

**ARCHITECTURE ET PROTOCOLES
DES RÉSEaux LOCAUX**

1 GÉNÉRALITÉS..... 2

1.1 OBJECTIFS RECHERCHÉS : 2

1.2 HISTORIQUE : 2

1.3 EVOLUTIONS : 2

1.4 TOPOLOGIES : 3

1.5 ACCÈS AU SUPPORT : 3

 1.5.1 Maître esclave..... 3

 1.5.2 Aléatoire (CSMA) 3

 1.5.3 Jeton (Token)..... 4

1.6 MODÈLE IEEE 802.X : 4

2 ETHERNET 5

2.1 PRINCIPES GÉNÉRAUX : 5

 2.1.1 Effet du temps de propagation..... 5

 2.1.2 Gestion de la collision 6

2.2 MODÈLE ACTUEL : 7

2.3 COUCHE LIAISON : 7

 2.3.1 Trame Ethernet 802.3 (MAC)..... 7

 2.3.2 Couche LLC 802.2..... 8

 2.3.3 Exemple de trame (début) : 9

2.4 ETHERNET 10 MBPS : 9

 2.4.1 - 10 BASE 5 9

 2.4.2 - 10 BASE 2 10

 2.4.3 - 10 BASE T 11

 2.4.4 - 10 BASE F 13

2.5 ETHERNET 100 MBPS : 13

 2.5.1 - 100 BASE T 13

 2.5.2 - 100 VG Anylan 14

 2.5.3 - 100 BASE FX et SX 14

2.6 GIGABIT ETHERNET : 14

 2.6.1 - 1000 BASE T 15

 2.6.2 - 10 Gigabit..... 16

 2.6.3 - 40..100 Gigabit..... 16

2.7 EQUIPEMENTS SUR RÉSEaux ETHERNET : 16

 2.7.1 - HUB 16

 2.7.2 - Full-duplex 17

 2.7.3 - Pont 17

 2.7.4 - Routeurs 17

 2.7.5 - Commutateurs (switches) 18

3 TOKEN-RING 19

3.1 PRINCIPES GÉNÉRAUX : 19

3.2 TRAME TOKEN-RING : 20

 3.2.1 - Niveau MAC 802.5 20

 3.2.2 - Niveau LLC 802.2 20

4 F.D.D.I..... 21

4.1 PRINCIPES GÉNÉRAUX : 21

4.2 TRAME FDDI : 21

5 DOCUMENTATIONS..... 21

1 GÉNÉRALITÉS

1.1 Objectifs recherchés :

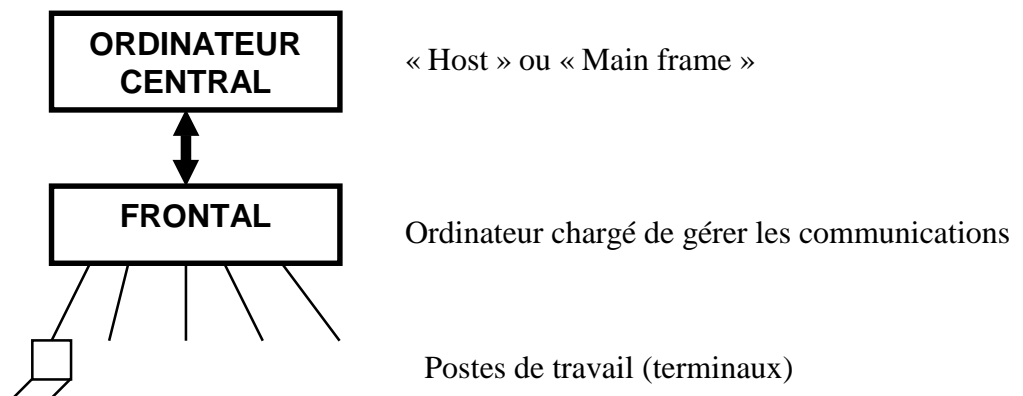
Interconnecter les postes de travail de l'entreprise afin de partager les ressources et assurer une meilleure sécurité des travaux produits. Pour cela plusieurs éléments concernant l'architecture sont à prendre en compte :

- Disponibilité permanente du réseau.
- Délais de réponse faibles (débits élevés).
- Coût du trafic faible (presque nul sur les liens privés).
- Gestion simple (déménagement de postes, droits...).
- Diffusion de messages...

1.2 Historique :

Initialement, pour des raisons technologiques, les systèmes informatiques sont basés sur une architecture centralisée (applications exécutées par de gros ordinateurs centraux). Le poste de travail se résume à un simple terminal et le réseau est une solution propriétaire imposée par le fournisseur de l'ordinateur central.

Les débits nécessaires sont assez faibles (quelques kbits/s) car on travaille en mode texte (liaison du terminal de type V24 suffit).



1.3 Evolutions :

- ⇒ La solution réseau devient indépendante du constructeur informatique.
- ⇒ Décentralisation des applications, des impressions...
- ⇒ Apparition du modèle « client-serveur ».
- ⇒ Les terminaux sont remplacés par des stations plus ou moins autonomes.
- ⇒ Augmentation exponentielle du trafic (graphismes...).
- ⇒ Généralisation du coaxial puis surtout de la paire torsadée en capillaire et de la fibre optique en inter-bâtiment comme supports de transmission (apparition du précâblage).

- ⇒ ETHERNET devient la solution la plus utilisée car simple, économique et évolutive.
- ⇒ Les équipements d'interconnexion travaillent aux niveaux 1 et 2 initialement (répéteurs, pont), apparition de commutateurs de niveau 2 puis 3 et actuellement de niveau 4 !

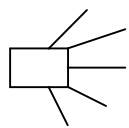
Années 80 : Interconnexion des postes par Ethernet ou Token-ring.

Années 90 : Interconnexion des réseaux locaux (via routeurs).

Fin 90.. : Interconnexions par des technologies Internet, hauts débits...

Années 2000 : Ethernet de bout en bout.

1.4 Topologies :



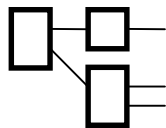
Etoile (téléphonie, STARLAN...)



BUS (ETHERNET, Token-Bus...)



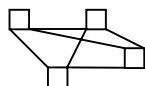
Anneau (FDDI, Token-Ring...)



Arbre (ETHERNET 10 BAS T...)



Chaîne (Apple talk...)



Maille (ATM, Réseaux MAN et WAN surtout...)

1.5 Accès au support :

1.5.1 Maître esclave

Le maître effectue un « polling » afin d'attribuer l'accès à celui qui en a besoin. Solution utilisée en domotique et pour les Bus de périphériques...

1.5.2 Aléatoire (CSMA)

Celui qui désire émettre écoute le support, s'il est libre il émet. L'accès est rapide mais il est nécessaire de gérer les collisions éventuelles et de surdimensionner le support (risque d'écroulement si le taux de charge est élevé).

CSMA : Carrier Sense Multiple Access

- CSMA-CD : Collision Detection (voir ETHERNET).
- CSMA-CA : Collision Avoidance (chaque trame est acquittée...).
- CSMA-CR : Collision Resolution (voir RNIS).
- CSMA-DCR : Deterministic Collision Resolution (construction d'un arbre des stations prioritaires, possibilité de délais garantis).

1.5.3 Jeton (Token)

Un jeton circule, lorsqu'il est libre l'accès au support est possible. Pas de collision ni de limitation du temps de propagation.

- Jeton non adressé : le jeton est libéré par son propriétaire (Token-Ring)
- Jeton adressé : le jeton est transmis selon une table (Token Bus).

1.6 Modèle IEEE 802.x :

Le modèle X200, prévu initialement pour des liaisons point à point peu fiables, a été adapté pour les réseaux locaux : La couche 2 à été subdivisée en 2 sous-couches (LLC+MAC).

	LLC	802.2					
2	MAC	802.3 CSMA/CD	802.4 Token bus	802.5 Token ring	802.6 Man-DQDB	802.11 CSMA/CA	802.12 DPAM
1	Physique	Ethernet 10BASE ... 100BASE...	MAP	4/16 Mbps UTP	SNI,G703, Sonet, T1...	WLAN 2,4GHz...	100 Vg anylan

Seules 802.2, 802.3 et 802.5 sont couramment utilisées.

