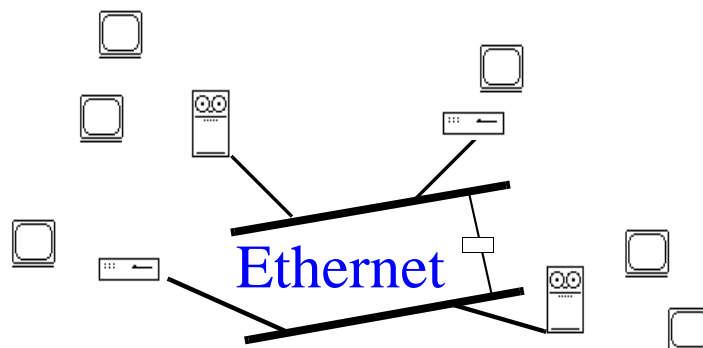


## Le réseau local Ethernet

(Z:\Polys\Reseaux-locaux\2.Ethernet.fm- 4 octobre 2007 11:19)



### PLAN

- Introduction
- La méthode d'accès
- Le protocole
- L'environnement
- Conclusion
- Les futurs Ethernet

### BIBLIOGRAPHIE

- P. Rolin, Réseaux locaux, Hermès, 1999
- L. Toutain, Réseaux locaux et Internet, Hermès, 1998.
- C.E. Spurgeon, Guide pratique des réseaux Ethernet, Vuibert, 1998.
- S. Halabi, Metro Ethernet, Cisco Press, 2003.

# 1. Introduction

## 1.1. Principales caractéristiques

### Ethernet

Développé par Bob Metcalfe (fondateur de 3Com) à partir de 1972.  
 Proposé sous le nom DIX Ethernet par Digital, Intel, Xerox en 1980.  
 Normalisé pour la première fois en 1985 sous la référence : IEEE 802.3.

Topologie : arborescence de “bus” ==> support commun.

Etendue : quelques kilomètres (2!) ... à l’origine ==> réseau local.

Débit : 10 Mbit/s ... à l’origine.

Méthode d’accès :

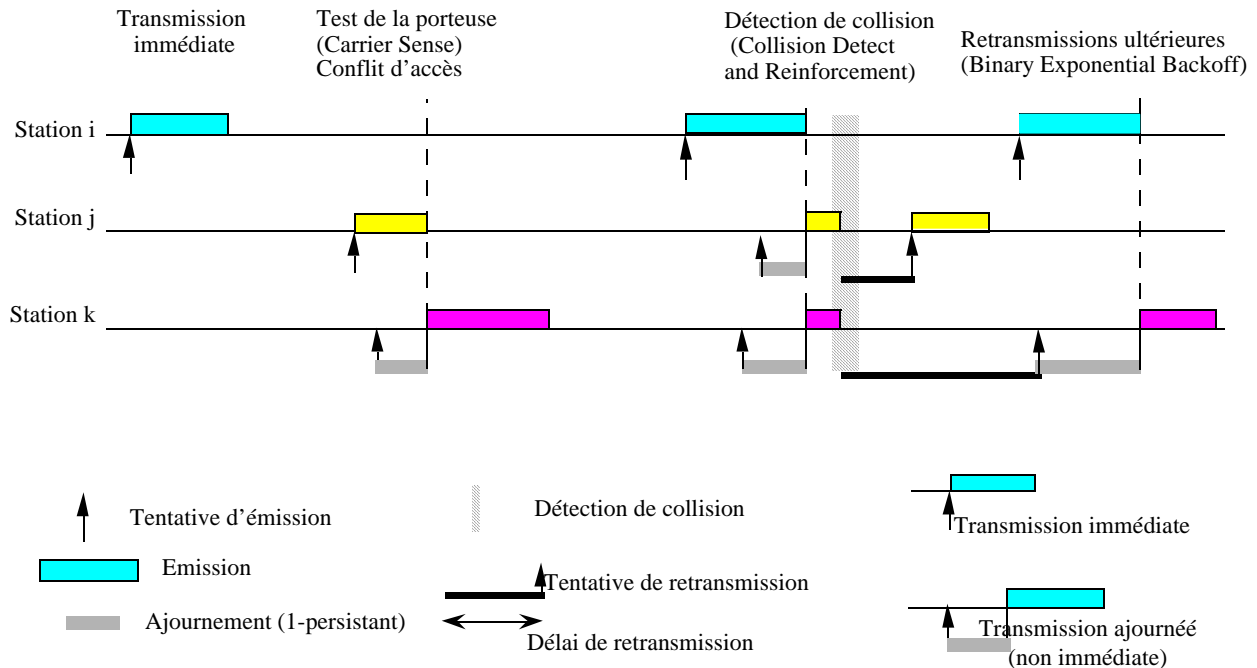
- . CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detect),
- . basée sur les probabilités (non-déterministe), dite aléatoire.

