

# Réseaux locaux

informatique **esil** J. Drouot

## Bibliographie générale

- **Livres**
  - Titre : Réseaux - Auteur : Andrew Tanenbaum
    - Editeur : Pearson Education - 1000 pages - ~45€
  - Titre : Les réseaux - Auteur : Guy Pujolle
    - Editeur : Eyrolles - 1087 pages - ~45€
  - Titre : Réseaux et télécoms - Cours et exercices corrigés
    - Auteur : Claude Servin
    - Editeur : Dunod - 809 pages - 26/6/03 - ~40€
  - Titre : réseaux d'entreprise par la pratique - Auteur : Jean Luc Montagnier
    - Editeur : Eyrolles - 18/3/04 - 548 pages - ~40€
- **WEB**
  - [www.protocols.com](http://www.protocols.com)
  - [www.quill.net](http://www.quill.net)
  - [christian.caleca.free.fr](http://christian.caleca.free.fr)
  - <http://www.techfest.com/index.htm>
  - [www.networkworld.com](http://www.networkworld.com)

informatique **esil** J.Drouot : réseaux locaux 3

## Sommaire

- **Chapitre 1 : Objectifs et caractéristiques des LAN**
- **Chapitre 2 : Câblage et topologies**
- **Chapitre 3 : Normes générales des réseaux locaux**
- **Chapitre 4 : Normalisation des réseaux Ethernet**
- **Chapitre 5 : Introduction aux commutateurs Ethernet**
- **Chapitre 6 : Fonctions avancées des commutateurs**
- **Chapitre 7 : Les réseaux locaux sans fil (WLAN)**
- **Chapitre 8 : Les réseaux de stockage (SAN)**
- **Annexe : Les réseaux locaux en anneau**

informatique **esil** J.Drouot : réseaux locaux 2

## Bibliographie générale (suite)

- **Glossaires réseau**
  - <http://public.enst-bretagne.fr/~leroy/Glossaire/glossaireReseaux.html>

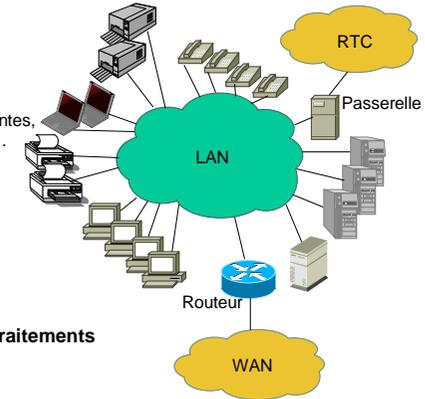
informatique **esil** J.Drouot : réseaux locaux 4

## Cours et Travaux Pratiques

- **Cours**
  - Cours LAN : 6 x 3 = 18 heures de cours (Jacques Drouot)
    - du 1er Octobre au 12 Novembre 2007
  - Cours TCP/IP : 6 x 3 = 18 heures de cours (Frédéric Dumas)
    - Du 19 Novembre 2007 au 7 Janvier 2008
- **Travaux Pratiques**
  - A partir du 26 Novembre 2007 jusqu'au 22 Janvier 2008
  - 12 séances de 2 heures par quart de promotion (2 groupes en même temps)
  - Exercices sur les LAN
  - Salle réseaux : découverte et configuration d'équipements réseau
  - Exercices sur IP : tables de routage, subnetting, ...
  - Analyse de traces réseau avec un logiciel de simulation
  - Introduction à l'utilisation d'un simulateur de réseau

## Objectifs des LAN

- **Interconnecter**
  - à bon marché
  - à haut débit
  - tout le monde
    - Clients, serveurs, imprimantes, téléphones, passerelles, ...
- **Partager**
  - Imprimantes
  - Disques
  - Fichiers
  - Passerelles
  - Les traitements
- **Répartir les systèmes et les traitements**
  - Serveurs en cluster
  - Traitements distribués



## Chapitre 1

## Objectifs et caractéristiques des réseaux locaux

- **Caractéristiques**
- **Evolution des réseaux et de leurs applications**
- **Principaux composants d'un réseau**

## Caractéristiques initiales des réseaux locaux

- **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 » (>10 Mbps)
- **Faible taux d'erreurs**
- **Pas de routage**
  - Pas de chemins redondants
- **Fonctionnement par diffusion**



### Evolution des caractéristiques initiales

- Liaisons : en étoile autour de commutateurs**
  - Évolution 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)
- Bande passante (BP) en constante évolution partagée ou dédiée**
  - 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 'annuaires ou de multicast

MAN : Metropolitan Area Network    WAN : Wide Area Network

informatique **esil**    J.Drouot : réseaux locaux    9

### Transmission unicast

- La trame émise contient l'adresse MAC source et l'adresse MAC destinataire**
  - Le 1er bit de l'adresse destinataire est à 0
- La trame peut être reçue, selon les cas :**
  - Par toutes les stations
    - C'est toujours le cas avec des hubs
    - C'est quelquefois le cas pour les commutateurs
  - Seulement par la station destinataire
    - Dans le cas des commutateurs
- Les stations non destinataires rejettent la trame**
  - Au niveau de l'adaptateur réseau (carte ou circuits intégrés)

Trame: Adresse destinat., Adresse source

Source      Destinataire

0...      Couches supérieures

Ce schéma « en réseau » symbolise un réseau Ethernet (représentation logique, et non physique!)

informatique **esil**    J.Drouot : réseaux locaux    11

### Composants des 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)
    - Pas dans les nouvelles 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

Exemple de carte adaptateur

Représentation logique d'un réseau Ethernet

Représentation physique d'un réseau Ethernet

HUB ou switch    HUB    SW

Réseau sans fil « Wi-Fi »

informatique **esil**    J.Drouot : réseaux locaux    10

### Transmission Multicast

- La trame émise contient l'adresse MAC source et une adresse MAC destinataire multicast, identifiant un groupe de destinataires**
  - Le 1er bit de l'adresse destinataire est à 1, les bits suivants identifient le groupe des destinataires
- La trame peut être reçue, selon les cas :**
  - Par toutes les stations
    - C'est toujours le cas avec des hubs
    - C'est le cas pour la plupart des commutateurs
  - Seulement par les stations qui font partie du groupe
    - Dans le cas de certains commutateurs évolués (norme 801.p)
- Les stations ne faisant pas partie du groupe rejettent la trame**
  - Au niveau de l'adaptateur réseau (carte ou circuits intégrés)

Trame: Adresse destinat., Adresse source

1...      Emetteur    Membre du groupe    Non membre du groupe    Membre du groupe

Couches supérieures

informatique **esil**    J.Drouot : réseaux locaux    12

### Transmission broadcast

- **La trame émise contient l'adresse MAC source et l'adresse MAC de diffusion**
  - Tous les bits de l'adresse destinataire sont à 1
- **La trame est reçue par toutes les stations raccordées au réseau local**
  - Que ce soit avec des hubs, ou des commutateurs
- **Les adaptateurs réseau des stations transmettent le contenu de la trame aux couches supérieures (implantées sur l'unité centrale de la station)**
  - Le paquet est alors traité (si station concernée) ou éliminé

informatique esil J.Drouot : réseaux locaux 13

### Classification des réseaux locaux

- **Réseaux locaux informatiques filaires**
  - Ethernet essentiellement
- **Réseaux locaux sans fil**
  - WLAN (Wireless LAN) : 802.11 par ex.
  - PAN (Personal LAN) : Bluetooth par ex.
- **Réseaux locaux industriels**
  - RLI : Ethernet ou réseaux propriétaires
- **Réseaux locaux de stockage**
  - SAN (Storage Area Network)
    - Fibre Channel par exemple
- **Utilisations WAN (en développement)**
  - Basées sur le haut de gamme d'Ethernet
  - Technologie d'accès au WAN
    - Sur fibre optique, exemple FTTH
  - Technologie interne au WAN

FTTH : Fiber To The Home  
informatique esil J.Drouot : réseaux locaux 15

### 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
    - 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
  - 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  
informatique esil J.Drouot : réseaux locaux 14

### Les technologies selon leur portée

CAN : Campus Area Network  
informatique esil J.Drouot : réseaux locaux 16

## Chapitre 2 Câblage des réseaux locaux

- **Topologies**
- **Infrastructure de câblage**
- **Différents types de câbles**
- **Connecteurs**

informatique **esil**

### Topologies logiques et physiques

Topologies logiques

Bus

Anneau

**Bus physique**

Ethernet 10 Base 5  
Ethernet 10 Base 2

**OBSOLETE**

**Etoile ou arbre physique**

Ethernet 10 Base T  
Ethernet 100 Base x  
Ethernet 1000 Base x  
Ethernet 10G Base x

**LE PLUS COURANT**

**Anneau physique**

Token ring  
FDDI  
RPR (Resilient Packet Ring)

**RARE**

**Etoile physique**

Token ring  
FDDI

**OBSOLETE**

informatique **esil** J.Drouot : réseaux locaux 19

### Evolution du câblage et des topologies

- **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**
  - Un trame émise atteint son (ses) destinataire(s) et disparaît

informatique **esil** J.Drouot : réseaux locaux 18

### L'infrastructure de câblage

- **Les enjeux des systèmes de câblage**
  - Câblage systématique et universel
  - En place pour plus longtemps que les équipements réseau
    - Malgré l'évolution des produits
  - Flexibilité par rapport
    - Aux déménagements
    - Au choix des réseaux et leurs équipements
- **Le câble coaxial n'est presque plus utilisé (sauf TV)**
- **Les paires torsadées sont prépondérantes dans le câblage horizontal (ou câblage capillaire)**
  - Câbles de 4 paires torsadées
- **La fibre optique est prépondérante dans le câblage vertical (rocares)**
  - Entre les locaux techniques et entre bâtiments

informatique **esil** J.Drouot : réseaux locaux 20

### L'infrastructure de câblage (suite)

- Organisation générale du câblage**

The diagram illustrates the general organization of cabling infrastructure. It shows a multi-level hierarchy:
 

- Local Nodal (LN):** The lowest level, representing individual workstations.
- Local Technique d'Etage (LTE):** Intermediate levels, including 'Sous Répartiteur' (Sub-distribution) and 'Local Technique d'Etage (LTE)'.
- Point of Presence (PoP):** The highest level, connecting to external networks like WAN and RNIS.

 Key components shown include 'Câblage horizontal' (horizontal cabling), 'Câblage vertical' (vertical cabling), 'Sous Répartiteur', 'Répartiteur Général', 'PABX', and 'Colonne (Téléphone)'.

informatique **esil** J.Drouot : réseaux locaux 21

### L'infrastructure de câblage (suite)

- 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

The diagram shows a 'LIEN DE BASE CANAL' (Basic Channel Link) with segments A, B, C, D, and E. The maximum lengths are specified as:
 

- B+C: 90m
- A+D+E: 10m
- D: < 5m

 It also shows a 'Point de Travail' (Work Point) with a patch panel and a workstation.

informatique **esil** J.Drouot : réseaux locaux 23

### L'infrastructure de câblage (suite)

- Principaux types de paires torsadées**
  - Blindées (STP : Shielded Twisted Pair) : assez rare
    - Blindage cuivre
    - Ecran
  - Écrantées (FTP ou ScTP : Foiled/ScreenedTP)
    - Fréquentes en France
  - Non blindées (UTP Unshielded TP)
    - Fréquentes
- Principaux types de fibre optique**
  - Fibre optique multimode entre locaux techniques
  - Fibre optique souvent monomode entre bâtiments
  - Plus rarement jusqu'au poste de travail

The diagrams show the physical structure of twisted pair cables:
 

- ScTP Cable (4-pair):** Features a foil shield, outer jacket, and braid.
- UTP Cable (4-pair):** Features an outer jacket and braid.

informatique **esil** J.Drouot : réseaux locaux 22

### Systèmes de câblage : principe

The diagram illustrates the principle of a cabling system. It shows 'Local technique' (technical rooms) connected to an 'Armoire de brassage' (patch panel). From the patch panel, 'Câblage vertical ou rocade' (vertical or backbone cabling) runs to 'Prise murale RJ45' (wall outlets) in 'Bureaux' (offices). 'Câblage horizontal' (horizontal cabling) connects the wall outlets to the workstations. 'Cordons de brassage ou jarretières' (patch cords or jumpers) are used to connect the patch panel to the wall outlets.

informatique **esil** J.Drouot : réseaux locaux 24

### Systèmes de câblage : principe

- Exemples de mise en oeuvre**

J.Drouot : réseaux locaux 25

### Normes de câblage

- Les normes américaines l'EIA/TIA 568 spécifient des catégories de câbles**
  - Les catégories 1 et 2 sont obsolètes (prévues pour les terminaux, PABX, RNIS)
- Les normes ISO 11801 spécifient des classes d'applications**
  - De même les classes A (PABX) et B (RNIS) sont obsolètes

Catég.	Classe d'appl.	Fréquence de modul.	Utilisation typique	Débit Nb paires	Comment.
3	C	16 Mhz	Ethernet	10 Mbps 2 paires	Obsolète A remplacer
4	C	20 Mhz	Token ring	16 Mbps 2 paires	Rare et obsolète
5	C ou D	100 Mhz	CDDI, Fast Ethernet	100 Mbps 2 paires	Pb à 1 Gbps
5e	C, D, ou E	100 Mhz	Fast Ethernet Giga Ethernet	2 paires 4 paires	L'état de l'art aujourd'hui
6	C, D, ou E	250 Mhz	Giga ou 10G à 55m	4 paires	
6a	C, D, E, EA	500 Mhz	10G à 100m	4 paires	
7	C, D, E, ou F	600 Mhz	Giga Ethernet 10 G	4 paires	Non finalisé Autre connecteur

J.Drouot : réseaux locaux 27

### Caractéristiques d'un câble

- Impédance caractéristique**
  - Doit être la plus constante possible
  - La perte de signal diminue avec l'impédance, mais le diamètre du câble augmente : il faut trouver un compromis
- Paradiaphonie (crosstalk)**
  - Un signal sur une paire induit un signal sur les paires voisines
  - Séparation entre paires : écran, ou croisillon cruciforme
- Atténuation**
  - Augmente avec la fréquence de modulation
    - Sauf pour les fibres optiques
- Rapport signal sur bruit (lié à ACR : Attenuation Crosstalk Ratio)**
- Interférences électro-magnétiques de/vers l'extérieur**
  - Attention aux moteurs d'ascenseurs, photocopieurs, néons, courants forts
  - Nombre et régularité des torsades
  - Tresses de blindage et écrans
- Ecart de délai entre les paires (Skew Delay)**
  - Important quand les 4 paires sont utilisées (Exemple Gigabit Ethernet)

J.Drouot : réseaux locaux 26

### Normes de câblage (suite)

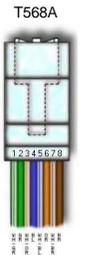
- Deux schémas de câblage ont été définis**
  - TIA568A et TIA568B
  - Les câbles droits sont soit T568A, soit T568B
    - Mais tous les câbles d'un même système de câblage devraient être identiques
  - Les câbles croisés ont une extrémité T568A et l'autre T568B

