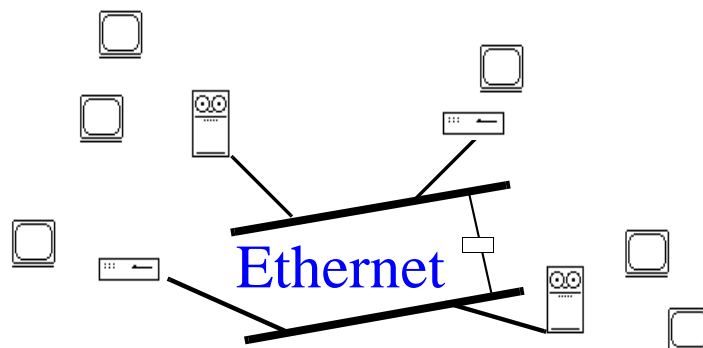


Le réseau local Ethernet

(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 :

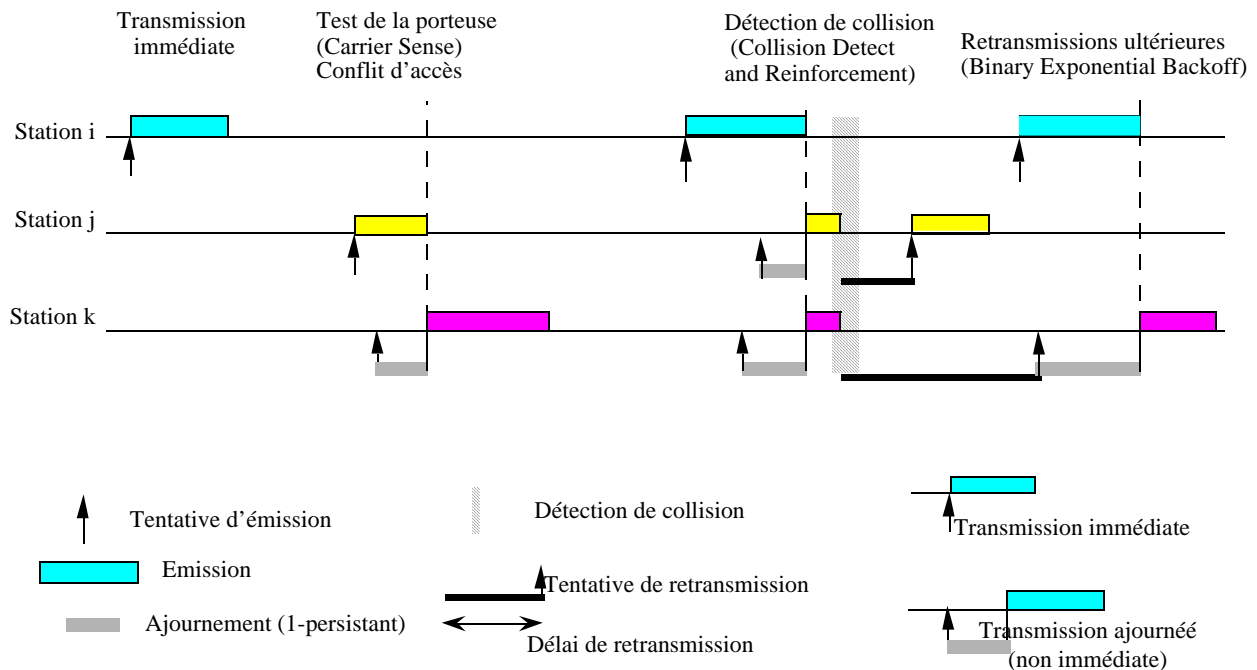
- . CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detect),
- . basée sur les probabilités (non-déterministe), dite aléatoire.

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.