## 1.2. Normalisation

LLC - ISO 8802/2, IEEE 802.2				
MAC				
IEEE 802.3 ISO 8802/3 CSMA/CD Ethernet	IEEE 802.4 ISO 8802/4 Token bus	IEEE 802.5 ISO 8802/5 Token ring	ANSI X3T9.5 Fiber Distributed Data Interface	IEEE 802.6 Distributed Queue Dual Bus

## 2. La méthode d'accès

### 2.1. Le principe



### 2.2. Délai de retransmission

#### BEB : "Binary Exponential Backoff"

Durée du délai de retransmission :  $t = N * T_e$ .

- N entier, choisi aléatoirement selon la loi uniforme dans l'intervalle  $[0, 2^k - 1]$
- $T_e$  : durée de l'intervalle élémentaire de retransmission = 512 bits (ou  $51,2\mu s$  à 10 Mbit/s)

Exponentielle binaire avec

si  $n < NbT_{max}$  alors  $k = \min(n, NbT)$

sinon "Arrêt des tentatives de retransmission"

(la trame n'a pas pu être émise : le réseau est engorgé)

Avec

- n : nombre de tentatives de retransmission succesives.
- $NbT(10)$  : nombre de tentatives de retransmission au-delà duquel l'intervalle cesse de croître.
- $NbT_{max}$  (16) : nombre maximum de tentatives de retransmission.

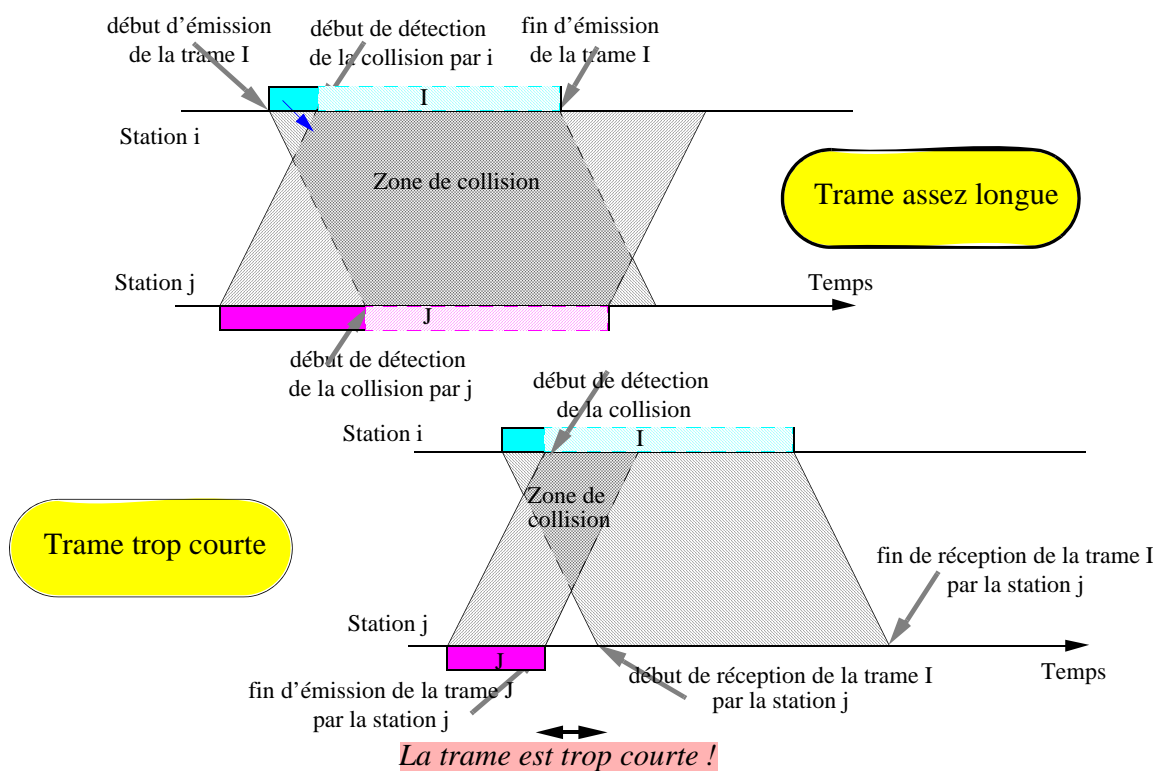
Durée moyenne d'une suite ininterrompue de tentatives de retransmission :

$$\left( \sum_{i=0}^9 2^i + \sum_{i=10}^{15} 2^{10} \right) * \frac{T_e}{2} \approx 7 * 2^{10} * 25,6 \mu s \approx 0,2s$$

Exemple : l'ensemble de valeurs parmi lequel est tirée la 3<sup>ème</sup> tentative de retransmission :

-  $n=3 \implies k=3 \implies t \in \{0, 51.2, 102.4, 153.6, 204.8, 255.0, 307.2, 359.4\} \mu s$

## 2.3. Longueur minimale des trames



## 2.4. Quelques variantes de la méthode d'accès

Gestion des conflits d'accès :

