

1. Introduction
2. Caractéristiques principales
3. Les trames 802.3 et Ethernet_II
4. Ethernet et le modèle OSI
5. La couche physique
6. La couche Liaison (sous-couches MAC et LLC)
7. Concentrateur (hub) et commutateur (switch)
8. VLAN
9. Exemples de réseaux
10. Gigabit Ethernet

Introduction

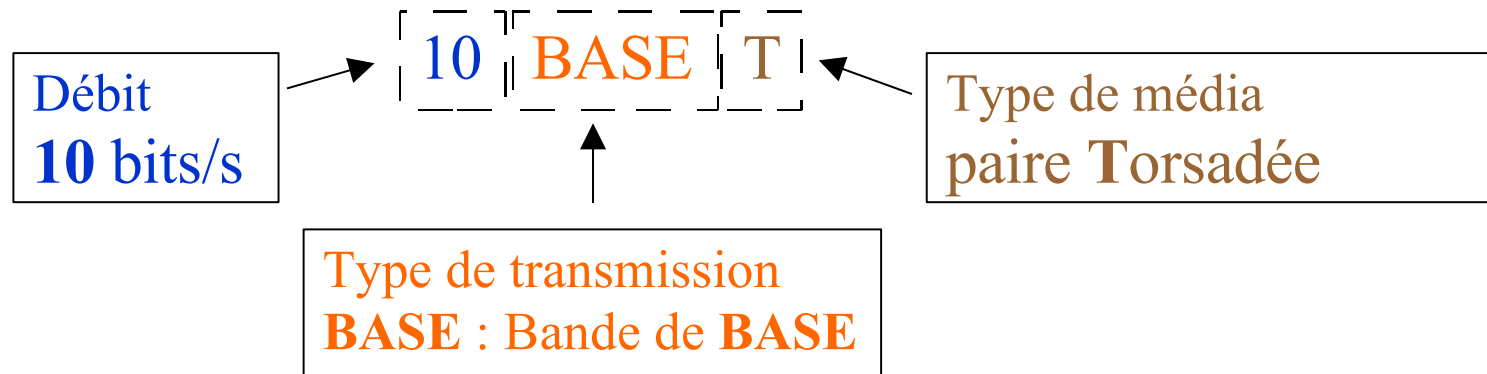
- ❖ Mise au point dans les années 80 par **XEROX**, Intel et DEC, l'architecture Ethernet permet l'interconnexion de matériels divers avec de grandes facilités d'extension.

- ❖ Les différentes normes :
 - **Ethernet à 10 Mbits/s** : 10BASET, 10BASE5, 10BASE2 et 10BASEF (802.3)
 - **FastEthernet à 100 Mbits/s** : 100BASET (802.3u)
 - **Gigabit Ethernet (Gig-E) à 1 Gbits/s** : 1000BASE-LX, 1000BASE-SX, 1000BASE-CX, 1000BASE-LH (802.3z) et 1000BASE-T (802.3ab)
 - **Décagigabit Ethernet à 10 Gbits/s** (10 Gigabit Ethernet) est déjà à l'étude ...

Caractéristiques principales

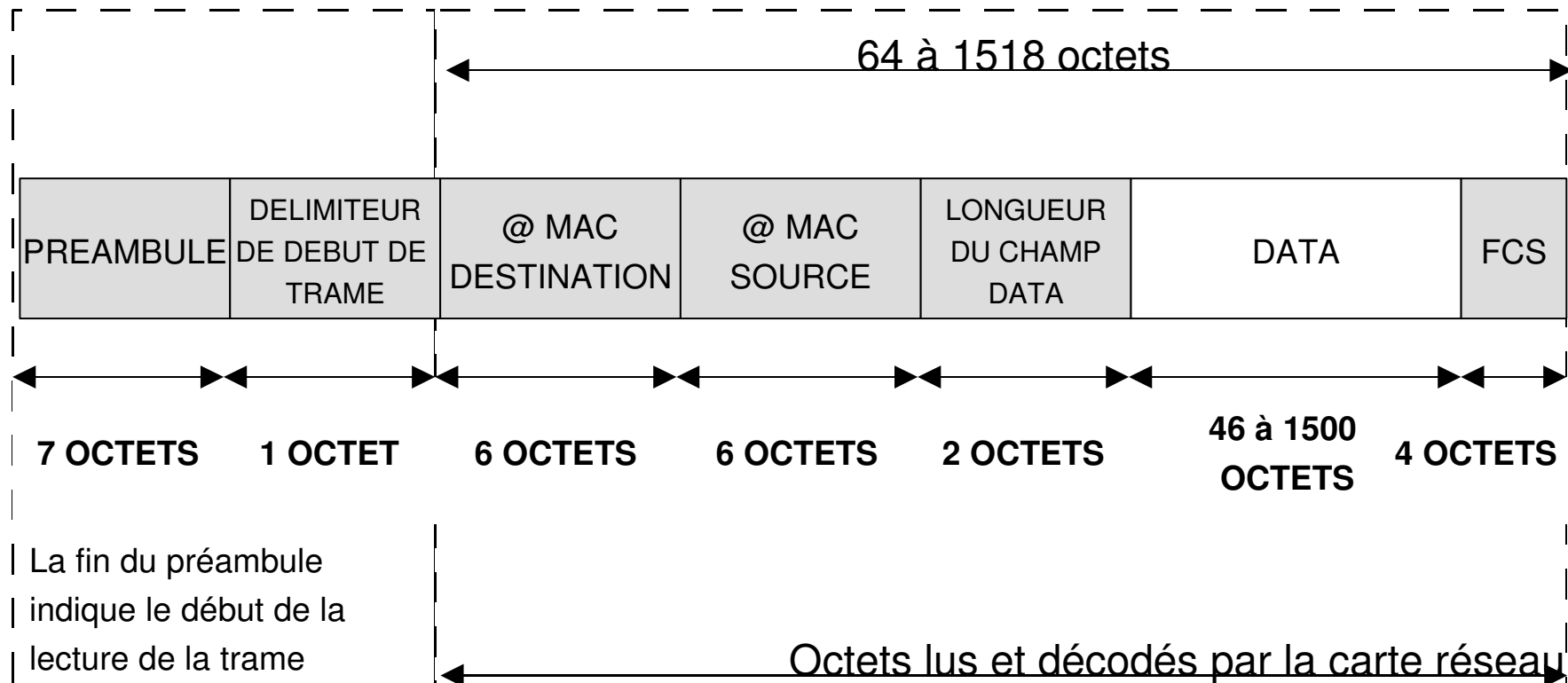
- ❖ Débit de 10 Mbits/s, 100 Mbits/s, 1 Gbits/s, ...
- ❖ Transmission bande de base
- ❖ Topologie physique (câblage) en étoile (ou en bus pour le coaxial)
- ❖ Câbles cuivre (coaxial ou paires torsadées) ou fibre optique (monomode ou multimode).
- ❖ Méthode d'accès CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection*)
- ❖ Longueur des trames comprises entre 64 et 1518 octets
- ❖ Topologie logique en bus
- ❖ Gestion des couches 1 et partiellement 2 du modèle OSI

