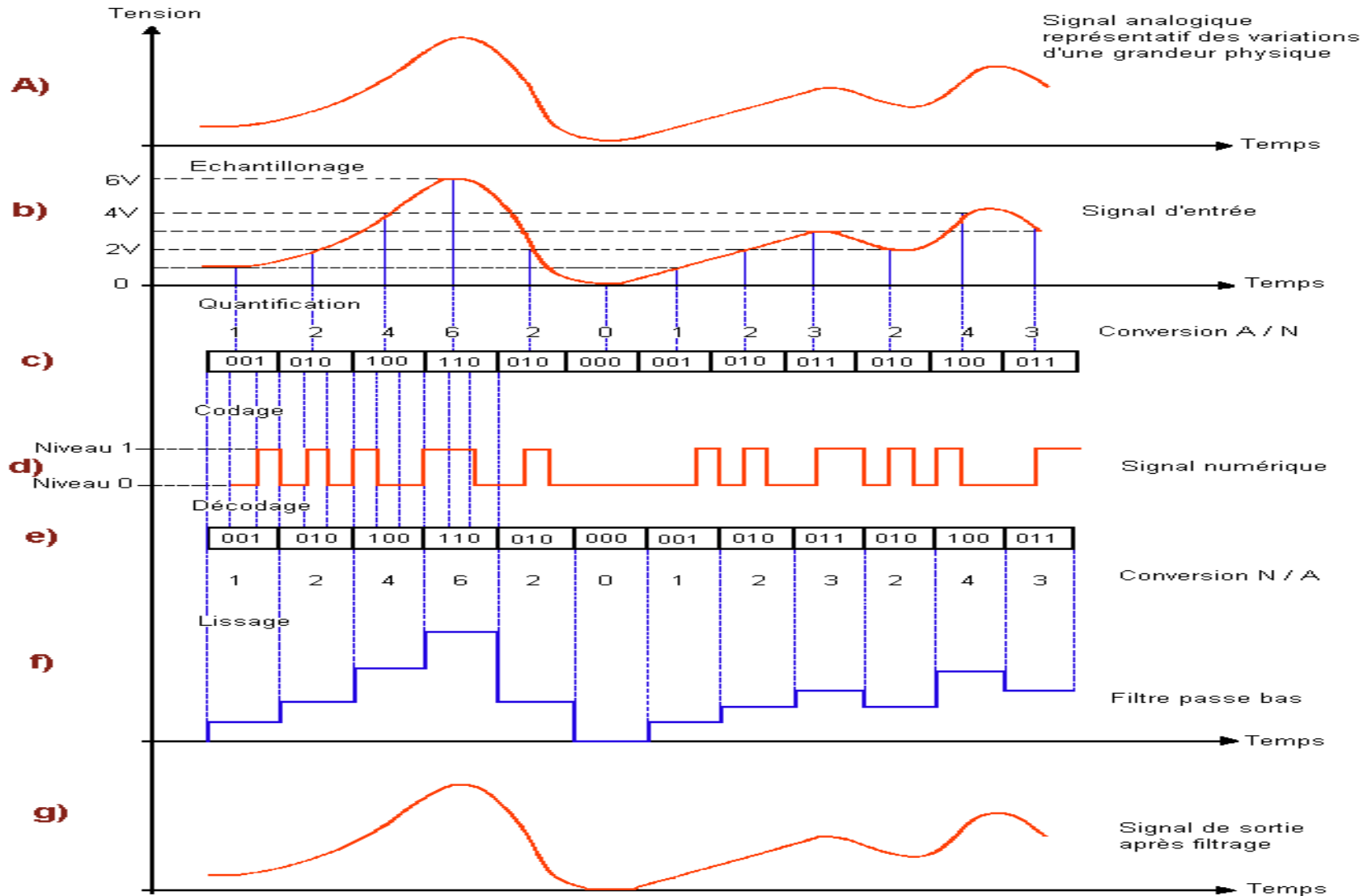
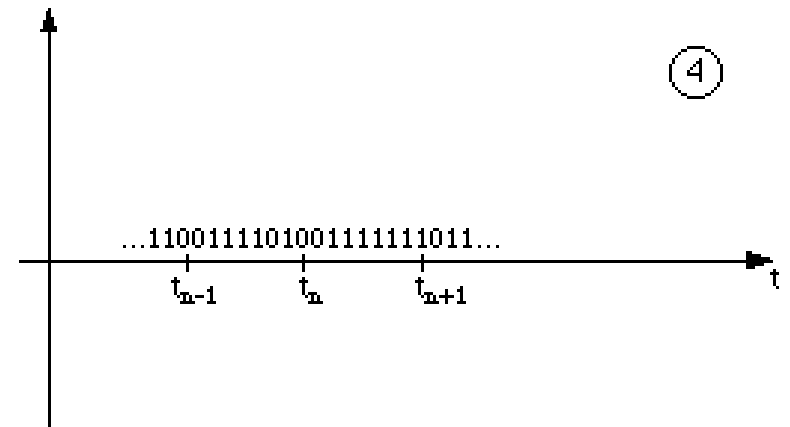
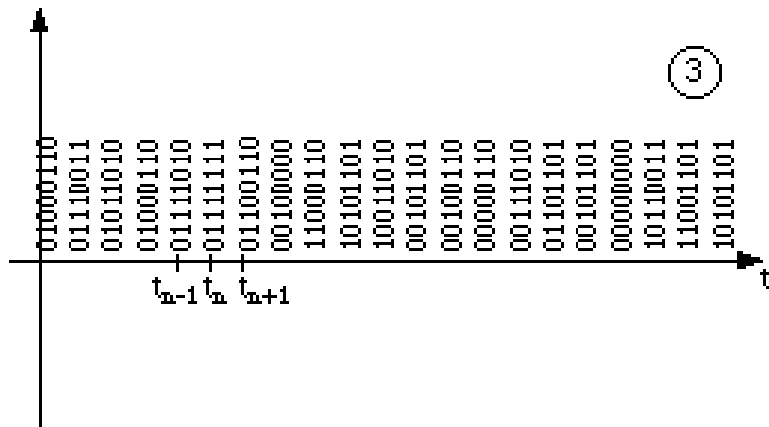
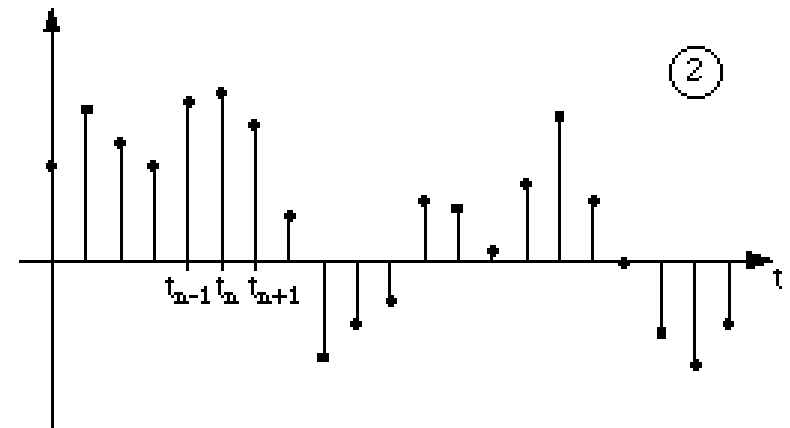
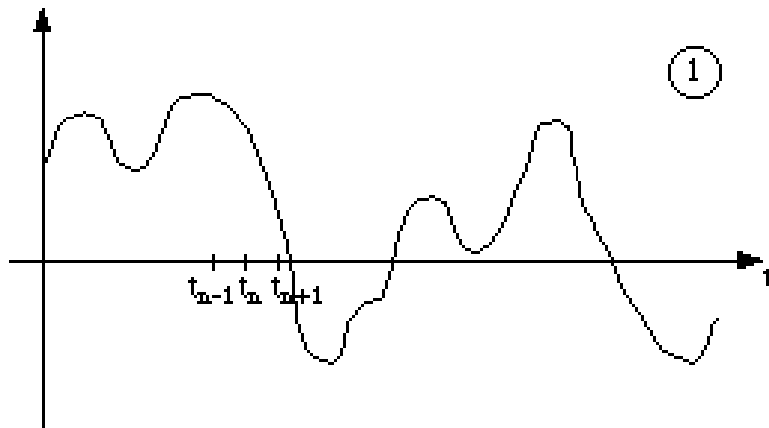