J.Drouot : réseaux locaux 28

### Connectique RJ-45

Broche	Rôle	T568A		T568B	
		Couleur	Couleur	Couleur	Rôle
1	TD+	Blanc-vert	Orange-blanc	RD+	
2	TD-	Vert	Orange	RD-	
3	RD+	Orange-blanc	Blanc-vert	TD+	
4	/	Bleu	Bleu	/	
5	/	Blanc-bleu	Blanc-bleu	/	
6	RD-	Orange	Vert	TD-	
7	/	Blanc-marron	Blanc-marron	/	
8	/	Marron	Marron	/	

à 10/100Mbps




- **Les câbles en paires torsadées sont prévus pour couvrir une distance maximum de 100m**
  - 90m de câble entre local technique et local utilisateur, plus 10m de câbles de raccordements
  - Les locaux techniques sont agencés pour être à moins de 90m de tout local desservi

informatique 
J.Drouot : réseaux locaux
29

### Connecteurs 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
- **Connecteur FDDI**
  - En déclin comme le réseau FDDI
- **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

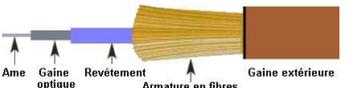
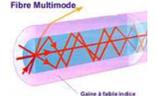
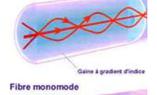




informatique 
J.Drouot : réseaux locaux
31

### Fibres optiques

- **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 ST ou SC
  - Avec connecteurs SMF (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

informatique 
J.Drouot : réseaux locaux
30

### Bibliographie

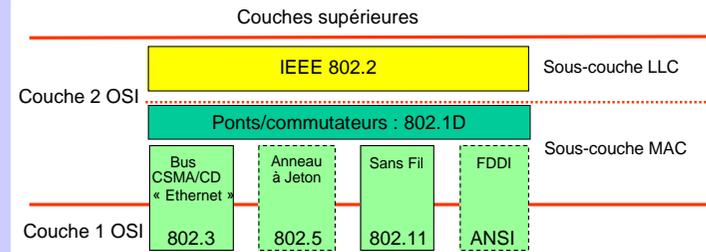
- **Câblage et normes de câblage**
  - [http://www.nordx.com/public/htmfr/pdf/FT\\_Comprendre\\_les\\_systems\\_haute\\_performance.pdf](http://www.nordx.com/public/htmfr/pdf/FT_Comprendre_les_systems_haute_performance.pdf)
  - <http://www.cercle-credo.com/fiches/fiche1.pdf>
  - <http://www.LANshack.com/cat5E-tutorial.asp>
  - <http://www.cge-distribution.com/ressources/vdi.pdf>
- **Différentes informations sur les différents types de réseaux Ethernet**
  - <http://www.ethernanage.com/ethernet/ethernet.html>
- **Informations générales sur la fibre optique**
  - <http://www.telcite.fr/fibre.htm>

informatique 
J.Drouot : réseaux locaux
32

### Chapitre 3 Normes générales des réseaux locaux

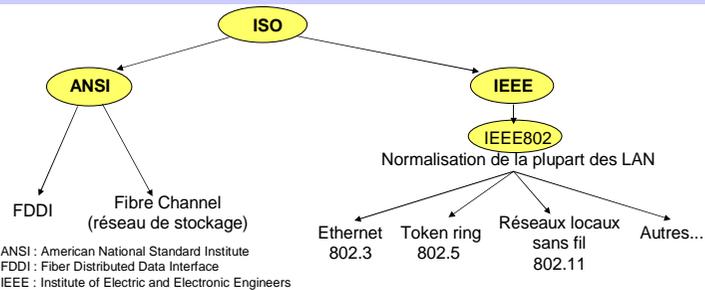
- Architecture de la normalisation des réseaux locaux
- Différentes normes IEEE 802.xx
- Adressage MAC
- Trames MAC et trames LLC
- LLC : norme IEEE 802.2

### Les normes IEEE



- **MAC : Medium Access Control**
  - Méthode d'accès (éventuelle)
  - Détection d'erreurs
- **802.1D n'existe que dans les ponts et commutateurs**
  - Pas dans les stations
- **LLC : Logical Link Control**
  - Récupération d'erreurs (éventuelle)
  - Contrôle de flux (éventuel)
  - Multiplexage des protocoles de niveau 3

### Normes de réseaux locaux



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

### Groupes de travail IEEE 802

- **IEEE 802.1**
  - Concerne ce qui est général aux réseaux IEEE
  - Adressage MAC
  - Interconnexion de réseaux locaux 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)
- **IEEE 802.2 : LLC**
  - Plusieurs variantes (détaillé plus loin dans le cours)
- **IEEE 802.3 : normalisation des réseaux de type « Ethernet »**
  - Nombreuses variantes normalisées (détaillé plus loin dans le cours)
- **IEEE 802.5 : token ring**
  - En voie de disparition
- **IEEE 802.10**
  - groupe de travail sécurité dans les réseaux locaux

### Groupes de travail IEEE 802 (suite)

- **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
- **IEEE 802.17 : Resilient Packet Ring**
  - Prévu pour les réseaux métropolitains des opérateurs
- **Les numéros manquants correspondent à des groupes de travail abandonnés**

informatique esil J.Drouot : réseaux locaux 37

### Trame MAC (ici 802.3) et trame LLC

Entre 64 et 1518 octets

Entre 46 et 1500 octets

- **C'est le format défini par l'IEEE pour les trames 802.3**
  - Le champ longueur permet d'éliminer les octets de bourrage
- **Attention, le format défini pour Ethernet v2 est différent!**

informatique esil J.Drouot : réseaux locaux 39

### Adressage MAC

- **Trame MAC**

Adresse destinataire 6 octets	Adresse source 6 octets
----------------------------------	----------------------------
- **Adresses unicast**
  - Adresse globale IEEE
 

00	ID constructeur (OUI) 22 bits	N°série 24 bits
----	----------------------------------	--------------------
  - Adresse définie localement
 

01	Adresse définie localement 46 bits
----	---------------------------------------
- **Adresses multicast**
  - 10 Identifiant du groupe (défini globalement)  
46 bits
  - 11 Identifiant du groupe (défini localement)  
46 bits
- **Adresse broadcast**

11111111111111111111 ....	11111
48 bits	

informatique esil J.Drouot : réseaux locaux 38

### Trame Ethernet v2

Entre 64 et 1518 octets

Entre 46 et 1500 octets

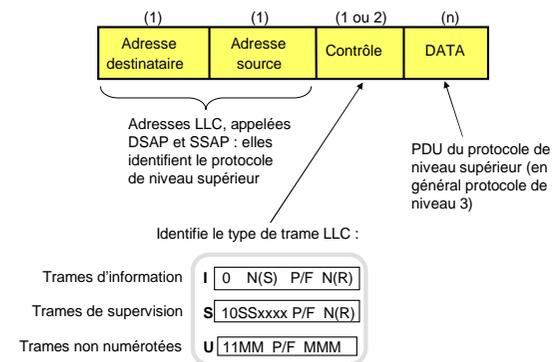
- **C'est le format défini par le groupe DIX (Digital, Intel, Xerox) pour Ethernet**
  - C'est le niveau supérieur qui est chargé d'éliminer les octets de bourrage
  - LLC n'existe pas dans l'implémentation Ethernetv2
- **C'est le format choisi par la communauté IP pour Ethernet**

informatique esil J.Drouot : réseaux locaux 40

## Différences entre Ethernet et IEEE802.3

- **Ethernet v1 a été spécifié en 1980 par DEC/XEROX/INTEL (groupe DIX)**
  - Cette version a disparu
- **Ethernet v2 a été spécifié en 1982 par DEC/XEROX/INTEL**
  - Le nom « Ethernet » est déposé par DEC/Xerox/Intel
- **La norme IEEE 802.3 a été spécifiée en 1985 par l'IEEE**
- **Ethernet v2 et 802.3 spécifient**
  - Des protocoles de niveau physique
    - Les protocoles de niveau physique définis par le groupe DIX sont obsolètes
  - Un format de trame
- **Le format de trame de Ethernet v2 n'est pas compatible avec celui de 802.3**
  - En Ethernet v2 le type de trame spécifie le protocole utilisé par les niveaux supérieurs (à la place du champ longueur de 802.3)
  - La couche LLC n'existe pas en Ethernet v2
    - La récupération d'erreur et le contrôle de flux ne peuvent être réalisés au niveau 2
  - Les deux formats de trame peuvent cohabiter
    - Sur le même réseau, et même sur la même machine
    - Le champ type de Ethernetv2 est > 1500 (entre x'05DD et x'FFFF)
    - Alors que le champ longueur de IEEE802.3 est inférieur ou égal à 1500

## PDU IEEE 802.2



DSAP : Destination Service Access Point  
SSAP : Source Service Access Point

## Norme IEEE 802.2 : LLC

- **Rôle de Logical Link Control (LLC)**
  - Fournir la possibilité de faire du contrôle de flux et de la récupération d'erreurs au niveau 2 pour les architectures de protocoles qui le nécessitent
  - Identifier le protocole de niveau supérieur
- **3 types de services**
  - LLC de type 1 – Sans connexion
    - Pas de récupération d'erreurs ni de contrôle de flux (effectués au niveau 4)
    - Le plus répandu
  - LLC de type 2 – Avec connexion
    - Récupération d'erreurs et contrôle de flux
    - Equivalent à LAPB (X25/2) sur réseau local
    - Utilisé surtout par IBM (dans le cadre de l'architecture de protocoles SNA)
  - LLC de type 3 – Sans connexion avec acquittements
    - Peu répandu
    - Suppose une méthode d'accès à jeton

## PDU IEEE 802.2 (suite)

- **Trames LLC de type 1 (trames non numérotées seulement)**
  - UI : trame d'information non numérotée
  - XID
    - utilisée par les entités LLC pour échanger des paramètres : classes de service (alors DSAP=SSAP=0), largeur de fenêtre, ...
  - TEST : test du chemin ou du temps de réponse
- **Trames LLC de type 2**
  - Trames d'information numérotées : trames I
  - Trames de supervision (S) (pour récupération d'erreurs et contrôle de flux)
    - RR
    - RNR
    - REJ
  - Trames non numérotées (U) (pour établir et fermer les connexions)
    - SABME
    - DISC
    - UA
    - DM (Disconnected mode)FRMR

### Utilisation de Ethernet v2 et 802.3

- Les piles TCP/IP utilisent les trames Ethernet v2, sans sous-couche LLC
  - Le champ type tient lieu d'adresses LLC
    - X'0800' pour IP
    - x'0806' pour ARP

Entre 64 et 1518 octets

Entre 46 et 1500 octets

101010... 10101011

Type de charge utile :  
Identifiant de protocole de niveau supérieur (X'0800 pour IP)

Bourrage éventuel

Paquet IP

informatique esil J.Drouot : réseaux locaux 45

### LLC et SNAP

- Les adresses SSAP et DSAP désignent un protocole
  - le 1er bit est un bit de diffusion (1 si diffusion)
  - le 2e bit indique si l'adressage est administré par l'ISO
    - 0 si administré par l'ISO : adresses ≤63 (exemple SAP 06 pour IP)
    - 1 si protocole propriétaire
  - DSAP = SSAP en général (toujours pour les adresses ≤ 63)
- Certaines implémentations (dont TCP/IP en dehors d'Ethernet) utilisent en plus SNAP
  - SubNetwork Access Protocol (RFC 1042)
  - Protocole de convergence permettant à tout protocole propriétaire d'utiliser un LAN IEEE de façon standard

(7) (1) (6) (6) (2) (n≤1500) (4)

Préamb. Marqueur début Adresse destin. Adresse source Long. data Data Pad CRC

TRAME LLC

DSAP xAA' SSAP xAA' Contrôle x03' SNAP

TRAME SNAP

OUI Ethertype

PDU du protocole de niveau supérieur (en général protocole de niveau 3)

Code OUI (Organization Unique ID) : identifie un constructeur (code OUI=0 si le champ type Ethernet s'applique)

informatique esil J.Drouot : réseaux locaux 47

### Utilisation de Ethernet v2 et 802.3 (suite)

- La plupart des autres protocoles de niveau 3 utilisent les trames IEEE 802.3
  - Le champ longueur remplace le champ type
  - La trame MAC contient une trame LLC (en général de type 1)
- Le token ring, FDDI et les réseaux Wi-Fi 802.11 utilisent toujours LLC
  - La trame LLC est encapsulée dans la trame MAC correspondante
  - Quelque soit le protocole de niveau 3

TRAME MAC

(7) (1) (6) (6) (2) Entre 46 et 1500 (4)

Préamb. Marqueur début Adresse destin. Adresse source Long. data Data Pad CRC

TRAME LLC

(1) (1) (1 ou 2) (n)

Adresse destin. Adresse source Contrôle

DSAP SSAP

PDU du protocole de niveau supérieur (en général protocole de niveau 3)

informatique esil J.Drouot : réseaux locaux 46

### Utilisation de SNAP

- Le code OUI est le plus souvent à 0
  - Sinon, il permet de différencier différentes versions propriétaires d'un protocole, avec la même valeur du champ type
  - C'est le n° de constructeur attribué par l'IEEE
- SNAP peu fréquent sur Ethernet
- SNAP est le moyen standard pour transporter IP sur d'autres réseaux
  - Token ring
  - FDDI
  - Réseaux sans fil (Wi-Fi)
  - (et Relais de trames et ATM)
- Incompatibilité sur un réseau CSMA/CD entre des stations utilisant SNAP et des stations utilisant Ethernet V2

Trame MAC

Data CRC

TRAME LLC

DSAP xAA' SSAP xAA' Contrôle x03' SNAP IP

OUI Ethertype

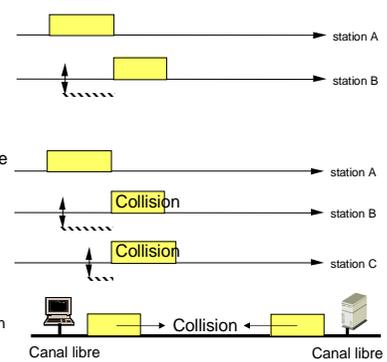
informatique esil J.Drouot : réseaux locaux 48

## Bibliographie

- **Ethernet**
  - <http://www.techfest.com/networking/lan/ethernet.htm>
  - [http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito\\_doc/ethernet.htm#xtocid10](http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/ethernet.htm#xtocid10)
- **Différentes informations sur les différents types de réseaux Ethernet**
  - <http://www.ethermanage.com/ethernet/ethernet.html>

## IEEE 802.3 : méthode d'accès CSMA/CD

- **Ecouter avant de parler**
  - Si canal libre : émettre
  - Si canal occupé : attendre qu'il devienne libre
- **Collisions encore possibles**
  - Entre 2 stations qui attendent la fin de la même trame
  - Entre 2 stations qui croient que le canal est libre
    - Problème lié au temps de propagation



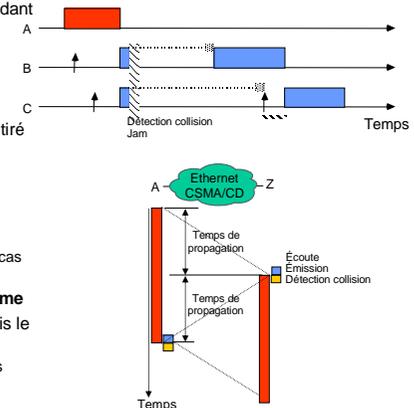
## Chapitre 4

### Normalisation des réseaux Ethernet

- **La méthode d'accès CSMA/CD et son évolution**
- **Variantes physiques d'Ethernet**
  - 10 Base ..
  - 100 Base ..
  - 1000 Base ..
  - 10G Base ..