Sigle



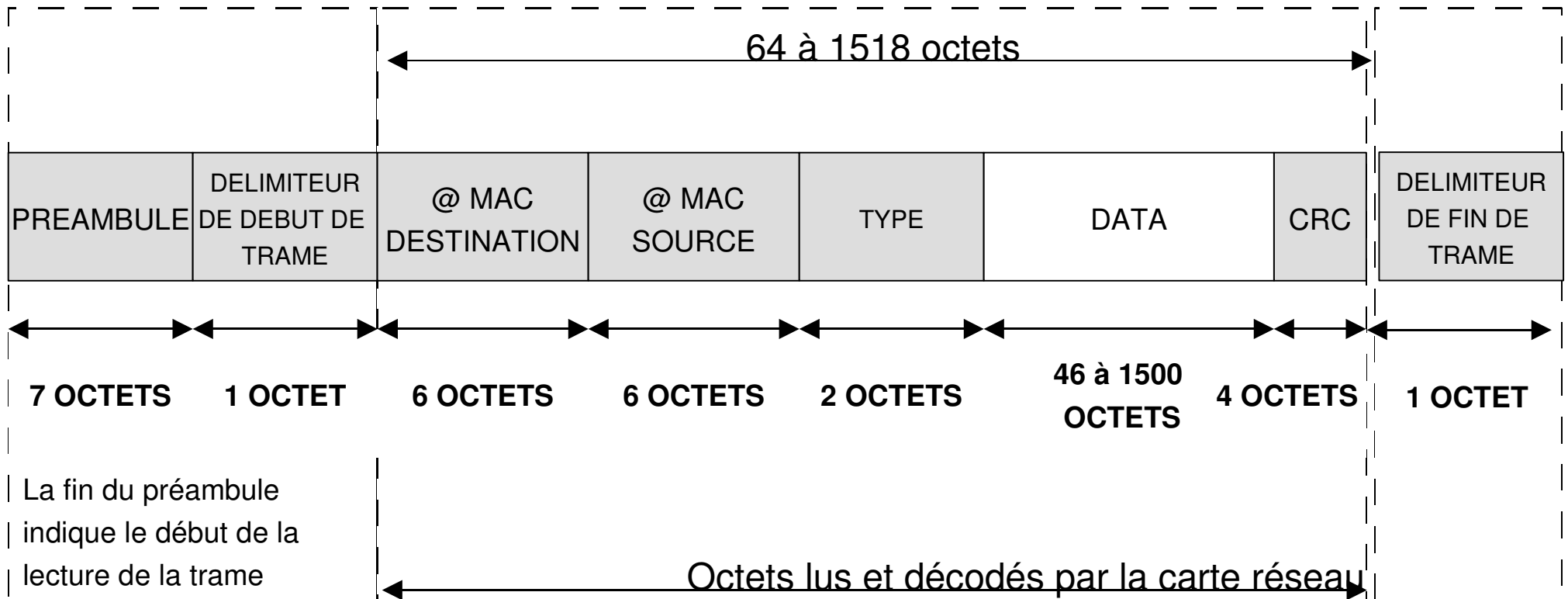
- ❖ **10BASE5** : Ethernet 10 Mbits/s standard coaxial (*Thick*)
 - 5 : longueur max. du segment 500 m
- ❖ **10BASE2** : Ethernet fin à 10 Mbits/s coaxial (*Thin*)
 - 2 : longueur max. du segment 185 m

Trame 802.3 (*Frame 802.3*)