Fig. 5. Conversion A / N - N / A.

## Exemple (2)



# La bande passante

- La bande passante d'un réseau représente sa capacité, c'est-à-dire la quantité de données pouvant circuler en une période donnée.
- elle se mesure en bits par seconde bits/s ou bps.
- Du fait de la capacité des supports réseaux actuels, les différentes conventions suivantes sont utilisées :

Unité de bande passante	Abréviation	Equivalence
Bits par seconde	bits/s	1 bit/s = unité fondamentale
Kilobits par seconde	kbits/s	1kbit/s = 1000 bits/s
Mégabits par seconde	Mbits/s	1Mbit/s = 1 000 000 bits/s
Gigabits par seconde	Gbits/s	1Gbit/s = 1 000 000 000 bits/s

**Figure 1.6 : unités de mesure de bande passante**



# le débit binaire

- Notion de bande s'ajoute celle de débit. Le débit est la bande passante réelle, mesurée à un instant précis de la journée. Ce débit est souvent inférieur à la bande passante ; cette dernière représentant le débit maximal du support ; en raison :
  - Des unités d'interconnexion de réseaux et de leur charge
  - Du type de données transmises
  - De la topologie du réseau
  - Du nombre d'utilisateur
  - De l'ordinateur de l'utilisateur et du serveur
  - Des coupures d'électricité et autres pannes
- De ce fait le temps de téléchargement d'un fichier peut se mesurer de la manière suivante :  
Temps de téléchargement (s) = Taille du fichier (b) / débit