## IEEE 802.3 : méthode d'accès CSMA/CD (suite)

- **Il faut donc détecter les collisions (CD)**
  - La station continue à écouter pendant qu'elle émet
- **Si détection collision**
  - Interruption transmission
  - Emission jam
  - Délai de retransmission aléatoire tiré dans  $[0, 2^n] T$ 
    - $n = \text{nb de collisions successives}$
    - après 10 collisions, on garde  $2^{10}$
    - $T = \text{temps d'émission de 512 bits}$  (51,2  $\mu\text{s}$  à 10 Mbps)
    - Algorithme de ralentissement en cas de congestion
- **Compromis débit/distance/taille trame**
  - La trame doit durer au moins 2 fois le temps de propagation
    - Sinon l'émetteur risque de ne pas détecter les collisions



## CSMA/CD : limitations de distance

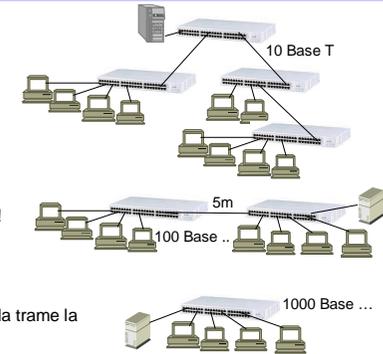
Temps de sérialisation d'une trame  $\geq 2 \times$  temps de propagation max.

Round Trip Delay (RTD)

- Xerox a choisi au départ de fixer la taille minimum de la trame à 64 octets
  - Cette valeur a été gardée depuis pour des raisons de compatibilité
- Il en découle que : **RTD  $\leq$  512 temps bit**
- Plus le débit augmente, plus la distance maximum entre stations doit diminuer
  - RTD inférieur ou égal à 51,2  $\mu$ s à 10 Mbps
  - RTD inférieur ou égal à 5,12  $\mu$ s à 100 Mbps
  - RTD inférieur ou égal à 0,512  $\mu$ s à 1 Gbps

## CSMA/CD : limitations de distance (suite)

- Ethernet 10 Mbps partagé
  - 4 répéteurs max en 10 Base T
- Fast Ethernet 100Mbps partagé
  - 2 répéteurs max.
  - Avec 5m max. entre les 2 répéteurs!
- Gigabit Ethernet partagé
  - 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

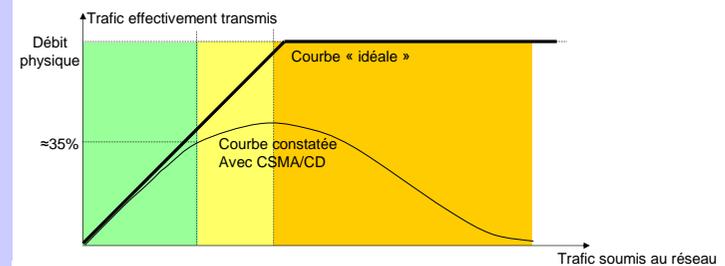


## CSMA/CD : limitations de distance (suite)

- Le Round Trip Delay a deux composantes
  - Le temps de propagation dans les câbles
    - Environ 5 $\mu$ s par km
    - La longueur de câble entre 2 répéteurs dépend de l'atténuation (donc du support et du débit)
  - Le temps passé dans les répéteurs pour reconstituer le signal
    - La valeur dépend des performances du répéteur
- Pour chaque variante d'Ethernet, on a donc des contraintes spécifiques
  - De longueur de câbles entre 2 répéteurs
  - De nombre de répéteurs en série dans un même espace de collisions
  - De longueur totale hors tout entre 2 stations quelconques d' un même espace de collisions

## CSMA/CD : tenue à forte charge

- Plus le trafic augmente, plus il y a de collisions.
  - Mais les collisions encombrant inutilement le réseau
  - Il y a donc de plus en plus de collisions
  - A forte charge, le réseau finit par s'effondrer
- Il faut surveiller le taux de charge du réseau
  - Il ne peut guère dépasser 35% sous peine de risque d'effondrement



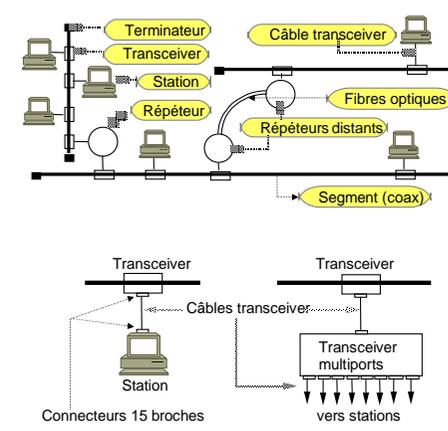
### Évolution d'Ethernet

- **La méthode d'accès CSMA/CD est très pénalisante et condamnait Ethernet à moyen terme par rapport à ses concurrents (Token Ring)**
  - Collisions et effondrement à forte charge
  - La portée du réseau diminue quand le débit augmente
  - Pas de possibilité de traitement de la qualité de service
  - Pas de redondance dans la topologie
  - Débit uniforme sur tous les ports
- **La généralisation des commutateurs a complètement changé la donne**
  - Les stations n'ont plus besoin de se mettre d'accord pour savoir qui émet à un moment donné
    - Les commutateurs ont des files d'attente
    - Il n'y a plus besoin de CSMA/CD : Ethernet full-duplex
  - Les inconvénients cités ci-dessus tombent
  - Ce sont les concurrents LAN d'Ethernet qui sont maintenant condamnés
- **Seul le nom, le format de trame et l'adressage MAC restent de l'ancien Ethernet!**

informatique **esil**
J.Drouot : réseaux locaux
57

### Configuration 10 Base 5 (pour mémoire)

- **C'est l'Ethernet initial**
  - Maintenant obsolète
- **Deux répéteurs au plus entre 2 stations**
  - Mais 2 répéteurs distants comptent comme un seul répéteur
- **100 transceivers max. par segment**
  - Possibilité de transceiver multiports
    - Appelés « fanouts »
- **Câble transceiver limité à 50m**
  - 4 paires torsadées blindées
  - Appelé aussi câble AUI



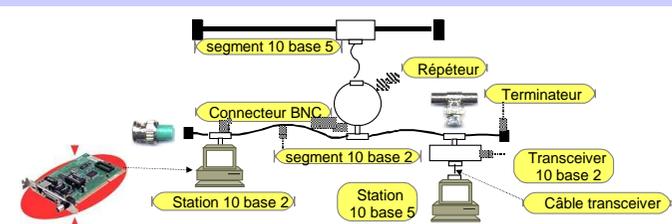
informatique **esil**
J.Drouot : réseaux locaux
59

### Variantes physiques des réseaux IEEE 802.3

Catégorie	Technologie	Statut
Large bande	10 Broad 36 : 10 Mbps sur coax 75 Ω	Obsolète
	10 Base 5 : gros câble coax 50 Ω	Obsolète
	10 Base 2 : câble coax fin 50 Ω	
Bande de base	10 Base T : 10 Mbps paires torsadées	Encore existant mais ancien
	10 Base F : 10 Mbps fibre optique	Obsolète
Bande de base	100 Base T4 (T2) : 100 Mbps sur 4(2) paires UTP3	Obsolète
	100 Base FX : 100 Mbps sur fibre optique	L'état de l'art courant aujourd'hui
100 Base TX : 100 Mbps sur 2 paires UTP5		
1000 Base SX : 1Gbps sur fibre MMF		
1000 Base LX : 1Gbps sur fibre MMF ou SMF		
1000 Base T : 1Gbps sur 4 paires UTP5e		
Bande de base	10G Base .. : 10 Gbps sur fibre optique	Récent

informatique **esil**
J.Drouot : réseaux locaux
58

### Configuration 10 Base 2 (pour mémoire)

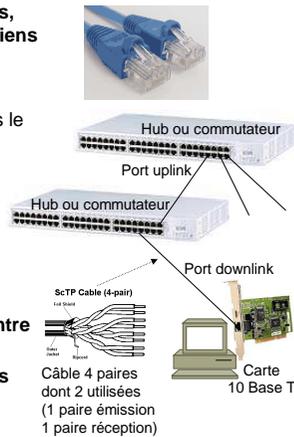


- **4 répéteurs au plus entre 2 stations (en principe)**
  - Dans les faits, les segments 10 base 2 sont isolés, ou raccordés à un réseau fédérateur 10 base 5
- **30 stations au maximum sur chaque segment 10 Base 2**
- **Longueur maximum de chaque segment 10 Base 2 : 185m**
- **Les configurations 10 Base 2 ont quasiment disparu**

informatique **esil**
J.Drouot : réseaux locaux
60

## 10 Base T et 10 base F

- **Encore utilisé dans le cas de hubs existants, ou de commutateurs anciens ou de PC anciens**
- **Connecteurs RJ45**
  - Broches 1/2 et 3/6 utilisées
  - Les connexions doivent être croisées dans le hub ou commutateur (ports downlink), et droites dans une station
  - Croisement configurable dans certains commutateurs, automatique dans les commutateurs modernes (MDI/MDIX)
- **100 m maximum entre 2 équipements**
  - Hubs, commutateurs et stations
- **4 répéteurs (hubs) maximum en cascade entre 2 stations** (lié à CSMA/CD)
- **10 Base F a quasiment disparu au profit des solutions à 100 Mbps et 1 Gbps**



## Codage 4B5B NRZI

- **Symboles de 4 bits codés sur 5 bits**
  - 125 Mbps transmis pour 100 Mbps réels
- **Buts**
  - Diminuer la bande passante consommée
  - Assurer la synchronisation :
    - 1 transition tous les 3 bits au maximum

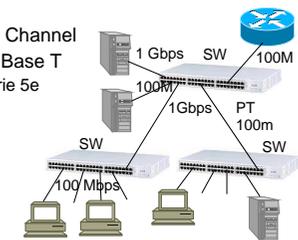
Symbole	Code	Interprét.	Observations
0	11110	0000	<p>Manch. NRZ 1 0 1 0 0</p> <p>NRZI</p> <p>(selon polarité dernier 0 transmis)</p>
1	01001	0001	
2	10100	0010	
3	10101	0011	
4	01010	0100	
5	01011	0101	
6	01110	0110	
7	01111	0111	
8	10010	1000	
9	10011	1001	
A	10110	1010	
B	10111	1011	
C	11010	1100	
D	11011	1101	
E	11100	1110	
F	11101	1111	
J	11000		JK Start Delimiter
K	10001		
T	01101	End Delimiter	
R	00111	Reset	0 logique
S	11001	Set	1 logique
Q	00000	Quiet	Détection absence de liaison
I	11111	Idle	Synchro trame
H	00100	Halt	Utilisé pour diagnostic config

## Ethernet à 100Mbps

- **Appelé Fast Ethernet**
  - Normalisé comme une variante de 802.3 (802.3u)
  - Utilisation de CSMA/CD pour les liaisons half-duplex (rare)
    - Avec ses limitations : 2 répéteurs max et 5m max entre répéteurs
- **4 variantes**
  - 100 base T4 et 100 Base T2 : pratiquement abandonnés
    - 4 paires de catégorie 3, 4 ou 5 pour 100 Base T4 (half-duplex seulement)
    - 2 paires de catégorie 3, 4 ou 5 pour 100 Base T2
    - Le codage PAM-5 de 100 Base T2 a été repris pour 1000 base T
  - **100 base Tx** : le plus courant
    - 2 paires de catégorie 5 ou plus
    - Half ou full duplex
    - Codage 4B5B puis MLT-3 (repris de CDDI)
  - **100 base Fx** : pour câblage vertical ou entre 2 bâtiments
    - 2 fibres optiques 62,5/125
    - Half ou full duplex
    - Codage 4B5B puis NRZI (repris de FDDI)

## Gigabit Ethernet

- **Normes IEEE 802.3z et IEEE 802.3ab**
  - 802.3z utilise la couche physique de Fibre Channel
  - 802.3ab étudié spécifiquement pour 1000 Base T
    - Utilisation des 4 paires du câble de catégorie 5e
- **Types de fonctionnement**
  - Mode partage de bande (rare)
    - Un seul répéteur
    - Diamètre maximum du réseau 200 m
    - Trame minimum de 512 octets (« carrier extension »)
    - Quand une station émet une trame de moins de 512 octets, elle continue d'émettre un signal spécial, en continuant de guetter les collisions
  - Mode commuté (généralisé maintenant)
    - Nécessite une forte capacité dans les commutateurs
    - Fonctions d'analyse du trafic difficiles (sondes et analyseurs)
    - Cible principale : lien entre commutateurs et raccordement des serveurs
    - Peu à peu les PC utilisent aussi 1000 base T



## Gigabit Ethernet IEEE802.3z

- **1000Base SX**
  - Fibre multimode 62,5/125 ou 50/125 à 850 nm de longueur d'onde
    - Bon marché, et limité en distance
- **1000 Base LX**
  - Fibre multimode 62,5/125 ou 50/125, ou monomode à 1300 nm

Type fibre	Lg onde	Bande passante	Distance max. 1000 Base SX	Distance max. 1000 Base LX
62,5/125	850 nm	160 Mhz.km	220 m	/
62,5/125	850 nm	200 Mhz.km	275 m	/
62,5/125	1300 nm	500 Mhz.km	/	550m
50/125	850 nm	400 Mhz.km	500 m	/
50/125	1300 nm	400 Mhz.km	/	550 m
50/125	850 nm	500 Mhz.km	550 m	/
50/125	1300 nm	500 Mhz.km	/	550 m
10/125	1300 nm	/	/	5000 m

informatique

esil

J.Drouot : réseaux locaux

65

## Mise en œuvre de Gigabit sur fibre optique

- **Les constructeurs ont développé des solutions Gigabit adaptées aux opérateurs pour leurs réseaux MAN et WAN**
  - Par exemple à l'intérieur des réseaux WAN MPLS
  - Ou encore dans les réseaux de collecte ADSL
- **Exemples :**
  - Cisco 1000 base LH à 1310 nm sur fibre monomode jusqu'à 10 km
  - Cisco 1000 base ZX à 1550 nm sur fibre monomode 9/125 jusqu'à 70 km
  - Cisco 1000 base ZX à 1550 nm sur fibre monomode 8/125 jusqu'à 100 km
  - Alcatel 1000 base EX

informatique

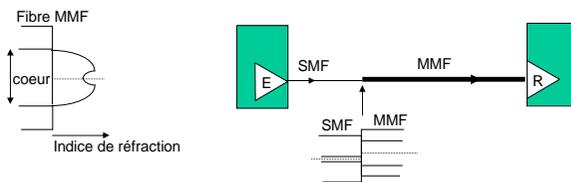
esil

J.Drouot : réseaux locaux

67

## Gigabit Ethernet IEEE802.3z (suite)

- **Fonctionnalités communes de 1000 Base SX et 1000 Base LX**
  - Fonctionnement sans problème en full duplex
    - Une fibre émission et une fibre réception
  - Codage 8B10B
    - Issu d'IBM, puis de Fibre Channel
    - Codes de contrôle, synchronisation horloges et codes redondants
- **Problème de 1000 Base LX sur fibres multimodes existantes**
  - Les diodes laser de 1000Base Lx marchent mal avec des fibres MMF
  - On utilise alors des câbles d'adaptation



informatique

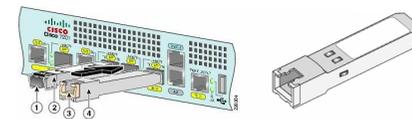
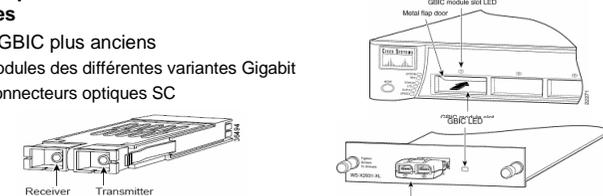
esil