Pour le 802.2, trois types de LLC sont rencontrés : LLC1 pour Ethernet, LLC2 pour Token-BUS (~HDLC) et LLC3 pour Token-Ring.

Autres 802 :

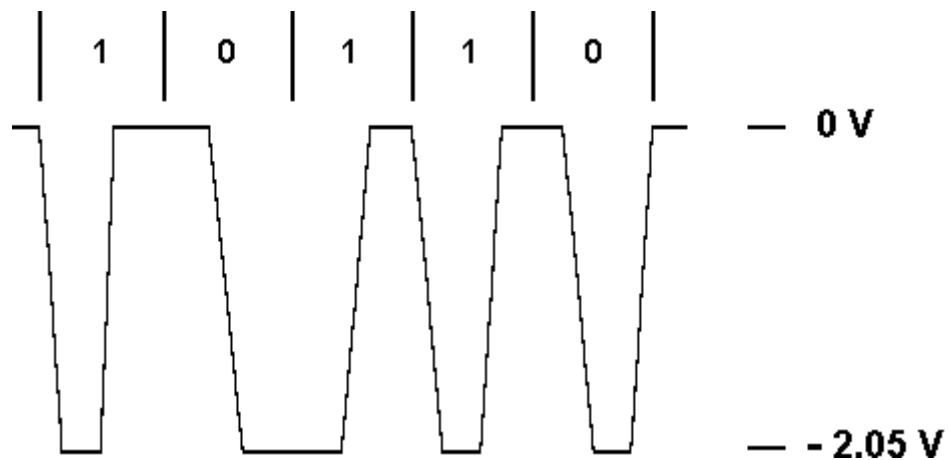
- 802.1 : Architecture générale, interfonctionnements.
 - 802.1b : LAN/MAN management
 - 802.1d : Pont MAC
 - ...
 - 802.1p : Classes de services (priorité de trafic)
 - 802.1q : VLAN
- 802.7 : Spécificités du câblage large bande.
- 802.8 : Spécificités du câblage optique.
- 802.9 : IVDLAN (Intégration Voix Données sur LAN).
- 802.10 : Sécurité des échanges.
- 802.11 : Réseaux locaux sans fils (WLAN).
- 802.12 : DPAM (Demand Priority Access Method)
- 802.14 : Réseau de données sur câble TV
- 802.16 : MAN sans fil (bande 10..60GHz)

2 ETHERNET

2.1 Principes généraux :

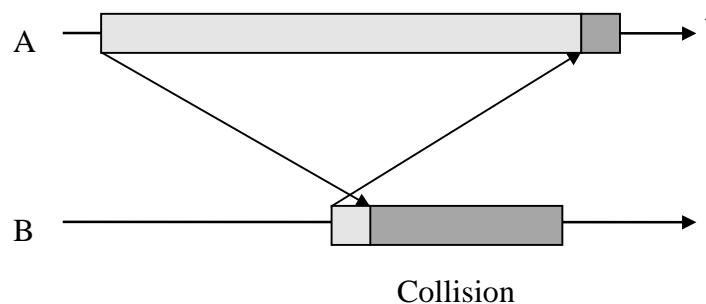
Imaginé par Bob Metcalfe (futur fondateur de 3COM) au début des années 70, défini en 1980 par Xerox, DEC et Intel, normalisé sous le nom ETHERNET II en 1982.

- Transmission à 10 Mbps à l'origine.
- Codage Manchester (« 1 » = transition positive au milieu du bit et « 0 » = transition négative). Repérage des conducteurs nécessaire.



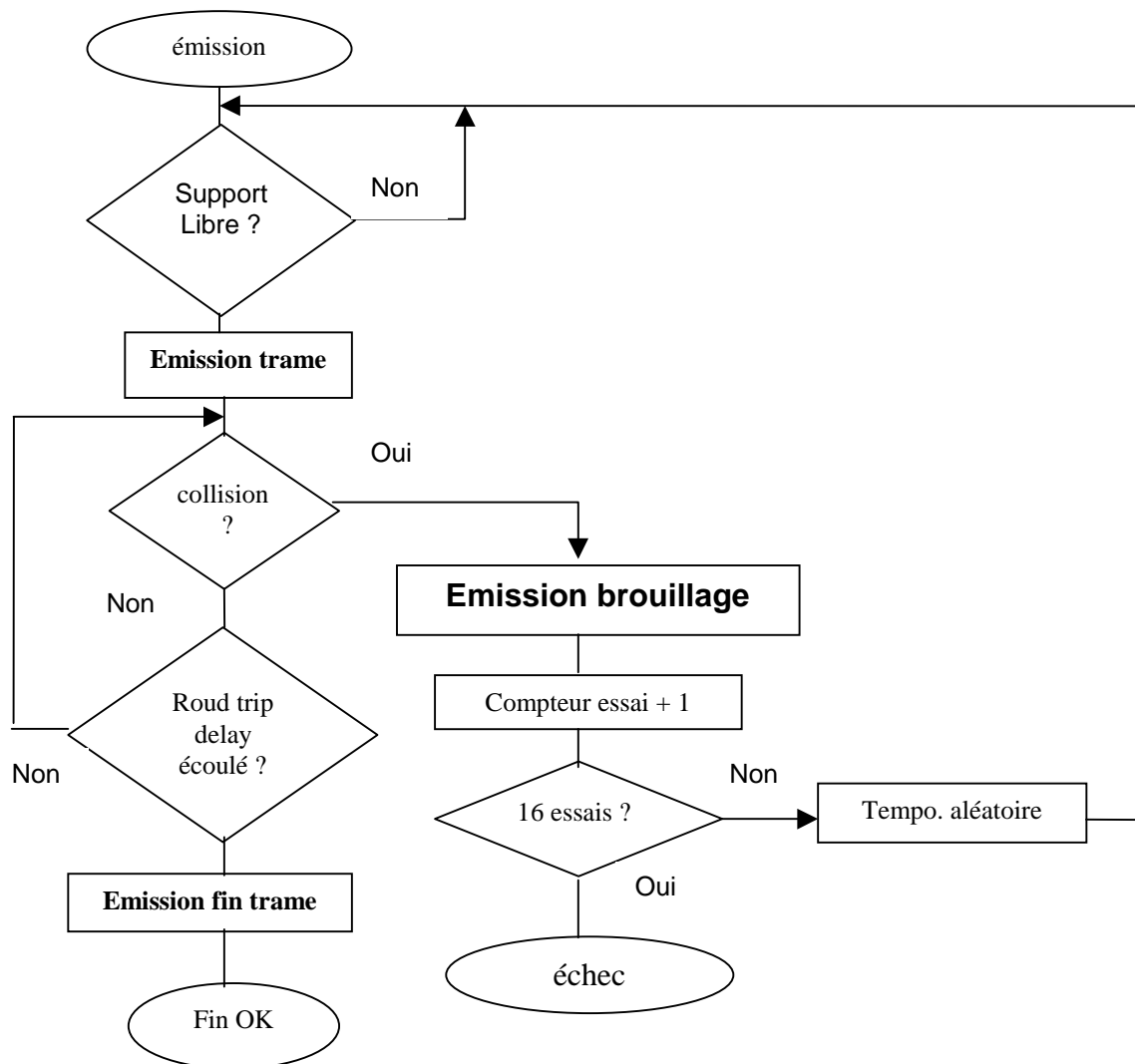
- Mode CSMA/CD.
- Afin de détecter de manière certaine une collision on a fixé la taille minimum de la trame à 64 octets (sans le préambule) soit 512 bits ce qui à 10Mbit/s donne un temps de propagation aller/retour maximum (« round trip delay ») de **51,2µs**.
- Taille maximum de la trame : 1500 octets de données.
- Silence inter-frames de 9,6µs minimum.
- Accès très rapide au support (surtout si le réseau est peu chargé).
- Aucun délai garanti et risque d'écroulement du réseau en cas de surcharge.