- . totale (par toutes les stations) [CSMA/CD]
- . avec forçage (toutes sauf une) [CSMA/CA] utilise le code bipolaire (1+0=1)
- . résolution par arbre binaire [CSMA/CR]

Ajournement de la tentative d'accès :

- . non-persistent (= collision)
- . 1-persistent [CSMA/CD]
- . p-persistent

Calcul du retard des tentatives de retransmission :

- . fixe
- . aléatoire
  - . à retard moyen fixe
  - . à retard moyen adaptatif
    - . à progression géométrique ou exponentielle [CSMA/CD]
    - . en fonction du nb de collisions [CSMA/CD] ou du n° d'émetteur


### 3. Le protocole


#### 3.1. Le codage

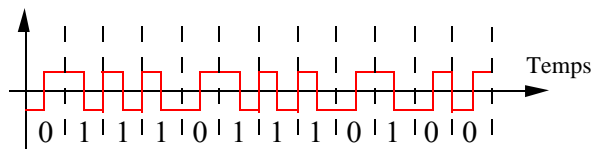
Dépend du support.

Sur support le plus courant ==> Codage **biphase** (ou Manchester) :

- Une transition à chaque période,
- Synchronisation de l'horloge facile,
- Parfaitement équilibré,
- Facile à décoder,
- Dépendant de la polarité ( $\neq$  Manchester différentiel),
- Spectre plutôt large.

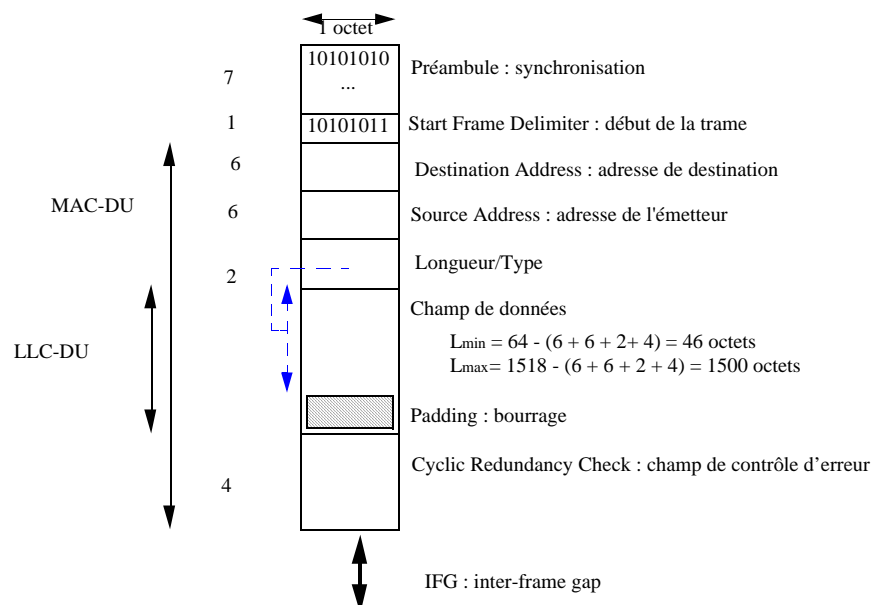
$\Rightarrow d=0$  

$\Rightarrow d=1$  



#### 3.2. La structure des trames

##### 3.2.1 Structure générale de la trame

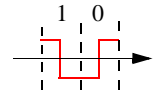


### 3.2.2 Le préambule

7+1 octets :

- 7 premiers octets :

- . suite de couple <1, 0> : signal alterné à une demi fréquence.
- . synchronisation bit : synchronisation de l'horloge du récepteur sur le train de bits reçus.
- . perte de quelques bits en réception : au récepteur, aux répéteurs, ...



- l'octet SFD :

- . deux derniers bits : <1, 1>
- . synchronisation trame : indique le début de la partie utile de la trame.

### 3.2.3 Les adresses Mac

Adresses Mac appelées aussi adresses Ethernet, adresses IEEE 802 :



I/G : adresse individuelle ou de groupe

U/L : adresse universelle ou locale

48 bits

Adresse de groupe :

- identifie un groupe de stations qui recevront toutes une copie de la trame.

Adresse individuelle : identifie une seule station (cf. /etc/ethers).

Adresse universelle : adresse unique mondialement.

- attribuée par le constructeur de la carte :
  - . OUI : identificateur unique d'organisation (3 octets). Exemple :  $080020_{16} = \text{SUN}$ .
  - . + numéro de production de la carte chez ce constructeur (3 octets).

Adresse locale : adresse unique localement.

- . très rarement utilisée.

Adresse réservée :

- . diffusion ("Broadcast") = FF.FF.FF.FF.FF.FF

### 3.2.4 Le champ Type/Longueur

Deux interprétations possibles de ce champ de 2 octets.

**Longueur** de la partie utile du champ de données :

- $0 < \text{valeur} < 1500$ .

**Type** du protocole chargé de décoder le champ de données :

- fonction de multiplexage,
- valeur  $> 1536$ ,
- Exemples de code :  $800_{16} = \text{IP}$ ,  $806_{16} = \text{ARP}$ , etc.