# Bande passante

- L'utilisation de la formule délai de transfert permet à l'administrateur du réseau d'évaluer plusieurs facteurs déterminants de la performance du réseau

**Meilleur  
téléchargement**

$$D = \frac{T}{BP}$$

**Téléchargement  
type**

$$D = \frac{T}{P}$$

BP	Bande passante théorique maximale de la liaison " la plus lente " entre l'hôte source et l'hôte de destination (mesurée en bits par seconde)
P	Débit effectif au moment du transfert (mesuré en bits par seconde)
D	Durée du transfert des fichiers (mesuré en secondes)
T	Taille de fichier en bits

## Exercice:

- Si la durée de transmission d'un bit est 20ms, quel est le débit binaire ?
- Quelle est la « largeur » (en secondes) d'un bit sur un lien 1 Gb/s ?
- Quel est le temps de transmission de 1Kb sur un réseau dont le débit est : 10 Mb/s, 100 Mb/s?

## Bande passante (Hz)

- bande passante  $W$  caractérise tout support de transmission, c'est la bande de fréquences dans laquelle les signaux sont correctement reçus

$$W = F_{\max} - F_{\min}$$

Exemple :

- l'oreille humaine est sensible dans la bande 15-15000 Hz
- largeur de bande de la ligne téléphonique : 3100 Hz

# Capacité (formule de Shannon)

- C'est le débit binaire maximum d'une ligne bruitée de transmission exprimée en bits/s ou bps
- C'est une fonction directe de la bande passante (W):

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

Avec  $S/N$  = rapport signal/bruit : qualifie la ligne vis-à-vis du bruit (Noise)

$$S/N \text{ dB} = 10 \log_{10} S/N \text{ (en puissance)}$$

dB (décibel): unité logarithmique sans dimension. Elle exprime le rapport entre 2 grandeurs de même nature.

# Transmission de Données et bande Passante

- Le spectre du signal à transmettre doit être compris dans la bande passante du support physique !
- La transmission d'un signal à spectre étroit sur un support à large bande passante => mauvaise utilisation du support de transmission.
- On a recours aux techniques de Modulation et de Multiplexage pour pallier ces problèmes
  - adaptation des signaux au support
  - rentabiliser l'utilisation du support

# Modulation d'un signal

- Un signal est caractérisé par :  
son amplitude  $A$ , sa fréquence  $f$ , et sa phase  $\Phi$ , tel que :  
$$y(t) = A \sin (2 \pi f t + \Phi) ;$$
$$f = 1 / T \text{ (} T = \text{période)}$$
- Le signal est transporté sous la forme d'une onde faisant varier une des caractéristiques physiques du support :
  - ddp (Différence de potentiel) électrique
  - onde radio-électrique
  - intensité lumineuse (fibre optique)

# Modulation d'un signal (2)

- Le signal se présente sous la forme d'une onde de base régulière : porteuse

$$p(t) = A_p \cos(2 \pi f t_p + \Phi_p)$$

- On fait subir des déformations (ou modulations) a cette porteuse pour distinguer les éléments du message
- => 4 types de modulations :
  - modulation d'amplitude
  - modulation de fréquence
  - modulation de phase (*synchronisation*)
  - modulation combinée (*ex.: d'amplitude et de phase*)



# Effets de la modulation

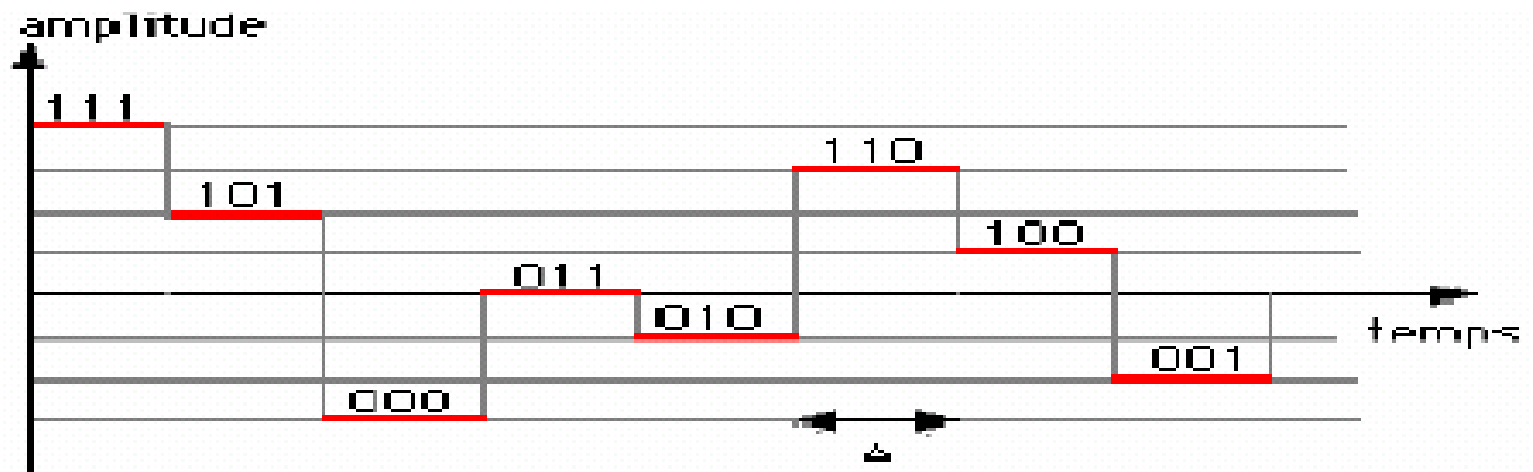
- La modulation est la transformation d'un message à transmettre en un signal adapté à la transmission sur un support physique
- Transposition dans un domaine de fréquences adapté au support de transmission
- Meilleure protection du signal contre le bruit
- Transmission simultanée de messages dans des bandes de fréquences adjacentes : meilleure utilisation du support

