

Réseaux Locaux & Interconnexion

Édition 2021- 2022

Plan

I. Définition & caractéristiques

- Définition
- Caractéristiques
- Utilisation de LAN
- Les différentes technologies LAN
- Normalisation des LAN

II. Principes communs aux LAN

- Topologies
- Câblage
- Méthodes d'accès
- Adressage MAC
- La couche LLC

III. La technologie Ethernet

- Topologie & câblage
- Trame Ethernet
- Principes de la commutation Ethernet
- Architecture en couches d'un réseau commuté
- Le protocole STP
- Segmentation du réseau: concept de VLAN

IV. Les technologies sans fils

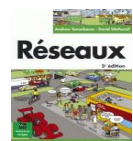
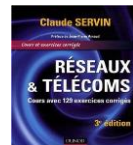
- Principe de fonctionnement
- Architectures de réseaux sans fils
- Les usages des réseaux WiFi

Objectifs du cours

- Les réseaux informatiques sont devenus incontournables aujourd'hui. Ils sont employés dans toutes les entreprises et même chez les particuliers.
- Ce cours a pour objectifs de:
 - Comprendre le fonctionnement des réseaux locaux et des protocoles associés.
 - Connaître les différentes normes dans le domaine des réseaux locaux;
 - Connaître les différentes technologies et leurs domaines d'utilisation
 - Maîtriser le fonctionnement et l'évolution de la technologie Ethernet, la plus répandue;
 - Situer les équipements d'un réseau local pour pouvoir les configurer.
 - Segmenter logiquement le réseau en VLAN selon les besoins de l'entreprise.
 - Maîtriser les aspects théoriques et pratiques de la norme WiFi

Bibliographie

1. C. Servin. Réseaux & Télécoms. 4^{ème} Edition. Dunod 2013.
2. Jean-Luc Mantagnier. Réseaux d'entreprise par la pratique. 3^{ème} Edition. Eyrolles 2011
3. A.Tanenbaum. Réseaux, architectures, protocoles, applications. Inter Editions 2011
4. S. Lohier & D. Présent. Transmissions et réseaux. 5^{ème} Edition. Dunod 2010.



Chapitre I

Définitions & caractéristiques

Types de réseaux

- ? WAN (Wide Area Network)
- ? LAN (Local Area Network)
- ? MAN (Metropolitan Area Network)

Types de réseaux

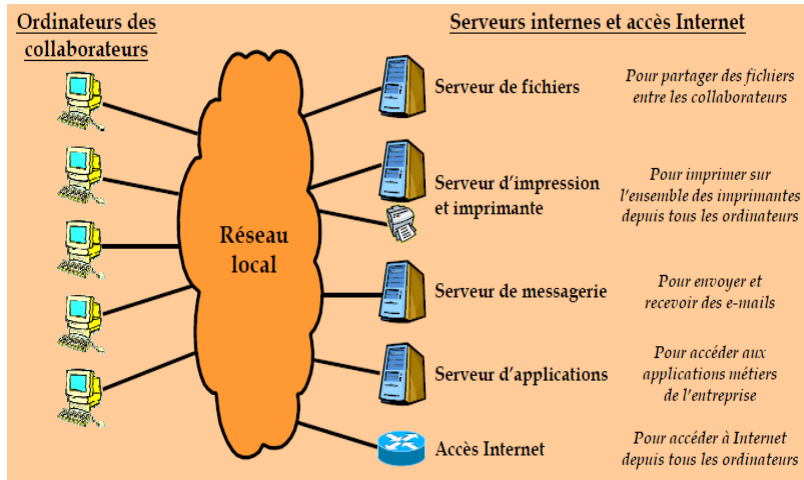
- WAN (Wide Area Network)
 - Opèrent sur une étendue géographique large(nationale)
 - Permettent l'accès à travers des liaisons série à faible vitesse
 - Contrôle du réseau par l'opérateur Télécom (public)
 - Permettent un accès complet ou limité aux ressources distantes
 - Connectent des équipements physiquement distants
 - Interconnexion de LAN
 - Ex: Réseau téléphonique, Internet
- LAN (Local Area Network)
 - Opèrent sur une étendue géographique limitée
 - Permettent l'accès multiple au media
 - Contrôle Local du réseau (privé)
 - Permettent un accès complet aux ressources locales
 - Connectent des équipements physiquement adjacents
 - EX: Ethernet,WiFi,...
- MAN (Metropolitan Area Network)
 - Opèrent sur une étendue géographique d'une ville
 - Contrôle Local du réseau (privé ou public)
 - Interconnexion de LAN
 - Ex: FDDI d'IBM

Définition d'un LAN(Local Area Network)

- Les réseaux locaux informatiques(LAN ou RLE) sont destinés principalement aux communications locales, au sein d'une même entité(entreprise, administration, école, etc.) sur de courtes distances(qq Km).
- Les infrastructures réseau peuvent considérablement varier selon :
 - la taille de la zone couverte ;
 - le nombre d'utilisateurs connectés ;
 - le nombre et les types de services disponibles.
- Les LAN offrent des débits de l'ordre de Mbps: 10Mbps, 100Mbps et Gigabit aujourd'hui.

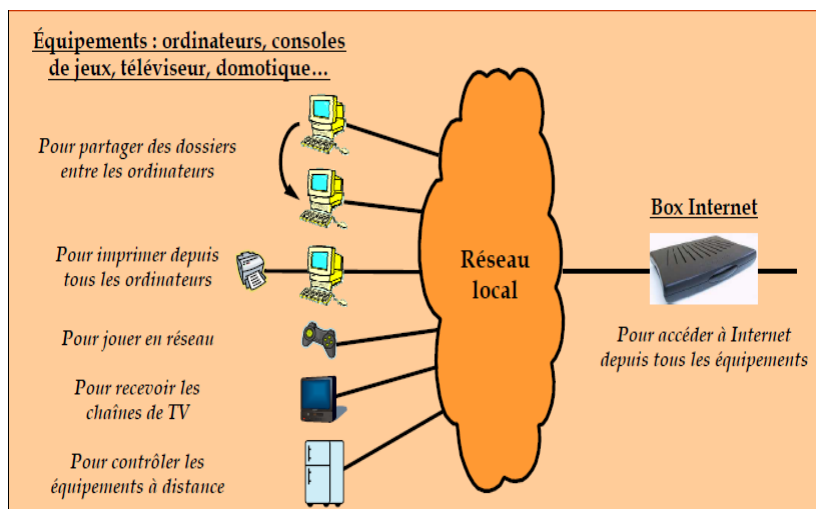
Usage des LAN

➤ LAN d'entreprise



Usage des LAN

➤ LAN de particulier (domestique)



Objectifs des LAN

Les réseaux locaux répondent donc à 3 besoins majeurs:

- Les besoins liés à l'informatique (pour les réseaux bureautiques): partage de ressources et accès à distance aux serveurs de données, partage de logiciels, etc.
- Les besoins liés à l'automatique: la commande de machines (échange avec des capteurs et actionneurs), télésurveillance de machines, chaînes de production, ...
- Les besoins liés à la communication et productivité: messagerie interne, travail collaboratif, ...

Caractéristiques des LAN de 1^{ère} génération

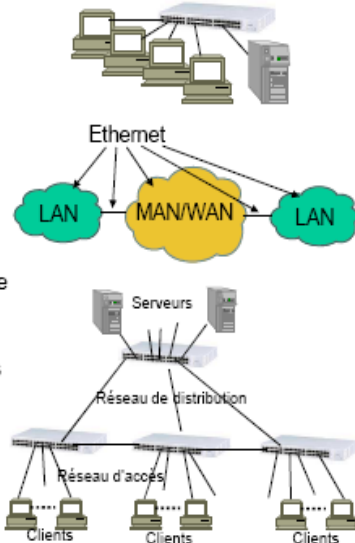
- **Liaisons multipoint d'égal à égal**
- **Distances limitées**
 - Quelques centaines de mètres à quelques km
- **Réseaux privés**
 - Un étage, un bâtiment ou un campus
- **Bande passante importante partagée entre tous les utilisateurs**
 - Débits « importants » pour l'époque (10 Mbps)
- **Pas de redondance de topologie**
 - Vulnérabilité aux pannes
- **Fonctionnement par diffusion**
- **Réseau de données**
 - Sans notion de priorités



Evolution des LAN: 2 et 3^{ème} génération

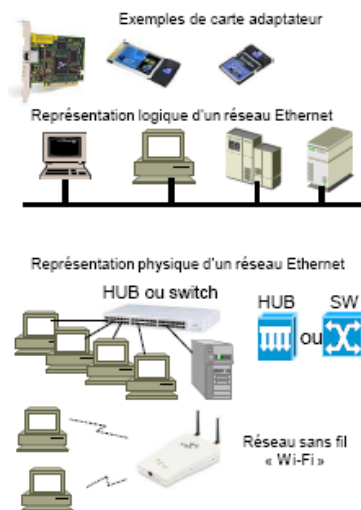
- **Liaisons : en étoile autour de commutateurs**
 - Evolution vers des liaisons point à point
- **Distances de plus en plus grandes**
 - Evolution vers les MAN ou même WAN
- **Réseaux privés ou publics**
 - Les opérateurs utilisent de plus en plus les LAN (pour des réseaux publics non locaux!)
- **Bande passante (BP) en constante évolution**
 - Débits de 10Mbps à 10 Gbps
 - BP dédiée dans le réseau d'accès et partagée dans le réseau de distribution
- **La robustesse impose une forme de routage**
 - « Routage » de niveau 2 entre commutateurs
- **On évite de plus en plus les diffusions**
 - Pénalisantes pour les grands réseaux
 - Utilisation d'annuaires ou de multicast
- **Gestion de la sécurité et de la qualité de service**

MAN : Metropolitan Area Network WAN : Wide Area Network



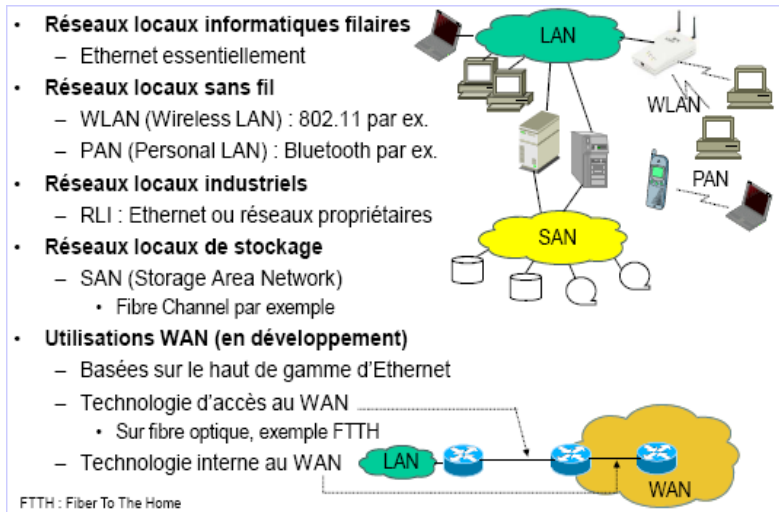
Composants d'un LAN

- **Les stations raccordées au LAN doivent contenir un adaptateur réseau**
 - Carte ou composants sur la carte mère
 - Adaptateur Ethernet, Wi-Fi, ...
 - L'adaptateur contient l'adresse de niveau 2 (adresse MAC, dite aussi adresse physique)
- **Dans le réseau d'accès, les stations se raccordent**
 - À des hubs (répéteurs)
 - Dans les anciennes installations
 - Chaque station reçoit tout le trafic
 - À des commutateurs (switch en anglais)
 - La solution la plus courante aujourd'hui
 - Le trafic ne va normalement que vers le destinataire
 - À des points d'accès sans fil
 - Réseaux Wi-Fi



MAC : Medium Access Control

Classification des LAN



Caractéristiques des LAN

Les différentes solutions de LAN se distinguent par 3 choix techniques:

1. Le type de topologie physique
2. Le type de support physique
3. La technique d'accès au support (topologie logique)

1+2+3 = un LAN particulier

Exemple: Ethernet, Token Ring, FDDI, Token bus, WiFi...

Caractéristiques des LAN

Ces 3 choix techniques vont définir d'autres propriétés techniques:

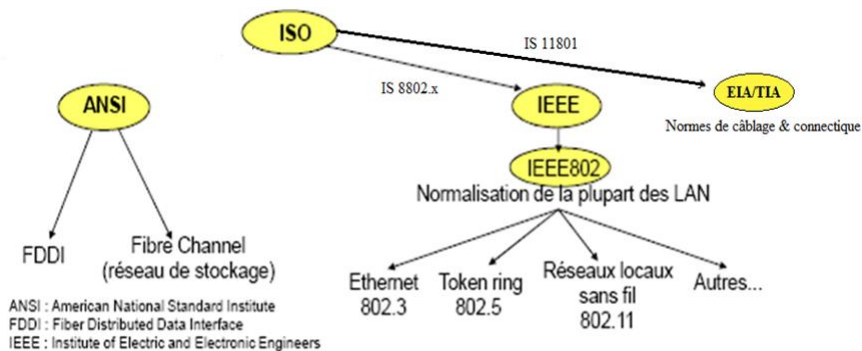
1. La capacité binaire(débit): 1; 10; 100; 1000Mbps
2. La fiabilité: taux d'erreurs, temps réel, équité,...
3. La configuration: insertion, retrait de stations, connectivité, distances maximales,...