### 3.2.5 Le champ de données

Contient les données :

- émises par la station identifiée par l'adresse d'émission.
- devant être reçues par la (ou les) station(s) identifiée(s) par l'adresse de destination.

Champ de longueur variable.

Longueur minimale : **46 octets**.

- bourrage ("Padding") nécessaire afin d'assurer cette longueur minimale lorsque des données de taille inférieure sont transmises.
- décodage soit à l'aide du champ longueur, soit lorsqu'il n'existe pas par le protocole de niveau supérieur.

Longueur maximale : **1500 octets**.

- segmentation préalable parfois nécessaire.
- facilité de gestion du stockage.
- optimisation de la protection contre les erreurs.

### 3.2.6 Le champ de protection contre les erreurs

Permet de **détecter** les erreurs

Procédé de calcul basé sur les codes cycliques définis par un polynôme générateur :

- $x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$ ,
- sur tous les champs de la trame, hormis le préambule et le SFD.

Pas de récupération d'erreur : pas de retransmission des trames corrompues !

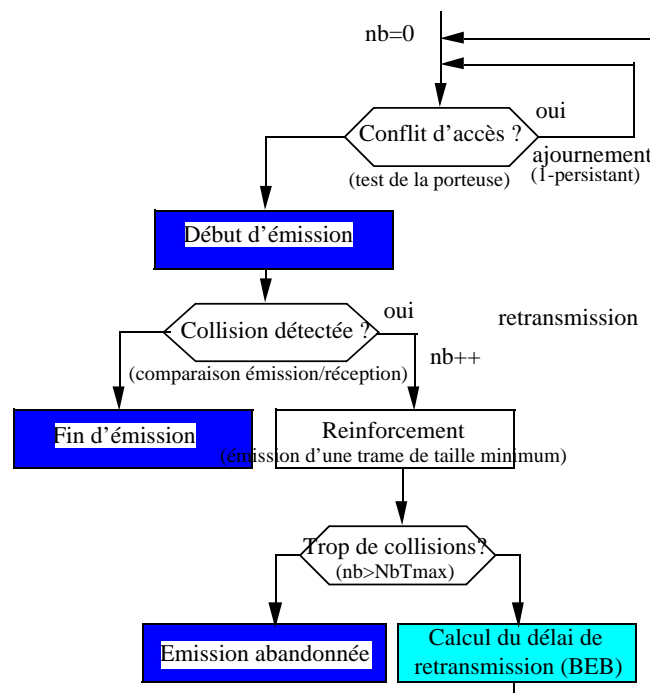
### 3.2.7 L'inter-frame gap

Espace minimal entre deux trames (sans porteuse) : 96 bits.

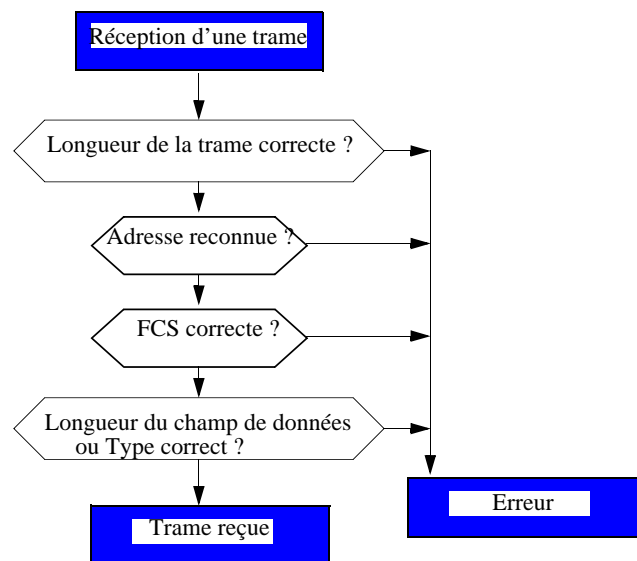
Permet :

- détection de fin de trames :
  - **déduction de la longueur** du champ de données de la trame.
- des bavures (bits fantômes) mais de longueur inférieure à un octet.
- d'avoir le temps de recopier la trame reçue vers la mémoire de la station.

### 3.3. L'algorithme d'émission



### 3.4. L'algorithme de réception



## 4. L'environnement

### 4.1. Les Ethernet

Dénomination	Année	Nom commercial	Nature du support	Remarques
10 Base 5	IEEE 802.3 1982	Ethernet	câble coaxial de bonne qualité	l'ancêtre
1 Base 5	1984	Starlan	paires de qualité téléphonique	première tentative
10 Base 2	IEEE 802.3a 1985	CheapNet, thin Ethernet	cable coaxial fin	plus souple
10 Base T	IEEE 802.3j 1990	TwistedNet	paires de qualité téléphonique	très courant, nécessite l'utilisation de "hubs"
10 Broad 36			cable coaxial	partage de la bande passante par multiplexage fréquentiel
10 Base F	IEEE 802.3j 1990	FiberNet	fibre optique	3 variantes : 10BaseFL (Fiber link) adaptation de FOIRL, 10BaseFB (Fiber backbone) et 10Base FP (Fiber passive)
100 Base T	IEEE 802.3u 1995	Fast Ethernet	f.o. ou p. teleph.	100BaseTx, 100Base Fx, 100BaseT4, 100BaseT2 (IEEE 802.3y, 1997)
1000 Base X	IEEE 802.3z ou 802.3ab.	Giga Ethernet		1000BaseLX, 1000BaseSX, 1000BaseCX