# Modulation et débit binaire

- Rapidité de modulation : Nombre maximal de changement d'états du signal par unité de temps, exprimée en bauds

$$R_m = 1/\Delta \text{ (en Bauds)}$$

$\Delta$  : moment élémentaire d'un signal; c'est le plus petit intervalle de temps où le signal reste constant



# Modulation et débit binaire

- Si le message est binaire, chaque signal transporte  $n$  bits (quantité d'information). On est alors conduit à définir le débit binaire :

$$D = n \cdot R_m$$

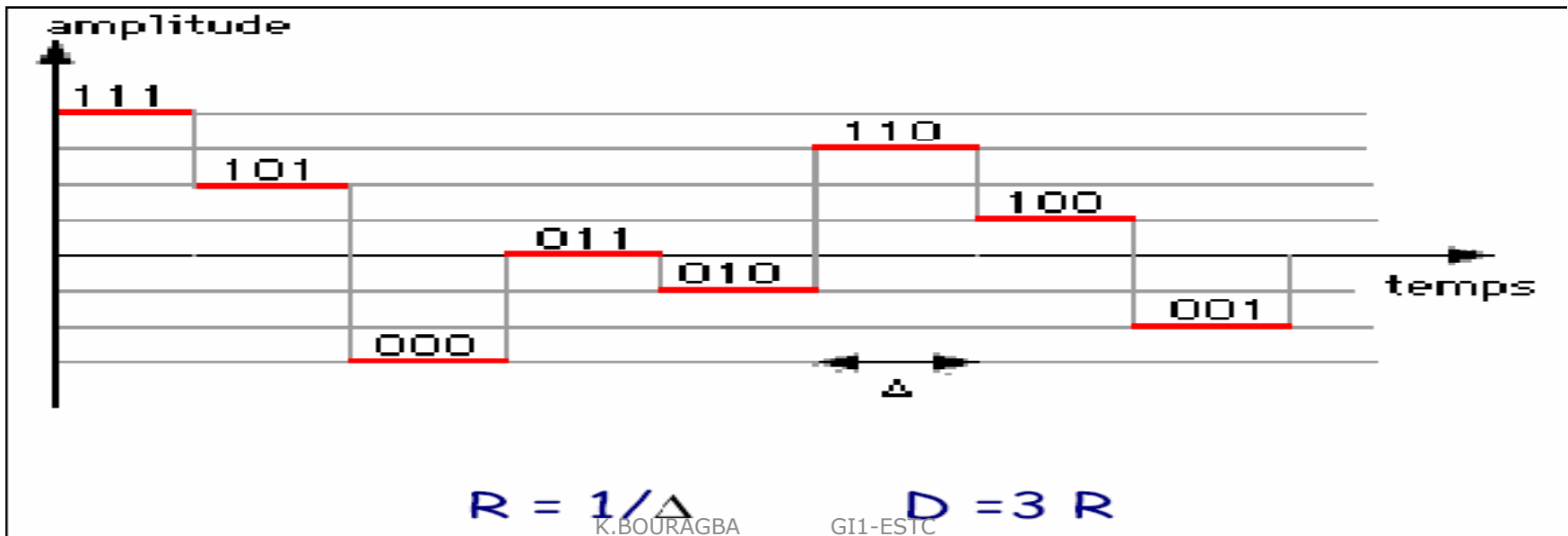
- $n$ : le moment correspond au nb bits/ intervalle de modulation

- $V$ : la valence correspond au nb de niveaux de signal  
 $V = 2^n$  ;  $n = \log_2(V)$

# Modulation et débit binaire

- **Exemple:**

Dans la figure suivante, on transmet des données numériques par des signaux numériques ; 8 signaux différents par leur amplitude et de même durée  $\Delta$  Chacun des signaux peut transporter 3 bits puisqu'il existe 8 combinaisons différentes de 3 bits. Dans ce cas  $D = 3R$