2.1.1 Effet du temps de propagation



A et B étant très distants, B peut considérer que le support est libre tant qu'il n'a pas reçu la trame émise par A, et A ne détectera la collision que tardivement. Le délai maximum de transit (« round trip delay ») est donc un temps **aller/retour** !

2.1.2 Gestion de la collision



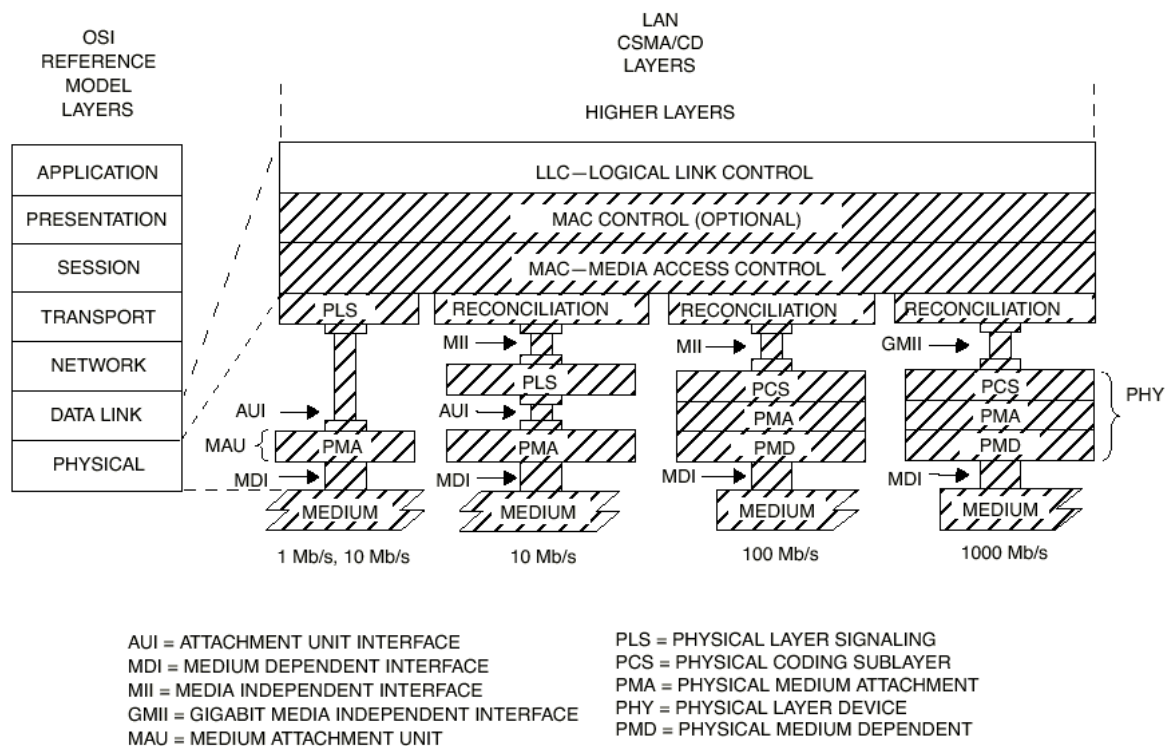
- Une station qui désire émettre une trame attend que le support soit libre.
- Si le support est libre (silence d'au moins 9,6µs), l'émission peut commencer. La station émettrice vérifie (écoute du support) pendant la transmission (au moins pendant le slot time de 51,2µs) qu'il n'y a pas de collision.
- Si la transmission s'est effectuée sans collision, remise d'un rapport de succès à la couche supérieure.
- **S'il y a collision**, la station émet une séquence de brouillage (minimum 32 bits) puis lance une temporisation aléatoire avant de tester la disponibilité du support pour un nouvel essai.
 ⇒ La temporisation aléatoire est tirée dans un domaine qui augmente avec le nombre de collision de la trame afin de réduire le taux de charge (et le risque d'écroulement du réseau) :

la temporisation est de $R \times 51,2 \mu s$, R est aléatoire dans le domaine $0 < R < 2^i - 1$ avec $i = \min(n, 10)$, n étant le nombre de retransmission déjà effectuées.

⇒ Le nombre d'essais pour une même trame est limité à 16, ensuite il y a remise d'un rapport d'échec à la couche supérieure.

- En réception, le test de collision est inutile car une trame accidentée sera inférieure à 72 octets et donc rejetée. Une vérification du CRC sera effectuée avant de délivrer ou non la trame à la couche supérieure.

2.2 Modèle actuel :



Le niveau MAC est commun à toutes les versions et seule la couche physique dépendra du médium et du débit. Le niveau LLC n'est pas spécifique à ETHERNET.

2.3 Couche Liaison :

2.3.1 Trame Ethernet 802.3 (MAC)

PR	D	Add D.	Add S.	L	Data.....	CRC
7	1	6	6	2	46..1500	4 octets

Les octets sont émis en commençant par le poids faible.

- PR** : Préambule (*réveil et synchronisation des récepteurs*), suite de 101010..
- D** : Délimiteur = 11010101, l'émission de la séquence 11 en finale (*2 bits de poids fort*) indique le début réel de la trame.

Add D. : Adresse Destination, cette adresse est liée à l'interface physique et est unique au monde (46 bits). Les 3 premiers octets indiquent le fabricant et les 3 suivants le n° de série de l'interface. La valeur FFF...FFF indique un « broadcast ». Les 2 premiers bits transmis (b0 et b1 de l'octet de poids fort) sont particuliers : I/G (*Individual/Group address*) et U/L (*Universally/locally administred*) (valeur =00 usuellement).

Add S. : Adresse Source. (*même principe que Adresse Destination*). Le bit I/G est à 0 (*individual*).

L : Longueur de la trame (*max. 1500 octets=05DC_H*). En ETHERNET II, L est supérieur à 0600_{hexa} (1536) et indique alors le **type** du protocole transporté (*exemples : DOD-IP = 0800_H, DOD-ARP = 0806_H, Novell = 8137/8138_H, SNMP = 814C_H ...*). Si L=8100_H cela signifie qu'un champ **802.1q** de 2 octets supplémentaires est inséré (VLAN).

Data : Champ des données (*couches supérieures...*) avec un éventuel bourrage (« padding ») si la partie utile est inférieure à 46 octets.

CRC : Détection d'erreur, polynôme = $x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^2 + x + 1$

Remarque : La norme à prévu la possibilité, rarement exploitée, d'un champ d'adresse sur seulement 2 octets (au lieu de 6), l'adresse est alors locale.

2.3.2 Couche LLC 802.2

Dans certaines transmission il n'y a pas de LLC :

- En ETHERNET II, le champ L de la trame indique le protocole transporté (valeur supérieure à 600_H, exemple 0800_H indique que le champ donnée est un paquet IP).
- Novell (Netware 3.x) peut aussi transmettre directement ses trames IPX sur le 802.3 sans utiliser le 802.2. (le 6ème octet du champ données vaut 11_H indiquant un paquet IPX...).

LLC Type 1 :

- Sur ETHERNET seul le LLC1 est utilisé (mode sans connexion).
- C'est un mode « Multi-station, simple accès » dans lequel la station n'offre qu'un seul accès identifiable par son adresse physique (MAC).
- Uniquement détection d'erreur.
- Pas de contrôle de flux ni accusé de réception ni reprise sur erreur (assurés par les couches supérieures).
- Perte de trames possible.

	b ₈						b ₁
DSAP	D	D	D	D	D	D	I/G
SSAP	S	S	S	S	S	S	C/R
Contrôle	M	M	M	P/F	M	M	1 1
(info LLC)	éventuellement..						

DSAP = Destination SAP (Service Access Points). Un SAP est un point de communication vers les procédures de la couche réseau. Une valeur impaire de l'octet indique un groupe.

SSAP = Source SAP.