#### Pseudo-Ethernet

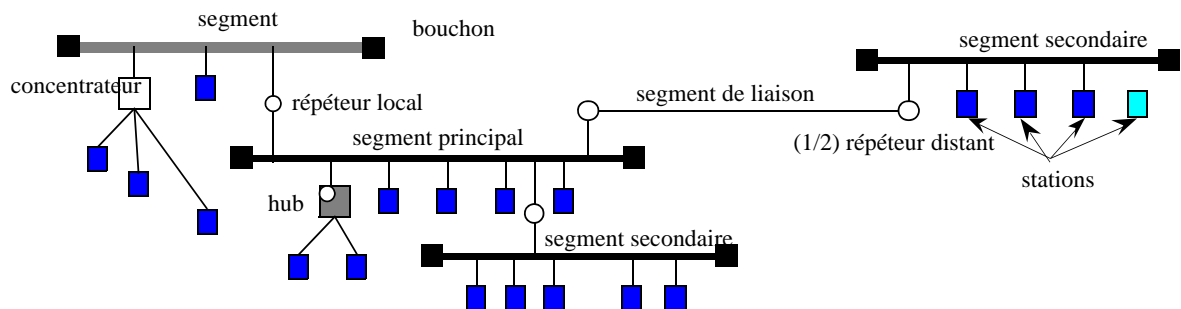
- IsoNet (10 Base M) :
  - . multimédia ! service de transfert de données isochrone par trame périodique (125 µs).
- IVDLAN (IEEE 802.9) ("Integrated video and data LAN") :
  - . 16 Mbit/s = 1 canal P à 10 Mbit/s + 96 canaux B à 64 Kbit/s (de type RNIS).

## 4.2. La configuration d'Ethernet

### 4.2.1 Généralités

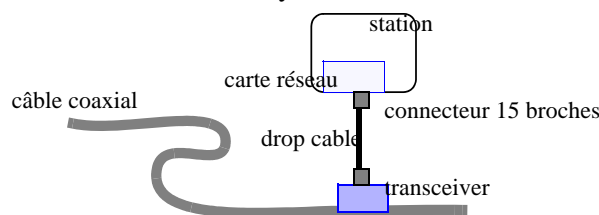
#### Un seul LAN

- un seul domaine de collision.
- composé de plusieurs segments interconnectés par des répéteurs.
- les répéteurs peuvent servir d'adaptateurs entre les différents types d'Ethernet.
- règle (simplifiée) des 5-4-3 : dans la plus grande largeur.
  - au plus 5 segments, au plus 4 répéteurs, au plus 3 segments "peuplés".

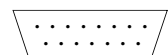


### 4.2.2 La configuration originelle : 10 base 5

- Gros câble coaxial ("yellow cable") :
  - impédance du câble coaxial =  $50 \Omega$
  - rayon de courbure minimum = 25 cm.
- Codage Manchester entre 0 et -2 Volt
  - collision détectée si la tension moyenne est inférieure à -1,5 Volt.

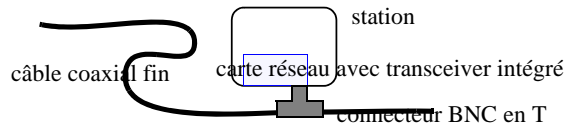


- Une station tous les multiples de 2,5 mètres :
  - minimisation des effets électromagnétiques,
  - marquage spécifique du câble tous les 2,5 m,
  - **concentrateur/multiport/DELNI** ("Digital Ethernet Local Network Interconnection").
- Longueur maximale d'un segment = 500 mètres, 100 transceivers maximum par segment.
- Drop cable de moins de 50 m (AUI) : avec **connecteur à 15 broches**.
- Transceiver externe (MAU) directement sur le câble (prise vampire).



#### 4.2.3 Configuration du 10Base2 (IEEE802.3a 1985)

- Câble coaxial fin : de type RG58, impédance de  $50 \Omega$ ,
- Codage compatible avec 10Base5,
- 30 transceivers par segment, longueur maximum des segment = 185m,



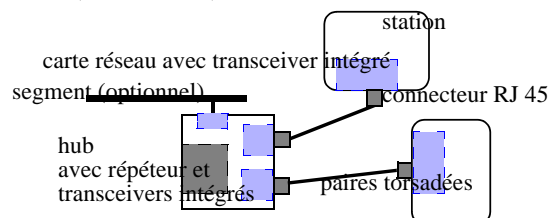
- **Connecteur BNC** (“Bayonet Navy Connector”),
- Utilisation de prise BNC en T pour connecter le câble au transceiver,
- Transceiver externe (AUI avec connecteur à 15 broches), ou interne (pas de drop cable).