J.Drouot : réseaux locaux

66

## Mise en œuvre de Gigabit sur fibre optique (suite)

- **Les ports uplink des commutateurs ont souvent des ports modulaires**
  - Ports GBIC plus anciens
    - Modules des différentes variantes Gigabit
    - Connecteurs optiques SC
  - Ports SFP (ou Mini GBIC) plus récents moins encombrants
    - Connecteurs souvent LC



informatique

esil

J.Drouot : réseaux locaux

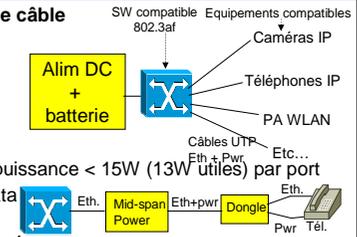
68

## Gigabit Ethernet IEEE802.3ab

- **1000 base T a été étudié spécifiquement pour Gigabit Ethernet**
- **Objectif : utiliser un câblage UTP 5e sur une distance de 100 m**
  - Codage basé sur les expériences 100 Base T2 et xDSL
  - Transmission à 125 Mbps comme en 100 Base Tx
    - Mais sur les quatre paires simultanément :  $4 \times 125 = 500$  Mbps
  - Utilisation d'un code sur 5 niveaux (PAM-5)
    - Ce qui permet de coder 2 bits par symbole :  $500 \times 2 = 1000$  Mbps
- **Transmission et réception simultanées sur les 4 paires**
  - Fonctionnement en full-duplex

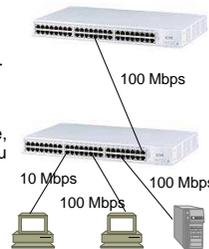
## Power Over Ethernet : 802.3af

- **But : alimenter certaines stations par le câble Ethernet lui-même**
  - Points d'accès sans fil, caméras,
  - Téléphones IP
- **Norme 802.3af**
- **Courant transporté**
  - Tension de 48V, courant 400 mA et puissance  $< 15W$  (13W utiles) par port
  - Sur les 2 paires non utilisées pour data
    - Insertion de mid-span possible
  - Ou sur 2 paires utilisées pour les données
    - Compatible 1000 base T
  - Côté émetteur on peut savoir faire les deux
- **Les équipements profitent de l'onduleur du commutateur**
- **La norme permet l'interopérabilité des équipements hétérogènes**
  - Commutateur de marque x et téléphone de marque y
  - Il existe aussi des solutions propriétaires (Cisco InLine Power sur Catalyst)
- **Extension prévue (802.3at sur 4 paires, 56W)**



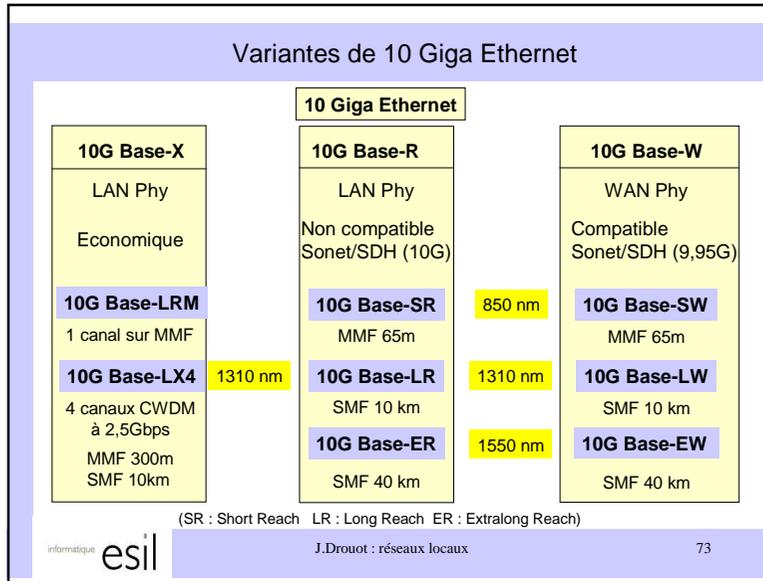
## Migration de 10Mbps à 100Mbps puis à 1 Gbps

- **Les cartes 100 Base Tx et 1000 base T ont la compatibilité arrière avec les cartes précédentes**
  - Cartes 10/100 ou 10/100/1000
- **Le choix du débit et le mode half/full duplex est le plus souvent automatique**
  - Par utilisation de la fonction « Fast Link Pulse » sur les cartes et ports des commutateurs (appelé « auto-négociation »)
    - Echanges de messages de statut au niveau physique, pour négocier le débit, le mode (full ou half-duplex) ou d'autres caractéristiques, standard ou propriétaires
    - Auto-configuration sur les performances les plus hautes communes
    - Quelques problèmes d'interopérabilité...
  - Par « Auto-sensing »
    - Essai de fonctionnement au plus haut débit, puis repli au débit inférieur en cas de non fonctionnement
- **Il est conseillé de vérifier la configuration résultante**
  - Au moins pour les serveurs et entre commutateurs



## Ethernet 10 Gbps

- **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](http://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



### Bibliographie

- **Technologies Ethernet**
  - [http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito\\_doc/ethernet.htm](http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/ethernet.htm)
  - <http://www.ethernetalliance.org/technology/overview/>
  - <http://www.techfest.com/networking/lan/ethernet.htm>
  - <http://pct.cis.yale.edu/pct/COMM/ETHER.HTM>
  - <http://www.ethermanage.com/ethernet/ethernet.html>

informatique **esil** J.Drouot : réseaux locaux 75

### 10G base T

- **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

informatique **esil** J.Drouot : réseaux locaux 74

### Chapitre 5

#### Introduction aux commutateurs Ethernet

- **Fonctionnement des ponts et commutateurs**
- **Auto-apprentissage**
- **Le problème posé par les boucles**
- **Déploiement des commutateurs**

informatique **esil**

### Historique des ponts et commutateurs

- **Les ponts et commutateurs ont été créés au départ pour segmenter un réseau CSMA/CD en espaces de collisions plus petits**
  - Pour combattre l'effondrement d'Ethernet à forte charge
  - Segmentation en deux espaces de collisions pour les ponts (2 ports)
  - Segments en N espaces de collisions pour les commutateurs (N ports)
  - Dans chaque espace de collision, on utilise CSMA/CD (Ethernet half-duplex)
- **Puis les commutateurs se sont généralisés**
  - Un espace de collision par station
  - Micro-segmentation
  - Disparition de CSMA/CD et ses problèmes
  - Ethernet full-duplex

Hub (répéteur)    P Pont    Commutateur

informatique esil J.Drouot : réseaux locaux 77

### Tables dans les ponts/commutateurs

- **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 (cf 802.1p) pour les adresses multicast
- **Des tables de filtrage additionnelles peuvent être configurées**
  - Pour améliorer la sécurité, on peut autoriser ou interdire certains trafics
  - Pour classifier, 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 niveau 2/3

informatique esil J.Drouot : réseaux locaux 79

### Ponts et commutateurs transparents

- **L'IEEE ne fait pas de différence entre pont et commutateur**
- **Fonctionnement : transmission de A vers C**
  - La station A adresse directement la station C, en ignorant l'existence du commutateur (fonctionnement transparent du pont/commutateur)
  - Le commutateur rejette les trames avec CRC erroné
  - Filtrage ou commutation dans le commutateur, selon la table d'adresses MAC

Adresse destinataire	Adresse source	CRC
@mac(C)	@mac(A)	

Table de commutation (adresses MAC)

1	2	3	4
A	B	C	D
			E
			F

informatique esil J.Drouot : réseaux locaux 78

### 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

informatique esil J.Drouot : réseaux locaux 80

### Commutateurs en cascade

- Le principe des ponts transparents avec auto-apprentissage continu de s'appliquer si les commutateurs sont en cascade

Adresse destinatione	Adresse source	
@mac(D)	@mac(A)	

1	2	3	4
A	G	H	I
B			
C			
D			
E			
F			

1	2	3	4	5
A	B	C	D	G
			E	H
			F	I

1	2	3	4
A	D	E	F
B			
C			
G			
H			
I			

informatique esil
J.Drouot : réseaux locaux
81

### Fonctionnement Store-and-Forward et Cut-Through

- 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 destinatione
  - Le CRC ne peut être calculé qu'après coup
- Gain pour les ports 10 Mbps**
  - N'est plus très significatif à haut débit

informatique esil
J.Drouot : réseaux locaux
83

### La technique des ponts et les boucles

- L'auto-apprentissage ne supporte pas les boucles
  - Les stations seraient vues sur plusieurs ports
- La configuration statique ne résout pas le problème
  - Trames dupliquées
  - Bouclage des diffusions
- D'autres protocoles sont nécessaires
  - Transparent Spanning Tree Protocol
  - Ce protocole sera étudié en détail dans la suite du cours

informatique esil
J.Drouot : réseaux locaux
82

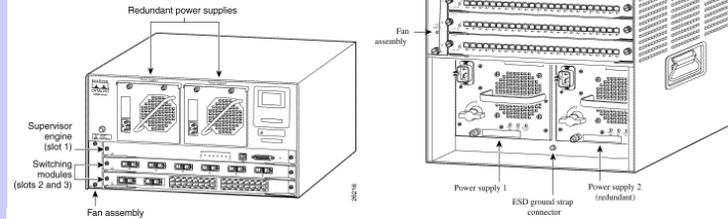
### Gammes de commutateurs Ethernet

- Le marché des commutateurs propose une gamme très étendue
- Commutateurs non configurables**
  - Fonctionnalités très limitées
- Commutateurs à configuration fixe**
  - Au-delà du nombre de ports prévu, ils doivent être cascades
    - Nombre fixe (24 à 48) de ports downlink vers les stations
    - Nombre fixe (0à 4) ports uplink vers le réseau de distribution
  - Ils sont configurables en local et/ou à distance
  - Fonctionnalités simples à avancées selon modèles
- Commutateurs empilables**
  - 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
    - Prolongation du bus interne
  - Ou en face arrière par prolongation du bus interne
    - Fonctionnalités plus avancées : VLAN, SW 2/3

informatique esil
J.Drouot : réseaux locaux
84

## Gamme de commutateurs Ethernet

- **Commutateurs en châssis**
  - Commutateurs de haut de gamme
  - Pour le réseau de distribution
  - Toutes fonctionnalités
  - Haute disponibilité
    - Cartes « hot-swap »
  - Fonctions WAN
    - Routeur, VPN, Firewall, ...



informatique esil

J.Drouot : réseaux locaux

85

## Chapitre 6

### Fonctions avancées des commutateurs Ethernet

- Principales fonctions des commutateurs
- Spanning Tree
- Agrégation de liens
- VLAN
- Ponts distants

informatique esil

## Bibliographie

- **Ethernet et les commutateurs**
  - [http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito\\_doc/ethernet.htm#xtocid6](http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/ethernet.htm#xtocid6)
- **Gamme des commutateurs Cisco**
  - [http://www.cisco.com/web/FR/products/lan\\_switching/lan\\_switching\\_home.html#7](http://www.cisco.com/web/FR/products/lan_switching/lan_switching_home.html#7)

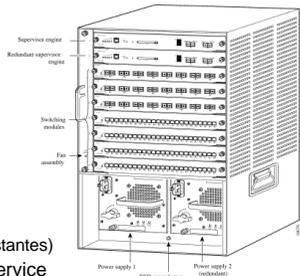
informatique esil

J.Drouot : réseaux locaux

86

## Fonctions complémentaires des commutateurs

- **Les commutateurs peuvent intégrer des fonctions complémentaires**
  - Fonctions d'administration de réseau
    - Statistiques générales : sondes RMON
    - Contrôle et diagnostic port par port
    - Agent d'administration (SNMP)
  - Fonctions de sécurité
    - Filtrage par listes d'accès
    - Authentification des utilisateurs
    - VLAN
  - Fonctions d'interconnexion
    - Ports uplink vers le réseau de distribution
    - Fonction de routeur (liaisons locales ou distantes)
  - Fonctions de traitement de la qualité de service
  - Amélioration de la robustesse
    - De l'alimentation électrique
    - Des liaisons vers d'autres commutateurs
    - Spanning tree, agrégation de liens



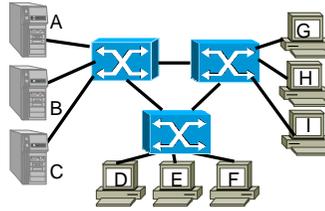
informatique esil

J.Drouot : réseaux locaux

88

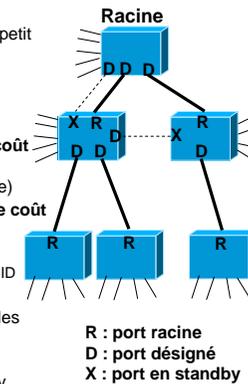
## Justification du protocole « Spanning tree »

- **L'auto-apprentissage ne supporte pas les boucles**
  - Les stations seraient vues sur plusieurs ports
- **Le traitement des trames de diffusion interdit les boucles**
  - Bouclage des trames de diffusion
- **Le maillage est nécessaire dans une entreprise**
- **Le fonctionnement d'une entreprise est maintenant dépendant du fonctionnement de son réseau**
  - Certains flux sont critiques, comme la production ou la gestion des ressources
- **La topologie du réseau local doit donc être maillée**
  - Ce qui crée des boucles
  - Un protocole est nécessaire entre les commutateurs pour supprimer les boucles à un moment donné