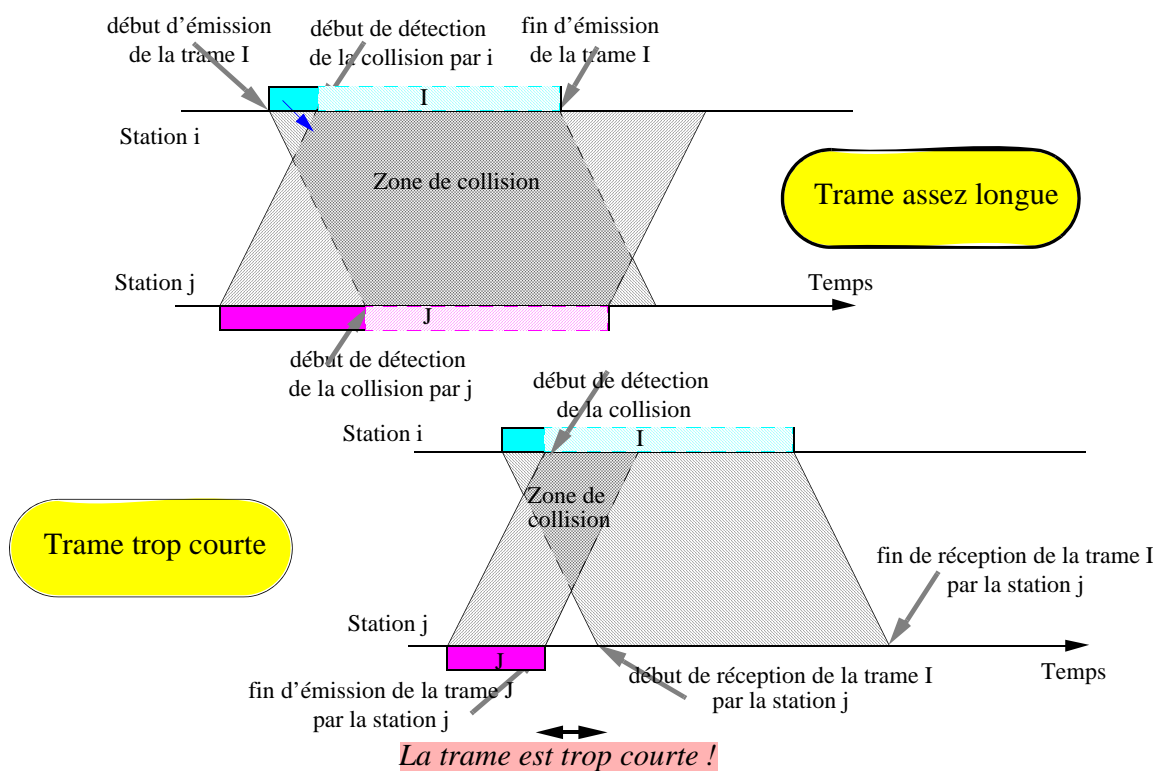
Durée moyenne d'une suite ininterrompue de tentatives de retransmission :

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

Exemple : l'ensemble de valeurs parmi lequel est tirée la 3^{ème} 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

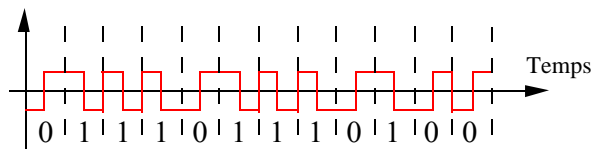
Dépend du support.

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.

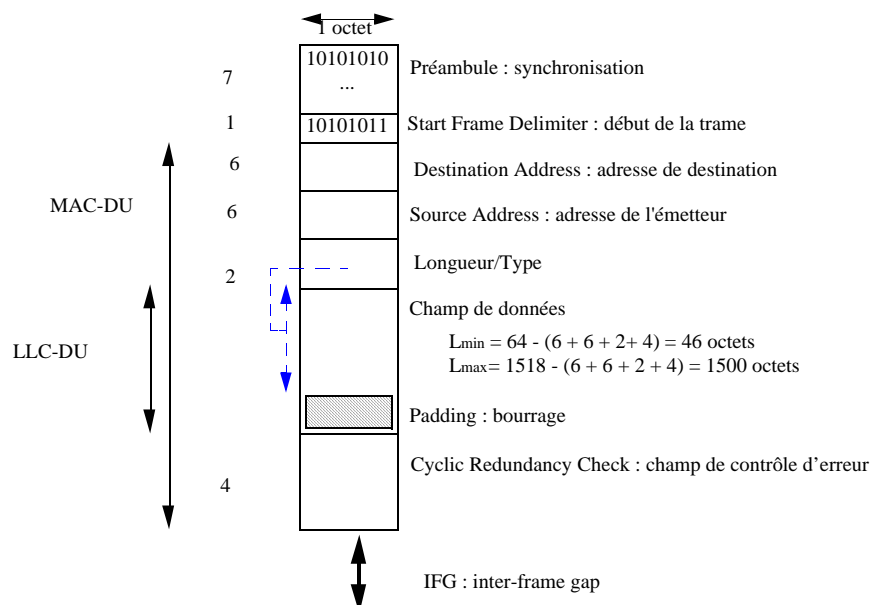
$\Rightarrow d=0$ 

$\Rightarrow d=1$ 



3.2. La structure des trames

3.2.1 Structure générale de la trame

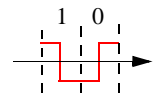


3.2.2 Le préambule

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, ...