Avantages :

- Connexion en parallèle par l’entremise d’un répéteur,
- Installation facilitée.

#### 4.2.4 Configuration 10BaseT

- 2 paires de fils métalliques de catégorie 3 (de TIA/EIA 568) ou encore VG (“Voice grade”), impédance de  $100 \Omega$ ,
- Codage Manchester entre +2.05 Volt et 0 Volt sur un des fils et 0 Volt et -2,05 Volt sur l’autre,
- **Prise RJ45** à 8 broches, parallélépipédique avec clip,
- Longueur maximum des segments : 100 m, 2 transceivers max. par segment (bi-point !),  
 . les “hubs” (répéteurs) sont indispensables,
- Transceiver interne (ou externe).



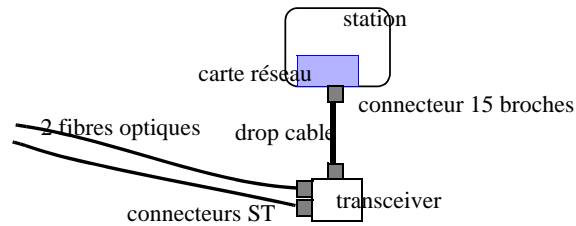
Avantages :

- Auto-isolation, fonctionnement possible en “full-duplex”,
- Moins coûteux, placement en étoile, détection aisée des connexions incorrectes.

#### 4.2.5 Fiber Ethernet : 10 Base FL

Utilisation comme segment de liaison :

- Utilisation de (2) **fibres optiques** multimodes (62,5  $\mu\text{m}$ /125  $\mu\text{m}$ ),  
 . compatible avec les f.o. 50/125, 85/125 ou 100/140.
- Emission avec une longueur d'onde de 859 nm,
- Longueur maximum du segment : 2000 m (FOIRL 1000m seulement),
- 2 transceivers par segment,
- Connecteur ST (norme ISO/IEC BFOC/2.5).



Avantages :

- augmente l'étendue, full-duplex possible.

#### 4.3. Ethernet et les autres protocoles

Les autres protocoles : LLC, SNAP, IP, etc.

Encapsulation et sélection :

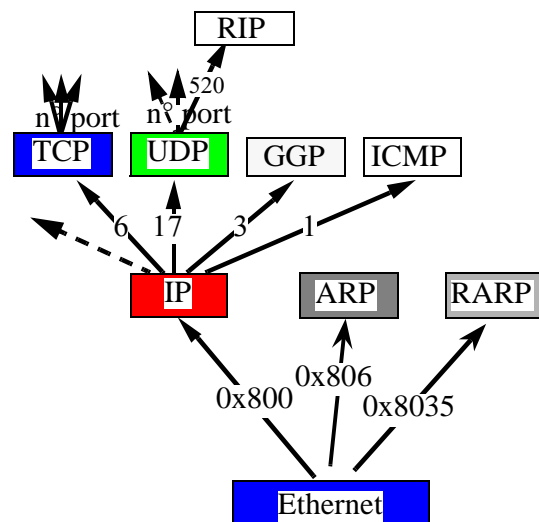
. **Internet** (un ensemble de protocoles) :

- multiprotocoles,
- multiréseaux hétérogènes.

⇒ champ "Protocol" (sélecteur)

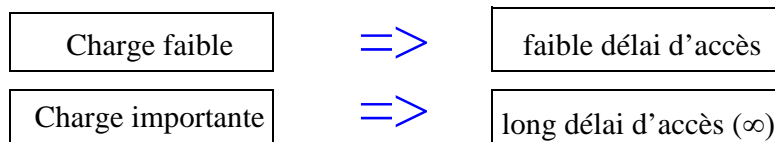
. **Ethernet**

⇒ champ "Type" (sélecteur) :



## 5. Conclusion

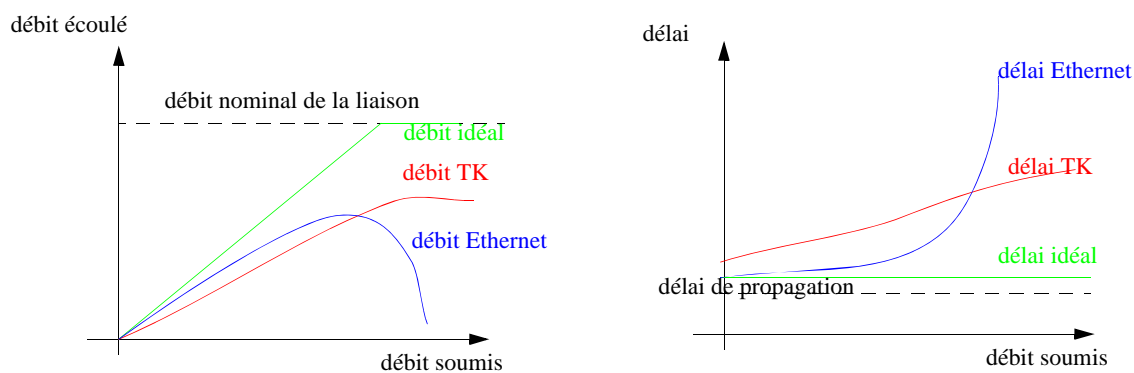
Emission immédiate.  
 Détection d'occupation, ajournement 1-persistent.  
 Détection de collision : retard aléatoire B.E.B.