# Théorème Nyquist

- Pour une meilleure performance dans la rapidité de transmission: on cherche à améliorer le débit binaire.
- Puisque  $D = n R_m$ , on cherchera à augmenter le débit binaire en augmentant
  - soit  $n$ , mais le bruit est un frein important
  - soit  $R_m$ , mais on ne peut dépasser une valeur  $R_{\max}$ .
- Ce dernier résultat a été démontré par Nyquist (1928) qui établit un rapport entre la rapidité maximum et la bande passante  $W$  :

$$R_{\max} = 2 W$$

# Théorème Nyquist

- Alors on peut mesurer son débit binaire. Dans une ligne non bruitée avec une bande passante de largeur  $W$ , le débit binaire maximal est de :

$$D_{\max} = 2W \log_2(V)$$

où  $D_{\max}$  est le débit maximal (en bits/s),  
 $W$  la largeur de la bande passante (en Hz)  
et  $V$  la valence du signal.

## Exercice 1

- Calculez la capacité d'une ligne de transmission dont la bande passante est comprise entre 100 kHz et 275 KHz avec un rapport signal sur bruit de 17 dB.
- Sachant que cette ligne possède un rapport de modulation de 6200 bauds, calculez la vitesse de transmission pour une modulation à 8 états.

## Exercice 2

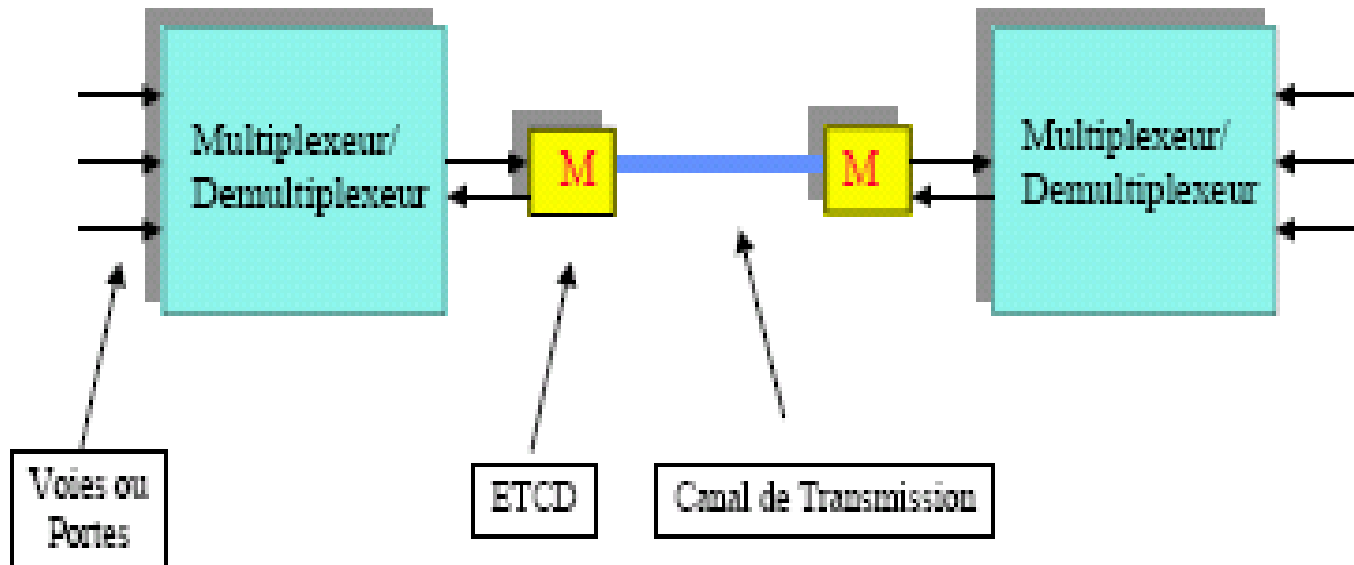
- On suppose que l'on a un signal dépendant d'une horloge dont la période est de 0.01ms et que pendant une période d'horloge le signal reste constant.
- 1) Quelle est la rapidité de modulation d'un tel signal ? Quel est le débit binaire si le signal est bivalent ?
  - 2) Avec un tel signal et une rapidité de modulation de  $10^5$  Bauds, quelle est la valence nécessaire pour avoir un débit binaire de 800 Kbits/s ?
  - 3) Quelle est la largeur de bande minimale de la liaison transportant un tel signal ?