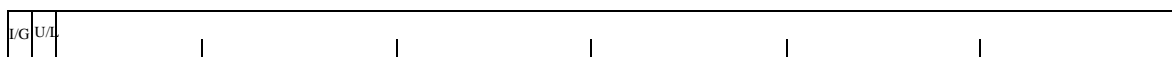


- l'octet SFD :

- . 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 !

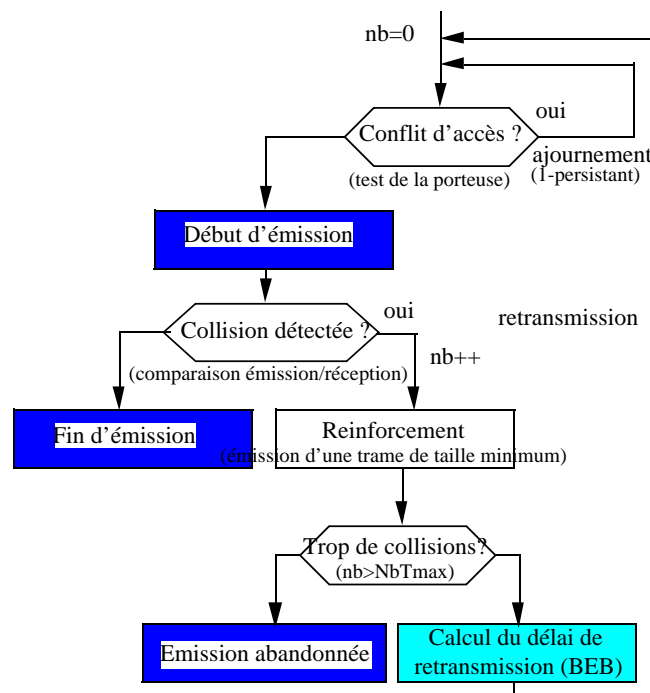
3.2.7 L'inter-frame gap

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

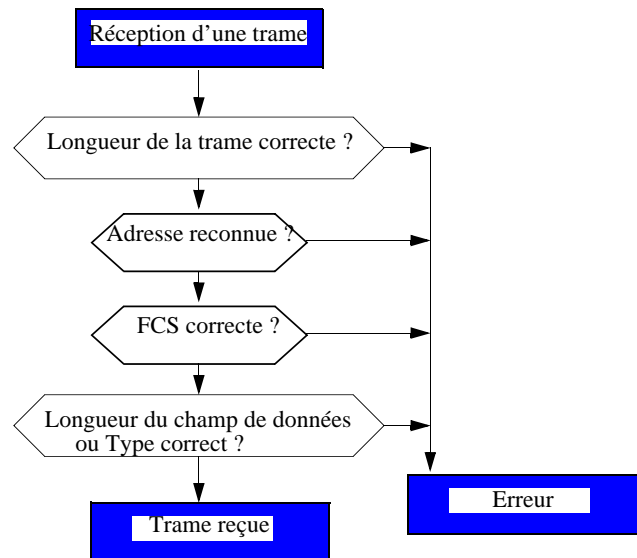
Permet :