- ⊕ Simplicité du protocole d'accès, complètement réparti.
- ⊖ Délai de transmission non-déterministe.

### 5.1. Comparaison Ethernet/Token Ring

En débit ou en délai :



Les valeurs réelles dépendent de l'environnement !

## 6. L'avenir d'Ethernet

### 6.1. Présentation de Fast Ethernet

à 100 Mbit/s ! Normalisé en 1995, IEEE 802.3u

Identique à Ethernet :

- même format des trames,
- même quantité de données,
- même mécanisme de contrôle d'accès (le "slot time" = 512 bits),
- même système d'adressage.

4 différents supports de transmission (repris de FDDI) :

- 100Base-TX, 100Base-FX, 100Base-T4, 100Base-T2 (2 paires torsadées cat. 5; 2 fibres optiques; 4 paires torsadées de cat. 3; 2 paires torsadées de cat. 3).

Caractéristiques communes :

- utilisation obligatoire de "hub" : configuration similaire à 10BaseT,
- transceiver interne ou externe,
- "drop cable" muni de connecteurs à 40 broches ("Medium Independent Interface"),
- auto-négociation du débit (10 ou 100 Mbit/s),
- configuration optionnelle en full-duplex (sauf T2).

### 6.2. 100Base-TX

Étendue limitée à 100 m.

2 paires torsadées :

- soit UTP : de catégorie 5 (TIA/EIA 568), non-blindées, d'impédance de 100  $\Omega$ .
- soit STP : blindées, d'impédance de 150  $\Omega$ , employées pour le Token Ring.

Codage 4B/5B (celui de CDDI) :

- une suite de 4 bits est codée par un symbole (5 bits) parmi 32 possibles.
- certains symboles réservés servent à délimiter les trames (symboles J, K, T, R) ou à détecter la présence de porteuse (symbole "Idle").
- vitesse de modulation 125 Mbaud.

puis recodé (modulé) par un code ternaire (MLT-3).

Connecteurs RJ-45.

### 6.3. 100Base-FX

Étendue limitée à 412 m.

2 fibres optiques :

- une en émission, une en réception,
- multimode, de diamètres = 62,5/125  $\mu\text{m}$ , de longueur d'onde 1350 nm.

Codage 4B/5B (celui de FDDI) :

- une suite de 4 bits est codée par un symbole (5 bits) parmi 32 possibles,
- certains symboles réservés servent à délimiter les trames (symboles J, K, T, R) ou à détecter la présence de porteuse (symbole "Idle"),
- vitesse de modulation 125 Mbaud.

Dans le cas de fonctionnement full-duplex, il n'existe plus les contraintes de durée aller et retour :

- en fibre multimode, étendue maximale = 2 km.
- en fibre mono-mode, étendue maximale = 20 km !

### 6.4. 100Base-T4

Étendue limitée à 100 m.

4 paires de fils :

- 2 paires dédiées en transmission unidirectionnelle des données,
- 2 paires utilisées bidirectionnellement à l'alternat.

Utilise un codage 8B/6T

- un octet est codé par 6 symboles ternaires,
- 3 paires sont utilisées circulairement à chaque octet en émission des données,
- vitesse de modulation 25 Mbaud.

Qualité minimale du support :

- de catégorie 3 (TIA/EIA 568), non-blindées, d'impédance de 100  $\Omega$ .

Transmission full-duplex impossible.

Connecteurs RJ-45.

## 6.5. 100Base-T2

Étendue limitée à 100 m.

Normalisé en 1997, IEEE 802.3y

2 paires de fils :

- chaque paire est dédiée à un sens de transmission des données,
- au moins de catégorie 3 (TIA/EIA 568), d'impédance de 100  $\Omega$

Codage sophistiqué :

- par paquet de 4 bits.
- codage PAM5x5.
- suppression des parasites d'intermodulation, formatage d'impulsion, égalisation du signal, etc.

Connecteurs RJ-45.

## 6.6. Pseudo-Ethernet

100 VG AnyLAN (“voice grade”), normalisé par IEEE 802.12.

Technique semi-commutée.

Méthode d'accès : DPAM “Demand priority access method”,

- basée sur la réservation,
- utilisant une organisation hiérarchique de la configuration,
- les priorités garantissent une borne supérieure au délai d'accès (“Target Transmission Time”),
- et permet le pontage multi-protocoles.