Exemple:

Ethernet, Fast Ethernet, Giga Ethernet

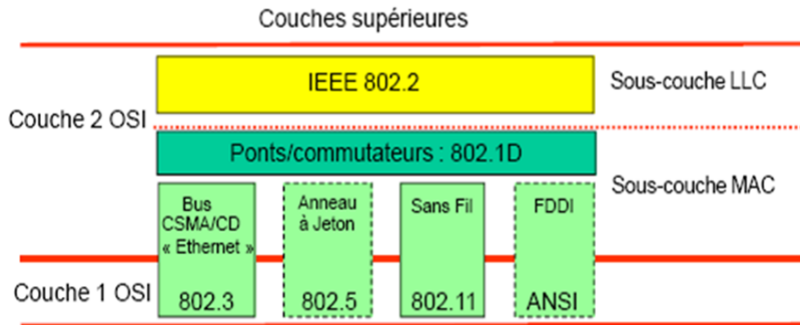
Token Ring: 1Mbps, 4 Mbps, 16 Mbps, FDDI à 100Mbps

Organismes de normalisation



- L'IEEE ou l'ANSI ne sont concernés que par les couches 1 et 2
 - Les couches supérieures concernent
 - L'IETF : modèle TCP/IP (cas le plus courant)
 - Ou les constructeurs : architectures propriétaires : SNA, DSA, DECNET, ...)
(de plus en plus rarement)

Normes IEEE802



- **MAC : Medium Access Control**
 - Méthode d'accès
 - Détection d'erreurs
- **LLC : Logical Link Control**
 - Récupération d'erreurs (éventuelle)
 - Contrôle de flux (éventuel)
 - Multiplexage des protocoles de niveau 3

Normes IEEE802(www.ieee.org)

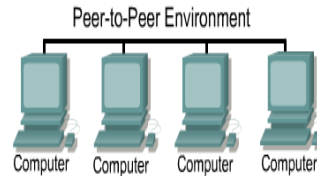
- **IEEE 802.1**
 - Concerne ce qui est général aux réseaux IEEE
 - Adressage MAC
 - Interconnexion d'équipements au niveau 2
 - Ponts et commutateurs de type Spanning Tree (IEEE 802.1D)
 - Traitement du multicast (IEEE 802.1p)
 - Traitement des priorités (IEEE 802.1p)
 - VLAN (IEEE 802.1Q)
 - Sécurité des LAN (802.1x)
- **IEEE 802.2 : LLC**
 - Plusieurs variantes (détaillé plus loin dans le cours)
- **IEEE 802.3 : normalisation des réseaux de type « Ethernet »**
 - Nombreuses variantes normalisées
- **IEEE 802.5 : token ring**
 - Obsolète
- **IEEE 802.11 : Réseaux locaux sans fil : WLAN (Wireless LAN)**
 - Plusieurs variantes – a/b/g (détaillé plus loin dans le cours)
- **IEEE 802.13**
 - Non attribué
- **IEEE 802.15 : Bluetooth**
 - Réseaux locaux personnels (PAN)
 - Entre téléphone, PDA, ordinateur portable, etc...
- **IEEE 802.16 : boucle locale radio et réseaux métropolitains sans fil**
 - Variante 802.16a : Wi-Max point à point
 - Variante 802.16e : Wi-Max en situation mobile
- **Les numéros manquants correspondent à des normes et groupes de travail abandonnés**

Architectures LAN

- Égal à égal ou poste à poste(peer to peer ou P2P): les stations jouent le même rôle. Une station peut être client et serveur à la fois). Chaque utilisateur contrôle ses ressources (groupe de travail)

Exp: windows 3.11, win95, Win for WS

Applications d'échange de fichiers: e Donkey



- Client serveur: les services sont sur un ordinateur dédié

Gestion centralisée des ressources

Exp: Window server 2008/2010

- Architecture 2-tiers;
- Architecture 3-tiers;
- Architecture n-tiers;



Les technologies LAN

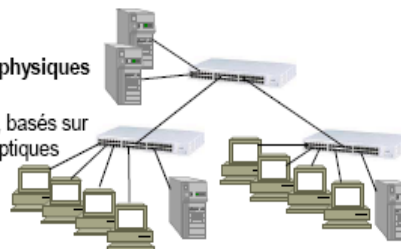
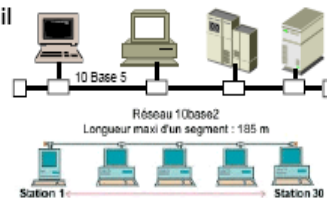
- LAN câblé: réseau filaire sur câble: coaxial, paire torsadée ou fibre optique
 - Token ring (abandonné);
 - Token bus (abandonné);
 - Ethernet: la plus utilisée en entreprise.
- LAN sans fils: transmission sur ondes hertziennes sur des couvertures limitées
 - WiFi
 - Bluetooth
 - LiFi: transmission de données en utilisant la lumière comme moyen de transmission
- CPL((Courants Porteurs en Ligne)
 - Réseaux filaires utilisant le réseau électrique déjà installé dans un bâtiment.
 - Alternative évitant d'installer de nouveaux câbles.

Chapitre II

Principes communs aux LAN

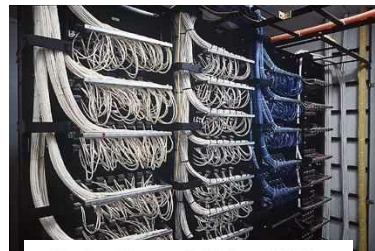
Les topologies LAN

- Au départ le câble coaxial était prépondérant, il est maintenant obsolète
 - Ethernet 10 Base 5 (gros coax)
 - Ethernet 10 Base 2 (coax fin)
- La topologie physique du réseau était en bus
 - C'est-à-dire linéaire
- La topologie en bus est contraignante
 - Mal adaptée aux paires torsadées
 - Mal adaptée aux fibres optiques
 - Peu flexible : maintenance difficile
 - Pénalisante en cas de panne
- On utilise maintenant des topologies physiques en étoile ou arborescentes
 - En utilisant des câblages structurés, basés sur des paires torsadées et des fibres optiques
- La topologie logique reste en bus
 - Une trame émise atteint son (ses) destinataire(s) et disparaît

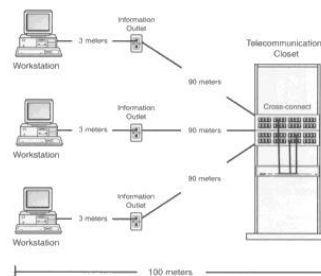


Les Topologies LAN

- ✓ Critères de choix
 - Coût
 - le bus est probablement la topologie la moins chère (pas de concentrateurs)
 - Longueur de câble
 - le bus utilise le moins de câble
 - Pérennité
 - l'étoile permet aisément l'ajout de nouveaux nœuds
 - Type de câble utilisé
 - le câble le plus répandu est la paire UTP qui est le plus souvent utilisée avec l'étoile
- ✓ En pratique : souvent l'étoile
 - armoire de brassage
 - située dans un local technique
 - sur laquelle arrivent les UTP



Maximum Distances for Horizontal Cabling



In addition to the 90 meters of horizontal cable, a total of 10 meters is allowed for work area and telecommunications closet patch and jumper cables.

Supports de transmission

- Deux grandes catégories de support de transmission:
 - Transmission filaire: transmission avec onde guidée par un support physique
 - Transmission sans fil: propagation du signal à travers des ondes hertziennes.
- Il existe deux types de supports filaires:
 - Les supports à base de conducteur optique: fibre optique
 - Onde lumineuse
 - Conducteur: silice, verre, plastique.
 - Les supports à base de conducteur électrique: câble en cuivre
 - Onde électrique
 - Conducteur: cuivre
 - Deux variantes:
 - Paire torsadée
 - Câble coaxial

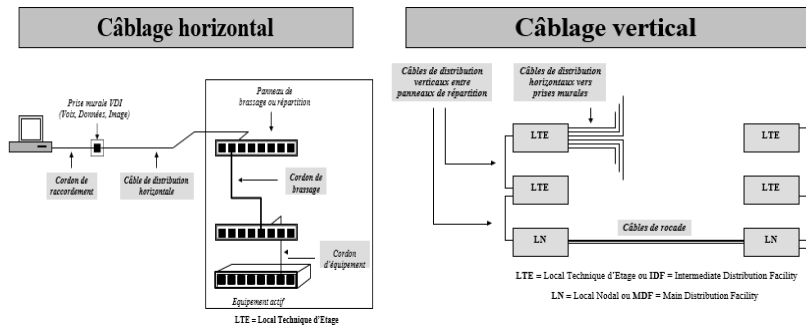
Supports de transmission

• Architecture type

- Câblage horizontal et vertical

• Types de câbles et caractéristiques

- En paires torsadées ou fibres optiques



Caractéristiques des supports

- Bande passante: plage de fréquences sur laquelle la voie est capable de transmettre des signaux sans affaiblissement important
- Impédance: résistance du câble: 50Ω , ... 150Ω ou longueur d'onde
- Longueur du segment: longueur en mètres au delà de laquelle le signal doit être amplifié
- Rapport d'affaiblissement
 - $A(\text{amplitude du signal reçu})/A(\text{amplitude signal émis})$
- Taux d'erreur Bit(BER)= $\text{nbr bits erronés}/\text{nbr total de bits émis}$
- Sensibilité aux bruits: rapport S/B en dB
- Coût

Paire torsadée

• Caractéristiques physiques

- Une paire torsadée est constituée de deux conducteurs en cuivre torsadés ensemble autour d'un même axe
- Un câble en paires torsadées peut comporter une ou plusieurs paires (quatre le plus souvent) torsadées également ensemble
 - *Le but de cet arrangement en torsade (avec un pas précis) est de limiter les interférences entre fils*
- Un câble en cuivre est d'abord caractérisé par :
 - **Son diamètre ou American Wire Gauge (AWG)** qui est l'inverse du diamètre en « inch »
 - » 22 AWG = 0.63mm, 24 AWG = 0.5mm (le plus courant), 26 AWG = 0.4mm
 - **Son impédance** : valeur caractéristique de tout milieu traversée par une onde
 - » 100Ω, 120Ω ou 150Ω

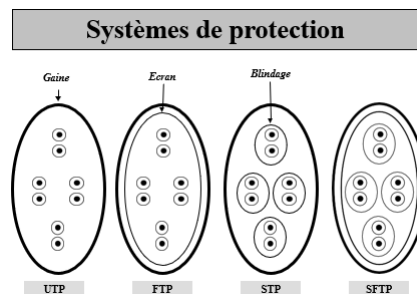
Paire torsadée

• Systèmes de protection

- **Ecrantage** : consiste à entourer **toutes les paires d'un même câble** d'une tresse métallique ou d'une feuille très fine d'aluminium
- **Blindage** : consiste à entourer **indépendamment chaque paire** d'une tresse métallique ou d'une feuille très fine d'aluminium

• Catégories de câbles

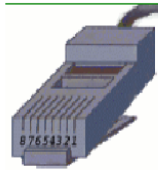
- Paires sans protection (**UTP** : Unshielded Twisted Paired)
- Paires écrantées (**FTP** : Foiled Twisted Paired)
- Paires blindées (**STP** : Shielded Twisted Paired)
- Paires écrantées et blindées (**SFTP**)
 - *Moins utilisées car difficile à manier (courbure difficile des câbles)*



Paire torsadée

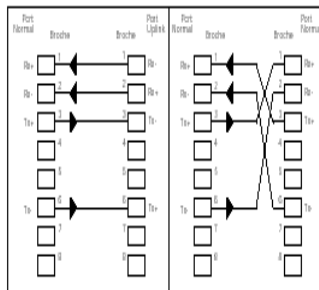
- ✓ 2 fils de même nature torsadés(câble symétrique)
 - ✓ Résistance: 100Ω, 120Ω ou 150Ω
 - ✓ bande passante: en fonction de la catégorie (7 catégories): de qq Khz à 600Mhz
 - ✓ distance max: 100 m
 - ✓ très sensible aux perturbations
 - ✓ Taux d'erreurs : 10^{-6} à 10^{-8}
 - ✓ Plusieurs types selon le blindage: UTP, STP, SFTP, FTP
- ✓ Réseaux télécommunications: RTC et actuellement LAN
- ✓ RJ45 (registered jack (prise déposée)) et Le « 45 » indique un numéro dans le standard « RJ »