# Multiplexage

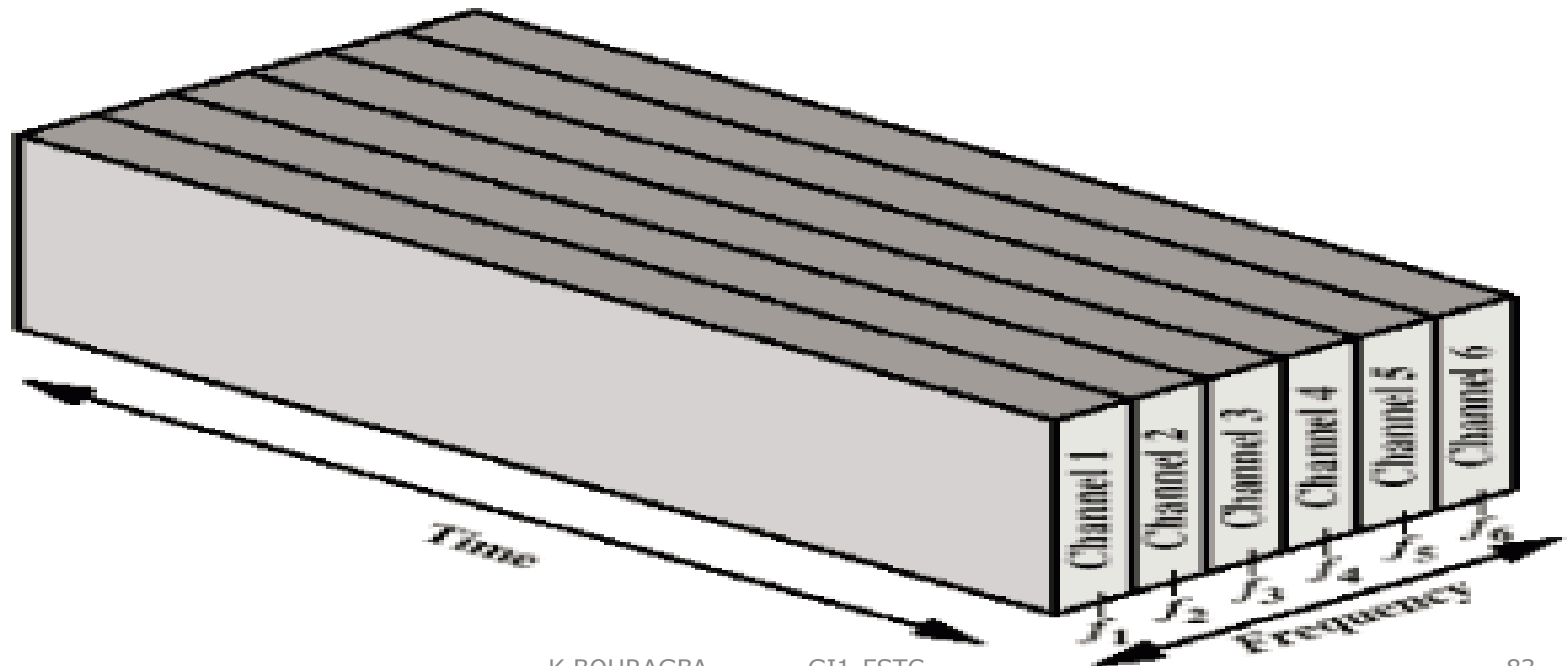
- Objectif :
  - Optimiser l'usage des canaux de transmission  
=> transit simultané du maximum d'informations
- Principe :
  - Traiter le signal pour concentrer des flux d'origines diverses sous forme d'un signal composite unique  
=> signal multiplex
- 3 techniques coexistent :
  - Multiplexage en fréquences
  - Multiplexage temporel
  - Multiplexage temporel dynamique

# Multiplexage: équipements



# Multiplexage en fréquence

- **Principe:** FDM(Frequency Division Multiplexing)
  - Répartition en fréquence,
  - Découper la bande passante d'un canal en plusieurs sous-bandes ou canaux
  - chaque sous-bande est affectée à un canal
  - adapté aux transmissions analogiques.



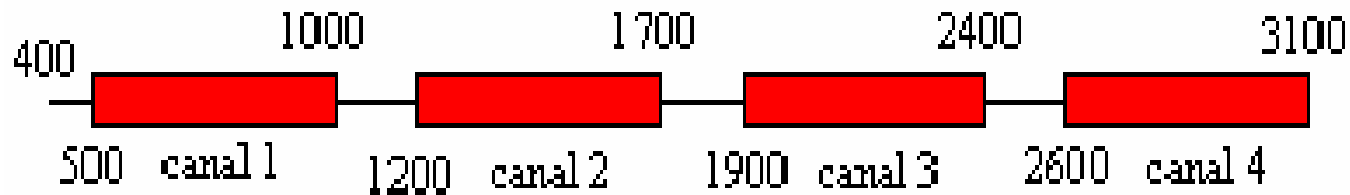
# Exercice

- 4 trains d'information analogique sont multiplexés sur une ligne téléphonique de bande passante

400 - 3100 Hz. La bande passante de chaque train est de 500 Hz.  
Expliciter le processus de multiplexage