## Principes du Spanning Tree (suite)

- **Election d'un pont racine**
  - Celui de priorité la plus haute, ou d'identifiant le plus petit
    - Il y a bien sûr un seul pont racine
- **Election sur chaque segment d'un pont désigné**
  - Celui de coût d'accès à la racine le plus petit (tie-break : identifiant le plus petit)
- **Sur chaque pont, le port racine est celui de moindre coût d'accès à la racine** (tie-break : n° port)
  - Chaque pont a un seul port racine (sauf le pont racine)
- **Sur chaque segment, le pont désigné est celui qui a le coût d'accès à la racine le plus petit**
  - Son port d'accès au segment est un port désigné
    - Si plusieurs ports d'accès au segment, choix selon port ID
  - Chaque pont a zéro, un ou plusieurs ports désignés
  - Les ports désignés sont les ports actifs menant vers les feuilles de l'arbre
- **Les ports ni désignés ni racine sont en standby**
  - Chaque pont a zéro, un ou plusieurs ports en standby
  - Les ports en standby sont désactivés (ils ne font pas partie de l'arbre). On les appelle aussi « alternate »



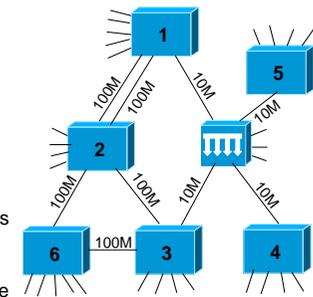
R : port racine  
D : port désigné  
X : port en standby

## Principes du Spanning Tree

- **L'algorithme du spanning tree supprime les boucles**
  - En recouvrant la topologie physique par un arbre logique
    - L'arbre permet l'accès à tous les segments Ethernet, sans boucle
- **Paramètres du spanning tree**
  - 802.1D ne distingue pas pont et commutateur et les appelle « ponts »
  - Une adresse MAC multicast « tous les ponts 802.1D » est reconnue par tous les ponts : les ponts échangent les BPDU en utilisant cette adresse
  - Chaque pont a un identifiant (Bridge ID : une adresse MAC, fixe pour un pont donné) et une priorité (choisie par l'administrateur)
    - Priorité par défaut en l'absence de configuration
  - Chaque port de chaque pont a un identifiant (port ID : numéro de port fixe) et une priorité (choisie par l'administrateur)
  - Chaque port a un coût de réception configuré par l'administrateur
    - Valeur initiale par défaut : 1000 / débit en Mbps. Problème pour 10Gbps
    - Coûts révisés par l'IEEE : 10Mbps : 100, 100Mbps : 19, 1Gbps : 4, 10G : 2

## Principes du Spanning Tree (suite)

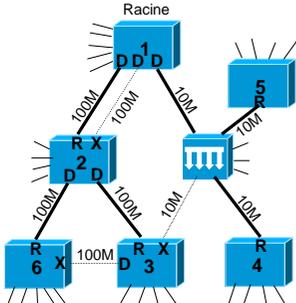
- **Au départ chaque pont émet des BPDU périodiques, et prétend être racine**
  - Chaque BPDU contient la priorité et l'identifiant de son émetteur
  - Les BPDU sont émis sur l'adresse multicast « les ponts spanning tree »
  - Les ponts perdants identifient leur port racine (là où ils reçoivent le meilleur BPDU), stoppent leur émission spontanée et répercutent le BPDU vers les feuilles en ajoutant leur coût d'accès racine
- **Les ports non racine sont**
  - Désignés tant qu'ils ne reçoivent pas de BPDU de coût d'accès à la racine inférieur au leur. En cas d'égalité, le port de plus petit ID est choisi
  - Mis en standby dans le cas contraire



Le protocole spanning tree permet de mixer les ponts, les commutateurs et les hubs

### Principes du Spanning tree (suite)

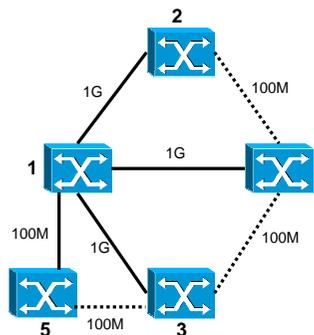
- **La racine continue d'émettre ses BPDU à fréquence régulière**
- **Un port en standby qui détecte l'absence de BPDU ré-émet des BPDU à réception du BPDU de la racine**
  - Un port désigné est tombé
  - Il est alors remplacé
  - Un BPDU vers la racine informe la racine, puis tous les autres, du changement de configuration
    - Les tables d'auto-apprentissage sont remises à zéro
- **Un pont (switch) qui ne reçoit plus de BPDU sur son port racine prétend à nouveau être racine**
- **Fonction plug and play**
  - Surveiller l'élection du pont racine



informatique esil
J.Drouot : réseaux locaux
93

### Spanning tree : autres exemples (suite)

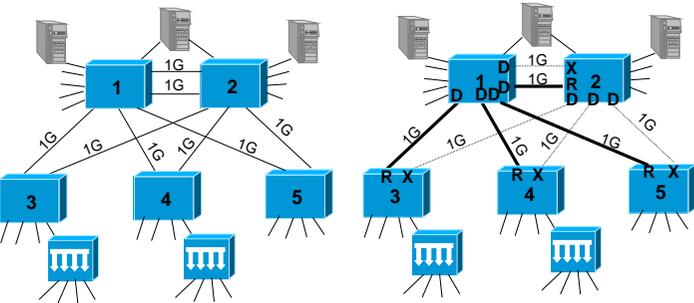
- **Surveiller le commutateur racine**
  - Un commutateur racine mal choisi peut conduire à une topologie non optimum
  - Mais le spanning tree tente tant que possible d'utiliser les liens de plus haut débit
    - Grâce aux coûts d'accès qui dépendent du débit (10, 100 ou 1000 Mbps)
- **Dans le schéma ci-contre**
  - Que se passerait-il si le commutateur 4 avait l'identifiant le plus petit?
  - Que se passerait-il si le commutateur 4 avait l'identifiant le plus petit et si le lien entre commutateurs 1 et 4 était à 100 Mbps?



informatique esil
J.Drouot : réseaux locaux
95

### Spanning tree : autres exemples

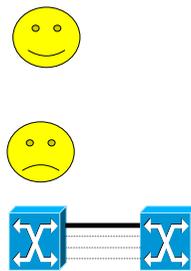
- **Dans les faits il y a rarement un hub entre 2 commutateurs**
  - Les hubs restants sont plutôt utilisés derrière les commutateurs en fin d'arborescence
- **Le spanning tree permet de s'affranchir de la panne d'un commutateur**



informatique esil
J.Drouot : réseaux locaux
94

### Bilan de la technique du Spanning Tree

- **L'algorithme est stable et éprouvé**
  - Plus de problèmes d'interopérabilité
  - Assure la robustesse des réseaux commutés
  - Fonctionnement plug and play (ou presque)
- **Inconvénients**
  - La route n'est pas vraiment optimisée
    - Pas très grave dans un environnement à haut débit
  - Pas de partage de charge dans le réseau
    - Certains segments ne sont jamais utilisés
    - Les autres segments doivent être sur-dimensionnés
  - Les temps de configuration et de re-configuration sont relativement longs
    - Généralement entre 50 s et une minute (au minimum)
    - La nouvelle spécification Rapid Spanning Tree (RSTP) ou 802.1w ramène ce temps à 10s environ (à condition de n'avoir que des commutateurs et pas de hubs)



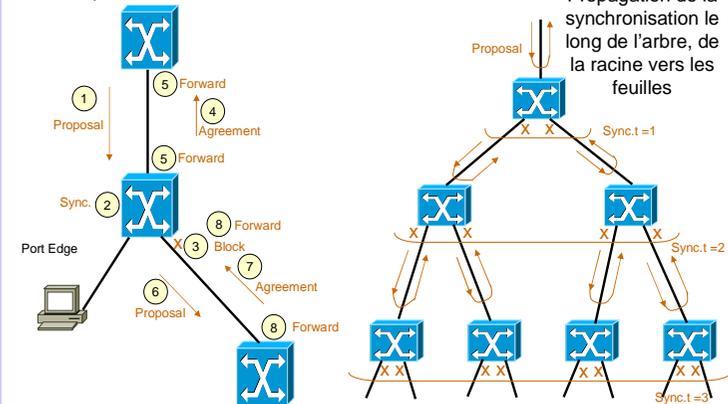
informatique esil
J.Drouot : réseaux locaux
96

## Rapid Spanning Tree

- **Dans STP, les SW n'envoient les BPDU qu'à la réception d'un BPDU sur leur port racine**
  - Les BPDU sont émis initialement par le SW racine
  - Les messages se propagent de SW à SW, ce qui augmente le temps de convergence
    - Nécessite l'expiration de plusieurs temporisateurs
- **RSTP définit trois types de ports sur un commutateur**
  - Ports Edge, raccordant un seul host
    - Déclaré à la configuration
    - Si un BPDU est reçu sur un tel port, il perd son statut de edge port
  - Port Racine
    - 1 seul port racine à un moment donné
    - Les ports « alternate » sont des ports racine alternatifs, qui peuvent être placés en mode « forwarding » immédiatement en cas de perte du port racine
  - Ports point à point
    - Ports désignés menant vers un autre commutateur (en full-duplex)
    - Un échange entre SW (proposal/agreement) permet de savoir qui est désigné
    - Un SW propose que son port soit désigné, l'autre accepte ou non

## Rapid Spanning Tree (suite)

## Principe de fonctionnement

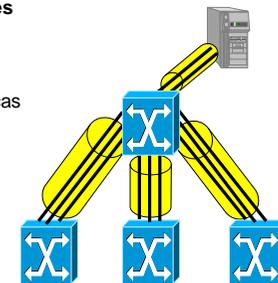


## Rapid Spanning Tree (suite)

- **Les SW 802.1w envoient des BPDU à chaque échéance Hello**
  - Même sans réception de BPDU sur leur port racine
  - Ces BPDU contiennent l'information courante et servent de messages « keep alive »
  - Si un SW ne reçoit plus de BPDU pendant un intervalle de 6s (3 BPDU perdus), il présume que le port à l'autre extrémité du lien est HS
    - Détection de la panne en 6s au lieu de Max Age Timer (20s) en STP
- **Tous les ports non edge démarrent en mode Discarding (blocking)**
- **Après échange de BPDU avec les voisins, le port racine et les ports désignés du commutateur sont identifiés**
  - Sur chaque port point à point désigné (non edge), le commutateur envoie un message proposal
    - Si le port du récepteur est racine (cette proposition contient le meilleur BPDU reçu par le commutateur voisin), alors il doit se synchroniser
    - Pour se synchroniser, il bloque ses autres ports non edge, répond au proposal par un agreement, et passe son port racine en forwarding
    - Sur les autres ports non edge désignés, il envoie un proposal
    - Si il reçoit un agreement, il passe directement ce port en forwarding

## Agrégation des liens entre commutateurs

- **D'autres solutions de redondance des liens entre commutateurs ont été développées**
  - Solutions propriétaires d'abord
    - EtherChannel de Cisco, etc...
  - Puis un nouveau standard IEEE : 802.3ad
- **Un ensemble de lignes est considéré par les commutateurs comme une ligne logique unique**
  - Le spanning tree ne voit qu'une ligne
  - Le partage de charge est assuré dans le cas normal
  - Temps de reconfiguration : quelques secondes
- **Cette technique peut compléter ou même quelquefois remplacer le spanning tree**
  - Il faut renforcer la robustesse du commutateur central (alimentation)



## Agrégation des liens entre commutateurs (suite)

- **Les liens agrégés doivent être de même nature**
  - Même débit mode half-full duplex, même VLAN ou même groupe de VLAN
- **Le partage de charge ne doit pas mettre les trames dans le désordre pour un couple de stations donné**
  - Exemple : une fonction de hashing calculée sur les adresses détermine le port utilisé
- **La configuration dynamique des liens suppose un protocole entre les commutateurs**
  - PAgP (Port Aggregation Protocol) pour EtherChannel de Cisco
  - LACP (Link Aggregation Control Protocol pour 802.3ad)
    - Identification des voisins et de leurs possibilités d'agrégation
    - Un commutateur prend les décisions (selon priorité ou adresse MAC)
    - Maximum 8 liens actifs en même temps parmi 16 liens selon leurs priorités

## Caractéristiques des VLAN

- **Les VLAN améliorent les performances des stations**
  - Elles reçoivent moins de diffusions inutiles
- **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 assurent une segmentation logique du réseau**
  - Et non une segmentation physique (géographique)
  - Cela facilite les ajouts, modifications, et déplacements de stations
    - Constitution des VLAN par l'administrateur selon l'évolution de l'entreprise



## Des LAN commutés aux VLAN

- **Grâce aux commutateurs, on peut dire que le problème des collisions est réglé dans les LAN**
- **D'autres problèmes surgissent**
  - L'ensemble des stations reliées par des commutateurs constitue un seul espace de diffusions
    - Les diffusions sont reçues inutilement par tout le monde
  - Sur un grand site, on veut pouvoir contrôler les communications
- **On répartit alors les stations en groupes de travail : les VLAN**
  - Un VLAN (Virtual LAN) est un groupe fermé pour les trames de niveau 2 et les diffusions

	HUB	Commutateur
Trames unicast	Diffusé	Commuté sauf si adresses inconnues
Trames multicast	Diffusé	Diffusé en général (sauf si 802.1p)
Trames broadcast	Diffusé	Toujours diffusé

## Différents 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
    - VLAN de niveau 3 par protocole
  - 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**
- **Les VLAN correspondent souvent à des développements propriétaires**
- **Mais la norme IEEE 802.1Q se généralise peu à peu**

### Exemple de VLAN

- **Les VLAN sont constitués (ou contrôlés) par l'administrateur du réseau**
  - Les stations d'un même VLAN peuvent être dispersées géographiquement
- **Les VLAN sont souvent assistés de logiciels propriétaires**
  - Pour assister l'administrateur dans la configuration
- **Les possibilités sont variables selon les produits**
  - La nomadicité des stations est prise en compte ou non
  - Une station peut ou non appartenir à plusieurs VLAN
  - La fonction routeur peut être intégrée ou non dans les commutateurs

J.Drouot : réseaux locaux

### Exemple de VLAN de niveau 1

- **Exemple : A veut communiquer avec B**
  - Dans quel(s) VLAN est (sont) les liaisons entre commutateurs
  - Ce sont des liens multi-VLAN (trunks)
  - Une étiquette de VLAN est nécessaire pour indiquer le VLAN : le tag 802.1Q

J.Drouot : réseaux locaux

### VLAN de niveau 1 (par port)

- **C'est le cas le plus courant et le plus simple**
  - Problème de nomadicité
  - Problème avec les ports multi-VLAN
    - Typiquement le cas des serveurs et des routeurs
    - Un port par VLAN?

Port	VLAN
1	2
2	1
3	2
4	3
5	1
6	2
7	3
8	2,3
9	1,2,3
Etc...	

**Une table de commutation par VLAN**

J.Drouot : réseaux locaux

### Commutateur niveau 2 et commutateur 2/3

- **Représentations symboliques avec 3 VLAN**

**Commutateur de niveau 2**

Ports Downlink

**Commutateur de niveau 2/3**

Ports Downlink

J.Drouot : réseaux locaux

### VLAN de niveau 2 : configuration par adresse 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?

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
@MAC	Port
@MAC	Port

informatique esil
J.Drouot : réseaux locaux
109

### Standard 802.1Q

- Le tag 802.1Q est positionné derrière les adresses MAC
- Le tag peut être inséré par la station source
  - Si elle est compatible 802.1Q et digne de confiance
- Le tag est en général inséré par le 1er commutateur après classification
- Le tag est retiré soit par la station destinataire (si compatible 802.1Q) ou par le dernier commutateur
- Le tag sert également à gérer la qualité de service dans les commutateurs

Pr DA SA Tag T/L .....