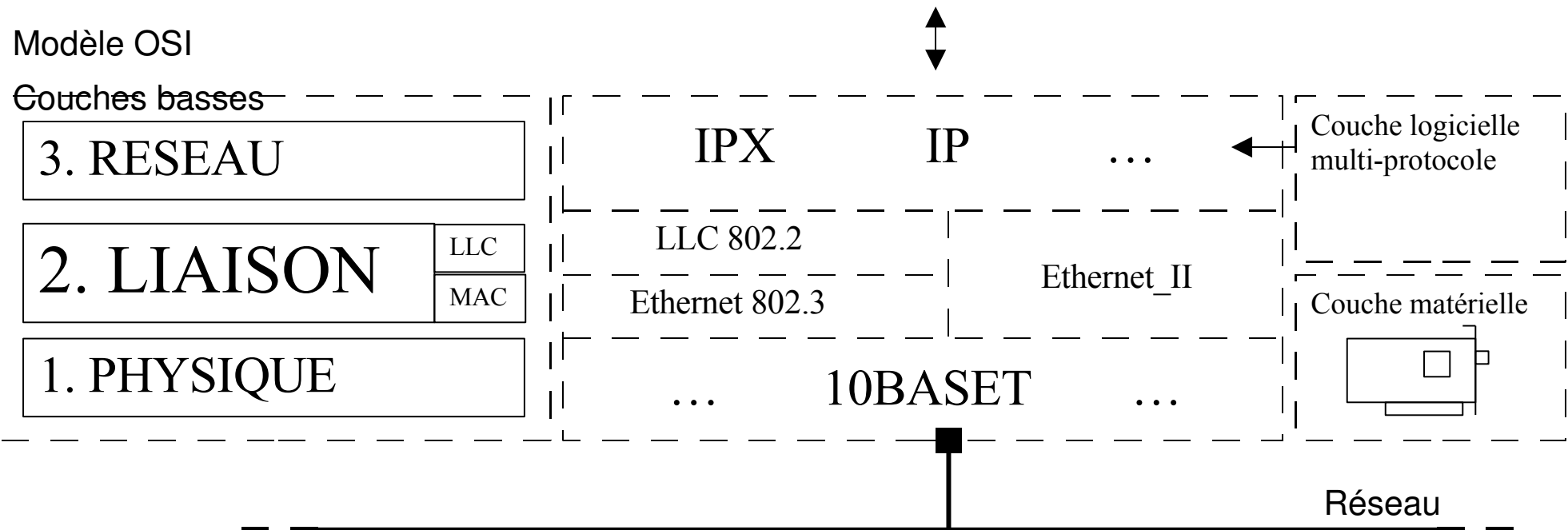
- ❖ Le **préambule**, composé d'une succession de 0 et de 1, assure la synchronisation du récepteur sur la trame émise.
- ❖ Le **délimiteur de trame** permet de trouver le début du champ d'adresses.
- ❖ Une **séquence de contrôle** (*Frame Check Sequence*) calculée suivant un code de redondance cyclique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

Trame Ethernet II



- ❖ Le **type** de protocole de couche supérieure sur 2 octets (Ex: 0800 = IP).
- ❖ Le **MTU** (*Maximal Transfer Unit*) est un paramètre variable (46 à 1500) qui représente la taille maximale d'un paquet que la trame peut transporter. La couche supérieure réalisera une fragmentation si c'est nécessaire.
- ❖ On distingue les deux trames de la manière suivante : si $x \leq 1\,500$ alors trame 802.3 avec LLC (et éventuellement SNAP), sinon si $x > 1\,500$ alors trame Ethernet II

Ethernet et le modèle OSI

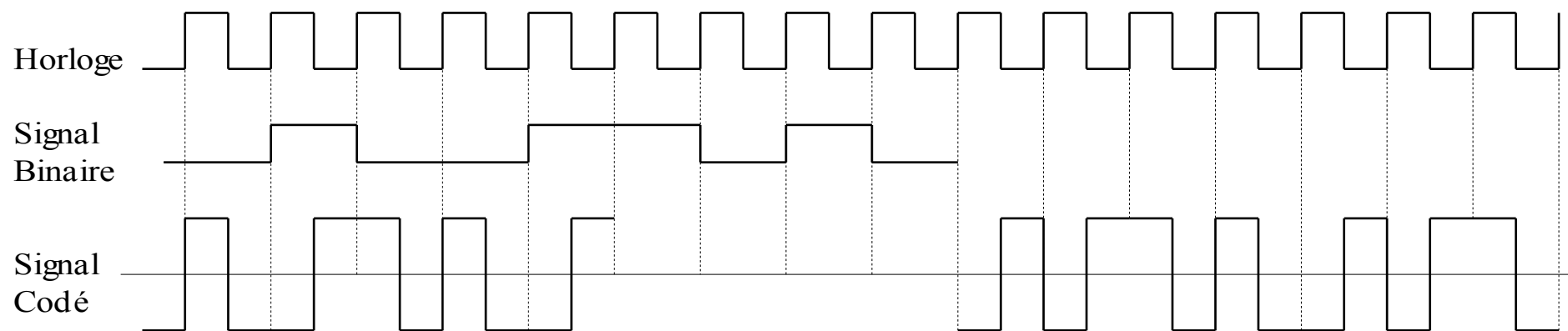


- ❖ La norme Ethernet couvre partiellement la couche 2 du modèle OSI qui est, en fait, découpée en 2 sous-couches :
 - La sous-couche **MAC** (*Medium Access Control*)
 - La sous-couche **LLC** (*Logical Link Control*)
- ❖ La sous-couche MAC d'Ethernet gère l'accès au support et offre un ensemble de services à la sous-couche LLC (*Logical Link Control*).

Couche Physique (niveau 1 du modèle OSI)

- ❖ Les fonctions réalisés, sur le support, par le **transceiver** sont les suivantes :
 - émission et réception de signaux suivant un **codage** (ex : **Manchester**).
 - détection de présence de signaux.
 - détection de collisions
- ❖ Les **codages en bande de base** vont essentiellement avoir pour rôle de diminuer la largeur de bande du signal binaire (moins perturbée), de transposer celle-ci vers des fréquences plus élevées (les moins affaiblies) et d'utiliser les transitions du signal afin d'assurer une transmission synchrone (qui permettront au récepteur de synchroniser sa propre horloge).
- ❖ La détection de collision se fait par écoute du support. Lorsque la tension sur le câble est plus élevée que la tension maximale pouvant être générée par un seul *transceiver*, une collision est détectée (voir oscillogramme).

Codage Manchester (10 MBits/s)



Principe : Une opération XOR (ou exclusif) est réalisée entre l'horloge et les données, d'où une transition systématique au milieu de chaque bit du signal binaire.