Quelques valeurs réservées :

- 00 : Pas de SAP (trames XID ou TEST).
- 02, 03 : Administration LLC.
- 06 : DOD Internet (IP).
- 42 : Spanning tree (routage).
- AA : Autres protocoles.
- E0 : IPX.
- F0 : NETBIOS.
- F8 : IBM.
- FE : Réservé ISO.
- FF : Diffusion.

Contrôle : Les bits $b_1b_2=11$ indiquent un LLC1 (trames non numérotées).

MMMMM=0 (octet = 03_H) : Trame UI (Unnumbered Information).

MMMMM=1D (octet = E7_H) : Trame XID (eXchange Identification).

MMMMM=07 (octet = 2F_H) : Trame TEST.

2.3.3 Exemple de trame (début) :

```
FF FF FF FF FF FF 00 40 8C 28 0C 5B 01 09 AA AA
03 00 00 00 08 45 00 01 01 15 00 00 00 40 11 2C
96 C0 A8 5B 06 C0 A8 5B FF 00 8A 00 8A 00 ED 00
```

Ethernet 802.3:

- FF FF FF FF FF FF : Adresse destination = broadcast
- 00 40 8C 28 0C 5B : Adresse source.
- 01 09 : Longueur = 265 octets.

LLC 802.2 :

- AA AA : DSAP et SSAP = autres protocoles.
- 03 : LLC1 unnumbered information.
- 00 00 00 : SNAP head.
- 08 00 : DOD-IP.

Couches supérieures (IP + UDP) :

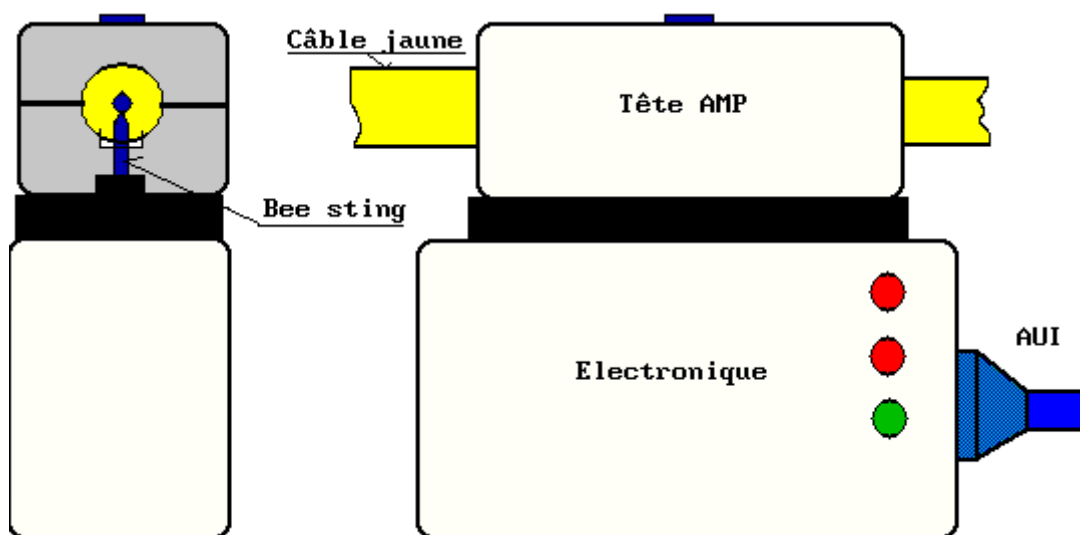
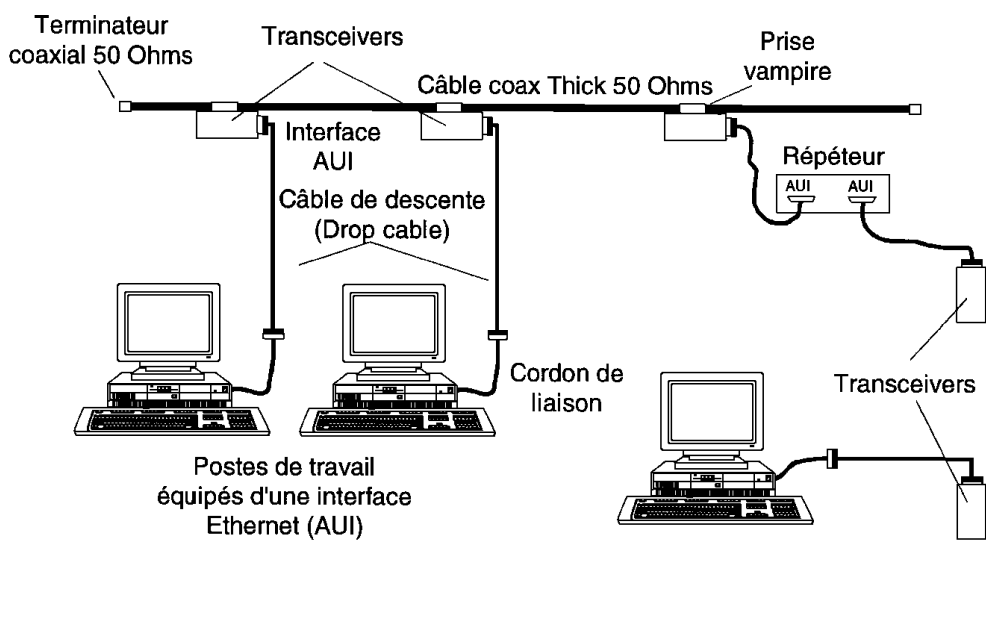
- 45 00 01FF : En tête IP (20 octets).
- 00 8A ... : En tête UDP

2.4 ETHERNET 10 Mbps :

2.4.1 - 10 BASE 5

- 10 BASE 5 = 10 Mbit/s, Bande de base, 500 m.
- Première solution développée, n'est guère utilisée de nos jours.
- Support = gros coaxial jaune RG11, 50Ω. (Thick Ethernet). $\phi 0,4$ inch, $v > 0,77C$, les longueurs de câbles prédéfinies sont 23,4m 70,2m et 117m.
- Maximum de 5 tronçons de 500m dont 3 habités pour un même réseau.

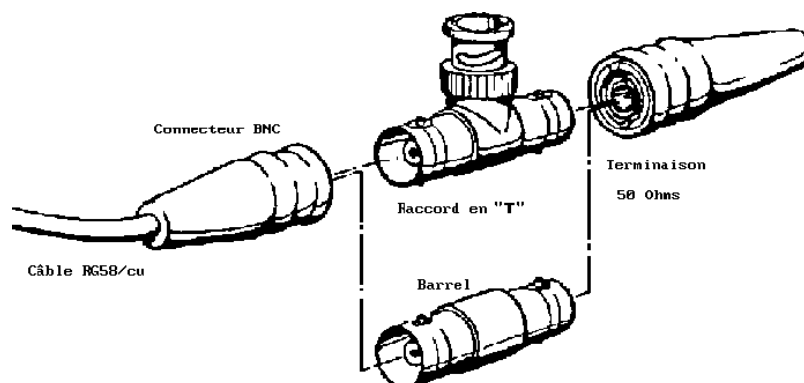
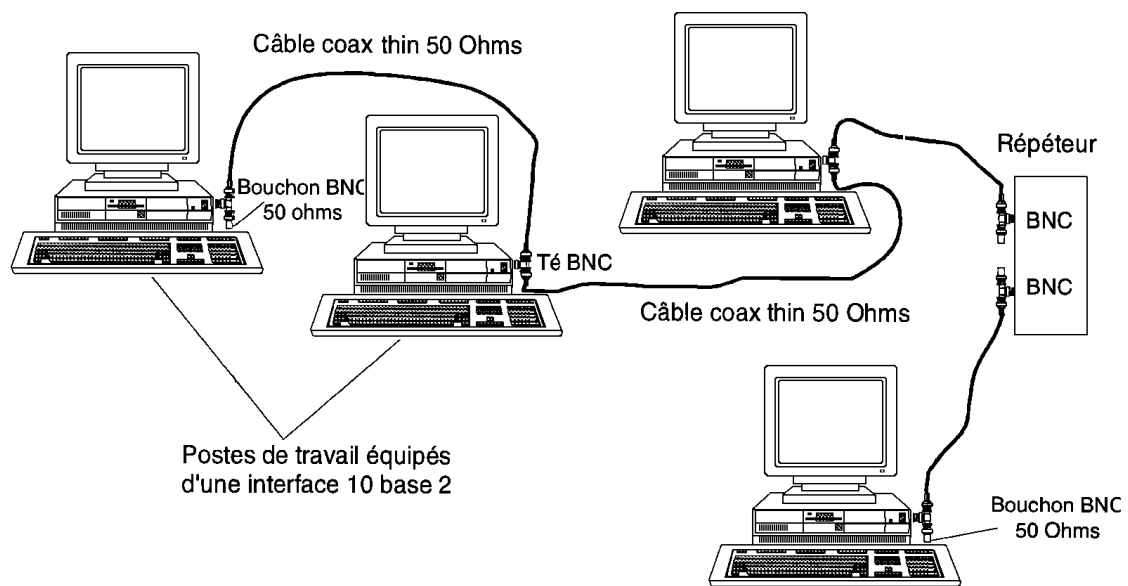
- Raccordement des stations par un transceiver raccordé au coaxial à l'aide d'une prise « vampire » sur un des repères du câble (ventre de propagation tous les 2,5m sur le câble).
- Cordon de descente « drop cable » (4 paires blindées, max. 50m) pour relier le transceiver à la carte réseau via des connecteurs AUI (« Attachement Unit Interface »).