Broche	nom	description pour 10baseT	La paire torsadée se
1	TX+	Transmission de données +	branche à un RJ-45. Le RJ-
2	TX-	Transmission de données -	45 se compose de huit
3	RX+	Réception de données +	broches.
4	n/c	100BaseT4 uniquement	
5	n/c	100BaseT4 uniquement	
6	RX-	Réception de données -	
7	n/c	100BaseT4 uniquement	
8	n/c	100BaseT4 uniquement	
Note		Sur les hubs, TX et RX sont intervertis	



Types de câbles de liaison

- **Câble droit:** connecte les cartes de PC aux équipements réseau (ETTD vers ETCD)
- **Câble croisé:** connecte les équipements communs: switch-switch, pc-pc, hub-switch; routeur-routeur (ETTD- ETTD ou ETCD- ETCD)
- **N.B. Aujourd'hui, le croisement se fait au niveau des connecteurs des cartes réseaux , des switch ou des routeurs**
- **Câble console(complètement inversé):** connecte les équipements switch, routeur au port console du PC



Pin 1 ----- Pin 8
 Pin 2 ----- Pin 7
 Pin 3 ----- Pin 6
 Pin 4 ----- Pin 5
 Pin 5 ----- Pin 4
 Pin 6 ----- Pin 3
 Pin 7 ----- Pin 2
 Pin 8 ----- Pin 1

Paire torsadée

- Les normes américaines EIA/TIA 568 spécifient des catégories de câbles:
 - Catégorie 1, 2, 3 et 4 sont obsolètes
 - Catégorie 5/ 5e offre 100 à 125 Mhz par paire pour le FastEthernet
 - Catégorie 6/ 6a offre 250/500 Mhz par paire pour le GigabitEthernet
 - Catégorie 7 offre 600 Mhz par paire pour le 10 GigabitEthernet

Pour les câbles en paires torsadées

- Connecteur **RJ-45** jusqu'à la catégorie 6
- Connecteur **GG-45** de Nexans pour la catégorie 7
 - Fournit une compatibilité ascendante avec RJ-45

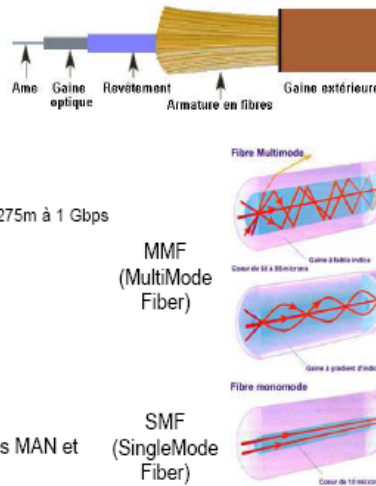


Fibre optique

- **Caractéristiques physiques**
- Une fibre est composée
 - D'un **cœur** : milieu diélectrique intérieur ne conduisant pas le courant électrique, mais conducteur de lumière (silice, plastique ou composite)
 - D'une **gaine** : entoure le cœur d'un milieu d'indice de réfraction plus faible
 - D'un **revêtement** : entoure le cœur et la gaine de couches concentriques en plastique pour fournir **une protection mécanique**
 - » **Souple** pour les câbles dit d'intérieur (distribution verticale)
 - » **Rigide** pour les câbles d'extérieur : le revêtement peut alors être métallique
- Un câble est au moins composé de deux fibres
 - Une pour l'émission (Tx) et une pour la réception (Rx)
 - Une troisième fibre de test et redondance est parfois présente

Fibre optique

- **Fibre optique**
 - Pour les très hauts débits
 - Pour les grandes distances
 - Pour les environnements perturbés
- **Utilisation de la fibre multimode**
 - Dans les LAN
 - Fibre MMF 62,5/125
 - Distance couverte : 2 km à 100 Mbps, 275m à 1 Gbps
 - Fibre MMF 50/125
 - Distance couverte : 550 m à 1 Gbps
 - Avec connectique classique ST ou SC
 - Ou nouvelle connectique SFF (MT-RJ, VF-45, LC, etc...)
- **Utilisation de la fibre monomode 9/125**
 - Dans les LAN à 1 Gbps et au delà
 - Pour les réseaux de campus (CAN), les MAN et les WAN

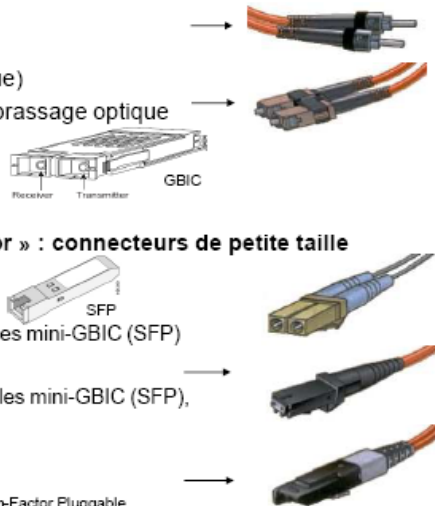


SFF : Small Form Factor

MT-RJ : Mechanical Transfer Registered Jack

Fibre optique

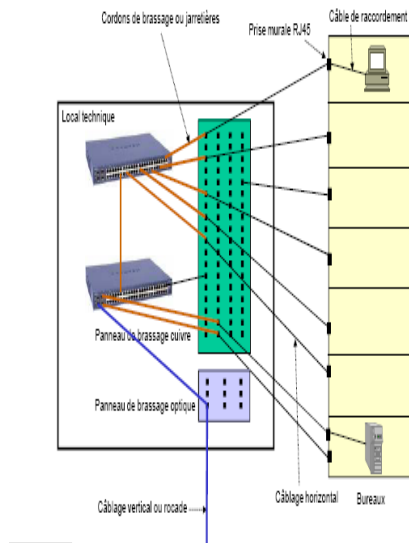
- **Connecteur ST** (à baïonnette)
 - De moins en moins utilisé
- **SC ou Dual SC** (à centrage conique)
 - Courant dans les armoires de brassage optique
 - Utilisé sur les modules GBIC
- **Connecteurs « Small Form Factor » : connecteurs de petite taille qui raccordent 2 fibres à la fois**
 - LC (le plus courant)
 - Utilisé par Cisco sur les modules mini-GBIC (SFP)
 - MT-RJ
 - Utilisé par Nortel sur les modules mini-GBIC (SFP), par HP, ...
 - VF-45



GBIC : GigaBit Interface Converter SFP : Small Form-Factor Pluggable

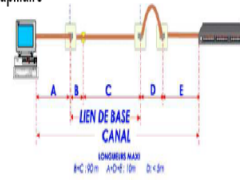
ST = Straight Tip Connector
SC = Square Connector

Principes de câblage



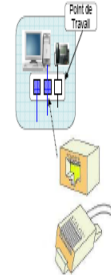
Distances pour le câblage capillaire

- 100 m en tout de commutateur à PC
- 90m max. de câble fixe



Prises murales pour chaque poste de travail

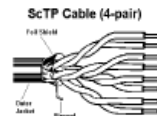
- Typiquement 2 prises Ethernet et une prise téléphonique par poste de travail
 - Souvent 3 prises RJ45
 - La prise téléphonique disparaît peu à peu avec le déploiement de la téléphonie sur IP



Principes de câblage

Câblage horizontal

- Correspond essentiellement au réseau d'accès
- Essentiellement en paires torsadées
- UTP (Unshielded Twisted Pair) ou FTP (Foiled TP)
 - Catégorie 5(?), 5e, 6, 6a(?) ou 7(?)
 - Le + courant dans les installations nouvelles : catégorie 6 en attendant 6a
 - Catégorie 6 limitée à 50m pour 10G base T
 - Distance limitée à 100 m de façon générale
- Fibre optique : rare, malgré les nouveaux connecteurs LC, MT-RJ ou VF-45



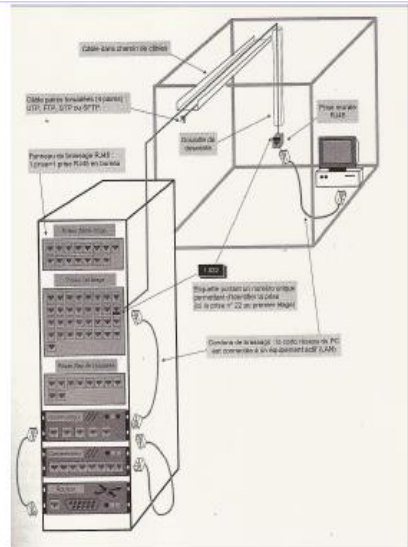
Câblage vertical (rocades) et câblage de campus

- Correspond essentiellement au réseau de distribution
- Fibre optique le plus souvent (sauf raccordement des serveurs)
 - De préférence aux paires torsadées entre locaux techniques (fibre multimode)
 - Systématique entre bâtiments
- Fibre multimode 50/125 ou 62.5/125
- De plus en plus souvent de la fibre monomode (compromis distance - débit)



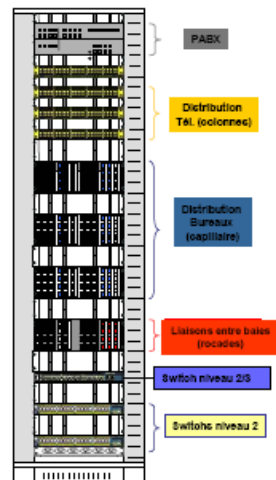
Principes de câblage

- **Le câblage doit être documenté**
 - Il existe des logiciels spécialisés
- **Les différents éléments doivent être étiquetés**
 - Les câbles horizontaux
 - Les câbles verticaux
 - Les cordons de brassage
 - Les prises murales
- **Prévoir de la redondance dans le câblage entre locaux techniques**
- **Le câblage vertical pour la téléphonie traditionnelle contient de multiples paires «voice grade»**
 - Il est voué à disparaître



Principes de câblage

- **Organisation des locaux techniques**
 - Les différents équipements sont en général disposés en rack
 - Garder de la place disponible pour les extensions
 - Les locaux techniques doivent être équipés d'un système de contrôle d'accès
 - L'alimentation électrique doit être prévue pour les extensions
 - Onduleurs
 - Générateurs électriques?
 - Alimentation à courant continu?
 - La ventilation doit être prévue pour les extensions
 - Un poste de travail doit être prévu pour la maintenance
 - Avec téléphone fixe



Les méthodes d'accès

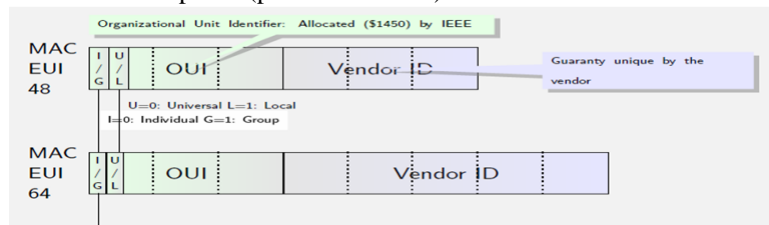
- **Une méthode d'accès est nécessaire quand on souhaite qu'une seule station émette à un moment donné, pour éviter les collisions**
 - Nécessaire avec les hubs Ethernet et les points d'accès sans fil
 - Inutile avec les commutateurs (stockent les trames, et les réémettent l'une après l'autre)
- **Exemples de méthodes d'accès**
 - Polling : tour de parole donné par une station maître
 - Anciennes grappes de terminaux, ou dans certains réseaux locaux industriels, ou dans certains protocoles adaptés au temps réel
 - CSMA/CD pour les réseaux de type Ethernet contenant des hubs (half-duplex)
 - CSMA/CA pour les réseaux sans fil
 - Réseaux 802.11 (dits Wi-Fi)
 - Méthode du jeton (token) pour les réseaux en anneau (de plus en plus rare)
 - Token ring ou FDDI



FDDI : Fiber Distributed Data Interface

Adressage MAC(802.1)

- Le comité IEEE 802.1 a défini un format d'adressage commun à tous les protocoles LAN (<http://standards.ieee.org/regauth/oui/>)
- Format: 48 bits ou 6 octets en hexadécimal voire 64 bits
- Les adresses sont plates (pas de hiérarchie)



- OUI(Organizationaly Unique Identifier): numéro affecté par l'IEEE aux constructeurs de cartes réseau
 - Vendor ID: identificateur complété par le constructeur pour distinguer ses cartes
- Exp: 00 00 0C: cisco; 08 00 09 HP

Le bit U/L indique:

- 1: @ administrée localement (@ relative)
Gérée localement par l'administrateur réseau pour optimiser le plan d'adressage
- 0: @ administrée globalement (@ absolue unique). Le plus utilisé.