16 bits 3 bits 1 bit 12 bits

TPID UP CFI VID

Tag Protocol ID (0x8100) TCI (Tag Control Information)

TPID : indique la présence d'un tag UP : User Priority (3 bits)  
CFI : utilisé seulement dans le cas de token ring VID : VLAN ID (12 bits)

informatique esil
J.Drouot : réseaux locaux
111

### VLAN de niveau 3 : par plage d'adresses de niveau 3

- 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)
  - Nomadité des stations supportée
  - Problème avec DHCP

192.168.1/24	1
192.168.2/24	2
172.16/16	3

Une table de commutation par VLAN

@MAC	Port
@MAC	Port
@MAC	Port

informatique esil
J.Drouot : réseaux locaux
110

### Traitement de la QoS dans les commutateurs

- Le premier commutateur établit la classification et le marquage des trames
  - Le champ de priorité s'appelle le champ CoS (classe de service)
- Les commutateurs suivants se servent du champ CoS pour traiter la QoS
  - Type de file d'attente utilisé
    - Par exemple une file d'attente à priorité stricte
    - Des files d'attente qui se partagent équitablement le reste de la bande passante
  - Traitement en cas de congestion
- Exemple
  - Ici 4 classes de service

Priorité	Nom	Type de trafic
7		Non utilisé
6	Audio	Téléphonie (priorité stricte)
5		Non utilisé
4	Controlled load	Applications interactives critiques
2 et 3		Non utilisés
1	Background	Gros transferts non urgents
0	Best effort	Trafic LAN standard

informatique esil
J.Drouot : réseaux locaux
112

### Authentification des utilisateurs

- Le protocole 802.1x permet à un commutateur d'authentifier l'utilisateur
  - Ce protocole est beaucoup utilisé aussi pour les points d'accès WiFi
  - Il est basé sur les méthodes d'authentification EAP (Extensible Authentication Protocol) définies pour PPP
    - Pour l'accès à un serveur d'accès distant

The diagram illustrates the 802.1x authentication process. On the left, the **Supplicant** (client) has components for EAP methods, an EAP client, an 802.1x client, and a MAC address. In the center, the **Authenticator (commutateur)** handles EAP, 802.1x server, RADIUS client, and MAC. On the right, the **Authentication Server** handles EAP methods, EAP, RADIUS server, and MAC. The flow involves EAPoL between Supplicant and Authenticator, 802.1x between them, and RADIUS between Authenticator and Server. Network layers shown include Ethernet (MAC), IP (x), and a central **Réseau IP**.

J.Drouot : réseaux locaux 113

### Les ponts distants

- Encapsulation des trames LAN dans des trames WAN selon le réseau de transit**
  - Trames PPP ou propriétaire
    - Si liaison louée
    - Trames Frame Relay
      - Si CV Frame Relay entre les ponts
- Problèmes liés au faible débit relatif du lien WAN et aux trames de diffusion non filtrées**
  - Les trames de destinataire inconnu sont diffusées
- Les routeurs sont en général préférables à la frontière LAN/WAN**
  - Mais la baisse du rapport prix / performances des liaisons WAN fait réapparaître cette solution
  - VPN de niveau 2 (extension de LAN) ou VPLS (Virtual Private LAN Service)

The diagram shows a laptop (A) connected to a bridge (P), which is connected to a WAN network. The WAN network connects to another bridge (P), which is connected to a server (S). Data packets from the laptop are encapsulated for transport over the WAN. The server also sends data back through the WAN network to the bridge (P) and then to the laptop.

J.Drouot : réseaux locaux 115

### Authentification des utilisateurs (suite)

- Exemple d'échanges d'authentification**

The sequence diagram shows the following steps:
 

- Supplicant sends **Accès physique** to Authenticator.
- Authenticator sends **Request ID** to Supplicant.
- Supplicant sends **EAP response ID** to Authenticator.
- Authenticator sends **Radius Access Request** to Authentication Server.
- Authentication Server sends **Challenge** to Authenticator.
- Authenticator sends **Challenge** to Supplicant.
- Supplicant sends **Réponse au challenge** to Authenticator.
- Authenticator sends **Réponse au challenge** to Authentication Server.
- Authentication Server sends **Succès ou échec** to Authenticator.
- Authenticator sends **Succès ou échec** to Supplicant.

J.Drouot : réseaux locaux 114

### Exemple d'offre MAN opérateur

The diagram shows a central **Réseau MAN Ethernet** cloud. It is connected to several **LAN** clouds and **Commutateur Ethernet CPE** (Customer Premises Equipment) devices. The network is managed by **SW1** and **SW2** switches. Servers are connected to the network through **Interface d'accès Ethernet** and **Q1** (Quality of Service) mechanisms. The diagram illustrates how a service provider can offer a managed network to multiple customers.

- La technique **MAC-in-MAC** encapsule les trames Ethernet client dans des trames Ethernet opérateur
- Les **VLAN** sont utilisés pour rendre les trafics étanches entre entreprises
- Les **VLAN** de l'entreprise sont conservés
- Des solutions similaires existent sur des réseaux WAN MPLS

J.Drouot : réseaux locaux 116

## Bibliographie

- **Technologies des commutateurs**
  - <http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/idg4/nd2012.htm>
- **VLAN**
  - <http://net21.ucdavis.edu/newvlan.htm>
  - <http://www.techutorials.info/vlan.html>
- **Spanning Tree**
  - [http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/rtrmgmt/sw\\_ntman/cwmain/cwsi2/cwsiug2/vlan2/stpapp.htm](http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/rtrmgmt/sw_ntman/cwmain/cwsi2/cwsiug2/vlan2/stpapp.htm)

## Caractéristiques des réseaux locaux sans fil

- **Les LAN sans fil (WLAN : Wireless LAN) utilisent les ondes électromagnétiques**
  - Dans les gammes de fréquences 2,4 GHz (802.11, 802.11b et 802.11g) ou 5 GHz (802.11a)
  - Cela pose un problème de régulation selon les pays
- **Le partage d'une fréquence par plusieurs stations impose une méthode d'accès**
  - Pas de fonctionnement en full-duplex
  - La bande passante est toujours partagée
  - La méthode d'accès CSMA/CD n'est pas utilisable
    - Une station ne peut pas écouter pendant qu'elle émet
    - Utilisation de CSMA/CA pour 802.11, 802.11b, 802.11g, et 802.11a
- **Débits**
  - Ils sont variables selon la qualité de réception (débits de repli)
  - Débits nominaux : 1 et 2 Mbps (802.11), 5,5 et 11 Mbps (802.11b), 54 Mbps (802.11a et 802.11g), >108 Mbps (MIMO, futur 802.11n)
  - Débits propriétaires chez certains constructeurs : ex. 22 Mbps ou 108 Mbps

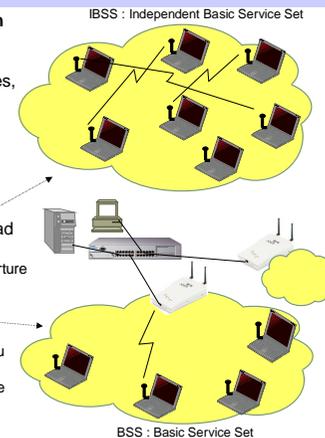
## Chapitre 7

## Les réseaux locaux sans fil et à courants porteurs

- **Les WLAN : IEEE 802.11**
- **Les PAN : Bluetooth**
- **Courants porteurs en ligne**

## Caractéristiques des réseaux locaux sans fil (suite)

- **L'implantation d'un WLAN sur l'ensemble d'un bâtiment nécessite une étude préalable**
  - Distances à couvrir, disposition des pièces, nature des murs, cloisons, planchers, meubles, plantes, ...
- **Les WLAN posent par nature un problème de sécurité**
  - Nécessité de pouvoir crypter l'information transmise
- **Deux types de WLAN sont possibles**
  - Les réseaux d'égal à égal (peer to peer, ou "ad hoc")
    - Discussions bilatérales dans la zone de couverture
    - Assez rare
  - Les réseaux d'infrastructure
    - Accès à un réseau câblé via un point d'accès
    - Les points d'accès communiquent via le réseau câblé
    - Le « roaming » permet à une station mobile de passer d'un point d'accès à un autre



## Normalisation des réseaux locaux sans fil

- **IEEE 802.11**
  - La spécification la plus ancienne, devenue obsolète
  - Gamme de fréquence de 2,4 GHz avec des débits de 1 ou 2 Mbps
  - Méthode d'accès CSMA/CA
  - Problèmes d'inter-opérabilité entre constructeurs
- **IEEE 802.11b**
  - Même gamme de fréquences (2,4G) et même méthode d'accès (CSMA/CA)
  - Débits de 5,5 et 11 Mbps (débit max. effectif de données de l'ordre de 5 Mbps)
  - Inter-opérabilité facilitée par les spécifications Wi-Fi
- **IEEE 802.11a (Wi-Fi5)**
  - Gamme de fréquences 5Ghz et débit de 54 Mbps (34 Mbps max. pour les données)
  - Couche physique plus sophistiquée que 802.11b
- **IEEE 802.11g**
  - Extension de 802.11b pour obtenir un débit de 54 Mbps sur 2,4 GHz
  - Compatible avec 802.11b (stations mixtes sur un point d'accès 802.11g)
  - Standard finalisé en Juin 2003
- **IEEE 802.11n (draft), normalisation prévue pour 2008**
  - Utilisation de la technique MIMO (Multiple Input Multiple Output)
  - Utilise les bandes 2,4 et 5 Ghz, débits >108 Mbps jusqu'à 540 Mbps

informatique

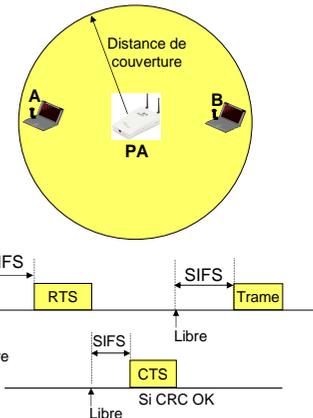
esil

J.Drouot : réseaux locaux

121

## Problème du nœud caché

- **Si A et B sont dans la zone de couverture du même point d'accès mais ne peuvent pas s'entendre**
  - La prévention de collision ne marche pas entre A et B
- **Un autre mécanisme optionnel est utilisable pour résoudre le problème**
  - Le message RTS (Request To Send) adressé au destinataire contient l'adresse de l'émetteur et la durée totale de transmission de la trame (avec ack)
    - Les récepteurs de RTS bloquent leur émission pendant la durée indiquée
  - Le message CTS (Clear To Send) émis par le destinataire contient la même durée
    - Les récepteurs de CTS bloquent leur émission pendant la durée indiquée
- **RTS/CTS est gourmand en overhead**
  - Intéressant surtout pour les trames longues



informatique

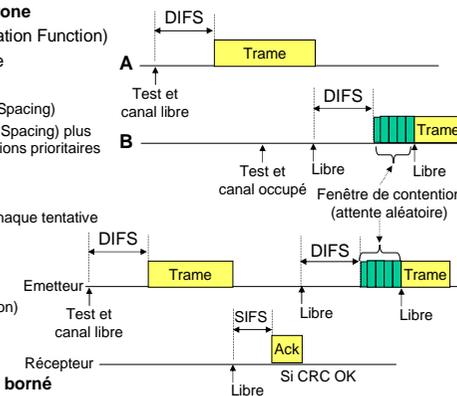
esil

J.Drouot : réseaux locaux

123

## Méthode d'accès CSMA/CA

- **Service de données asynchrone**
  - DCF (Distributed Coordination Function)
  - Implémentation obligatoire
  - Utilisation de 2 timers
    - DIFS (DCF Inter-Frame Spacing)
    - SIFS (Short Inter-Frame Spacing) plus court, réservé aux émissions prioritaires
  - Fenêtre de contention
    - Tirage entre 0 et 7
    - On double la fenêtre à chaque tentative
  - Ack des trames unicast
    - L'émetteur retransmet si il ne reçoit pas d'ack (trame erronée ou collision)
- **Service à temps de réponse borné**
  - PCF (Point Coordination Function)
  - Implémentation optionnelle, prévue pour les trafics isochrones



informatique

esil

J.Drouot : réseaux locaux

122

## Autres problèmes à traiter par les WLAN

- **Gestion de l'économie des batteries des stations**
  - Les stations mobiles se mettent en veille régulièrement
    - Une station qui se met en veille doit avertir le point d'accès
    - Le point d'accès stocke provisoirement les trames destinées à cette station
    - La station doit se réveiller régulièrement pour consulter le point d'accès
- **Synchronisation des horloges des différentes stations**
  - Nécessaire pour la gestion des économies de batteries
  - Nécessaire pour la méthode d'accès avec temps de réponse borné (PCF)
  - Nécessaire en cas de sauts de fréquences
  - Le point d'accès émet régulièrement une trame « beacon » contenant un timestamp

informatique

esil

J.Drouot : réseaux locaux

124

### Traitement de la qualité de service dans les WLAN

- **Le standard initial IEEE 802.11 a défini 2 méthodes d'accès**
  - DCF (Distributed Coordination Function) avec CSMA/CA pour le trafic de données standard
  - PCF (Point Coordination Function) avec un système de polling pour les applications déterministes
    - PCF a été peu implémenté
- **Le standard IEEE 802.11e définit HCF (Hybrid Coordination Function) avec deux nouvelles méthodes d'accès**
  - EDCA (Extended Distribution Coordinate Access) est une extension de DCF
  - HCCA (Hybrid Controlled Channel Access) est une extension de PCF
    - Semblable à PCF en ajoutant la prise en compte de priorités dans le polling

informatique esil
J.Drouot : réseaux locaux
125

### Trames 802.11

- **Trame MAC 802.11**
  - La trame MAC est précédée d'une trame PLCP (Physical Layer Convergence Protocol), toujours émise à 1 Mbps, permettant d'annoncer le débit
    - Contenant un préambule (18 octets) et un entête physique (6 octets)

To DS	From DS	Adr1	Adr2	Adr3	Adr4	Signification
0	0	DA	SA	BSSID	/	Réseau Ad Hoc
0	1	DA	BSSID	SA	/	Trame venant de l'AP
1	0	BSSID	SA	DA	/	Trame allant vers AP
1	1	RA	TA	DA	SA	Trame entre 2 AP