2.4.2 - 10 BASE 2

- 10 BASE 2 = 10 Mbit/s, Bande de base, 200 m.

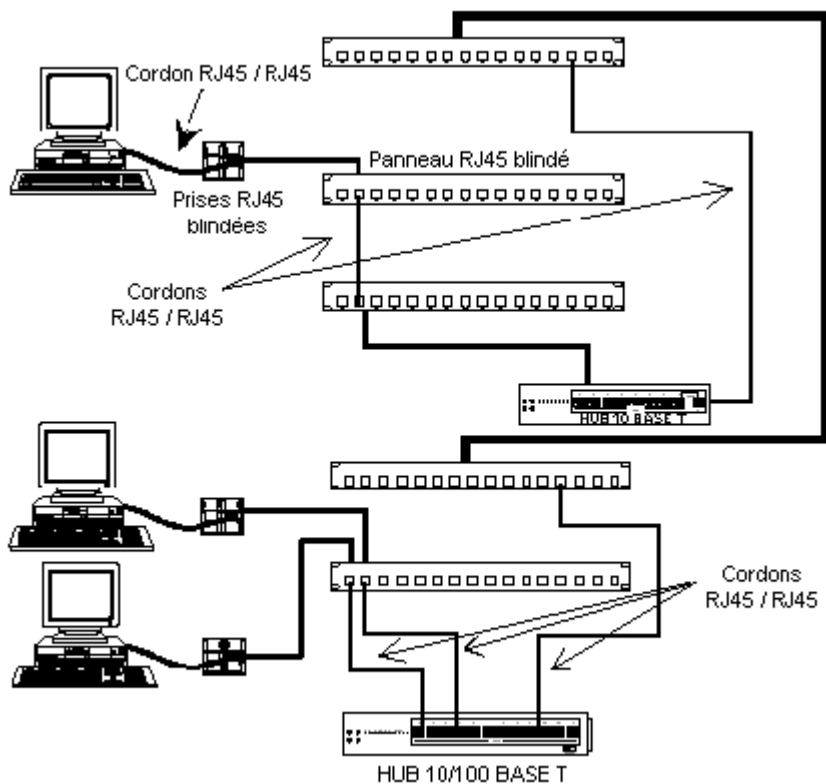
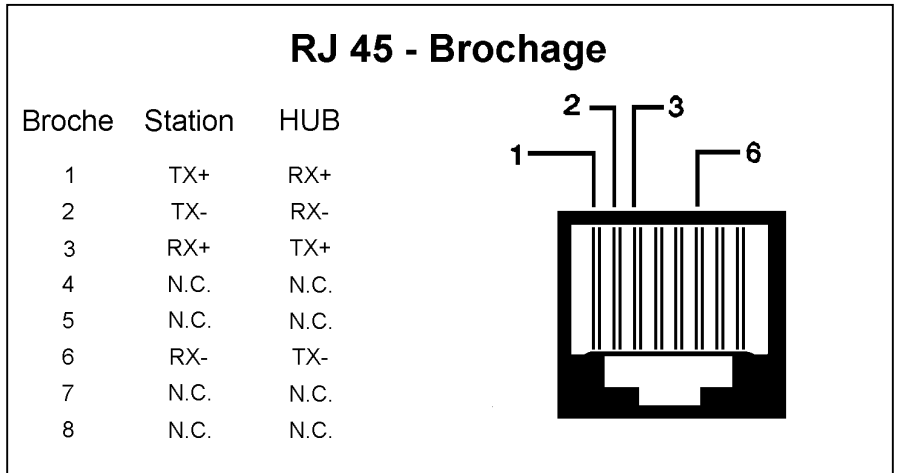
- Aussi appelé Ethernet fin ou « cheapernet ».
- Support = coaxial fin type RG58, 50Ω. (Thin Ethernet).
- Maximum de 5 tronçons de 185m dont 3 habités.
- Raccordement des stations en cascade directement au coaxial via de Té (connecteur BNC). Le débranchement d'un câble provoque l'arrêt du réseau ! (Il existe des prises murales sur lesquelles on branche un cordon double-coaxial avec Té intégré qui permettent le rétablissement de la continuité du câblage en cas de débranchement).
- Maximum 30 connexions par tronçon.
- Minimum 0,5m entre Té (0,3m entre prises murales).
- Cette solution économique peut être envisagée lorsqu'il n'y a que quelques postes à raccorder.



2.4.3 - 10 BASE T

- 10 BASE T = 10 Mbit/s, Bande de base, Paires torsadées.

- Support = 2 paires torsadées UTP ou STP (FTP en Europe). CAT3 minimum, CAT5 conseillé. $Z_c \approx 100\Omega$.
- Liaisons point à point de 100m maximums.
- Raccordement des stations sur des concentrateurs (HUB) en étoile. Maximum 4 HUB traversés. Un HUB est un répéteur multi-ports.
- Prises RJ45 avec **câblage droit** entre HUB et Station (paires 1-2 et 3-6 utilisées). Un croisement doit être effectué pour la mise en cascade de 2 HUB (cordon croisé ou mieux croisement d'une des prises du HUB par un commutateur ou utilisation d'une prise inversée sur certains HUBS).
- Cette solution doit toujours être préférée car elle permet une évolution des débits sans reprendre le câblage des stations. De plus, la mise hors service d'un lien n'interrompt pas le fonctionnement du réseau.



2.4.4 - 10 BASE F

- Solution Fibre optique, $\lambda=0,85\mu$.
- Etoile synchrone avec régénération et resynchronisation des signaux.
- 10 BASE-FL (Fiber Link) : liaison stations - HUB.
- 10 BASE-FB (Fiber Backbone) : pour liens entre HUB ≤ 2 km.
- 10 BASE-FP (Fiber Passive) : plusieurs stations en étoile asynchrone (500m).
- Quelques solutions optiques propriétaires existent pour raccorder 2 HUB de bâtiments distants (jusqu'à 1,5 km - FOIRL *Fiber Optic Inter-Repeater Link*). On fera simplement attention au délai global du domaine de collision.

2.5 ETHERNET 100 Mbps :

Dans l'Ethernet à 100 Mbit/s, les tailles de trames étant maintenues le « round trip delay » passe donc de 51,2 μ s à **5,12 μ s** !! La taille d'un même domaine de collision sera donc fortement limitée (environ 210m avec 2 HUB).

Dans la pratique, on utilise le plus souvent des commutateurs 10/100Mbit/s qui séparent les domaines de collisions et permettent le mixage des deux débits. On peut rencontrer à 100 Mbit/s un flot de 8000 trames de 1500 octets par seconde !