- 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

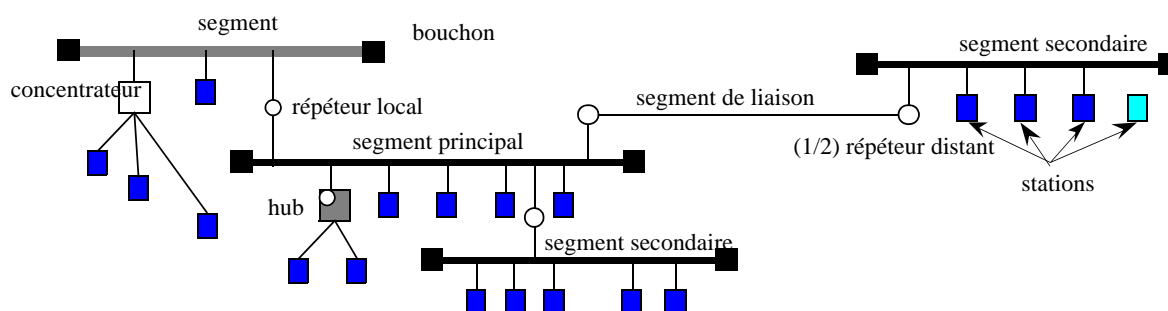
- IsoNet (10 Base M) :
 - . multimédia ! service de transfert de données isochrone par trame périodique (125 µs).
- IVDLAN (IEEE 802.9) ("Integrated video and data LAN") :
 - . 16 Mbit/s = 1 canal P à 10 Mbit/s + 96 canaux B à 64 Kbit/s (de type RNIS).

4.2. La configuration d'Ethernet

4.2.1 Généralités

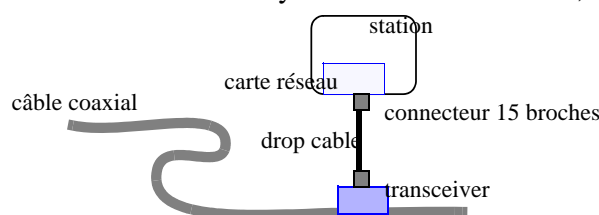
Un seul LAN

- 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".

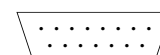


4.2.2 La configuration originelle : 10 base 5

- Gros câble coaxial ("yellow cable") :
 - impédance du câble coaxial = 50Ω
 - 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.

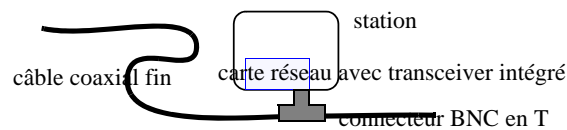


- Une station tous les multiples de 2,5 mètres :
 - minimisation des effets électromagnétiques,
 - marquage spécifique du câble tous les 2,5 m,
 - **concentrateur**/multiport/DELNI ("Digital Ethernet Local Network Interconnection").
- Longueur maximale d'un segment = 500 mètres, 100 transceivers maximum 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 50Ω ,
- Codage compatible avec 10Base5,
- 30 transceivers par segment, longueur maximum des segment = 185m,



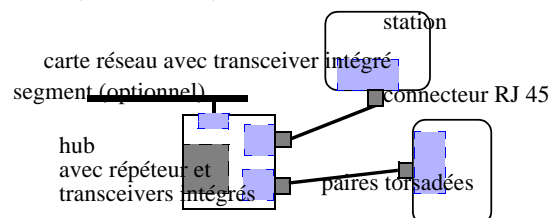
- **Connecteur BNC** (“Bayonet Navy Connector”),
- Utilisation de prise BNC en T pour connecter le câble au transceiver,
- Transceiver externe (AUI avec connecteur à 15 broches), ou interne (pas de drop cable).

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 100Ω ,
- 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).



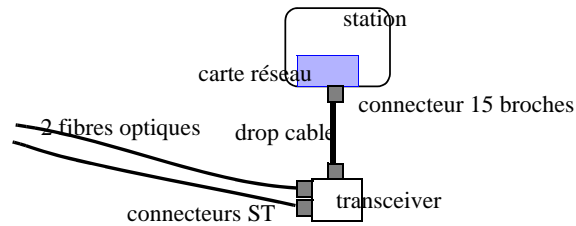
Avantages :

- 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 μm /125 μm),
 . 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 :

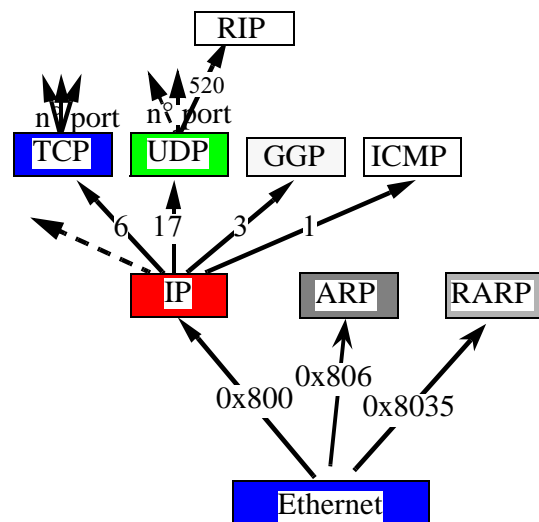
. **Internet** (un ensemble de protocoles) :

- multiprotocoles,
- multiréseaux hétérogènes.