# Solution de l'exercice

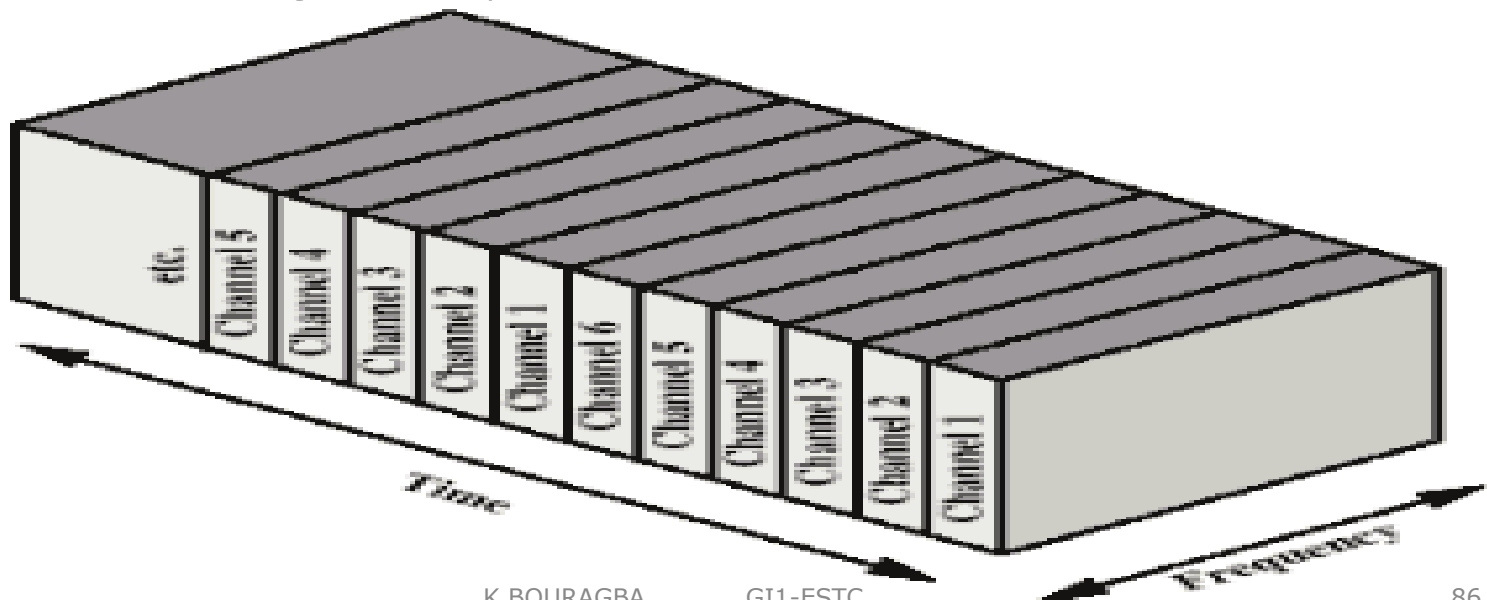
- Sachant que l'on a 4 canaux à définir sur la plage 400-3100 Hz, on peut découper celle-ci de la manière suivante:



- Les quatre trains d'information sont affectés chacun à un canal, le multiplexeur mélange les fréquences ; le démultiplexeur, à l'aide de filtres permet la séparation de quatre trains.

# Multiplexage temporel

- Appelé souvent TDM (*Time Division Multiplexing*)
- Principe :
  - répartition en temps
  - uniquement pour les données numériques.
  - Des bits ou (des octets) sont prélevés successivement sur les différentes voies reliées au multiplexeur pour construire un train de bits (ou d'octets) qui constituera le signal composite



# Exercice

3 lignes sont multiplexées sur une liaison à commutation de paquets de longueur 1200 bits. Chaque ligne transporte des messages de longueur respective :

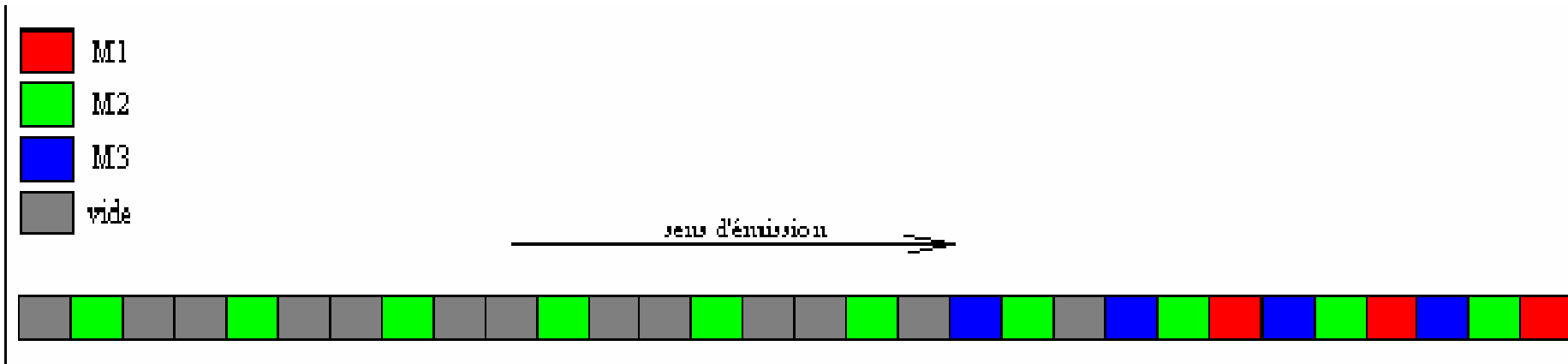
3600 bits, 12000 bits, 4800 bits.