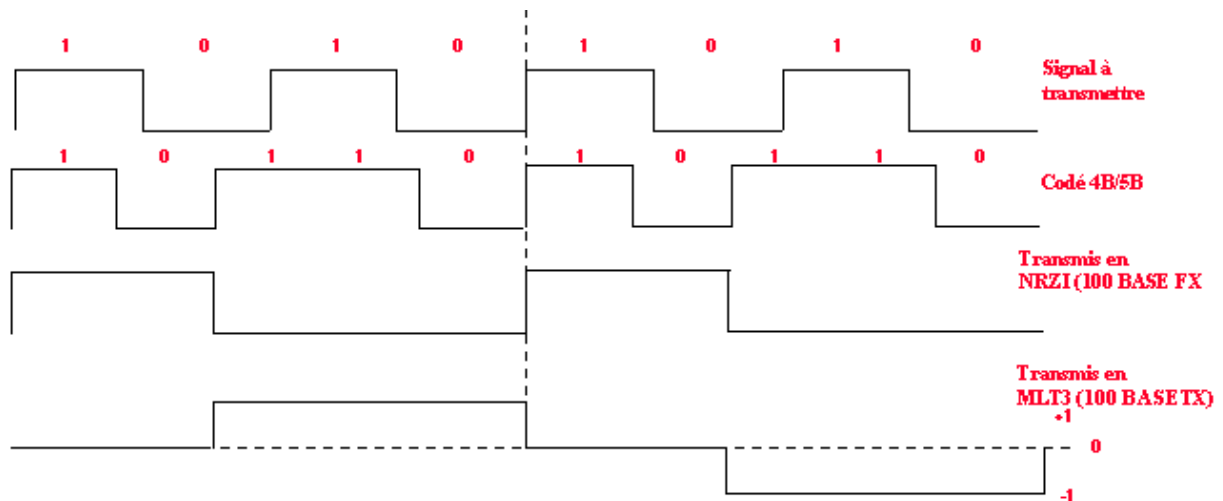
Les stations sont généralement raccordées à 10Mbps et les Serveurs à 100Mbps.

2.5.1 - 100 BASE T

- 100 BASE T = 100 Mbit/s, Bande de base, Paires torsadées.
- Norme 802.3u (1995) (trame identique au 802.3).
- Plusieurs versions selon les supports :
 - ⇒ 100 BASE TX : 2 paires UTP CAT5 (paires 1-2 et 3-6), précodage 4B5B (4 symboles binaires codés sur 5 symboles binaires), codage MLT3, porteuse 31,25MHz.
 - ⇒ 100 BASE T4 : 4 paires UTP CAT3, codage 6B8T (6 symboles binaires codés sur 8 symboles ternaires), porteuse 12,5MHz.
 - ⇒ 100 BASE T2 : 2 paires CAT3 en duplex, modulation PAM5 (5 niveaux). $5 \times 5 = 25$ combinaisons sur 2 paires pour 4 bits à 25 Mbaud = 100 Mbit/s.

Précodage 4B/5B (4 bits sur un symbole 5 bits) :

Groupe 4 bits	Symbole 5 bits	Groupe 4 bits	Symbole 5 bits
0000	11110	1000	10010
0001	01001	1001	10011
0010	10100	1010	10110
0011	10101	1011	10111
0100	01010	1100	11010
0101	01011	1101	11011
0110	01110	1110	11100
0111	01111	1111	11101



codage : en Ethernet **100 BASE T**, on effectue un précodage 4B/5B, celui ci réduit le nombre de "0" consécutifs (maximum de 3) responsables du changement d'état du signal sur le support tout en générant un minimum de un "0" par groupe afin de conserver la synchronisation. Ensuite on réalise un codage NRZI (changement d'état après chaque "0"), enfin on émet du MLT3 : le signal +a ("1" du NRZI) est mis à 0 volt, et le -a ("0" du NRZI) devient alternativement +a ou -a . On diminue ainsi le rayonnement parasite.

La fréquence maximum (suite de "0" du 4B/5B) donne une période pour 4 symboles soit $(100 \text{ Mbps} * 5/4)/4 = 31,25 \text{ MHz}$.

2.5.2 - 100 VG Anylan

- 100 Mbit/s, Voice Grade (CAT3), tous réseaux (Ethernet, Token-ring).
- Norme 802.12. Origine Hewlett packard, aujourd'hui abandonnée faute d'utilisateurs.
- Mode d'accès DPMA (Demand Priority Access Method) dans lequel le HUB détermine quel poste aura accès au réseau.

2.5.3 - 100 BASE FX et SX

- Fibre optique (multimodes 62,5 μ ,). Codage 4B5B puis transmission NRZI.
- 100 BASE-FX sur multimode $\lambda=1,3\mu$, distance de 2km possible si full-duplex.
- 100 BASE-SX sur multimode $\lambda=0,85\mu$, distance 300m.

2.6 Gigabit ETHERNET :

Norme **802.3z** (juin 1998).

Prévu pour la réalisation de réseaux fédérateurs. L'interconnexion de LAN sur 10..30km est envisagée en natif et permettrait de réaliser facilement des réseaux de campus (MAN), concurrençant ainsi le FDDI et l'ATM. On s'est débarrassé du mécanisme de gestion des collisions impraticable. Le mode dédié obtenu rend donc Ethernet étroitement complémentaire avec IP. Il n'y a pas de garantie de délivrance (comme en ATM ou en Frame relay) mais seulement un « best effort » souvent suffisant dans la pratique.

Des trames de 9000 octets sont envisagées afin d'améliorer les performances des routeurs (nombre de paquets à router ou à commuter par seconde plus faible).

- 1000 BASE-LX : « Long wavelength » fibre multimode $\lambda=1,35\mu$ (62,5 μ -50 μ - 550m) ou fibre monomode (5km).
- 1000 BASE-SX : « Short wavelength » fibre multimode $\lambda=0,85\mu$ (62,5 μ - 260 μ ; 50 μ - 550m)
- 1000 BASE-CX : Coaxial 25m (fin 1998).

Ethernet	Support	Bande passante (MHz.km)	Longueur IEEE (m)
1000BASE-LX λ 1,3 μ	MM 62,5 μ	500	550
	MM 50 μ	500	550
	SM 10 μ	-	5000
1000BASE-SX λ 0,85 μ	MM 62,5 μ	160	220
	MM 62,5 μ	200	275
	MM 50 μ	400	500
	MM 50 μ	500	550
1000BASE-CX	Coaxial	-	25
1000BASE-T	Paire Cat5	-	100

2.6.1 - 1000 BASE T

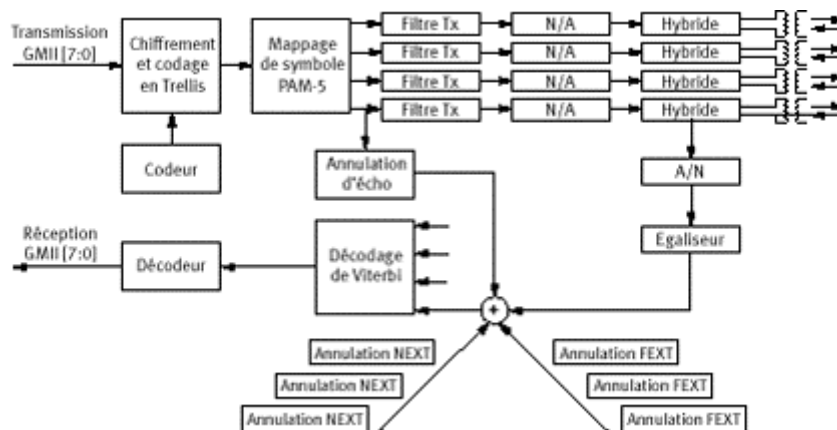
1000 BASE-T : 4 paires UTP CAT5 - 100m (fin 1999, **802.3ab**).