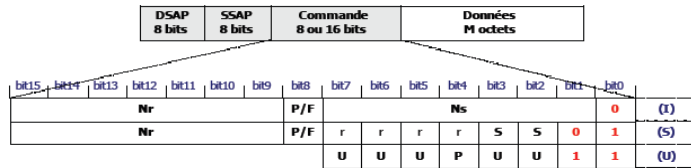
Adressage MAC(802.1)

- Le bit I/G indique:
 - 0: @ d'une station unique (unicast)
 - 1: @ de groupe (multicast)
 - Si tous les bits sont à 1, @ de diffusion à toutes les stations (broadcast)
 - Adresse Broadcast: FF-FF-FF-FF-FF-FF
 - Les trames broadcast sont reçues par toutes les stations du LAN
 - Avec les hub, points d'accès et switch;
 - Seuls les routeurs arrêtent les trames de broadcast.
 - Adresse unicast : comprend le premier bit transmis à 0:
 - 08-00-20-09-E3-D8 ou 00-01-23-09-E3-D5
 - Les @ multicast se définissent en fonction des @ de niveau 3:
 - 01-00-5E+ 3 octets de l'@IP Multicast: Multicast IP4
 - 33-33+4 octets : Multicast IPv6(partie EUI-6)
 - 01-80-C2-00-00-00: utilisé par le protocole STP
 - 01-80-C2-00-00-01: trame pause (contrôle de flux sur switch)
 - 01-80-C2-00-00-21: utilisé par le protocole GVRP

La sous couche LLC

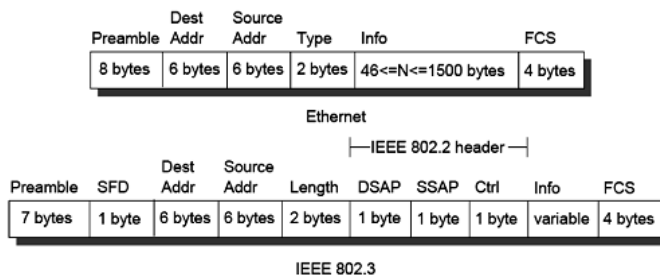
- La sous-couche de **contrôle de la liaison logique** est la partie haute de la couche liaison de données. Elle permet la livraison garantie des trames, la détection et la reprise sur erreurs et le contrôle de flux
- Sous couche LLC 802.2 commune aux protocoles MAC 802.x
Trame similaire à la trame HDLC
- Elle masque à la couche supérieure le type de réseau physique utilisé
- Propose 3 types de services:
 - LLC type 1 : aucun contrôle supplémentaire ; simple aiguillage des données vers les protocoles de couche 3. service sans connexion et sans acquittement;
 - LLC type 2 : type 1 avec séquençement et contrôle de flux ; service avec connexion et avec acquittement. Ce mode interdit la diffusion et donc service très peu utilisé. (utilisé par token ring);
 - LLC3: service sans connexion et avec acquittement destiné aux LAN industriels.

La couche LLC



- DSAP: **Destination Service Access Point** et SSAP: **Source Service Access Point** permettent d'identifier les protocoles de niveau supérieur: 0x06: IP; 0xE0: IPx; 0xAA: SNAP; ; 0x42: STP. Cette adresse permet la cohabitation de protocoles différents sur une même carte réseau
- 1 bit du champ DSAP est réservé pour la diffusion
- 1 Bit du champ SSAP indique s'il s'agit d'une trame Commande ou réponse
- Contrôle ou commande: indique le type de la trame: S, I ou U
- Pas de fanion: car cette trame sera encapsulée dans une trame MAC
- Pas de FCS car définit au niveau MAC

Exemple: Trame Ethernet



Chapitre III

La technologie Ethernet

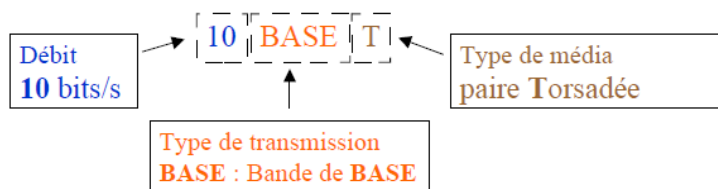
Historique

- **Origine** : Système ALOHA (ou Alohanet) **Ethernet V1** (1976) Conçus et mis en œuvre par XEROX (Professeur MetCalf)
 - Débit : 3 Mb/s (*Experimental Ethernet*)
 - Médium : Coaxial de 1000 mètres
 - Nombre maximum de stations : 100
- **Ethernet V2** (1980) **DIX** (Digital - Intel - Xerox)
 - Débit : 10 Mb/s
 - Base de travail à la recommandation IEEE 802.3

Avantages d'Ethernet

- Le succès d'Ethernet est dû à plusieurs facteurs:
 - ✓ Simplicité et facilité de maintenance
 - ✓ Fiabilité
 - ✓ Faible coût d'installation et de mise à niveau
 - ✓ Évolutivité
- La technologie Ethernet regroupe une famille de technologies: Ethernet standard à 10 Mbps, le Fast Ethernet à 100 Mbps et le Gigabit Ethernet à 1, 10 et 100 Gbps.

Sigle Ethernet



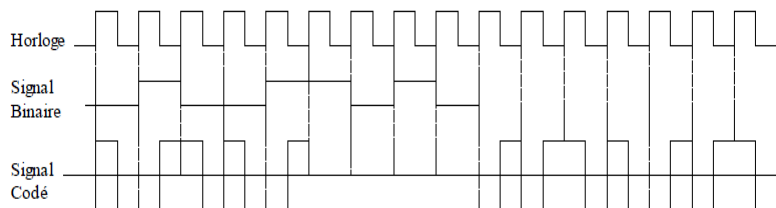
- ❖ 10BASE5 : Ethernet 10 Mbits/s standard coaxial (*Thick*)
 - 5 : longueur max. du segment 500 m
- ❖ 10BASE2 : Ethernet fin à 10 Mbits/s coaxial (*Thin*)
 - 2 : longueur max. du segment 185 m

Normes IEEE 802.3

- 1985 : 10 Base 5 (802.3)
- 1988 : 10 Base 2 (802.3b)
- 1990 : 10 Base T (802.3i)
- 1993 : 10 Base F (802.3j)
- 1995 : 100 Base X (802.3u)
- 1998 : 1000 Base LX,SX (802.3z)
- 1999 : 1000 Base T (802.3ab)
- 2002 : 10GE Base F (802.3ae)
- 2010 : 100GEBASEF(802.3ba)

Couche physique

- Les fonctions réalisés, sur le support, par le *transceiver* sont les suivantes :
 - Emission et réception de signaux suivant un codage
 - *Manchester*
 - *Code par bloc*
 - Détection de présence de signaux:
 - Détection de collisions: la détection de collision se fait par écoute du support. Lorsque la tension sur le câble est plus élevée que la tension maximale pouvant être générée par un seul *transceiver*, *une collision est détectée*.



Fast Ethernet

FastEthernet : codage 4B/5B NRZI ou MLT3 (100 Mbits/s)

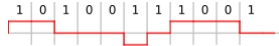
❖ 100BASE-T : 4B/5B puis MLT3

Avec le codage MLT3, seuls les 1 font changer le signal d'état. Les 0 sont codés en conservant la valeur précédemment transmise. Les 1 sont codés successivement sur trois états : +V, 0 et -V.

Le principal avantage du codage MLT3 est de diminuer fortement la fréquence nécessaire pour un débit donné grâce à l'utilisation de 3 états. Pour 100 Mbps de débit, une fréquence maximale du signal de 25 Mhz seulement est atteinte.

❖ 100BASE-FX : 4B/5B puis NRZI

Avec le codage MLT3, on produit une transition du signal pour chaque 1, pas de transition pour les 0.



❖ Codage 4B/5B :

Les longues séquences de 0 peuvent entraîner une perte ou un déphasage de l'horloge du récepteur. Pour éviter cela, on utilise un codage 4B/5B qui introduit au moins deux transitions pour une série de 5 bits (voir table de correspondance).

➤ Le code NRZI est défini de la façon suivante :

"0" \Leftrightarrow copie l'état précédent

"1" \Leftrightarrow inverse l'état précédent

➤ Le code 4B/5B établit les correspondances suivantes :

Valeur binaire	4B/5B
0000	01010
0001	01001
0010	10100
0011	10101
0100	01010
0101	01011
0110	01110
0111	01111
1000	10010
1001	10011
1010	10110
1011	10111
1100	11010
1101	11011
1110	11100
1111	11101

Ethernet 1G

Les différentes spécifications Gigabit Ethernet

❖ Il existe en fait deux spécifications :

- **802.3z** (juin 1998) : 1000BASE-LX, 1000BASE-SX et 1000BASE-CX (fibre optique)
- **802.3ab** (juin 1999) : 1000BASE-T (cuivre)

❖ Les différentes spécifications :

- **1000BASE-LX** (*Long wavelength*) : fibre optique de type monomode ou multimode (1350 nm). Distances : monomode (5000 m) et multimode (550 m).
- **1000BASE-SX** (*Short wavelength*) : fibre optique de type multimode (850 nm). Distances maximales : 220 à 550 m.
- **1000BASE-LH** (*Long Haul*) : non couverte par l'IEEE. Distances : de 10 à 40 km. Compatible avec 1000Base-LX du point de vue des connecteurs.
- **1000BASE-CX** : paires torsadées blindées (STP) d'impédance 150 ohms. Distance : limitée à 25 m (utilisation limitée aux liaisons de brassage). Utilise un codage 8B/10B NRZI.
- **1000BASE-T** (IEEE 802.3ab) : paires torsadées de Cat. 5 non blindée (UTP), cat. 6 et 7. Distance : entre 25 et 100 m. Utilise les 4 paires en parallèle et en *full-duplex* (250 Mbit/s sur chaque paire). Codage à 5 niveaux appelé PAM-5 (*Pulse Amplitude Modulation*).

Ethernet 10G

- **Intérêt : Services d'interconnexion à très haut débit et réseaux de stockage**
- **Standardisation par le groupe de travail 802.3 ae**
 - Premières spécifs : Juillet 2000, standard finalisé en Juin 2002
- **10 Gigabit Ethernet Alliance (10GEA)**
 - www.10GEA.org
- **Ouverture vers le MAN et le WAN**
 - Ethernet de bout en bout
 - Utilisation de l'infrastructure optique DWDM
- **Caractéristiques**
 - Trame Ethernet conservée
 - Fonctionnement en commuté full-duplex seulement
 - Support fibre optique
 - MMF : portée 65 m (jusqu'à 300m)
 - SMF : jusqu'à 40 km
- **Standard 10G sur paires torsadées**
 - Norme 802.3an approuvée mi 2006
 - Appellation 10G Base T
 - Transmission simultanée sur 4 paires
 - Modulation PAM à 16 niveaux
 - Câblage
 - Sur câble catégorie 6 : distance maximum 55m
 - Sur câble catégorie 6a (augmented) : jusqu'à 100m
 - Sur câble catégorie 7 : jusqu'à 100m

Ethernet 40G et 100G

- ✓ Standard 40 à 100G sur fibre optique
 - Norme: IEEE802.3ba
 - 100 à 150m sur FO MM
 - 40Km sur FO SM
 - Cisco catalyst 6900
- ✓ utilisé pour l'interconnexion de sites

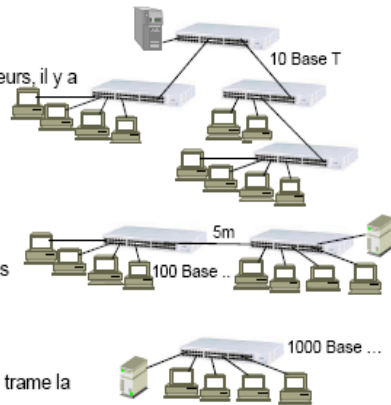


Couche MAC

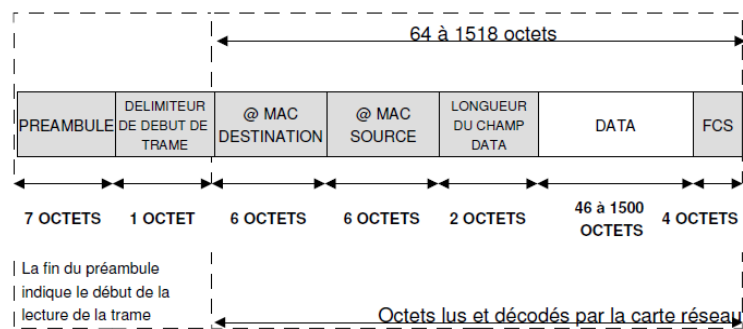
- Un coupleur est à l'écoute de la totalité des trames qui circulent sur le câble (envoi sur une paire et écoute sur l'autre paire)
 - Si une trame lui est destinée :
 - Adresse destinataire = Sa propre adresse physique
 - Il la prend, la traite et la délivre à la couche supérieure
 - Sinon, le coupleur ne fait rien
- Modes de fonctionnement:
 - Half duplex: utilisé dans la version Ethernet en mode partagé (sur bus ou en étoile autour de hub) → abandonné!!
 - Full duplex: pour Ethernet commuté: émission sur une paire et réception sur l'autre paire.

