

Réseaux locaux

Marceau Coupechoux
Département Informatique et Réseaux
Réseaux, Mobilité et Services

Objectifs

- Introduire la problématique de l'accès partagé
- Comprendre le fonctionnement du CSMA-CD
- Maîtriser la classification des différents équipements Ethernet
- Comprendre le fonctionnement de la commutation Ethernet

2

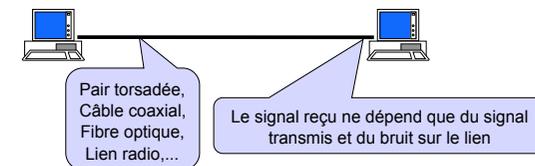
Sommaire

- Introduction : la problématique de l'accès partagé
- ALOHA et ALOHA discrétisé
- CSMA et CSMA-CD
- Ethernet
- Contrôle de liaison logique (LLC)
- Interconnexion des réseaux locaux
- Fast Ethernet
- Gigabit Ethernet
- Token Ring
- Conclusion

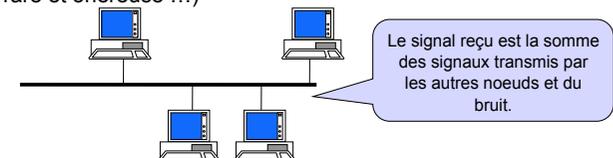
3

I. Introduction : la problématique de l'accès partagé

Les protocoles de liaison de données tels que le LAP-B fonctionnent sur des liaisons point à point (i.e. il n'y a pas de communication point à multipoint)



D'un point de vue économique, il peut être intéressant de partager un même support physique/logique entre plusieurs terminaux (surtout quand la ressource est rare et onéreuse ...)



4

I. Introduction : la problématique de l'accès partagé



Quelques définitions et hypothèses :

Canal partagé : c'est le medium (câble ou fréquence) qui transporte les informations de toutes les stations. Ce medium est en diffusion : une transmission est reçue par toutes les stations.

Collision : si deux transmissions ont lieu simultanément sur le canal partagé, le signal résultant ne peut être décodé, il y a collision.



Sous-couche MAC : c'est l'ensemble des règles qui permettent de partager le medium entre les stations, i.e. d'allouer les ressources entre les noeuds.

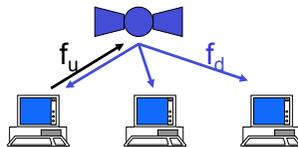


I. Introduction : la problématique de l'accès partagé

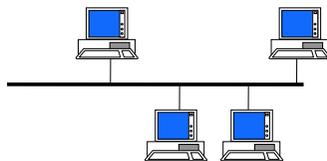


Exemples de canaux partagés :

Satellite :



Bus :

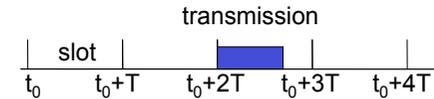


I. Introduction : la problématique de l'accès partagé



Transmission asynchrone: les transmissions peuvent débuter à n'importe quel instant.

Transmission synchrone : le temps est divisé en intervalles de temps égaux. Une transmission ne peut débuter qu'en début de slot. Un slot peut contenir aucune, une ou plusieurs trames (collision).



Ecoute de canal : les stations sont capables d'écouter/sonder le canal, i.e. de savoir si le medium est occupé (*busy*) ou pas.

Les stations fixes sont généralement capables d'écouter et de transmettre *simultanément* et donc de détecter des collisions.

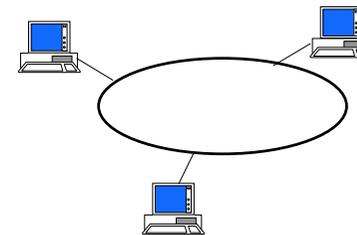
Les stations radio ne sont généralement pas capables d'écouter et de transmettre simultanément.

Inspiré de [2]

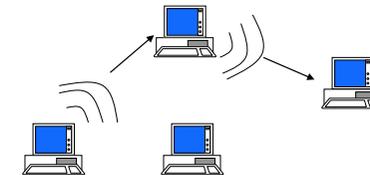
I. Introduction : la problématique de l'accès partagé



Anneau :



Réseau radio :



I. Introduction : la problématique de l'accès partagé



Plusieurs stratégies existent pour régenter l'accès à un médium de transmission partagée.