On utilise les 4 paires en duplex intégral avec la même horloge de 125 MHz que l’Ethernet 100BASE-TX/T2. Pour assurer un débit de 1000Mbit/s on transmet 8 bits à 125MHz.

La transmission utilise un codage PAM5 à 5 niveaux autorisant sur les 4 paires $5^4=625$ codes pour les 256 nécessaires. Un codage en treillis des 256 valeurs vers les 625 codes assure une protection efficace contre les erreurs de détection.

Afin d’assurer une bonne réception on utilise les même technique que pour les modems V90, c’est à dire un traitement du signal avec annulation d’écho, égalisation...

Cette technologie est en très forte croissance du fait de la présence généralisée du câblage catégorie 5 et des coûts en chute libre.



2.6.2 – 10 Gigabit

En cours de finalisation (2002), l'objectif est de permettre la réalisation de réseaux de campus (MAN) en Ethernet natif. Malgré un certain gâchis de la bande passante, ce type de solution réduit le coût des équipements et améliore les délais de transmission (par de changements de protocoles...). On parle parfois de technique EPON (*Ethernet over Passive Optical Networ*).

Ethernet	Support	Bande passante (MHz.km)	Longueur IEEE (m)
10G BASE-SX λ 0,85 μ	MM 62,5 μ	200	33
	MM 50 μ	400	66
	MM 50 μ	500	82
	MM 50 μ	2000	300
10G BASE-LX4 WDM 4 λ 1,3 μ	MM 62,5 μ	500	300
	MM 50 μ	500	300
	SM	-	2..10km
10G BASE-LX λ =1,3 μ	SM	-	2..10km
10G BASE-EX λ =1,5 μ	SM	-	2..40km

2.6.3 – 40..100 Gigabit

En préparation (2002)

2.7 Equipements sur réseaux ETHERNET :

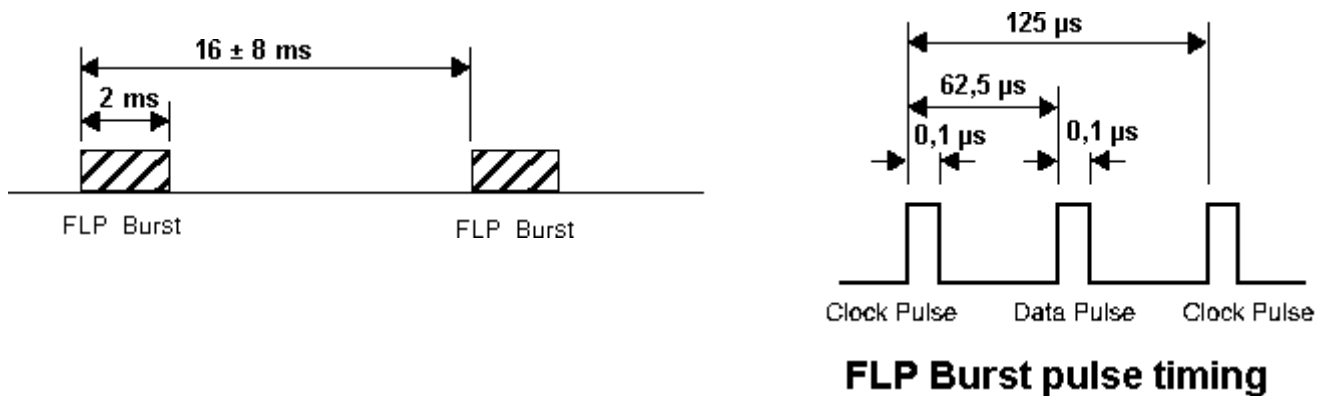
2.7.1 - HUB

Le HUB est un simple répéteur multiports, il recopie instantanément (délai environ 1 bit) ce qu'il reçoit sur un de ses ports sur ses autres ports. Une collision générera un brouillage vers tous les ports.

Il existe des HUB 10 Mbit/s et des HUB 100 Mbit/s. En général les HUB 100 Mbit/s détectent automatiquement le débit et fonctionnent entièrement (!) à 10 Mbit/s si une des station ne connaît que ce débit.

Reconnaissance de débit :

- NLP (*Normal Link Pulse*) : En 10BASE-T, une impulsion est émise toute les 16ms (± 8 ms) pour effectuer un test d'intégrité de la liaison station-HUB. A sa mise sous tension, une station rend ainsi actif le port du HUB sur lequel elle est connectée.
- FLP (*Fast Link Pulse*) : En 100BASE-T, l'impulsion NLP est remplacée par une série de brèves impulsions (62,5 μ s) reconnues pas un port 100Mbit/s mais interprété comme un NLP par un port 10Mbit/s



Une impulsion sur deux peut être présente/absente pour indiquer des données de configuration (16 bits pour débit, duplex, contrôle distant...).

Certains HUB acceptent le « full-duplex ».

Une option administration à distance par le protocole SNMP est parfois proposée, elle permet de contrôler le HUB (état, mise en/hors service d'un port...).

2.7.2 - Full-duplex

Apparu en 1996 (802.3x) le fonctionnement en «full-duplex » est possible sur certaines cartes réseaux ou équipements, l'ensemble de la chaîne doit être compatible avec ce mode. Afin d'éviter la congestion il est alors nécessaire de mettre en œuvre un contrôle de flux (« flow control »).

Ce mode n'est en général utilisé que pour raccorder des équipements distants par un lien type « point à point » (inter-bâtiment...).

2.7.3 - Pont

Le pont travaille au niveau 2 et permet de séparer les domaines de collision. Il est filtrant : il mémorise la trame et ne la retransmet de l'autre côté que si c'est nécessaire. Les « broadcast » sont transmis. En cas de bouclage du réseau on risque un nombre de retransmission infini !

Auto-apprentissage :

- A la mise en place les tables sont vides : retransmission systématique.
- L'adresse MAC de l'émetteur de chaque trame est enregistrée dans la table du port concerné.
- L'enregistrement de l'adresse MAC est daté afin d'invalidier les entrées périmées (déplacement d'une station).

2.7.4 - Routeurs

Les routeurs interviennent au niveau 3. Ils séparent complètement les réseaux et filtrent les « broadcast ».

Une station qui veut communiquer avec un autre réseau (niveau 3) transmet ses données au routeur (MAC destinataire = celle du routeur). Si le port de sortie est aussi sur Ethernet, le routeur reconstruit une trame avec en destinataire MAC celle du routeur suivant ou celle de la station destinataire si elle se trouve sur ce port.

2.7.5 - Commutateurs (switches)

- ◇ Ils permettent de relier plusieurs segments physiques (10 ou 100 Mbit/s).
- ◇ Il peut y avoir une ou plusieurs stations par port.
- ◇ La commutation se fait au niveau MAC
- ◇ Plusieurs communications simultanées peuvent avoir lieu dans le commutateur si les stations concernées sont différentes.
- ◇ La commutation est dynamique et automatique (via un BUS très haut débit).
- ◇ Deux modes de commutation :
 - « store and forward » la trame est mémorisée puis transmise.
 - « cut through » dès la connaissance de l'adresse destinataire, la trame est transmise.

Des commutateurs de niveau 3 (et même 4) apparaissent sur le marché.