Ethernet partagé: limitations

- Ethernet 10 Mbps partagé
 - 4 hubs max en 10 Base T
 - Avec la généralisation des commutateurs, il y a rarement plusieurs hubs en cascade
- Fast Ethernet 100Mbps partagé
 - 2 répéteurs max.
 - Avec 5m max. entre les 2 répéteurs!
 - Mais les hubs Fast Ethernet sont rares
- Gigabit Ethernet partagé (rare)
 - 1 seul répéteur
 - A condition d'augmenter la taille de la trame la plus petite
 - De 64 à 512 octets!
- Impossible d'utiliser CSMA/CD au-delà de 1 Gbps



Structure de la trame Ethernet

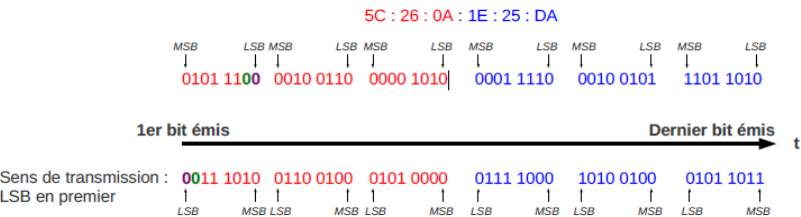


- Le **préambule**, composé d'une succession de 0 et de 1, assure la synchronisation du récepteur sur la trame émise.
- Le **délimiteur de trame** permet de trouver le début du champ d'adresses.
- Une **séquence de contrôle** (*Frame Check Sequence*) calculée suivant un code de redondance cyclique (*CRC*).

Format d'une trame Ethernet

Attention ! Sur Ethernet, la transmission commence par le LSB (Least Significant Bit) de chaque octet.

Forme canonique:



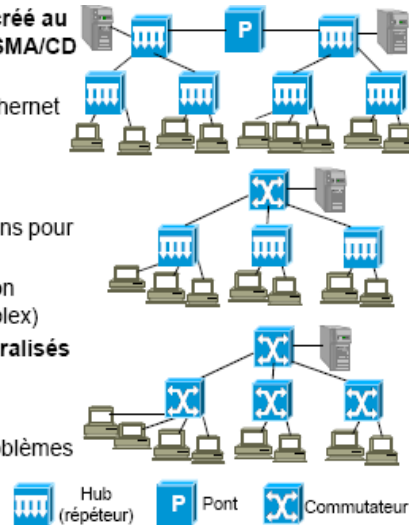
Switched Ethernet

- Les ponts et commutateurs ont été créés au départ pour segmenter un réseau CSMA/CD en domaines de collisions plus petits

- Pour combattre l'effondrement d'Ethernet à forte charge
- Segmentation en deux domaines de collisions pour les ponts (2 ports)
- Segments en N domaines de collisions pour les commutateurs (N ports)
- Dans chaque domaine de collision, on utilise CSMA/CD (Ethernet half-duplex)

- Puis les commutateurs se sont généralisés

- Un domaine de collision par station
- Micro-segmentation
- Disparition de CSMA/CD et ses problèmes
- Ethernet full-duplex



Composants d'un switch

- Une mémoire tampon (MT)
 - par port pour stocker les trames reçues et qui isole le port du trafic envoyé au même moment sur d'autres ports
- Une table d'adresses (TA ou FDB: Forwarding Data Base)
 - pour stocker les adresses des stations connectées; alimentée par auto apprentissage
- Une matrice de commutation
 - permet de router toute trame reçue sur un port vers n'importe quel autre port. Elle définit des chemins de données multiples. Les ports sont reliés à la matrice de commutation
 - Circuits ASIC + processeurs RISC pour les commutateurs fédérateurs

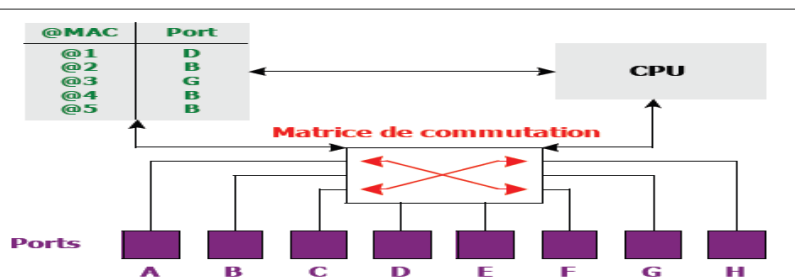


Table des adresses

- **Les tables d'adresses (tables de commutation) peuvent comporter**
 - Des entrées statiques
 - Spécifiées par configuration manuelle du commutateur
 - Des entrées dynamiques
 - Créées et supprimées par auto-apprentissage pour les adresses unicast
 - D'autres entrées peuvent être créées par des protocoles d'enregistrement (standard 802.1p ou IGMP snooping) pour les adresses multicast
 - **Des tables de filtrage additionnelles peuvent être configurées**
 - Pour améliorer la sécurité, on peut autoriser ou interdire certains trafics
 - Pour classer, marquer, ou contrôler (policing) les trames selon la QoS
 - Filtrage selon les adresses MAC, le type de protocole, les adresses IP, le protocole de niveau 4, ou les numéros de port TCP/UDP
 - Les opérations de filtrage peuvent freiner le commutateur
 - Souvent réalisées en software sur les commutateurs de niveau 2 classiques
 - Peuvent être réalisées en hardware sur les commutateurs de plus haut de gamme (par exemple commutateurs de niveau 2/3)
-

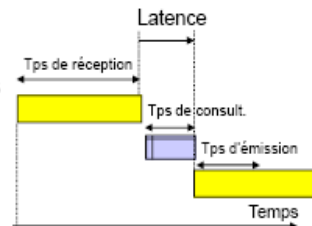
Auto-apprentissage

- **Au départ les tables sont vides**
 - Le pont/commutateur analyse l'adresse source des trames arrivant sur les différents ports
 - Si l'adresse est inconnue, elle est insérée dans la table, et le temporisateur associé est initialisé
 - Sinon le temporisateur associé est ré-initialisé
 - Les adresses dont le temporisateur arrive à échéance sont purgées de la table
 - Seules les adresses des stations actives sont conservées
 - **Le pont/commutateur compare l'adresse destinataire des trames arrivant sur les différents ports à la table d'adresses**
 - Il relaie sur le port indiqué si l'adresse existe dans la table
 - Il relaie sur tous les ports si l'adresse n'existe pas dans la table
 - **Un pont/commutateur relaie systématiquement les trames de diffusion**
 - Et en général aussi les trames multicast
 - Sauf si un protocole multicast (802.1p ou IGMP snooping) est implémenté
 - Protocole d'enregistrement des adresses multicast
-

Modes de commutation

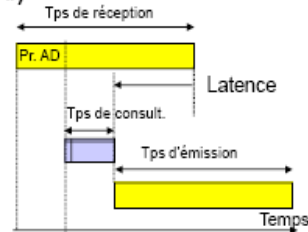
- **Fonctionnement en mode « store & forward »**

- Stockage trame, vérification CRC, puis consultation de la table de commutation, puis émission sur le port de sortie



- **Fonctionnement "à la volée" (ou « cut through »)**

- Consultation de la table de commutation dès réception de l'adresse destinataire
- Le CRC ne peut être calculé



- **Intéressant pour les ports à 10 Mbps**

- N'est plus très significatif à plus haut débit

Gammes de switches Ethernet

- **Le marché des commutateurs propose une gamme très étendue**

- **Commutateurs non configurables (très bas de gamme)**

- Fonctionnalités très limitées



- **Commutateurs à configuration fixe (bas de gamme)**

- Au-delà du nombre de ports prévu, ils doivent être cascades

- Nombre fixe (24 à 48) de ports downlink vers les stations
- Nombre fixe (0 à 4) ports uplink vers le réseau de distribution



- Ils sont configurables en local et/ou à distance

- Fonctionnalités simples à avancées selon les modèles

- **Commutateurs empilables (milieu de gamme)**

- On peut constituer une pile à partir d'éléments séparés

- L'ensemble est vu comme un seul commutateur

- Ils peuvent être empilés en face avant

- Par des connexions Gigabit Ethernet spéciales
- Les liaisons Gigabit simulent un bus interne

- Ou en face arrière par prolongation du bus interne

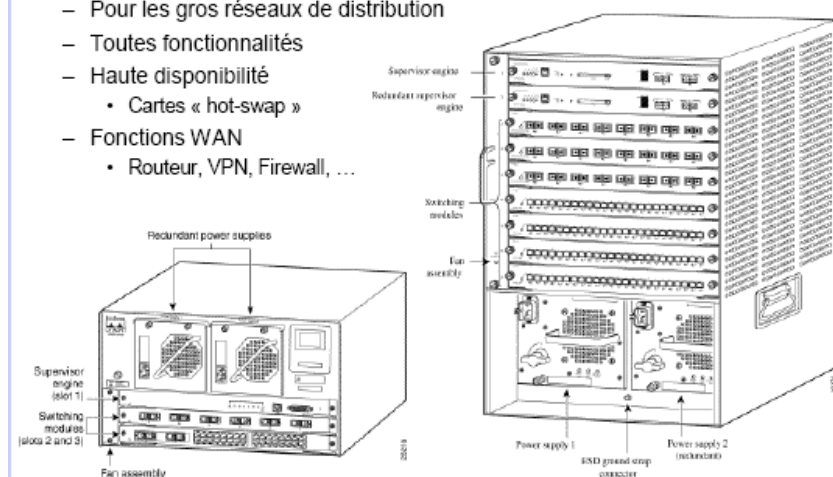
- Performances et fonctionnalités plus avancées



Gammes de switches Ethernet

- **Commutateurs en châssis (haut de gamme)**

- Pour les gros réseaux de distribution
- Toutes fonctionnalités
- Haute disponibilité
 - Cartes « hot-swap »
- Fonctions WAN
 - Routeur, VPN, Firewall, ...



Configuration d'un switch

- **Quatre moyens de configuration d'un commutateur**

- **Localement via le port console**

- En général en émulation de terminal
 - Interface ligne de commande
- Quelquefois avec un logiciel propriétaire
 - Interface plus conviviale

- **A distance via Telnet**

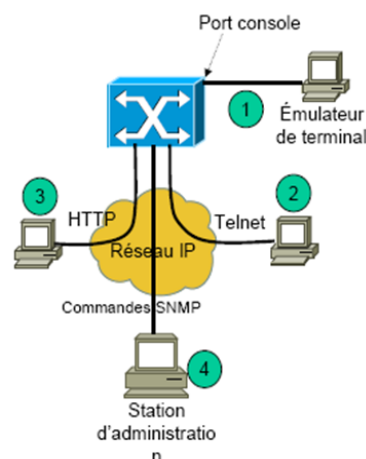
- Interface ligne de commande

- **A distance via HTTP ou HTTPS**

- Interface WEB
- Configuration simplifiée en général

- **A distance via SNMP**

- Configuration des variables de la MIB



Atelier 1: Configuration d'un Switch

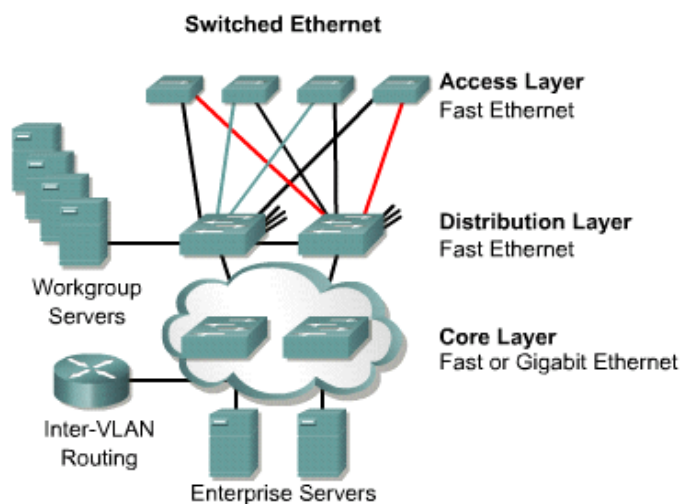
Modèle de réseau commuté hiérarchique

- Pour satisfaire les besoins des moyennes et grandes entreprises, il faut utiliser un modèle de conception hiérarchique
- Un modèle à trois niveaux:
 - Niveau accès: permet aux utilisateurs répartis dans les groupes de travail d'accéder au réseau: les équipements utilisés sont des switch (catalyst 2950, 4000 et 5000)
 - Prise en charge des aspects suivants:
 - Sécurité des ports
 - Débit de 100Mbps à 1Gbps
 - PoE
 - Agrégation de liens vers les switch de niveau supérieur
 - Gestion de la QOS
 - VLAN

Modèle de réseau commuté hiérarchique

- Niveau distribution: assure une connectivité basée sur les politiques d'administration et de sécurité. Elle assure:
 - Le regroupement des connexions du local technique
 - Débit de 10G
 - Le routage inter VLAN et QOS
 - Redondance des composants et de liens
 - Stratégies de sécurité
 - Les équipements: switch de niveau 2 ou 3 (2926, 3550, 5000 et 6000)
- Niveau principal: assure l'optimisation du transport entre les sites: backbone de commutation à très haut débit(10G)
 - Switch de niveau 3 (6500 et 8500)
- Ces 3 niveaux peuvent exister en entités physiques distinctes ou combinées dans une ou deux entités.