DS : Distribution System    DA : Destination address    SA : Source address    BSSID : Basic Service Set ID  
 RA : receiver address    TA : Transmitter address    (@MAC du point d'accès ou @MAC IBSS)

informatique esil
J.Drouot : réseaux locaux
127

### Traitement de la qualité de service dans les WLAN (suite)

- **EDCA spécifie 4 classes de services en configurant des paramètres**
- **Une station attend que le canal soit libre, mais attend une période supplémentaire selon la classe de service**
  - Ce temps additionnel est le paramètre *AIFS* (Arbitration Inter-Frame Space), configuré pour chaque classe de service (petit pour trafic prioritaire)
- **Ensuite la station génère un nombre aléatoire compris entre *CWmin* et *CWmax* (Contention Window min/max)**
  - Ces paramètres sont configurés pour chaque classe
    - Les classes de service plus prioritaires doivent avoir des valeurs faibles
    - *AIFS* + *CWmax* pour la classe la plus prioritaire devrait être supérieur à *AIFS* + *CWmin*, pour éviter le blocage du trafic de faible priorité
  - Le paramètre *TXOP* (Transmission Opportunity Limit) définit la longueur maximum d'une même transmission
    - Selon la longueur des paquets (faible pour la TOIP, grand pour trafic TCP)
- **Le point d'accès peut demander à chaque station de donner le volume de trafic de chaque classe de trafic**
  - Et empêcher l'arrivée de nouvelles stations en cas de débordement

informatique esil
J.Drouot : réseaux locaux
126

### Trames 802.11 (suite)

- **Champ « Frame control »**

Trame de gestion : ex. Association, Beacon, Authentication, ...  
 de contrôle : ex. RTS, CTS, Ack, Poll, etc...  
 de données

La station se met en gestion d'énergie après cette trame  
 Ce fragment est une retransmission (détection trames dupliquées si ack perdu)  
 D'autres fragments suivent

L'AP a d'autres trames pour cette station (gestion d'énergie : la station doit rester éveillée)  
 WEP utilisé ou pas  
 Mode ordonné : l'ordre des fragments doit être respecté

informatique esil
J.Drouot : réseaux locaux
128

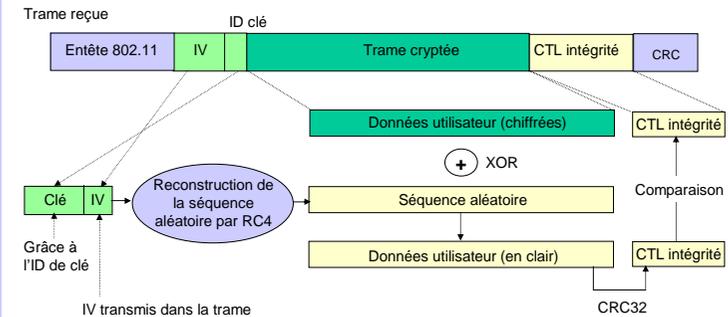
## WLAN et sécurité

- **Le standard initial est WEP (Wired Equivalent Privacy)**
  - Vulnérable car clé de session statique identique pour tous les paquets
  - Clés de 64 ou 128 bits et algorithme de chiffrement RC4
  - Authentification des abonnés non spécifiée
- **L'alliance Wi-Fi a proposé WPA (Wi-Fi Protected Access) à la place de WEP**
  - Gestion dynamique des clés (protocole TKIP Temporal Key Integrity Protocol)
  - Authentification par le protocole 802.1x avec protocole EAP (Extensible Authentication Protocol)
  - Mise à jour logicielle pour passer de WEP à WPA
- **La norme 802.11i (appelée aussi WPA2) améliore encore WPA**
  - Même gestion dynamique des clés que WPA
  - Même authentification que WPA (802.1x avec EAP)
  - Chiffrement fort avec AES (Advanced Encryption Standard) au lieu de RC4
    - Clés de 128, 192 ou 256 bits

## Déchiffrement WEP

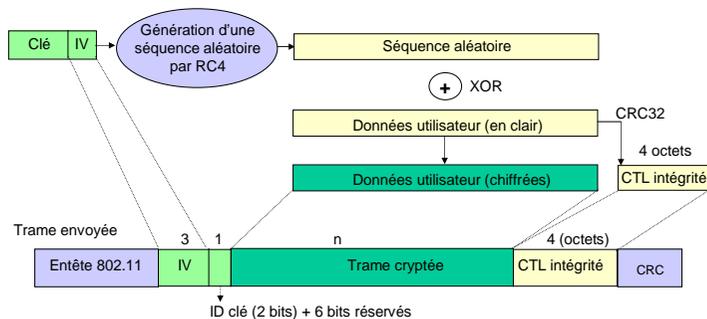
- **Le contrôle d'intégrité est une signature, permettant de vérifier que le message n'a pas subi de modification**

- Si le contrôle d'intégrité échoue, la trame est acquittée, mais jetée



## Chiffrement WEP

- **Chiffrement à clé symétrique secrète**
  - Utilise la clé de chiffrement statique, plus un vecteur d'initialisation (VI) qui change à chaque trame envoyée (IV dans les poids faibles)



## Problèmes liés à WEP et solution WPA

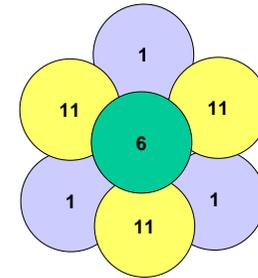
- **La clé WEP est unique pour toutes les stations, donc pas très secrète**
  - En WPA, le point d'accès donne à chaque client authentifié une clé de session qui lui est propre
- **La clé WEP ne change pas dans le temps (on a le temps de la craquer)**
  - En WPA le protocole TKIP (Temporal Key Integrity Protocol) permet le changement dynamique de la clé de chiffrement de façon périodique
- **Le vecteur d'initialisation (IV) de WEP est sur 24 bits**
  - On peut collectionner les messages ayant le même IV et la même clé
    - Il en faut 150 000 (500 000) pour craquer une clé de 64 (128) bits
  - En WPA, le vecteur d'initialisation passe à 48 bits
    - On ne peut retrouver le même IV avec la même clé
- **Le CRC utilisé pour le WEP est peu sûr**
  - Il est possible de changer et de mettre à jour le CRC du message sans connaître la clé WEP
  - En WPA, le code d'authentification du message (appelé MIC : Message Integrity Code, algorithme dit « Mickael ») est très sûr, et inclut un compteur de trames pour empêcher le rejeu

## Modes de fonctionnement de WPA

- **WPA prévoit deux modes**
  - WPA entreprise qui nécessite l'utilisation d'un serveur d'authentification (type Radius)
    - Authentification centralisée
  - WPA PSK (PreShared Key) pour les environnements résidentiels et les petites structures
    - Pas de serveur d'authentification, mais un secret partagé entre le point d'accès et la station, qui est utilisé pour l'authentification initiale
- **En environnement d'entreprise, les bornes ne supportant pas WPA doivent implémenter un mécanisme de rotation des clés au maximum toutes les heures**

## Bandes de fréquences 802.11b (et g) (suite)

- **En Europe canaux de 1 à 13**
  - On peut avoir 3 canaux disjoints, donc 3 réseaux co-localisés
  - En France, les opérateurs fournissant un réseau expérimental reliant leurs bornes d'accès doivent faire une déclaration à l'ART
    - Pas de déclaration si les bornes sont raccordées directement à un réseau public
- **Aux US canaux 1 à 11**
  - On peut avoir 3 canaux disjoints
  - Donc 3 réseaux co-localisés



- **Exemples d'implantation de points d'accès**

## Bandes de fréquences 802.11b (et g)

- **14 canaux larges de 22 Mhz espacés de 5 MHz à partir de 2,4 Ghz**
    - Les canaux 1, 6, 11 (ou 1, 7, 13) ne se recouvrent pas
- 

## 802.11a (Wi-Fi5) et 802.11g

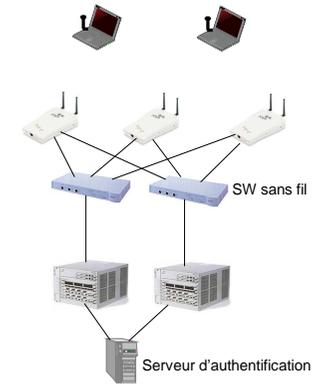
- **802.11g utilise les mêmes canaux que 802.11b**
  - Avec la technique de modulation OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
  - Débits jusqu'à 54 Mbps
    - 6Mbps – 12Mbps – 24Mbps – 36Mbps – 48Mbps – 54Mbps selon la distance
- **802.11a utilise la bande UN-II autour de 5,5 GHz**
  - Bande basse de 5,15 à 5,25 GHz à l'intérieur des bâtiments
  - Bande médiane de 5,25 à 5,35 GHz
  - Bande de 5,725 à 5,825 GHz à l'extérieur des bâtiments (interdite en France)
  - 8 canaux disjoints de 20 Mhz dans la bande de 5,15 à 5,35 GHz
    - On peut donc avoir jusqu'à 8 réseaux co-localisés
  - Débits jusqu'à 54 Mbps
    - 6Mbps (à 70m) – 12Mbps – 24Mbps – 36Mbps – 48Mbps – 54Mbps (à10m)
    - Zone de couverture plus petite que 802.11b

## Technique OFDM

- **Technique de modulation OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)**
  - 48 sous-canaux de données dans chaque canal de 20 Mhz
    - Plus 4 sous-canaux pour la correction d'erreurs
- **OFDM est utilisé dans d'autres contextes**
  - TNT (TV numérique Terrestre), xDSL, Homeplug, WiMax, mobiles 4G
- **Principes d'OFDM**
  - Diviser le signal à transmettre en un grand nombre de porteuses
  - Pour que les fréquences de ces porteuses soient les plus proches possibles, on utilise des porteuses orthogonales entre elles
    - Les porteuses se chevauchent sans interférer
  - Redondance du signal entre les porteuses
    - Tolérances aux porteuses perdues

## Commutateurs sans fil

- **Objectif : déléguer les fonctions non liées aux communications radio**
  - Administration, gestion d'accès, sécurité, QoS, VLAN, hand over, ...
  - Alimenter électriquement les points d'accès (Power Over Ethernet)
  - Justifié à partir d'une dizaine de points d'accès
  - Les parties qui évoluent sont sur le commutateur, les parties stables dans le point d'accès déporté
- **La répartition des fonctions est variable**
  - Points d'accès intelligents chez Cisco, Proxim
  - Points d'accès allégés chez Symbol, Aruba, Trapeze Networks ...
- **Standardisation des échanges entre PA et commutateurs à l'étude**
  - LWAPP (LightWeight Access Point Protocol)



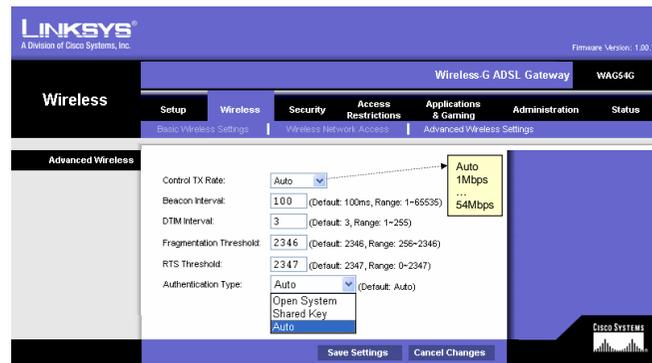
## 802.11n et MIMO

- **IEEE 802.11n**
  - La norme doit être finalisée en 2008
  - Utilisation des techniques OFDM et MIMO
  - Utilise simultanément les bandes 2,4 et 5 Ghz
  - Jusqu'à 8 canaux non superposés
- **Principes de MIMO (Multiple Input Multiple Output)**
  - Le flux est divisé en sous-flux
  - Les différents signaux RF sont transmis au même moment sur le même canal sur des antennes différentes
  - Chaque antenne reçoit une combinaison de ces sous-flux qui ont suivi des chemins différents
  - Le circuit MIMO de réception recompose le tout en exploitant les différents rebonds du signal
    - Cette technique est inopérante en terrain dégagé

## Configuration d'un point d'accès

- **Exemple avec un point d'accès Linksys**

## Configuration d'un point d'accès (suite)

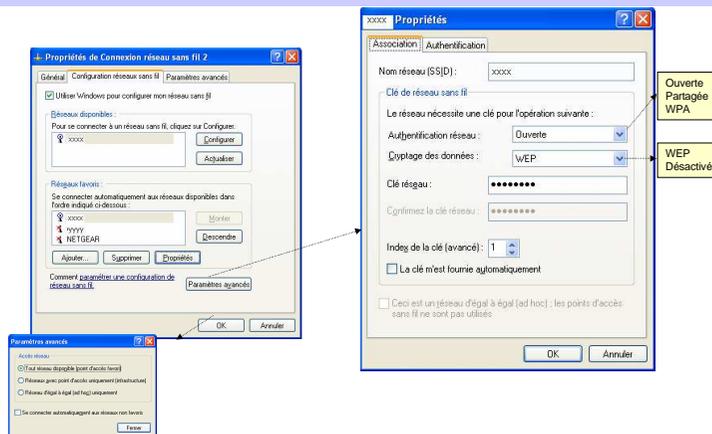


Balise DTIM : le point d'accès transmet tous les paquets broadcast ou multicast qu'il détient (gestion d'énergie)

## Bluetooth

- **Cible : les Personal Area Networks (PAN)**
  - Entre ordinateur portable, PDA, téléphone portable, etc...
- **Destiné à remplacer les liaisons infrarouges**
  - Utilisation de la gamme de fréquences de 2,4 GHz
- **Norme IEEE 802.15**
- **Performances**
  - Distance couverte : 10 m
  - Non directionnel
  - Débit 1 Mbps
- **Les stations se groupent en piconets**
  - Une station maître et jusqu'à 6 stations esclaves
  - On peut interconnecter jusqu'à 10 piconets
    - Le tout forme un scatternet

## Configuration d'une station



## Courants porteurs en ligne (CPL)

- **Cohabitation du courant électrique (50 Hz) avec des données transmises à haute fréquence**
  - 1 à 30 Mhz (de 4 à 20 Mhz pour le standard Homeplug)
- **Marché « Outdoor »**
  - Déploiements expérimentaux seulement
    - Pas de standards
    - Problèmes juridiques (monopoles et licences d'opérateurs)
- **Marché « Indoor »**
  - Norme HomePlug (orientée vers l'usage domestique – Pérennité?)
    - Basée sur la technologie PowerPacket d'Intellon
    - HomePlug1 : débit max 14 Mbps
    - HomePlug2 : débit max 54 Mbps
    - HomePlug Audio Vidéo : débit max 200 Mbps
  - Autres technologies
    - DS2 : débit de 45 à 200 Mbps
    - Norme IEEE 1915?