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

❖ 100BASET : 4B/5B puis MLT3

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

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

❖ 100BASEFX : 4B/5B puis NRZI

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

❖ Codage 4B/5B :

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

➤ Le code NRZI est défini de la façon suivante :

"0" \Leftrightarrow copie l'état précédent





"1" \Leftrightarrow inverse l'état précédent

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

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

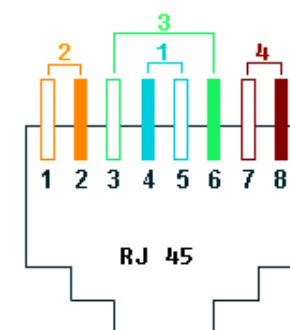
Câblage

- ❖ Le câble catégorie 5 (ou Cat 5) sert de moyen de liaison pour la transmission de données à des fréquences jusqu'à 100 MHz et à des débits ne dépassant pas 100 Mbits/s sur 100m dans le câblage de réseaux informatiques utilisant, à la fois, une topologie en étoile et la technologie Ethernet.
- ❖ La catégorie 5 est composée à la base de deux types de câbles à quatre paires torsadées non blindées d'impédance 100 ohms : le câble UTP (*Unshielded Twisted Pair*) qui est le plus utilisé ou le câble FTP (*Foiled Twisted Pair*) qui est écrané (un feuillard d'aluminium enroulant les quatre paires torsadées). Ces deux types de câblage ont été définis à l'origine par la norme US ANSI/EIA/TIA-568. La prise utilisée est la RJ45.
- ❖ Lors d'un câblage informatique en 10/100 Mbit/s, seules les broches 1-2 (paire émission) et 3-6 (paire réception) sont utilisées pour transmettre les informations. Lors d'un câblage informatique en 1 000 Mbit/s (1 Gbit/s) les 8 broches sont utilisées.
- ❖ Le câble droit est utilisé pour connecter un appareil à un hub ou un switch : PC – hub ou PC – switch. Le câble croisé est utilisé pour connecter deux appareils identiques ensemble : PC - PC ou hub - hub ou switch - switch.
- ❖ Certains équipements réseaux modernes sont cependant capable de faire du MDI/MDI-X, c'est-à-dire du (dé)croisement automatique.
- ❖ EIA/TIA-568 : Norme de câblage de bâtiments pour la télécommunication (utilisé notamment pour les connexions Ethernet). La norme EIA/TIA-568B remplace la norme EIA/TIA-568A désormais obsolète.

T568A			
Couleur	n° paire	n° broche	
 Blanc-vert	1	1	
 Vert	1	2	
 Blanc-orange	2	3	
 Bleu	3	4	
 Blanc-bleu	3	5	
 Orange	2	6	
 Blanc-brun	4	7	
 Brun	4	8	

T568B			
Couleur	n° paire	n° broche	
 Blanc-orange	1	1	
 Orange	1	2	
 Blanc-vert	2	3	
 Bleu	3	4	
 Blanc-bleu	3	5	
 Vert	2	6	
 Blanc-brun	4	7	
 Brun	4	8	

PAIRES



La couche Liaison (sous-couches MAC et LLC)

- ❖ Pour les normes IEEE 802, la sous-couche LLC (IEEE 802.2) est indépendante des trois implantations possibles de la sous-couche MAC qui sont :
 - **CSMA/CD (IEEE 802.3),**
 - Token Bus (IEEE 802.4) et
 - Token Ring (IEEE 802.5).

- ❖ La sous-couche LLC permet notamment **l'aiguillage des données vers la couche supérieure.**

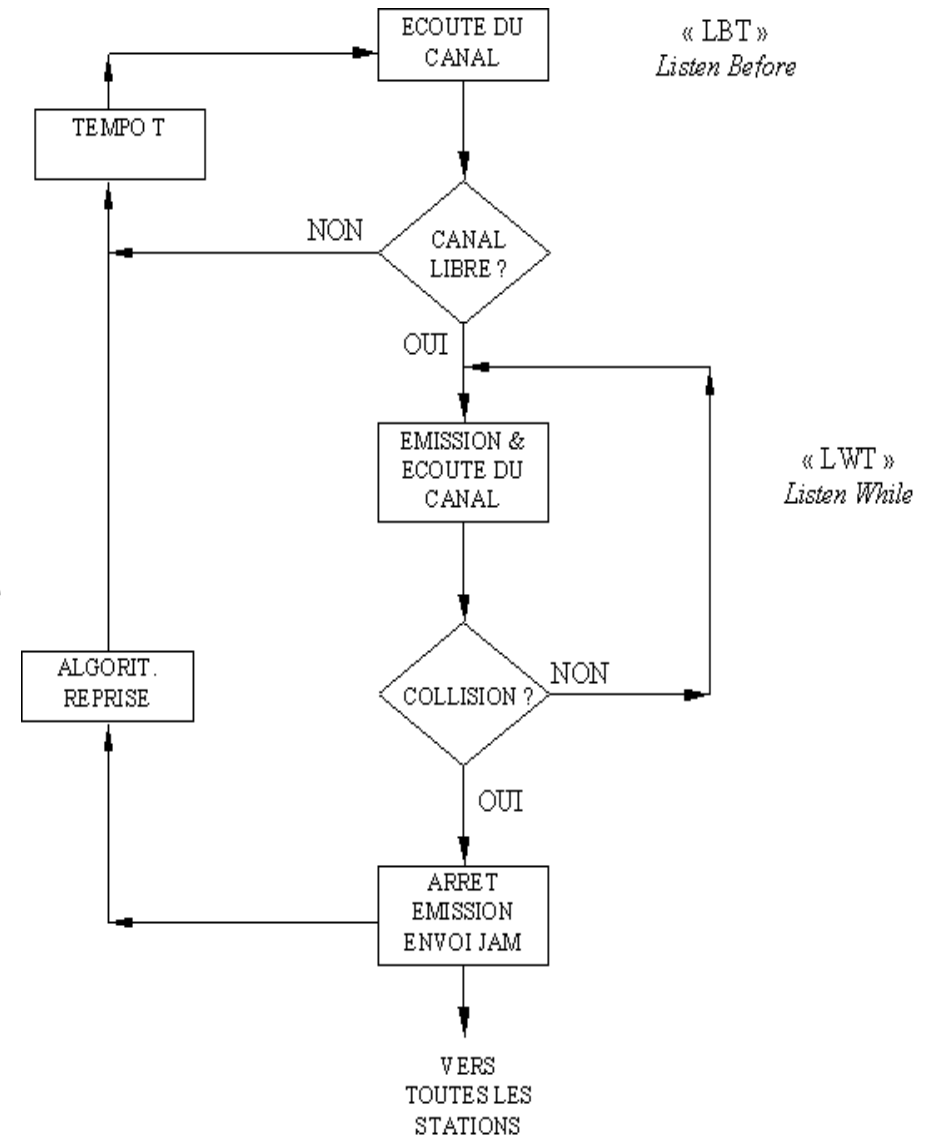
- ❖ Dans le cas d'une trame Ethernet_II, la sous-couche LLC est vide.