Modèle hiérarchique



Avantages d'un réseau hiérarchique

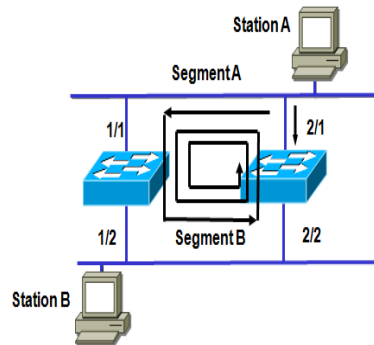
- ✓ Évolutivité
 - les réseaux hiérarchiques peuvent être aisément étendus
- ✓ Redondance
 - La redondance aux niveaux des couches distribution et backbone garantit la disponibilité de chemins d'accès
- ✓ Performances
 - l'agrégation de liens entre les niveaux et les switch permet de bénéficier de grande vitesse
- ✓ Sécurité
 - la sécurité des ports et les stratégies de sécurité au niveau distribution améliore la sécurité du réseau
- ✓ Facilité de gestion
 - la cohérence entre les switch de chaque niveau facilite la gestion
- ✓ Maintenance
 - la modularité de la conception hiérarchique permet une mise à l'échelle du réseau sans trop de complexité

Architecture hiérarchique des Switch

- Existence d'un chemin unique entre les équipements
- Si un lien tombe en panne, plus de communication vers un segment du réseau
- La solution est la création de chemins redondants: ajout de liens physiques pour augmenter la fiabilité; ou par erreur;
- Mais cette redondance crée un dysfonctionnement lors du transfert des trames:
 - Tempête de broadcast
 - Trames multiples
 - Table d'adresses MAC non cohérente

Problèmes de la redondance

1. Que se passe-t-il quand A envoie une trame unicast vers B?
2. Que se passe-t-il quand A envoie une trame de broadcast?
3. Que doit-on faire pour résoudre ce problème?



- Instabilité de la table MAC
- Tempête de broadcast
- Multiplicité de copies



Le protocole STP

Spanning Tree (802.1D) : Rôle

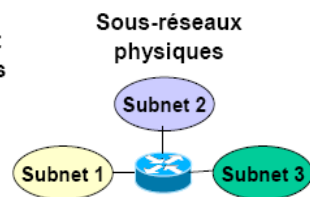
- ✓ Protocole de communication Inter-Switches(Ponts) dans le but de :
 - Éliminer automatiquement les boucles dans le réseau en désactivant les ports qui engendrent les boucles,
 - Contrôler en permanence la disponibilité des ports actifs,
 - En cas de défaillance d'un port actif, de basculer le trafic vers un port mis en sommeil
- ✓ 1 chemin unique possible entre 2 machines du réseau local
 - Ceci est réalisé en **inhibant** de(s) port(s) de Switchs)
 - Le spanning tree permet une reconfiguration automatique en cas de changement de topologie
- ✓ Communication entre Switch pour avoir une topologie sans boucle.
 - Diffusion de **BPDU** (Bridge Protocol Data Unit) BPDU ≈ [ID racine, ID émetteur, N° de port]
 - L'adresse de diffusion Multicast est: 0180-C200-0000
 - Protocole normalisé: IEEE 802.1D et IEEE 802.1w pour RSTP (STP rapide)
- ✓ Le protocole STP est par défaut activé sur les switch

Atelier 2

Pourquoi les VLANs?

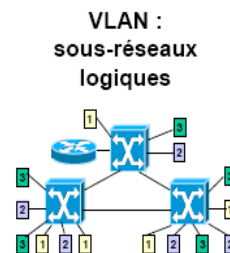
- Pour limiter les diffusions et assurer la sécurité entre les groupes de travail, on peut se contenter de sous-réseaux interconnectés par un routeur

- On a réalisé une segmentation physique (géographique) du réseau
- Solution moins flexible



- Les VLAN assurent en plus une segmentation logique du réseau

- Cela facilite les ajouts, modifications, et déplacements de stations
 - Constitution des VLAN par l'administrateur selon l'évolution de l'entreprise



Pourquoi les VLAN?

- **Les diffusions deviennent un problème dans les grands réseaux commutés**
 - Il faut créer des groupes fermés de diffusions
 - Qui correspondent aux groupes de travail
 - Cela revient à simuler un LAN séparé pour chaque groupe
- **Les VLAN améliorent les performances**
 - Les commutateurs ont des tables de commutation plus courtes
 - Les stations reçoivent moins de diffusions inutiles
 - On peut avoir plusieurs arbres spanning tree
- **Les VLAN améliorent la sécurité**
 - Des groupes fermés de diffusion ne peuvent communiquer qu'en passant par des routeurs : les VLAN sont interconnectés par des routeurs
 - Deux stations de 2 VLAN différents ne peuvent pas discuter directement
 - Le trafic unicast, multicast et broadcast de niveau 2 ne sort pas du VLAN
 - Un VLAN est un sous-ensemble de la topologie active du LAN commuté
- **Les VLAN améliorent la flexibilité**
 - Les membres d'un VLAN peuvent être dispersés géographiquement

Développement de la technologie des VLAN?

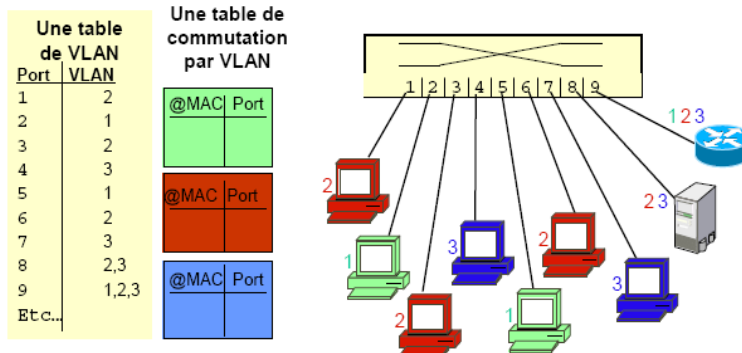
- **Au départ (et encore souvent aujourd'hui) les VLAN correspondaient à des développements propriétaires**
 - D'abord sur un commutateur unique
 - Puis sur des commutateurs différents
 - Avec des protocoles propriétaires entre les commutateurs
 - Encapsulation des trames Ethernet entre commutateurs (ISL de Cisco)
 - Étiquettes propriétaires ou IEEE 802.1Q dans chaque trame
- **L'IEEE a finalement défini un standard pour les VLAN**
 - IEEE 802.1Q
 - Il spécifie des étiquettes (tags) normalisées entre commutateurs
 - Il spécifie la façon dont les commutateurs se communiquent entre eux les informations relatives aux VLAN

Types de VLAN

- Il y a plusieurs façons de spécifier l'appartenance des stations à un VLAN
 - En identifiant des groupes de ports des commutateurs
 - Quelquefois appelés VLAN de niveau 1
 - En identifiant des groupes d'adresses MAC
 - Souvent appelés VLAN de niveau 2
 - En regroupant les stations utilisant le même protocole de niveau 3 et appartenant au même sous-réseau
 - VLAN de niveau 3 par protocole et par réseau
- Les variantes proposées diffèrent selon les constructeurs
- Dans tous les cas, le trafic interne à un VLAN est commuté, et le trafic éventuel entre VLAN est routé
 - Chaque commutateur a une table de commutation distincte par VLAN
 - Initialisée et mise à jour par auto apprentissage
 - Le spanning tree peut être global (chaque VLAN en est un sous-arbre)
 - Autre solution : un spanning tree distinct par VLAN (standard 802.1s)

VLAN de niveau 1: configuration par port

- Technique la moins sophistiquée pour configurer un VLAN
 - La moins chère, supportée même sur des commutateurs de bas de gamme
 - Problèmes : nomadicité des stations, stations multi-VLAN (serveurs, routeurs), liaisons entre commutateurs



VLAN de niveau 2: configuration par @ MAC

- **La configuration par adresse MAC est plus sophistiquée**

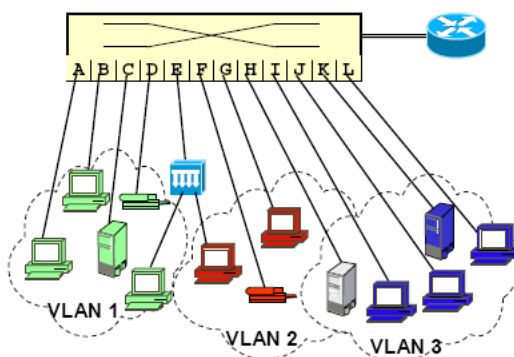
- Si une station d'un VLAN se déplace physiquement, les commutateurs vont apprendre le nouvel emplacement automatiquement
- Configuration plus longue (centralisée?)
- Stations multi-VLAN?

Table de VLAN

@MAC	VLAN
123	1
132	1
236	1
268	1
689	2
752	2
497	2
159	2,3?
258	3
349	3
137	3
169	3

Une table de commutation par VLAN

@MAC	Port



VLAN de niveau 3: configuration par @ réseau

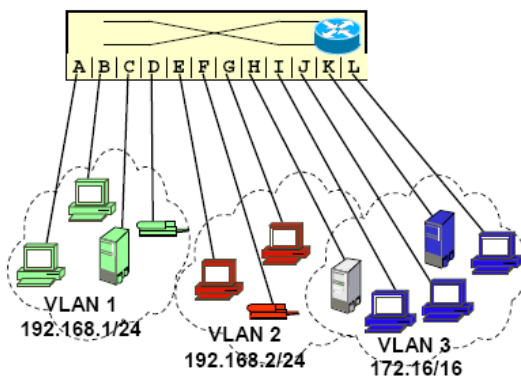
- **L'appartenance au VLAN est déterminée par une adresse de niveau 3 (en général un préfixe IP)**

- Pour déterminer le VLAN le commutateur exécute des fonctions proches de celles d'un routeur : le routeur est en général intégré (commutateur 2/3)
- Nomadicité des stations supportée
- Problème avec DHCP

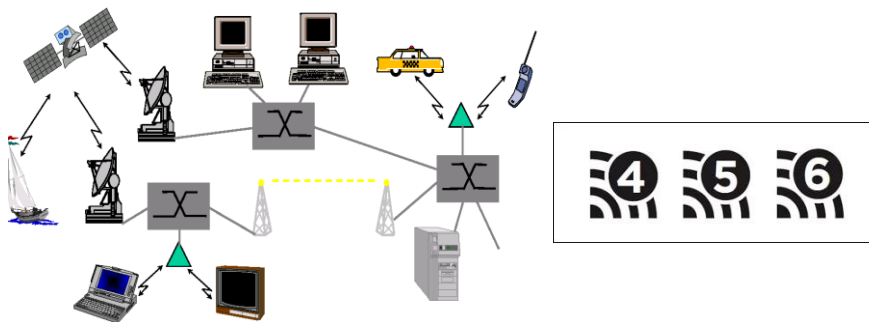
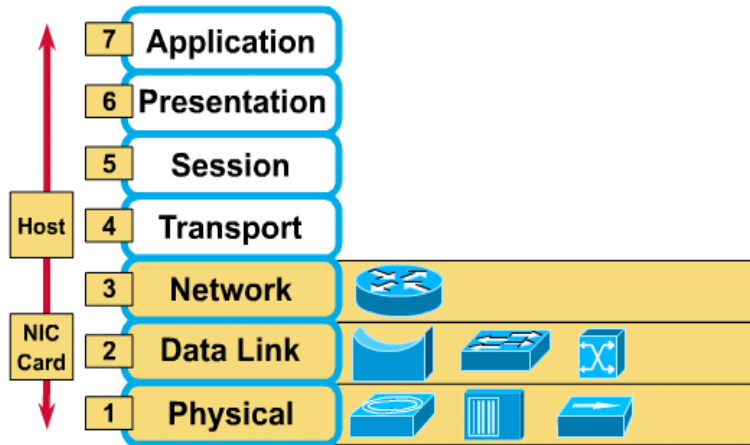
Sous-réseau	VLAN
192.168.1/24	1
192.168.2/24	2
172.16/16	3

Une table de commutation par VLAN

@MAC	Port



Equipements LAN



Chapitre IV

Les technologies sans fils

LAN sans fil

- La mobilité : un environnement où les personnes peuvent faire suivre leur connexion réseau dans leurs déplacements.
- La productivité ne se limite plus à un lieu de travail précis ou à une période définie. Désormais, les personnes jugent naturel d'être connectées en permanence et en tous lieux, du bureau à l'aéroport, voire même à domicile.
- La portabilité et la mobilité sont présentes dans tous les domaines, des claviers et casques sans fil aux téléphones satellitaires et systèmes de positionnement mondial (GPS). Combiner des technologies sans fil sur différents types de réseaux est un gage de mobilité pour les employés.