## 6.7. Giga-Ethernet

1000 Mbit/s, norme proposée par l'IEEE 802.3z et 802.3 ab.

Si l'on ne modifiait aucun paramètre, l'étendue maximale ne dépasserait pas 20 m :

- Extension de la porteuse pour une durée minimale égale à 512 octets.
  - . permet de détecter les collisions.
  - . performance dégradée si les trames sont courtes.
- Salve de trames :
  - . émission successive de plusieurs trames par la même station.
  - . durée maximale de 24000 bits.

Réutilisation du système "fiber Channel" (ANSI X3.230 - 1994) : codage 8B/10B.

Longueur maximale d'une trame 12000 bits.

Techniques en cours de normalisation :

- 1000BaseLX, 1000Base SX : sur fibre optique, longueur d'onde dite longue (1270-1355 nm) ou courte (770-860 nm), 330 m max.
- 1000Base Cx : sur cuivre, 25 m max.
- 1000BaseT : sur paires torsadées, 100 m max.

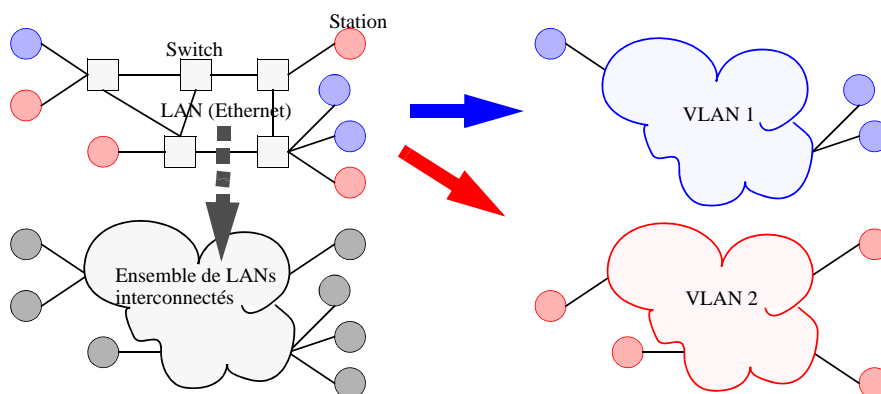
## 7. VLAN

### 7.1. Introduction

#### 7.1.1 Définition

Un réseau virtuel (VLAN) est un réseau informatique logique permettant de partitionner arbitrairement un LAN (ou en ensemble de LAN interconnectés par des ponts).

#### 7.1.2 Architecture



### 7.1.3 Propriétés

Sécurité/isolation :

- seules les stations appartenant **un même VLAN** peuvent communiquer

Flexibilité :

- les stations devant communiquer peuvent être dispersées n'importe où

Communication inter VLAN :

- Pour communiquer les stations appartenant à des **VLAN différents** doivent utilisés **un routeur !**

nota : Un "VLAN trunk" est un lien qui supporte plusieurs VLAN.

### 7.2. Appartenance à un VLAN

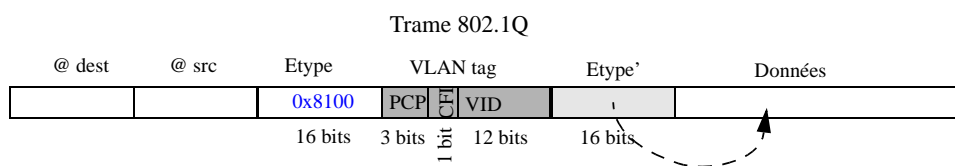
Un paquet appartient à un VLAN ("VLAN classification of packet")

- Lorsqu'il est tagé (IEEE 802.1q)
  - . s'il contient l'**identificateur du VLAN (c'est explicite)**
- Lorsqu'il n'est pas tagé
  - . s'il circule sur un lien associé à un **certain port** du switch
  - . si son entête de niveau 2 contient (ou pas) certaines informations  
adresse MAC source ou destination, type de protocole,
  - . si son entête de niveau 3 ou + contient (ou pas) certaines informations  
adresse IP source ou destination, type de protocole, numéro de port source ou destination, etc.
  - . une combinaison quelconque des conditions ci-dessus et parfois avec des contraintes horaires, etc.

Un paquet peut être tagé

- Lorsqu'il **arrive à un switch** en fonction du port et/ou de ses entêtes
- Par une station en fonction de l'application émettrice
  - . rare car le driver de la station et l'application doivent être compatibles avec 802.1q

## 7.3. Format des trame 802.1Q



Etype :

- 0x8100 = trame au format 802.1q

PCP : "Priority Code Point"

- Huit niveaux de priorités
- L'utilisation de ces priorités n'est pas complètement définie par la norme
- Dépend des techniques d'ordonnement des switches et de l'administrateur du réseau

CFI : "Canonical format identifier"

- Pour Ethernet, indique si l'entête 802.1q est suivie par un "Source routing info. field"

VID : "VLAN Identifier"

- Identifie explicitement le numéro du VLAN auquel appartient la trame