3 TOKEN-RING

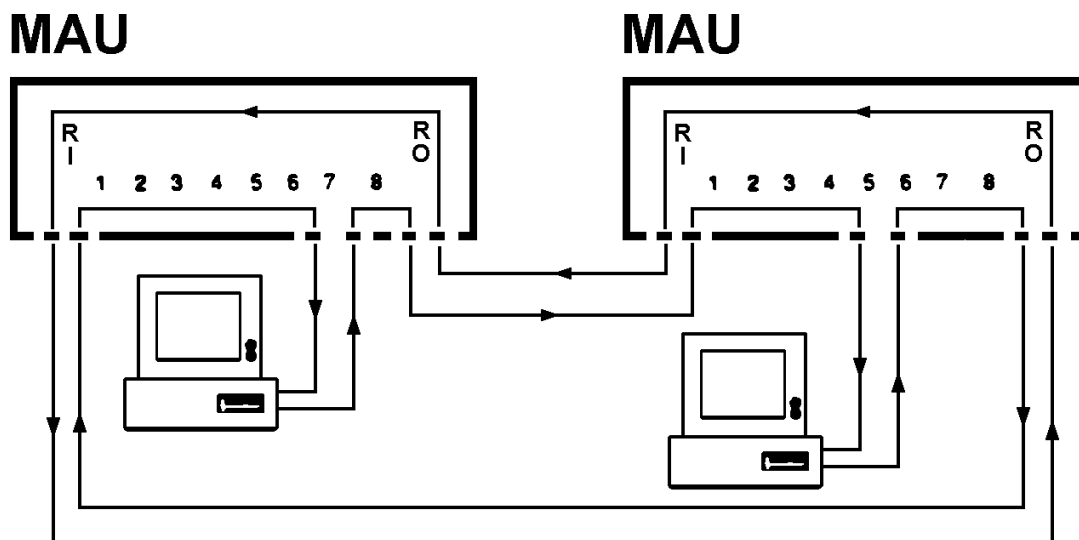
3.1 Principes généraux :

Défini par IBM, normalisé sous IEEE 802.5.

Les informations circulent sur une boucle et traversent toutes les stations. La possibilité d'émettre des données est conditionnée par un jeton, il n'y a donc pas de collisions.

Une station moniteur est chargée de recréer le jeton si nécessaire : si elle ne voit pas de jeton pendant 10ms elle génère une trame RING.PURGE et un nouveau jeton. Si le moniteur est absent plus de 15s, une station émet une CLAIM.TOKEN pour en établir un autre.

Le câblage du réseau est effectué en étoile vers les stations à partir d'un MAU (Media Access Unit). Le MAU assure le bouclage de l'anneau et le pontage éventuel d'une station hors service. Maximum 260 stations sur un anneau.



Le support utilisé est de la paire blindée (STP 150 Ω) avec des connecteurs hermaphrodites. Des versions sur câble UTP 100 Ω et connecteurs RJ45 (paires 3-6, 4-5) sont apparues. Les distances permises sont de 100m pour les stations de 60 à 400m (2 km en fibre optique) entre MAU selon le type.

Le codage utilisé est du type « manchester-2 » (biphasé différentiel) :

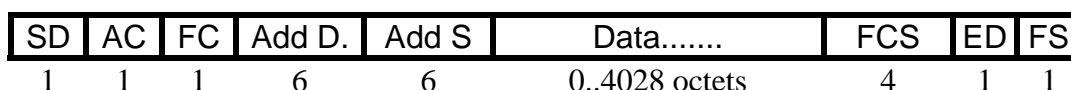
- "0" 1^{ère} moitié du bit en polarité inverse de l'état précédent
- "1" 1^{ère} moitié du bit de même polarité que l'état précédent
- "J" bit complet de même polarité que l'état précédent
- "K" bit complet en polarité inverse de l'état précédent.

Le débit initial est de 4 Mbit/s, une version 16 Mbit/s est souvent utilisée pour fédérer des anneaux à 4Mbit/s. Sur la version 16Mbit/s, pour améliorer les performances, la station émettrice peut régénérer le jeton dès la fin de l'émission au lieu d'attendre le retour de la trame. A 16Mbit/s le nombre de nœuds est limité à 72.

Une version 100 Mbit/s vient d'apparaître (High Speed TR). Elle permettra de faire évoluer les réseaux existants. On prévoit alors des trames pouvant faire 18000 octets au lieu de 4000 (700 trames / s).

3.2 Trame Token-ring :

3.2.1 - Niveau MAC 802.5



SD : Starting Delimiter = JK0JK000 (*J et K sont des états physiques en violation avec le codage Manchester habituel*).

AC : Access Control = PPPTMRRR.
 PPP : priorité du jeton ou de la trame (8 niveaux, 0=faible).
 T : **jeton** (T=0 jeton libre, T=1 trame d'information).
 M : Moniteur (pour éviter la persistance d'une trame, mis à 0 par l'émetteur puis mis à 1 par le contrôleur, si le contrôleur voit passer une trame avec M=1 il la retire).
 RRR : Réserveation du jeton (8 niveaux de priorité).

FC : Frame Control (type de trame) = FF00ZZZZ.
 FF : 00 trame MAC, 01 trame LLC.
 ZZZZ : type de trame (contrôle)...

Add D. : Adresse Destination, 2 ou 6 octets. (C000FFFFFFFF est un broadcast). Les 2 premiers bits transmis sont particuliers : I/G (*Individual/Group address*) et U/L (*Universally/locally administred*).

Add S. : Adresse Source. Les 2 premiers bits transmis sont : I/G (*Individual/Group address*) et RII (*Routing Information Indicator*).

Data : Données 0..4028 octets.

FCS : CRC.

ED : End Delimiter = JK1JK1ie.
 i (intermediate)=1 si une autre trame de la même source suit, e (error)=1 si erreur détectée par une station.

FS : Frame Status = AC00AC00
 A = Adresse reconnue, C = trame copiée. AC=11 : Acknowledge

Une station qui désire émettre des données vérifie que le jeton est libre (et que PPP < priorité station), sinon elle peut le réserver. Dès qu'elle prend le jeton elle remplit la trame de ses données, la trame circule de station en station, la station qui reconnaît son adresse copie les informations et positionne les bits AC du dernier octet.

La station émettrice tamponne le retour de la trame (la durée de la trame est souvent supérieure à la capacité de l'anneau), en voyant les bits AC positionnés elle sait que la trame à été lue. Elle libère le jeton dès la fin de l'émission (elle peut continuer à émettre si elle n'a pas fini et si son flux est prioritaire).

La trame effectue donc un tour complet, permettant ainsi une diffusion de certains messages.

3.2.2 - Niveau LLC 802.2

Token ring utilise du LLC3 : service trame simple

Dans le LLC type 3, moins lourd que le type 2, les trames d'informations sont non numérotées (UI : *Unnumbered Information*) mais peuvent être acquittées (UA : *Unnumbered Acknowledge* ou FRMR : *FRame Reject*). La réémission n'est pas prise en charge par la couche 2.

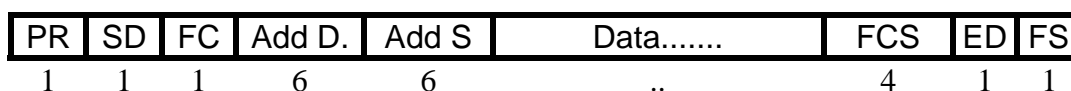
4 F.D.D.I.

4.1 Principes généraux :

FDDI : *Fiber Distributed Data Interface*. Réseau fédérateur sur fibre optique multimodes ou monomode selon la distance à parcourir et pouvant faire 100 km. Il est constitué d'un double anneau à 100 Mbit/s. La redondance du support permet de reconstruire un anneau simple en cas de défaut d'un concentrateur.

Accès par jeton, transport des protocoles 802.3 et 802.5 avec maintien des adresses MAC et du LLC. Plusieurs trames peuvent circuler simultanément sur l'anneau.

4.2 Trame FDDI :



PR : Préambule.

SD : Starting Delimiter.

FC : Frame Control = CLFFZZZZ.

C : Classe (Asynchrone/synchrone)

L : Longueur adresse (2octets/4octets)

FF : Format (00=non LLC, 01=LLC)

ZZZZ : type de trame (void/token/SMT/MAC..).

Add D. : Adresse Destination, les 2 bits les plus forts sont particuliers : I/G (*Individual/Group address*) et U/L (*Universally/locally administred*).

Add S. : Adresse Source, les 2 bits les plus forts sont : I/G (*Individual/Group address*) et RII (*Routing Information Indicator*).

Data : Données 0.. octets.

FCS : CRC.

5 DOCUMENTATIONS

- IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) www.ieee.org
- CREDO (*Cercle de Réflexion et d'Etude pour le Développement de l'Optique*) www.cercle-credo.com
- 10GEA (Consortium 10 Gigabit) www.10gea.com