Type de cellule	Large	Macro	Micro	Pico
Taille de la cellule	20 km	1 à 3 km	150 à 100 m	10 à 30 m
Position de l'antenne	Toits, pylônes	Toits, pylônes, façades	Plafonds, murs	Sac, oreillette, PDA
Application	Téléphonie (GSM, UMTS)	Boucle locale radio	Réseau local sans fil	Réseau personnel
Débit des données	Quelques centaines de Kbit/s	Quelques Mbit/s	10 à 50 Mbit/s	Quelques Mbit/s

LAN sans fils

- Définition: communications entre plusieurs stations directement ou indirectement en utilisant les ondes radio, en propagation libre dans l'air, comme médium de transmission.
- Critères de classification:
 - Radio: fréquence, modulation et puissance
 - Protocole de communication et sécurité
 - Architecture du réseau et types de terminaux
 - Débit
 - Portée
 - Coût

Intérêts et contraintes du sans fil

✓ Intérêts:

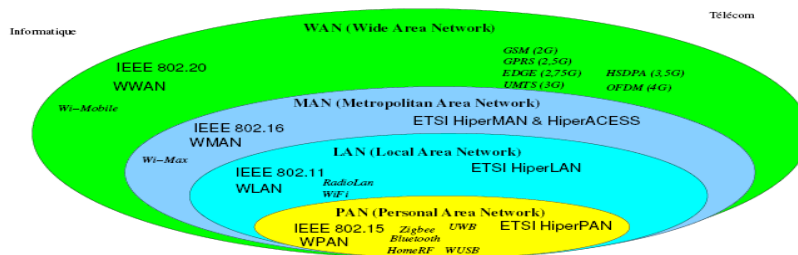
- Facilité de déploiement
- Interopérabilité avec les réseaux filaires
- Débits adaptés à un usage professionnel
- Grande souplesse et faiblement structurant (chantier, exposition, locaux temporaires)
- Non destructif (monuments historiques, sites classés)
- Grande mobilité
- Coût!!!

✓ Contraintes:

- Limites des ondes radio(sensibles aux interférences ,occupation progressive des bandes de fréquence)
- Sécurité : données circulant librement(nécessite de déployer des solutions de sécurité adaptées)
- Réglementation: fréquences et puissances d'émission contrôlées par l'Etat
- Débit : mutualisé et variable(partagé entre les utilisateurs et dépendant des conditions d'usage)
- Aspects sanitaires

Utilisation des réseaux sans fil

- ✓ Couverture d'une salle difficile d'accès par câble.
- ✓ Interconnexion de bâtiments.
- ✓ Mise en place de réseau urbain de type communautaire.
- ✓ Point d'accès public à Internet de type « Hots Spot ».
- ✓ Extension des réseaux filaires de bureau pour les utilisateurs nomades.

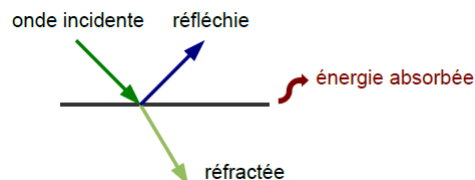


Normes des réseaux sans fil

- Normalisé par IEEE:802 à partir de 1997 et révisée en 1999 avec le nom commercial WiFi.
 - 802.11b: utilise une bande de fréquence de 2,4 Ghz et offre un débit de 11 Mbps théorique (6Mbps réel) dans un environnement dégagé
 - 802.11a: une bande de fréquence de 5 Ghz et un débit de 54 Mbps
 - 802.11g: évolution de 802.11b avec une bande de fréquence de 2,4Ghz et un débit de 54 Mbps (30 Mbps réel)
 - 802.15 : définit les normes pour les WPAN(Wireless Personal Area Network) d'une dizaine de mètres de portée. Ex: bluetooth, HipperLAN2 et Zigbee
 - 802.16: définit les normes pour les WMAN pour la boucle locale radio. Ex: WIMAX
 - 802.22: réseaux régionaux sans fils (WRAN)
 - IEEE 802.20 WWAN: recouvrent essentiellement les réseaux voix avec leurs extensions données (GSM, GPRS, UMTS, ...). Internet ambient

Les liaisons hertziennes

- Les ondes électromagnétiques (OEM) ou ondes hertziennes se propagent dans le vide à la vitesse de la lumière C .
- Une antenne est un conducteur dont la longueur d'onde est un sous-multiple de λ . La transmission de données utilise des systèmes d'antenne passifs à émission directive(faisceau hertzien) ou à diffusion (liaisons satellitaires, mobiles,...)
- Les OEM sont sensibles aux perturbations atmosphériques, signaux parasites, aux interférences avec d'autres systèmes radio
- Les systèmes de transmission de données basés sur les systèmes radio utilisent des fréquences dont le mode de propagation est la propagation par l'onde directe, c'est-à-dire que l'antenne de réception doit être visible de l'antenne d'émission.
- Lorsqu'elle rencontre un obstacle, l'onde est divisée et son énergie est répartie :



Les bandes de fréquence

✓ Chaque type de liaison ou d'application utilise des bandes de fréquences différentes. L'usage est réglementé par l'UIT-R. Les différents domaines d'utilisation se voient attribuer une bande de fréquence elle-même divisée en canaux.

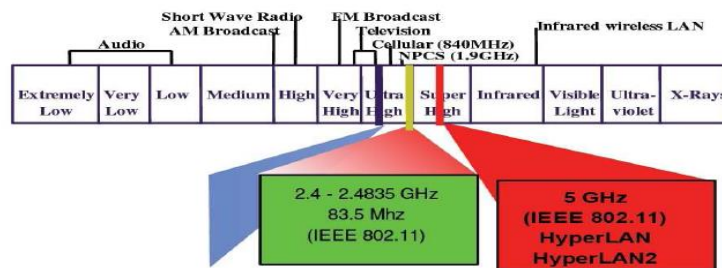
L'attribution locale des fréquences est généralement le fait d'organismes nationaux.

✓ Bande fréquence:

- ISM 2,4 Ghz : 2,4000 – 2,4835 Ghz soit 83,5Mhz

-Bande U-NII de 5Ghz: 5,725-5,825Ghz

✓ La bande de fréquence du WiFi est divisée en 13 canaux se recouvrant partiellement



Normes LAN sans fil

✓ Caractéristiques des ondes radio:

- Plus la puissance d'émission est élevée, plus la couverture est grande, mais avec une consommation d'énergie plus grande

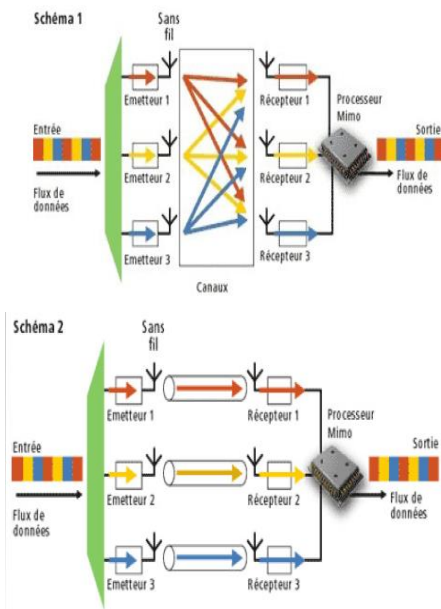
- Plus la fréquence radio est élevée, meilleur est le débit, mais plus la couverture est faible

	802.11b WiFi 1	802.11a WiFi 2	802.11g WiFi 3	802.11n WiFi 4	802.11ac WiFi 5	802.ax WiFi 6
Débit max	11 Mbps	54 Mbps	54 Mbps	250Mbps À 600Mbps	450Mbps à 1,3Ghz	7 Gbps à 10Gbps
Modulation	DSSS ou FHSS Canal à 20Mhz	OFDM Canal à 20Mhz	OFDM Canal à 20Mhz	OFDM/MIMO Canal de 20- 40Mhz	MU-MIMO Canal de 40Mhz à 80Mhz	OFDM/MIMO Canal divisé en sous-canaux
Bande de fréquence	2,4Ghz	5 Ghz	2,4 Ghz	2,4 Ghz et 5 Ghz	2,4Ghz et 5Ghz	2,4 Ghz et 5 Ghz et 60Hz
Distance maximale	90 m	35 m	35 m	50m	50m	35m
Approbation	juillet 99	Juillet 99	Juin 2003	Septembre 2008	2012	2019

Modes d'utilisation des fréquences

- FHSS(Frequency Hopping Spread spectrum): étalement de bande fondé sur le saut de fréquence; on divise la BP en 79 canaux de 1MHz. Emission sur quelques canaux simultanément en changeant plusieurs fois par seconde.
- DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum): la bande 2,4Ghz est divisée en 14 canaux de 20 Mhz chacun. Ces 14 canaux se recouvrent; Emission sur toute la largeur de bande autour du canal.
- OFDM(Orthogonal Frequency Divison Multiplexing) qui segmente la largeur de bande en sous-fréquences(jusqu'à 52 porteuses).
- MIMO: Multiple Input Multiple Output; Transport de plusieurs flux en parallèle sur des antennes différentes mais en utilisant la même fréquence.
- MU-MIMO: Multi-user MIMO utilise un multiplexage spatial pour la radio utilisant jusqu'à 8 flux (ou chemins).

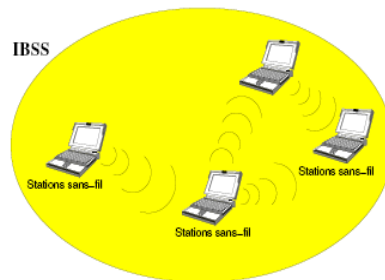
MIMO



- Emission:
 - Les signaux sont émis par 3 antennes distinctes
 - La propagation du signal dans l'air les multiplexe vers les récepteurs
- Réception:
 - L'algorithme de traitement de chaque récepteur isole le signal d'un des émetteurs en utilisant les réflexions
 - Le protocole dispose de 3 canaux virtuels
 - Le débit est multiplié par 3

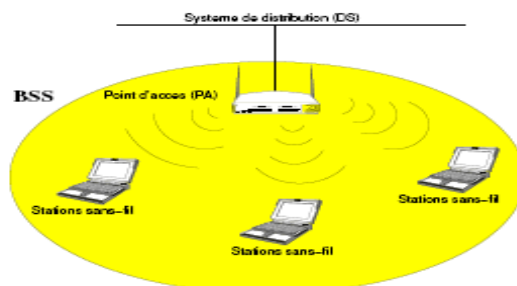
Architectures WLAN

- Les Wlan peuvent être bâtis selon 2 modèles:
 - Ad-hoc (LAN sur mesure) ou MANet(Mobile Adhoc Network): connexion point à point(peer-to-peer) entre équipements avec des cartes sans fils. Par exemple les WPAN: PC- imprimante; PC-TEL, PC-PDA.
 - les stations se trouvant à portée de radio forment un IBSS (Independent Basic Service Set)
 - WiFi direct: connexion directe entre 2 terminaux (smartphone, TV, tablette, PC, appareil photo, imprimante...) à grande vitesse et avec une portée plus importante que celle du bluetooth.