On peut les classer en deux grandes familles :

- Méthodes d'accès **déterministe** qui évitent les collisions
 - Statiques : la bande est partagée entre les utilisateurs de manière statique (e.g. en temps : TDMA, en fréquence : FDMA).
 - Dynamiques : l'allocation est fonction du trafic et du nombre de stations (e.g. l'anneau à jeton)
- Méthodes d'accès **aléatoire** qui ne peuvent éviter les collisions (CSMA-CD, CSMA-CR, CSMA-CA, Aloha, Aloha slotté, ...)

9

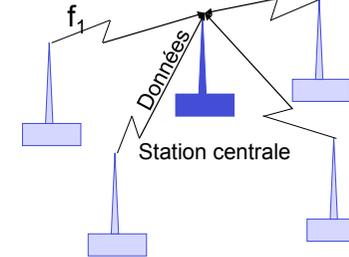
II. ALOHA et ALOHA discrétisé



A. ALOHA

En 1970, les chercheurs de l'université de Hawaii ont imaginé une méthode simple d'accès au canal partagé. Le protocole ALOHA a été conçu pour des transmissions radio terrestres mais peut s'appliquer à d'autres types de supports.

Principe : N stations envoient des données à une station centrale par ondes radio. Une station est autorisée à émettre dès qu'elle a un paquet à envoyer.



10

II. ALOHA et ALOHA discrétisé



A. ALOHA

Protocole (cf. cours de Maurice Gagnaire) :

- Une station peut **émettre** sur la fréquence f_1 dès qu'elle a un paquet. Les paquets émis sont de taille fixe.
- Il y a risque de **collision** si plusieurs paquets arrivent simultanément à la station centrale.
- Tout paquet émis et correctement reçu par la station centrale doit être **explicitement acquitté**. La station centrale envoie ses acquittements sur une fréquence f_2 .
- Il y a deux causes de **pertes de paquets** : une collision ou le bruit du canal. Dans les deux cas, le récepteur ignore le paquet reçu.
- Afin de savoir si son paquet a été correctement reçu, un émetteur attend pendant un aller-retour un acquittement.
- Si aucun acquittement n'est reçu pendant ce délai, l'émetteur **ré-emet son paquet** au bout d'un **délai aléatoire**. Au delà d'un certain nombre de retransmissions, le paquet est jeté.

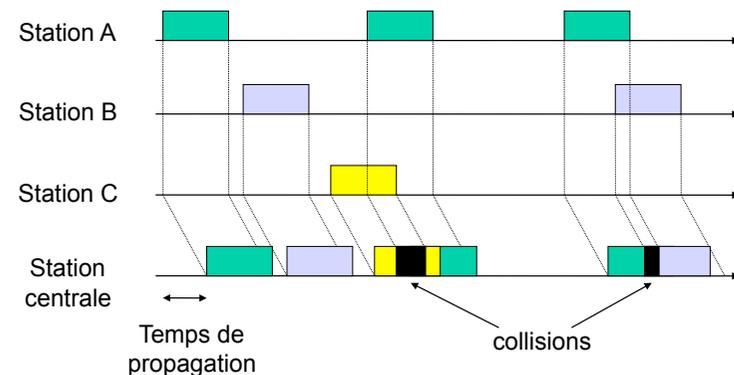
11

II. ALOHA et ALOHA discrétisé



A. ALOHA

Exemple :



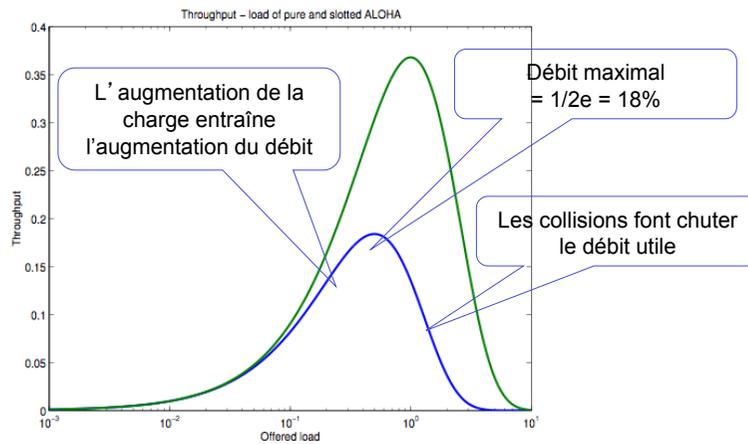
12

II. ALOHA et ALOHA discrétisé

A. ALOHA



Performance :



13

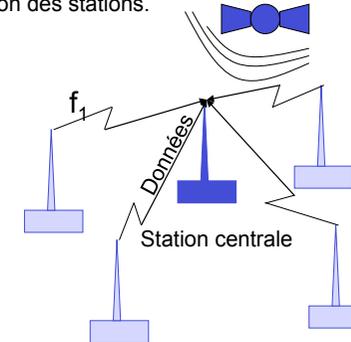
II. ALOHA et ALOHA discrétisé

B. ALOHA discrétisé



En 1972, une méthode a été publiée permettant de doubler le débit d'ALOHA.