Méthode d'accès CSMA/CD

- ❖ La méthode d'accès utilisée sur les réseaux Ethernet est **CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection)**. Sur ce type de réseau, il est possible que 2 ou plusieurs stations détectent le support libre, décident de transmettre en même temps et ce qui provoque une collision : cette situation pose problème. Le réseau Ethernet a décidé de s'en accommoder en mettant en place un mécanisme de détection et reprise de collision (arrêt de la transmission des stations impliquées, attente d'un temps aléatoire et reprise de la procédure normale). Evidemment, on ne peut prévoir la présence et le nombre de collisions qui vont exister sur ce type de réseau. On qualifie ce type de réseau de **probabiliste (non-déterministe)**.

- ❖ *Autres paramètres :*

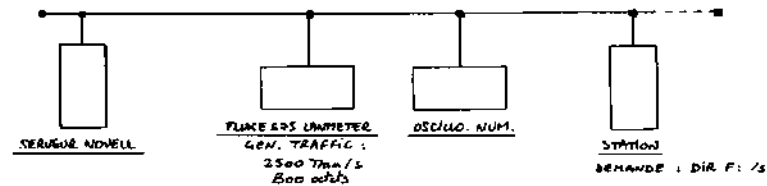
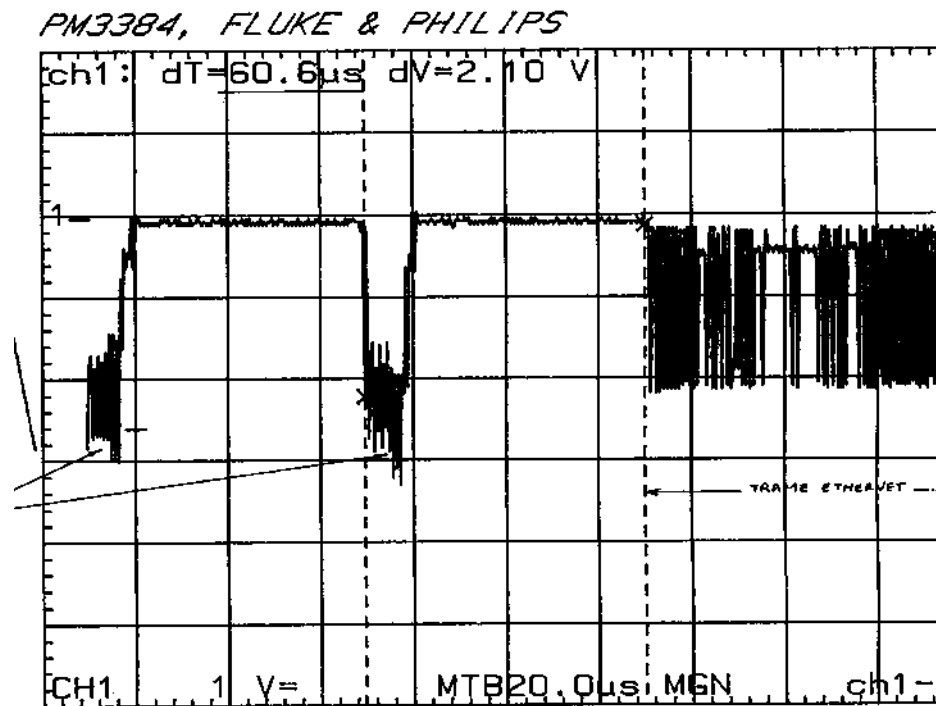
- la taille du **JAM** (signal de renforcement de collision) est fixée à 32 bits-times (contenu quelconque).
- le délai minimum inter-trames (ou **IFS**) est de 9,6 μ s soit 96 bits-times



Round Trip Delay

- ❖ Un paramètre intervient pour la gestion correcte des collisions : la taille du réseau ou plus exactement le ***round trip delay*** (RTD ou Tb).
- ❖ Il correspond au temps nécessaire :
 - à la propagation d'une trame d'un bout à l'autre du réseau (propagation aller) ;
 - à la détection d'une éventuelle collision à l'extrémité du réseau ;
 - à la propagation en retour de l'information de collision (propagation retour) .
- ❖ La valeur théorique maximale du *round trip delay* est de 498.9 bits-times. La norme utilise en fait **512 bits-times** (puissance de 2 supérieure).
- ❖ Le bit-time est l'unité de temps employé par la norme 802.3 et correspond au temps nécessaire à la représentation (émission) d'un bit.
- ❖ Donc pour un réseau à 10 Mbits/s, le *round trip delay* de 512 bits-times donne **51,2 µs**. Dans le cas d'un réseau à 100Mbits/s, le RTD sera alors de **5,12 µs**.
- ❖ **Pour assurer une gestion correcte des collisions, il faut que le temps d'émission d'une trame Ethernet soit supérieur ou égal au *round trip delay*, ce qui définit donc une taille de trame minimum de 64 octets.**

Visualisation des collisions



LLC 802.2

- ❖ Elle offre à la couche réseau (niveau 3 du modèle OSI) trois types de services :
 - le **service sans connexion et sans acquittement, dit de type 1** (ou mode datagramme) : utilisé par Ethernet 802.3.
 - le **service avec connexion, dit de type 2**. Une connexion est établie entre émetteur et récepteur avant tout envoi de données. Les trames sont numérotées afin que LLC puisse garantir que toutes les trames sont arrivées à destination dans le bon ordre. (Token Ring 802.5)
 - un autre service existe, utilisé essentiellement dans les réseaux industriels: le **service sans connexion avec acquittement, dit de type 3** (ou mode datagramme acquitté).