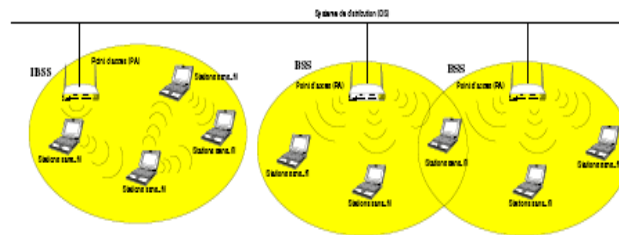
Architectures WLAN

- A Infrastructure: la connexion est gérée par des points d'accès (PA) qui jouent le rôle de pont entre le réseau filaire et le réseau sans fils.
 - Les points d'accès sont équipés d'antennes et fournissent la connectivité sans fil sur une zone appelée cellule
 - les stations se trouvant à portée radio du PA forment un BSS (Basic Service Set).
 - Une cellule est une zone de couverture caractérisée par: un identificateur, un débit, un canal utilisé et un mode de cryptage.
 - Chaque BSS est identifié par un BSSID de 6 octets correspondant à l'adresse MAC du PA.



Architectures WLAN

- On peut composer un réseau avec plusieurs IBSS et BSS
- Ceux-ci sont reliés par un système de distribution DS reliant leurs PA
- Le DS peut être hertzien ou par câble (Ethernet, pont WiFi)
- Les différents IBSS et BSS forment un ESS (Extended SS). Chaque ESS est identifié par ESSID
- Chaque BSS communique sur un canal fixé lors de la configuration du PA (Infrastructure) ou de l'adaptateur (ad-hoc)
- 3 canaux seulement sont utilisables simultanément et à proximité: 1, 6 et 11



Méthode d'accès: CSMA/CA

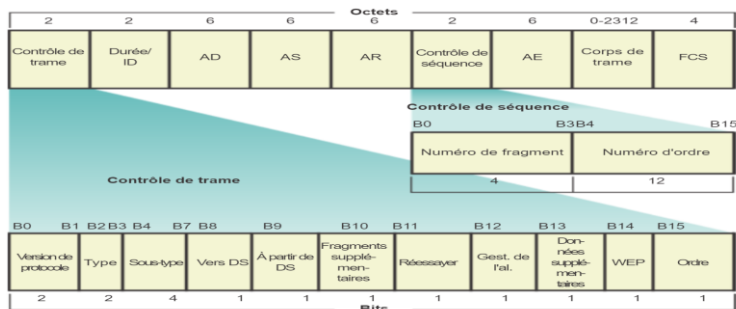
- Ecouter le support
- Eviter au maximum les collisions
- Utiliser le mécanisme d'acquittement positif des trames
- Le temps est divisé en slots.
 - IFS (Inter Frame Silence):
 - SIFS (10 à 16µs) utilisé par les stations pour l'envoi d'un Ack
 - DIFS: SIFS+2TC (28µs à 50µs) utilisé par toute station pour l'envoi d'une trame
 - PIFS: SIFS+TC (19µs à 30µs) utilisé par le PA pour la transmission des trames
 - TC (Tranche canal): 20µs à 9µs
- Particularité du standard : définition de 2 méthodes d'accès fondamentalement différentes:
 - DCF : Distributed Coordination Function
 - Conçue pour prendre en charge le trafic asynchrone
 - Toutes les stations ont les mêmes chances d'accéder au support
 - PCF : Point Coordination Function
 - Interrogation à tour de rôle en utilisant des trames de signalisation
 - Le PA contrôle l'accès
 - Uniquement les réseaux sans fil à infrastructure

Méthode d'accès: CSMA/CA

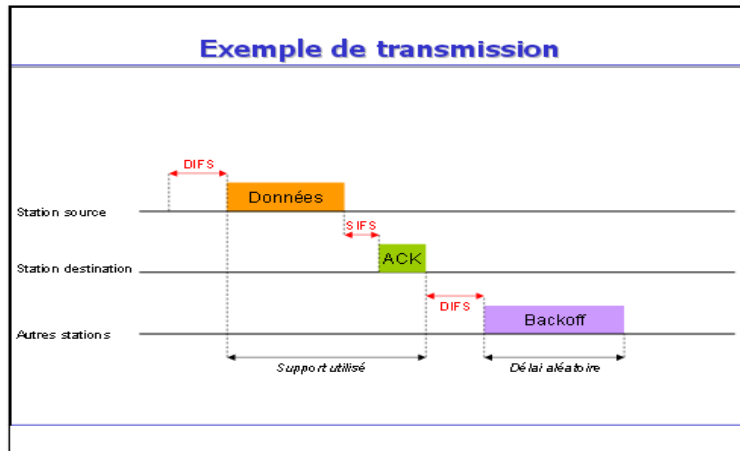
- Algorithme d'émission CSMA/CA :
 - La station voulant émettre écoute le support
 - Si aucune activité n'est détectée pendant un DIFS alors
transmission immédiate des données
 - Si collision alors
abandon de la transmission et attente pendant un délai calculé selon l'algo de backoff
 - Fsi
 - Sinon
La station écoute jusqu'à ce qu'il soit libre
 - Fsi
 - Si pas d'Ack alors
Attente pendant IFS et retransmission de la trame
- Algorithme de réception CSMA/CA :
 - Le destinataire d'une trame calcule le FCS
 - Si trame correcte alors
Attente pendant SIFS et envoi d'un Ack
 - Fsi

Trame WiFi

- **Vers** : version de la trame 802.11 utilisée
- **Type et sous-type** : identifient une des trois fonctions et sous-fonctions de la trame (contrôle, données et gestion)
- **Vers DS** : défini sur 1 bit dans les trames de données destinées au système de distribution (périphériques de la structure sans fil)
-

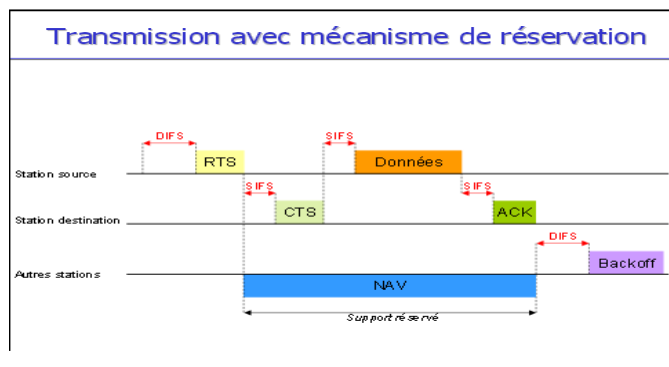


CSMA/CA: DCF



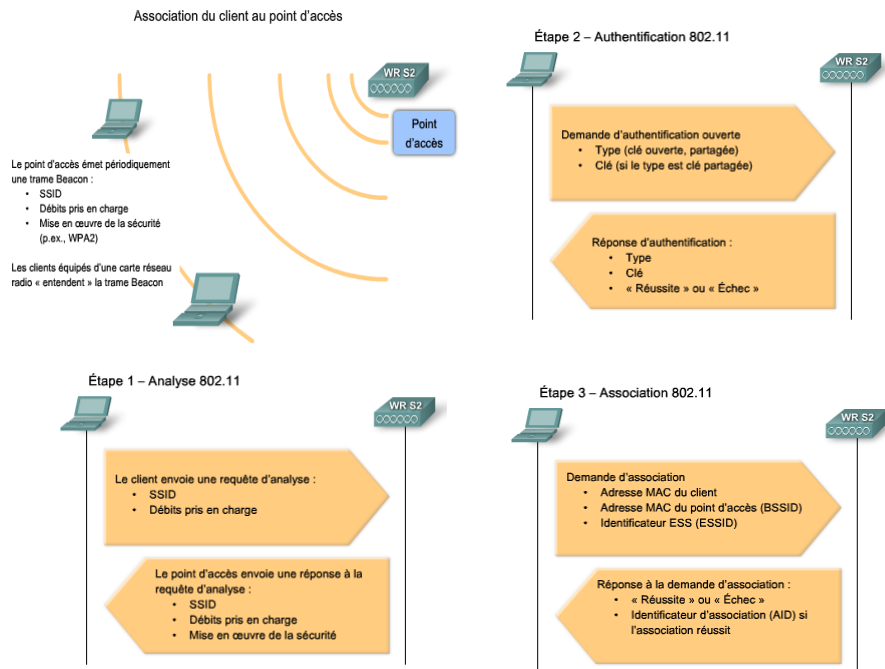
CSMA/CA: PCF

- Pour éviter que deux stations n'émettent simultanément, un mécanisme optionnel de demande d'autorisation à émettre est mis en œuvre:
 - RTS(Request To Send): la station envoie une demande d'autorisation d'émission(@S, @D, délai d'ACK)
 - CTS(Clear To Send): si support libre, le destinataire répond par le CTS



Gestion d'une association

- Une station entrant dans le champ radio d'un PA:
 - Ecoute du support : pour découvrir les PA:
 - Ecoute passive: scanne tous les canaux en attendant une trame balise d'un PA
 - Ecoute active: envoi d'une trame de requête (probe request) avec le ESSID avec lequel il est configuré et le PA répond par un probe response et déclenche une phase d'authentification. Si aucun ESSID n'est configuré, il écoute le réseau à la recherche d'un ESSID en clair.
- Un PA envoie périodiquement (1s) une trame balise pour annoncer sa présence (Beacon frame).
 - Timestamp; l'intervalle entre balises;
 - Le SSID;
 - Le paramètre de Frequency-hopping (FH);
 - Le paramètre de Direct-Sequence (DS);
 - Le IBSS;
 - le Traffic Indication Map (TIM).

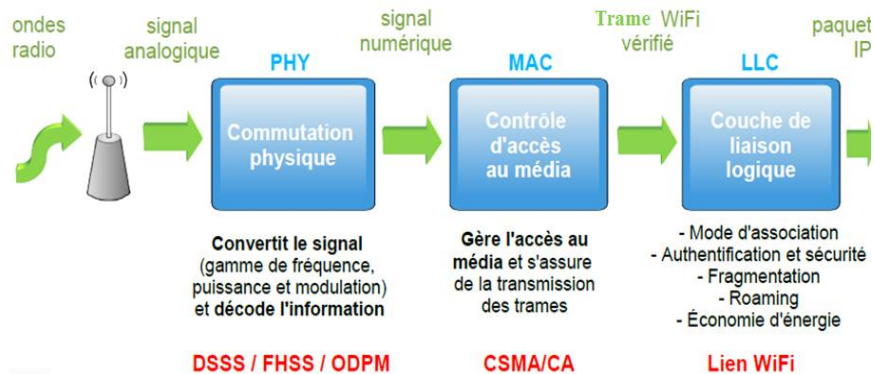


Le module WiFi

▪ Modulation

ondes radio <-> Paquet IP

niveau 1 <-> niveau 3 de la couche OSI



Types de WLAN

- Des WLANs privés ou d'entreprise : les terminaux mobiles servent à des employés dans l'enceinte de l'entreprise pour accéder au système d'information traditionnel.
 - Réseau d'une école; réseau d'une administration,...
- Des WLANs publics ou hot-spots: les terminaux mobiles appartiennent dans ce cas à des clients accédant à une ressource particulière (le plus souvent un accès à Internet) proposée par le propriétaire du hot-spot.
 - Des hôtels, des aéroports ou des cyber-café mettent à la disposition de leurs clients un accès Internet sans-fil.
- Des WLANs domestiques : un particulier forme un réseau sans-fil pour connecter un ou plusieurs PC et son accès Internet (routeur ADSL Wi-Fi par exemple).



La technologie LiFi

- Définition
 - La technologie LIFI (Light Fidelity) est un système de transmission de données sans fil qui utilise la lumière visible comme vecteur de communication.
 - Régi par le groupe de normalisation IEEE 802.15.7
- Domaines d'application:
 - Géo-localisation en intérieur
 - Communication entre véhicules : transmission de vitesse, de distances, sens de déplacement,...
 - Réception sans fil dans des zones sensibles: hôpital, avion, ...
 - Transmission contextualisée d'informations: vidéo, son, pdf,...
- Avantages:
 - Novatrice: ne génère pas d'interférences et n'a pas d'incidence sur la santé
 - Rapide: un débit qui peut être 10 fois celui du WiFi. On annonce le 1Gbps par LED émettrice.
 - Ecologique: pas de pollution électromagnétique supplémentaire et l'utilisation des LED permet jusqu'à 80% d'économie d'énergie
 - Sécurisée: la transmission de données s'opère directement, il n'y a pas d'évasion de données possible (à travers les murs).
 - Un bande de fréquence entièrement libre et sans licence à l'échelle mondiale

La technologie LiFi

- Marché:
 - Commerces : guider le client vers les articles désirés.
 - Musées : présenter des œuvres, audio guidage.
 - Industrie : logistique.
 - Géo localisation sur bateau, avion, parkings, sous terrains, salles des machines...là où le GPS est inopérant (précision de 10cm et un temps de réponse de 0,1s).
 - Services aux usagés : horaires de bus, info trafics, horaires administrations ...
 - Zones sans WiFi : hôpitaux, avions , écoles, etc....
- Inconvénients:
 - Si on passe la main ou n'importe quel objet devant le récepteur, la connexion est tout simplement coupée!
 - Distance limitée: dizaine de mètres.

Composants LiFi