Principe : le temps est divisé en intervalles de temps égaux correspondant à la durée de transmission d'une trame. Une transmission ne peut débuter qu'en début de slot. Une station spéciale est chargée d'émettre un signal permettant la synchronisation des stations.



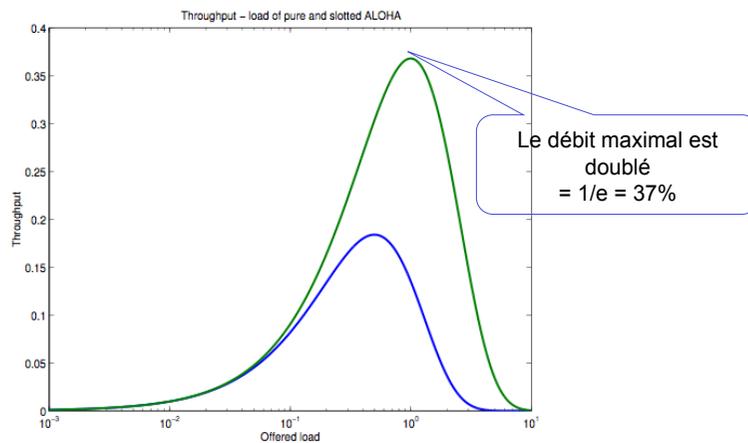
14

II. ALOHA et ALOHA discrétisé

B. ALOHA discrétisé



Performance :



15

II. ALOHA et ALOHA discrétisé

C. Quelques critères de performance d'un protocole MAC



Débit normalisé : proportion du temps pendant laquelle le canal est utilisé pour une transmission réussie (*goodput*).

Délai : temps entre la génération d'un paquet par l'émetteur et sa réception avec succès à destination (peut comprendre le délai dans la file d'attente, le délai d'accès, la transmission, la propagation, les éventuelles retransmissions).

Stabilité : le protocole est stable si le débit ne tend pas vers 0 lorsque la charge augmente indéfiniment. ALOHA et ALOHA slotté ne sont pas stables.

Équité : le protocole est équitable si toutes les stations reçoivent en moyenne la même quantité de ressources pour un même trafic.

16

III. CSMA et CSMA-CD

A. Principe



L'écoute de canal permet d'augmenter le débit. Avec les protocoles à **détection de porteuse** (*Carrier Sense Multiple Access, CSMA*), les stations adaptent leur comportement à l'activité du canal :

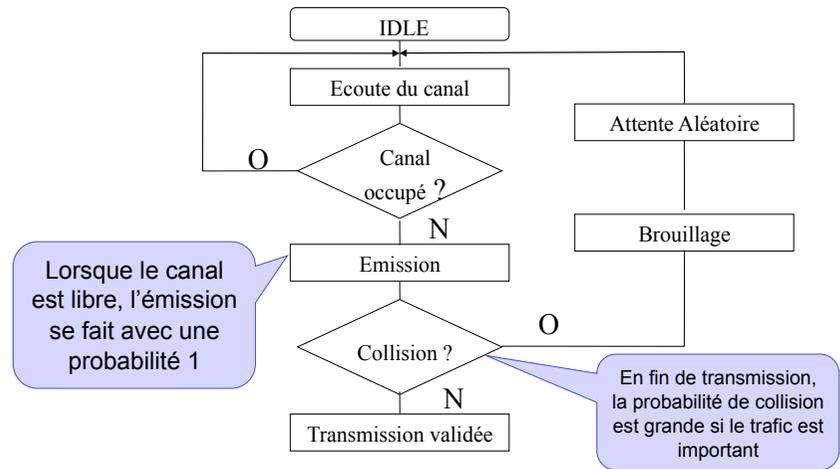
- Si le canal est occupé (*busy*), il ne faut pas émettre,
- Si le canal est libre (*idle*), il est raisonnable de pouvoir transmettre.