Le débit de la liaison commutée est de 4800 bits/s.

Décrire le processus démultiplexage.

## Solution de l'exercice

- Les trois messages M1, M2, M3 correspondent respectivement à 3, 10, 4 paquets. Le multiplexage correspond à l'intercalage des paquets:



Le débit par message est le débit nominal divisé par trois, soit 1600 bits/s.



# Multiplexage temporel dynamique

- **Principe :**

- Multiplexage adaptatif
- Le prélèvement sur les différentes voies reliées au multiplexeur n'est plus cyclique mais modifie dynamiquement en permanence selon l'activité réelle sur chacune d'elle.
- le nombre d'IT attribués à un canal dépend de la demande (peut être nul !),
- Récupérer la bande passante des voies inactives (*mais obligation de transmettre l'adresse de la voie émettrice*)

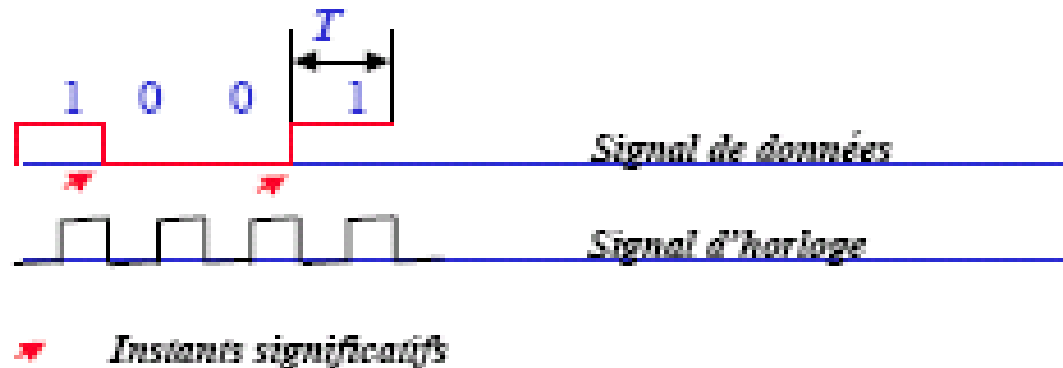
# Mode de transmission

- **Transmission synchrone:**

- Une suite de données est synchrone quand le temps qui sépare les différents instants significatifs est un entier multiple du même intervalle de temps  $T$

(les caractères se suivent sans séparation)

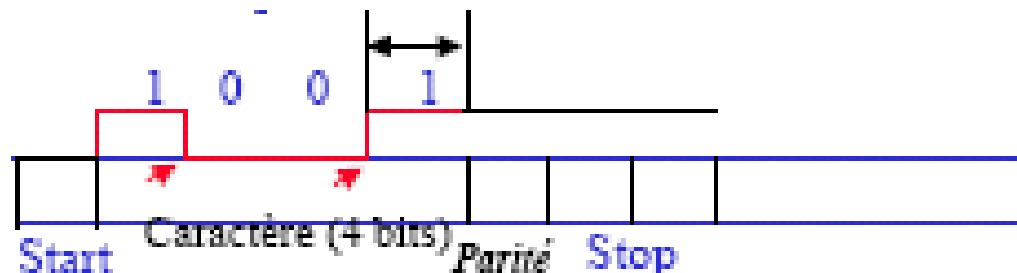
- Un signal de base de temps (ou d'horloge de synchronisation) est toujours associé aux données



# Mode de transmission(2)

- **Transmissions asynchrones:**

- Une suite de données à instants aléatoires est plutôt transmise caractère par caractère
  - => succession de trains de symboles binaires séparés par des intervalles quelconques
- La transmission asynchrone des données nécessite l'adjonction à chaque caractère transmis d'éléments de repérage : Start et Stop bits
- La *durée du Start bit = durée de 1 bit du caractère (déclenchement de l'horloge locale)*
- La *durée du Stop bit = 1, 1.5 ou 2 bits du caractère (arrêt de l'horloge)*



# Notion de taux d'erreur

- Les phénomènes parasites (bruit) perturbent le canal de transmission et peuvent affecter les informations en modifiant un ou plusieurs bits du message transmis, en introduisant ainsi des erreurs dans le message
- On appelle taux d'erreur binaire ( $T_e$  ou BER, Bit Error Rate) le rapport du nombre de bits reçus en erreur au nombre de bits total transmis.

$T_e = \text{Nb de bits en erreur} / \text{Nb de bits transmis}$

- Exemple :  $10^{-3}$  = mauvaise liaison