- ❖ Dans tous les cas, LLC réalise un **contrôle de flux**. Ce contrôle permet au récepteur de commander l'envoi des trames issues de l'émetteur, afin d'éviter sa propre saturation.

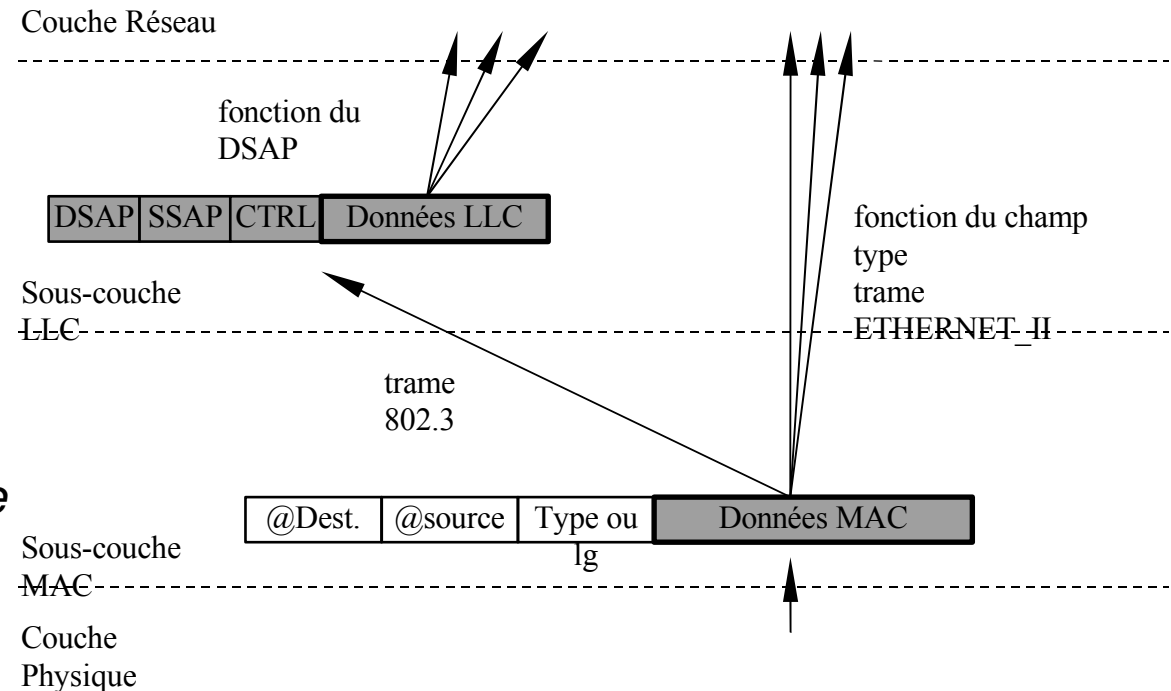
Aiguillage LLC 802.2

Le champ **DSAP** (*Destination Service Access Point*) **8 bits** : permet de désigner le ou les protocoles de niveau supérieur auxquels seront fournies les données de la trame LLC.

Le champ **SSAP** (*Source Service Access Point*) **8 bits** : permet de désigner le protocole qui a émis la trame LLC.

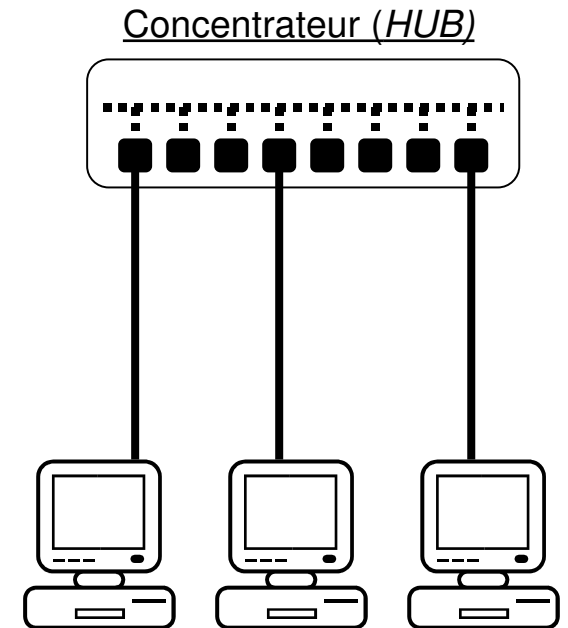
Quelques valeurs de **SAP** :

0x06	IP	Equivalent Ethernet_II : 0x800
0x7E	X25 niveau 3	Equivalent Ethernet_II : 0x805
0xE0	IPX	Equivalent Ethernet_II : 0x8137



Concentrateur (hub) et commutateur (switch)