• Quelques protocoles de la famille CSMA :

- CSMA 1-persistent
- CSMA non-persistent
- CSMA p-persistent
- CSMA avec détection de collision (CSMA-CD)

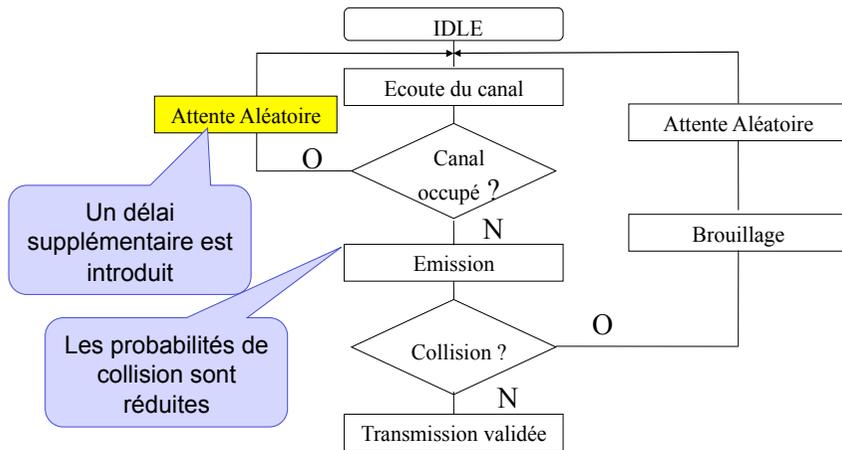
III. CSMA et CSMA-CD

B. CSMA 1-persistent



III. CSMA et CSMA-CD

C. CSMA non persistant

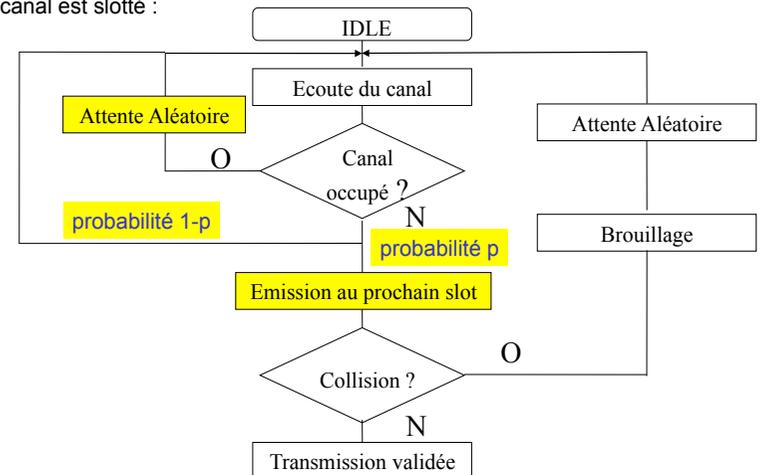


III. CSMA et CSMA-CD

D. CSMA p-persistent



Le canal est sloté :



III. CSMA et CSMA-CD

D. CSMA p-persistent



Comment choisir p ?

Si p est petit :

- Les stations attendent longtemps avant de transmettre,
- Mais la probabilité de collision est faible (peu de retransmissions).

Si en moyenne n stations ont simultanément au moins un paquet à envoyer, le nombre moyen de stations qui émettent sur un slot libre est np :

- Si $np > 1$, la probabilité de collision est forte,
- On doit donc choisir au plus p tel que $p < 1/n$.

Plus le nombre de stations est important, plus faible doit être p et donc plus important est le délai d'accès.

21

III. CSMA et CSMA-CD

D. CSMA-CD avec backoff exponentiel binaire



Détection de collision :

- les stations ont la possibilité de transmettre et de sonder le canal *simultanément*.
- Une collision est détectée lorsque signaux transmis et reçus diffèrent ou lorsque l'amplitude du signal dépasse un certain seuil.
- Lorsqu'une collision est détectée, la transmission en cours est *immédiatement* interrompue.
- Le temps de résolution des collisions s'en trouve réduit.

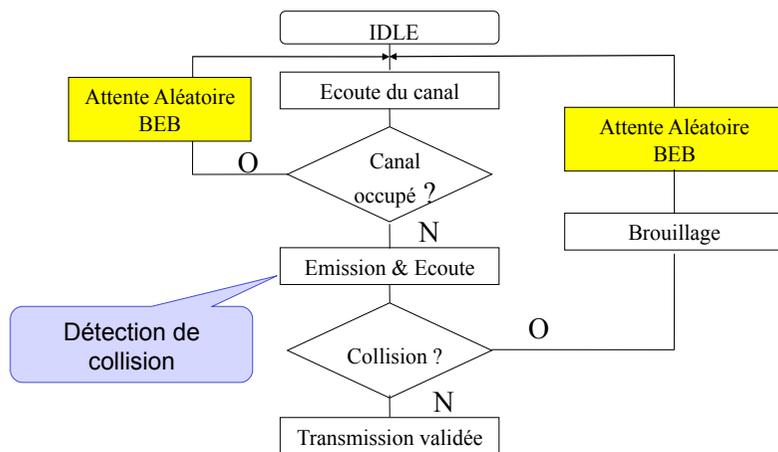
Choix de la période d'attente aléatoire :