### Courants porteurs en ligne (CPL) (suite)

- **L'installation sur un grand site nécessite des compétences en électricité**
  - Se répand sur tous les fils électriques présentant une continuité physique
    - Tant qu'il n'y a pas d'isolation – On ne peut pas franchir les onduleurs
    - Si l'installation est en courant triphasé, il faut 2 modules supplémentaires pour relier les phases entre elles (ponts entre phases)
    - Franchissement des compteurs électriques? Cela dépend des compteurs : problème de sécurité
  - Comportement des réseaux électriques un peu imprévisible
    - L'impédance varie selon les doubles prises, rallonges, ...qui sont ajoutées
    - Le rapport signal/bruit varie selon l'utilisation des appareils électriques : cela justifie l'emploi de la modulation OFDM

### Bibliographie

- **Sur Internet**
  - [ftp://ftp.netlab.ohio-state.edu/pub/jain/courses/cis788-97/wireless\\_lans/index.htm](ftp://ftp.netlab.ohio-state.edu/pub/jain/courses/cis788-97/wireless_lans/index.htm)
  - [http://www.wlana.com/learning\\_center.html](http://www.wlana.com/learning_center.html)
- **Livre : « WiFi par la pratique »**
  - Auteurs : Davor Males, Guy Pujolle, Olivier Salvatori
  - Editeur : Eyrolles – 408 pages – 17/6/04 - ~40€

### Courants porteurs en ligne (CPL) (suite)

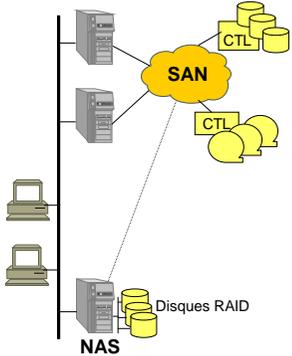
- **Modulation OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)**
  - Transmission sur plusieurs fréquences à la fois
    - Donc moins sensible aux problèmes rencontrés sur une fréquence
- **Méthode d'accès CSMA/CA dans HomePlug (analogue à celle de 802.11)**
  - Avec en plus une gestion des priorités et un contrôle de la latence
- **Distance maximum de 200m**
  - Diminue en cas de variation de l'impédance ou du rapport signal/bruit
    - L'analyse de l'état du réseau est nécessaire (en entreprise)
- **Problème de sécurité**
  - Tout le monde reçoit tout
  - Le signal peut traverser certains compteurs
  - Solutions
    - Filtres d'arrêt pour disjoncteurs
    - Cryptage DES 56 bits et utilisation de plusieurs clés pour créer des réseaux différents

### Chapitre 8 Les réseaux locaux de stockage

- **NAS**
- **SAN**
- **iSCSI**

### NAS et SAN

- **Un serveur NAS (Network Attached Storage) est un serveur de fichiers muni d'un OS minimal**
  - Utilisation d'Ethernet (Fast ou Giga Ethernet)
  - Accès au niveau du fichier en utilisant les protocoles de NT (CIFS), Unix (NFS), Netware (NCP), Apple (Appleshare), FTP, etc...
  - Très facile à mettre en œuvre
- **Un réseau SAN permet d'interconnecter des ordinateurs à des unités de stockage**
  - Disques, bandes, CDROM, DVD, ...
  - Accès au niveau des blocs d'E/S
    - Les secteurs de disque par exemple
    - Utilisation des commandes SCSI
  - Complexe à mettre en œuvre et cher
- **Les 2 offres sont complémentaires**



informatique **esil** J.Drouot : réseaux locaux 149

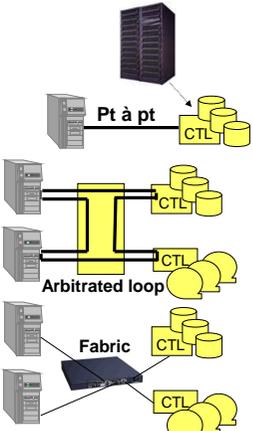
### Utilisation d'un réseau SAN

- **La mémoire disque est partitionnée entre les différents serveurs**
  - Les données ne sont pas partagées entre les serveurs
- **La mémoire disque peut être centralisée**
  - Gain économique
  - Flexibilité pour (ré)affecter la mémoire disque aux différents serveurs
  - Protection plus facile (incendie, intrusion, alimentation, etc...)
  - Tolérance de pannes plus facile (disques miroir à distance)
  - Performances améliorées
    - Lectures parallèles sur plusieurs unités de disques
- **Un centre de sauvegarde peut être déporté à plusieurs km**

informatique **esil** J.Drouot : réseaux locaux 151

### Fibre Channel

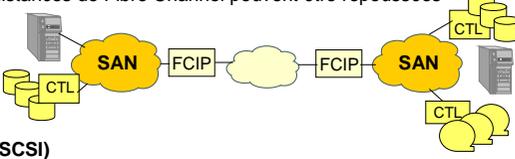
- **Fibre Channel est le principal réseau SAN**
  - Interconnexion à haut débit d'ordinateurs et d'équipements de stockage
    - Extrapoler à longue distance (10 km) les technologies canal
    - Successeur de SCSI dans le haut de gamme
    - 100 MO/s, 200 MO/s ou 400 MO/s
- **Topologies possibles**
  - Point à point
  - « Arbitrated loop » : équivalent des hubs (bande passante partagée)
    - Méthode d'accès pour prendre le contrôle de la boucle
  - « Fabric » : équivalent des commutateurs



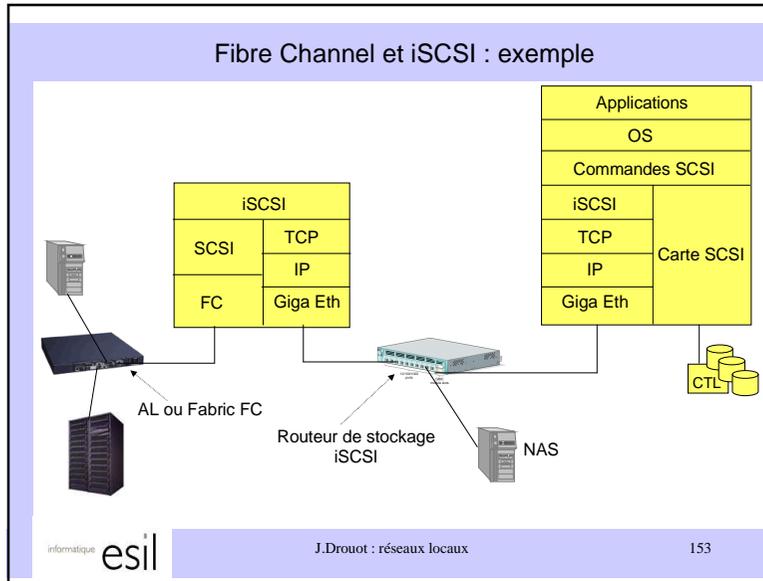
informatique **esil** J.Drouot : réseaux locaux 150

### Introduction d'IP dans les SAN

- **Les SAN traditionnels n'utilisent pas IP**
- **Fibre Channel sur IP (FCIP)**
  - Permet d'interconnecter 2 SAN Fibre Channel par un tunnel IP
    - Les trames Fibre Channel sont encapsulées dans IP
  - En utilisant Gigabit Ethernet
  - Les limites de distances de Fibre Channel peuvent être repoussées
- **SCSI sur TCP/IP (iSCSI)**
  - Permettrait de remplacer ou de compléter Fibre Channel
  - Transfert de messages SCSI sur TCP/IP sur Gigabit ou 10G Ethernet
    - Les baies de stockage distantes apparaissent comme locales
  - L'utilisation de la pile de protocoles TCP/IP/Ethernet facilite la cohabitation NAS/SAN



informatique **esil** J.Drouot : réseaux locaux 152



### Annexe Les réseaux locaux en anneau

- Token ring : IEEE 802.5
- FDDI (Fiber Distributed Data Interface)
- RPR (Resilient Packet Ring)

informatique esil

### Bibliographie

- **NAS et SAN**
  - [http://solutions.journaldunet.com/0110/011029\\_faqstockage.shtml](http://solutions.journaldunet.com/0110/011029_faqstockage.shtml)
- **Fibre Channel**
  - <http://hsi.web.cern.ch/HSI/fc/spec/overview.htm>
  - [http://www.iol.unh.edu/training/fc/fc\\_tutorial.html](http://www.iol.unh.edu/training/fc/fc_tutorial.html)

informatique esil J.Drouot : réseaux locaux 154

### Réseaux en anneau

- **La topologie logique est en anneau**
  - Mais la topologie physique est en étoile autour d'un MAU
  - Un MAU Token Ring ou un concentrateur FDDI se présentent comme un hub Ethernet
    - Mais le fonctionnement interne est différent
- **L'anneau permet d'assurer une redondance de câblage**
- **Un paquet émis sur l'anneau doit être retiré**
- **Les topologies en anneau sont en régression dans les LAN**
  - Déclin de 802.5 et FDDI
  - Au profit d'Ethernet

Concentrateur ou MAU

Concentrateur ou MAU

MAU : Multistation Access Unit

informatique esil J.Drouot : réseaux locaux 156

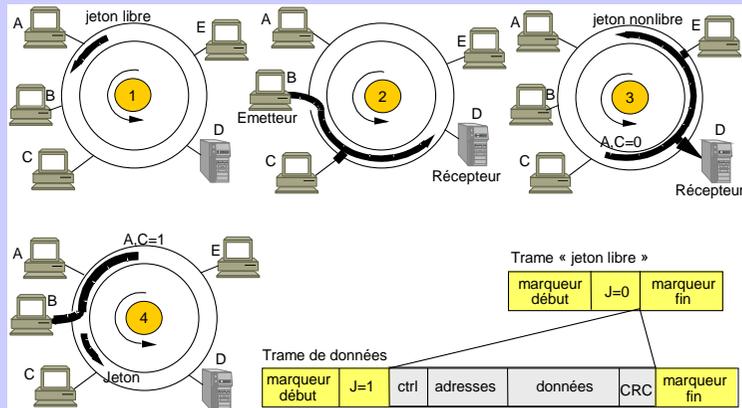
## Norme IEEE 802.5

- **Elaboré au départ par IBM**
- **Méthode d'accès du jeton sur un anneau (Token Ring)**
- **Support paires torsadées ou fibre optique**
  - Paires torsadées STP puis UTP (ou ScTP)
  - Fibre optique multimode en général
- **Débits de 4 ou 16 Mbps**
  - Fast Token Ring à 100 Mbps
    - Même couche physique que Fast Ethernet
    - Basé sur des commutateurs
    - Assez peu déployé

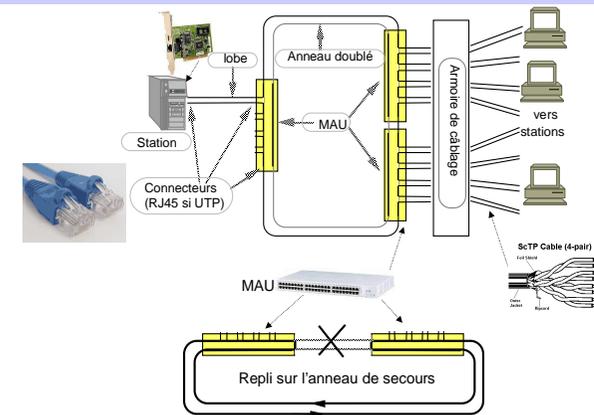
## Particularités de l'anneau à jeton

- **Chaque station est un répéteur**
  - Pour pouvoir modifier le bit jeton
- **Une station hors tension doit donc être bypassée**
  - C'est le rôle du MAU
- **Emission initiale du jeton**
  - Par la première station sur l'anneau, qui devient la station « moniteur »
  - Mécanisme d'élection pour éviter les jetons dupliqués
- **Perte du jeton**
  - En cas de bit jeton altéré par une erreur
  - Récupération par la station moniteur
- **Trame non retirée de l'anneau**
  - En cas de bypass de l'émetteur
  - La trame doit être retirée par la station moniteur
- **Détection/diagnostic des erreurs**
  - Bits A et C dans l'octet « status »
  - Bit E dans « end delimitier »
  - Trame "BEACON"

## Principes de la méthode du jeton



## Câblage d'un anneau IEEE 802.5

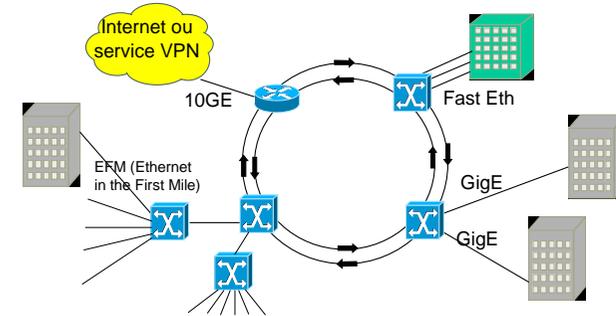


### FDDI : caractéristiques générales

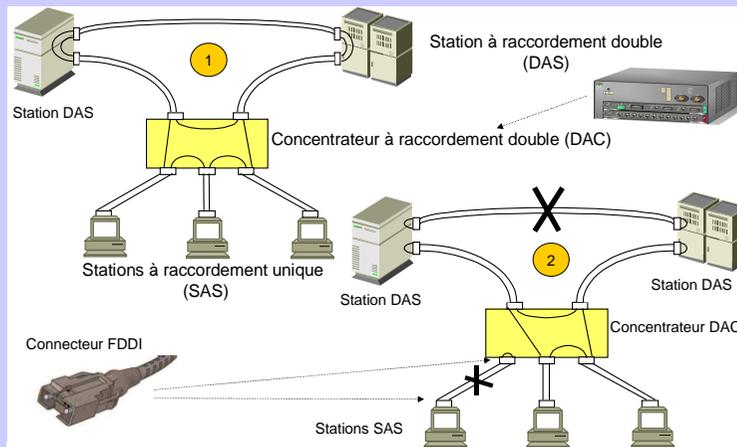
- **Développé par comité X3T9.5 de l'ANSI et normalisé en 1987**
- **Utilisé en général comme réseau backbone**
  - 500 raccordements au maximum sur un anneau
  - 2 km au maximum entre stations
  - Longueur totale de l'anneau 100 km (200 km de fibre)
- **Débit : 100 Mbps**
- **Anneau à jeton fiable**
  - by-pass optique de station (option)
    - 3 stations consécutives bypassées au maximum
  - anneaux concentriques
  - taux d'erreurs très faible
- **Méthode du jeton plus sophistiquée que celle du token ring**
  - Jeton temporisé pour tenir compte de la congestion du réseau
  - Prise en compte sophistiquée des priorités
    - Trafic « synchrone » + 8 niveaux de priorité pour le trafic « asynchrone »

### Resilient Packet Ring

- **Réseau métropolitain fiable pour offrir raccorder des entreprises via Ethernet**
  - A 100 Mbps, 1 Gbps, ou 10 Gbps

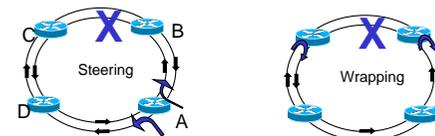


### Reconfiguration d'un anneau FDDI

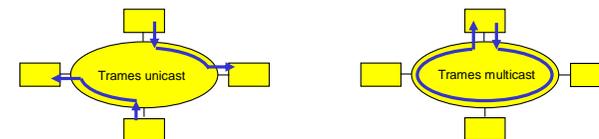


### Resilient Packet Ring (suite)

- **Fiabilisation par des techniques proches de celles de TR /FDDI**



- **Techniques de récupération de trames proches de celles de TR /FDDI**



## Bibliographie

- **Token ring**
  - <http://www.techfest.com/networking/lan/token.htm>
- **FDDI**
  - [http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito\\_doc/fddi.htm](http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/fddi.htm)
  - <http://www.iol.unh.edu/training/fddi/htmls/index.html>