- ❖ Un concentrateur (hub) est le noeud central d'un réseau informatique. Il s'agit d'un dispositif électronique permettant de créer un réseau informatique local de type Ethernet.
- ❖ Cet appareil permet la connexion de plusieurs équipements sur une même ligne de communication, en régénérant le signal, et en répercutant les données émises par l'un vers tous les autres. C'est donc un simple répéteur de données par opposition au commutateur réseau (switch), qui dirige les données uniquement vers la machine destinataire.
- ❖ Un commutateur réseau (switch) est un équipement qui relie en étoile plusieurs segments (câbles ou fibres) dans un réseau informatique. Il s'agit le plus souvent d'un boîtier disposant de plusieurs ports Ethernet : il a la même apparence qu'un concentrateur (hub).
- ❖ Contrairement à un concentrateur (hub), un commutateur ne se contente pas de reproduire sur tous les ports chaque trame qu'il reçoit. Il sait déterminer sur quel port il doit envoyer une trame, en fonction de l'adresse MAC à laquelle cette trame est destinée. Les commutateurs sont souvent utilisés pour remplacer des concentrateurs :
 - un hub 100 Mbits/s partagera sa bande passante entre chaque port
 - un switch 100 M bits/s permettra de disposer de cette bande passante pour chaque port



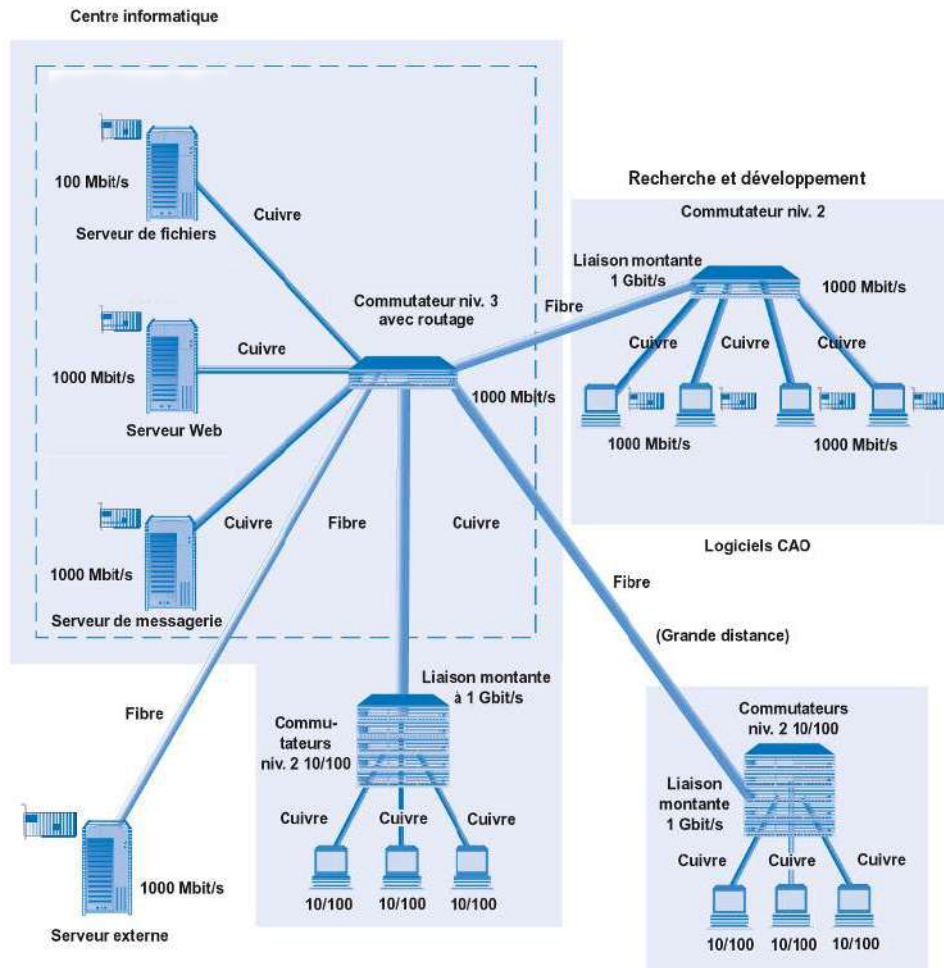
Commutateur (switch)
par son fonctionnement, on lui associe une topologie en **ETOILE**