⇒ champ "Protocol" (sélecteur)

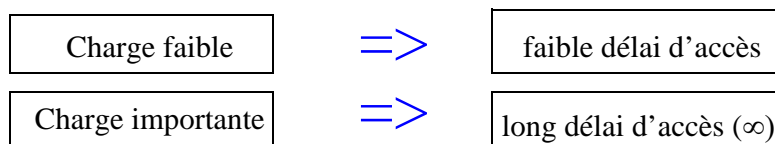
. **Ethernet**

⇒ champ "Type" (sélecteur) :



5. Conclusion

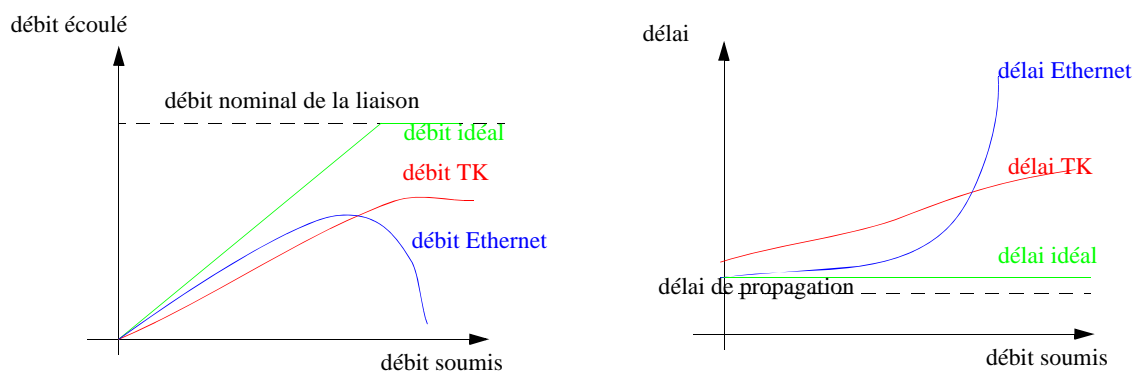
Emission immédiate.
 Détection d'occupation, ajournement 1-persistent.
 Détection de collision : retard aléatoire B.E.B.



- ⊕ 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 Ω .
- soit STP : blindées, d'impédance de 150 Ω , 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 μm , 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 Ω .

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 Ω

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.

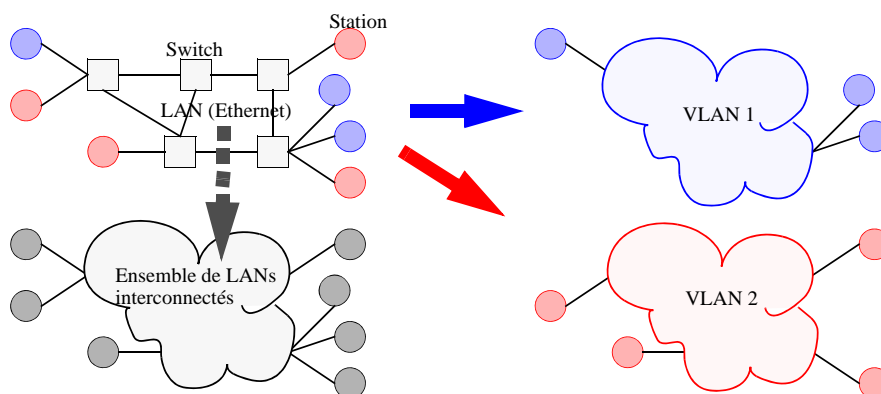
7. VLAN

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

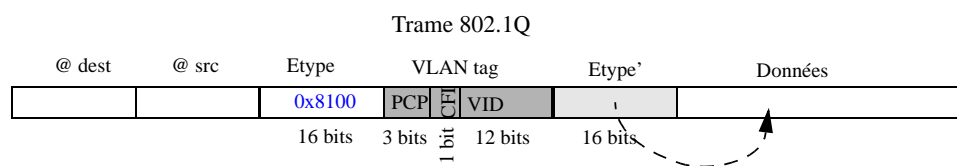
Un paquet appartient à un VLAN ("VLAN classification of packet")

- 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