Virtual LAN

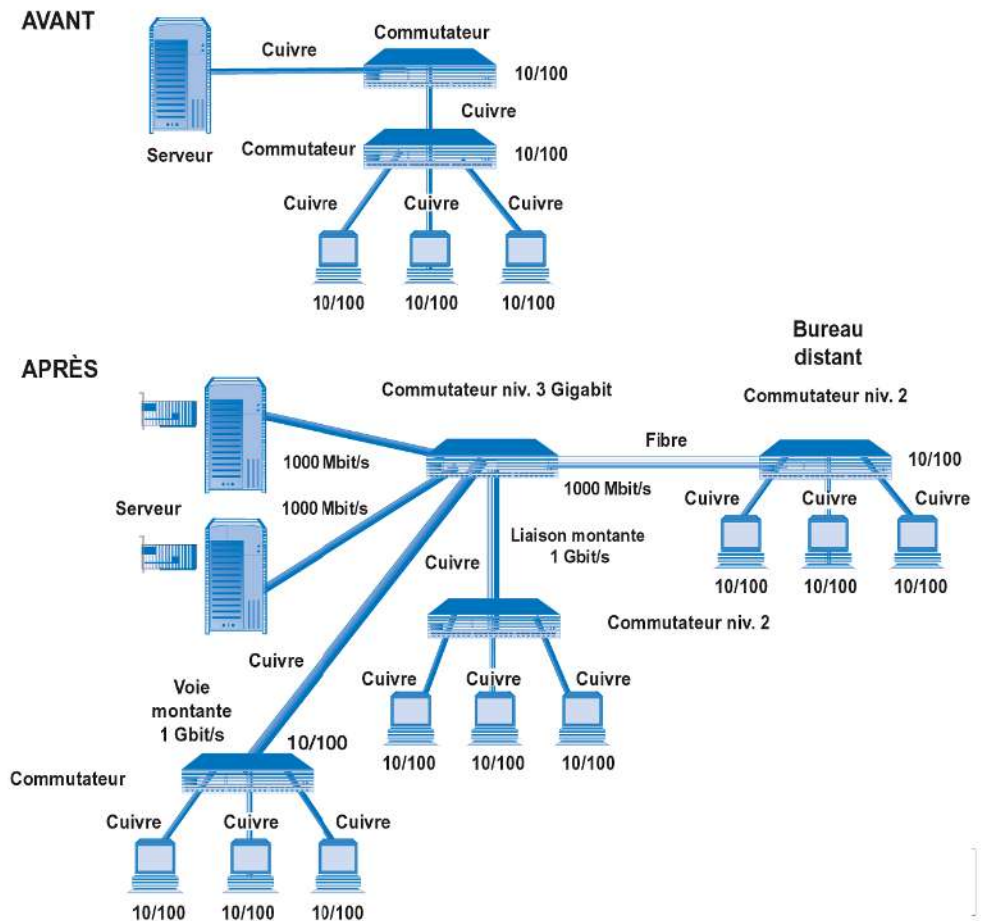
- ❖ Un réseau virtuel, communément appelé VLAN (pour *Virtual LAN*), est un réseau informatique logique indépendant. De nombreux VLAN peuvent coexister sur un même commutateur réseau (*switch*). Les VLAN fonctionnent au niveau de la couche 2 du modèle OSI.
- ❖ Création de VLAN :
 - VLAN par port (*Port-based VLAN*) : on affecte chaque port à un VLAN
 - VLAN par adresse MAC (*MAC address-based VLAN*) : on affecte des adresse MAC à un VLAN et le switch maintient une table @ MAC <-> VLAN.
 - VLAN par adresse de niveau 3 : on affecte une adresse de niveau 3 à un VLAN (le commutateur doit donc accéder à ces informations et cela provoque un fonctionnement moins rapide que les VLAN par port ou par MAC).
- ❖ Intérêt des VLAN :
 - Segmentation : réduire la taille d'un domaine de diffusion (broadcast)
 - Flexibilité : Possibilité de travailler au niveau 2 (couche liaison) (Adresse MAC) ou au niveau 3 (IP). Fonctionnant normalement au niveau de la couche 2 du modèle OSI, un VLAN peut être configuré pour se connecter directement à un réseau IP, ce qui donne l'impression de travailler plutôt au niveau de la couche 3 (commutateur de niveau 3).
 - Sécurité : permettre de créer un ensemble logique isolé pour améliorer la sécurité. Le seul moyen pour communiquer entre des machines appartenant à des VLAN différents est alors de passer par un routeur.

Exemples de réseaux

Déploiement interbâtiment



Entreprise en plein essor



Gigabit Ethernet

- ❖ Gigabit Ethernet respecte les contraintes et objectifs suivants :
 - un débit de 1 Gbit/s
 - conserver le format de trame IEEE 802.3
 - préserver la taille minimum et maximum des trames IEEE 802.3
 - fonctionner en *half-duplex* comme en *full-duplex*
 - conserver une topologie physique en étoile
 - utiliser la méthode d'accès CSMA/CD
 - gérer un domaine de collision dont le diamètre est égal à 200 mètres
 - rester compatible avec versions précédentes FastEthernet (IEEE 802.3u) et Ethernet (IEEE 802.3).

- ❖ Les constructeurs d'équipements Gigabit Ethernet se sont regroupés au sein de la Gigabit Ethernet Alliance (www.Gigabit-ethernet.org).

Les différentes spécifications Gigabit Ethernet

❖ Il existe en fait deux spécifications :

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

❖ Les différentes spécifications :

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

Gestion des collisions pour le Gigabit Ethernet

- ❖ Il n'y a pas de problèmes de collisions en *full-duplex*.
- ❖ Par contre en *half-duplex*, la gestion des collisions est assurée par le protocole CSMA/CD. Or, pour assurer une gestion correcte des collisions, une station doit émettre pendant une durée au moins égale au temps de propagation aller et retour du signal sur toute la longueur du bus (*Round Trip Delay*).
- ❖ Cette contrainte a déterminé la taille minimale de la trame : une trame de **64 octets** correspond à une longueur de bus de **2500 mètres** (à l'origine 5 segments 10BASE5).
- ❖ Cette longueur est aussi qualifiée de **diamètre du domaine de collision**.
- ❖ En augmentant le débit, on diminue le temps d'émission. Par exemple, avec un débit de 100 Mbits/s, le temps d'émission est divisé par 10. Il faut réduire la longueur du bus à 250 mètres. Avec un débit de 1000 Mbits/s, il faudrait réduire encore cette longueur à 25 mètres.

Domaine de collisions pour le Gigabit Ethernet

- ❖ Le groupe de travail du Gigabit Ethernet s'est donc fixé comme objectif d'avoir un diamètre de domaine de collision de 200 mètres. Comme le diamètre est multiplié par un facteur 8, le nombre de bits à émettre doit maintenant être égal à 512 octets (8 x 64) pour pouvoir détecter la collision.
- ❖ Plutôt que d'ajouter des octets de bourrage et de reformater les trames à chaque changement de débit, deux techniques ont été développées :
 - l'extension de porteuse ou *Carrier Extension*
 - le pipelining de transmission ou *Frame Bursting*

Carrier extension

- ❖ La durée d'émission minimale liée à la longueur du domaine de collision est couramment appelée **slot time**. Pour les réseaux Ethernet à 10 et 100 Mbits/s, il est égal à **512 bit-time**.
- ❖ Pour gérer un domaine de collision de 200 mètres avec un débit de 1Gbit/s, il faut augmenter le *slot-time* de 512 *bit-time* bit à **512 byte-time** (facteur de 8).
- ❖ Une extension est donc ajoutée après chaque trame, afin d'atteindre si nécessaire **512 octets**. Cette extension vient se placer après le FCS (*Frame Check Sequence*) ou CRC.
- ❖ La trame Ethernet n'est donc pas modifiée.
- ❖ Lors du passage d'un segment à 1 Gbit/s vers un segment à plus faible débit, le *carrier extension* n'est pas conservé afin de ne pas surcharger inutilement les brins.