- La durée moyenne devrait dépendre du volume de trafic et du nombre de stations.
- En fait, elle dépend du nombre de tentatives de transmission.
- *Binary Exponential Backoff (BEB)*:
 - Après i collisions, on attend un nombre aléatoire de slots entre 0 et $2^i - 1$,
 - *Truncated BEB*: après un seuil i_{max} l'intervalle est limité supérieurement par $2^{i_{max}-1}$ (un nombre suffisamment grand)

22

III. CSMA et CSMA-CD

D. CSMA-CD avec backoff exponentiel binaire



Inspiré de [1]

23

III. CSMA et CSMA-CD

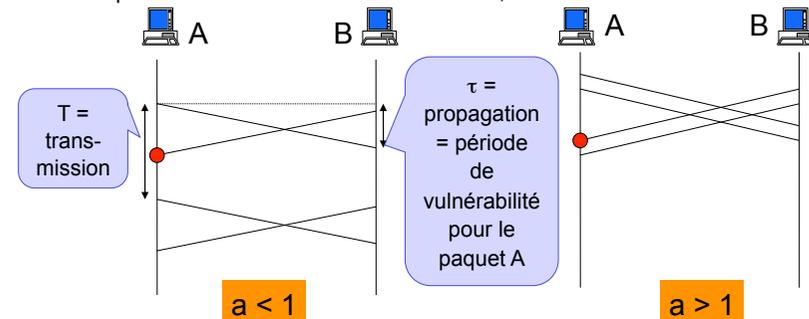
E. Paramètre a



Paramètre a = temps de propagation normalisé par rapport au délai de transmission d'une trame.

$a = \tau/T = \tau C/L$, où τ est le temps de propagation maximal, T est le temps de transmission, C est le débit du canal et L la longueur d'une trame.

Pour que la détection de collision soit efficace, il faut $a < 1$:



24

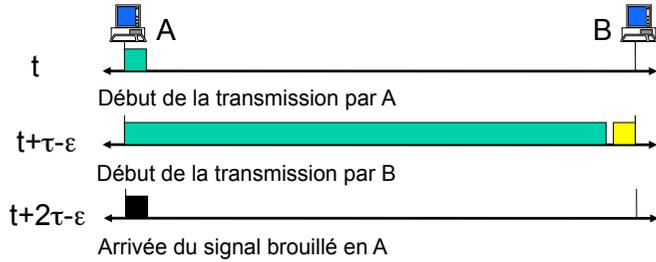
III. CSMA et CSMA-CD

E. Paramètre a



Les performances des protocoles CSMA sont liées à a : si a augmente, la période de vulnérabilité également et donc la probabilité de collision croît.

Temps maximum avant détection d'une collision (si on pose $T=1$) : $2a = 2\tau$



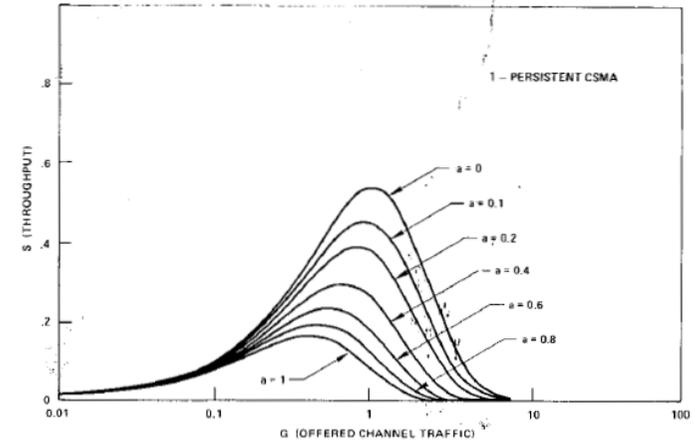
Conclusion : une station doit sonder le canal pendant $2a$ avant de conclure à l'occupation ou non du canal. Dans le cas slotté, 1 slot = 2τ .

III. CSMA et CSMA-CD

F. Performances



CSMA 1-persistant :



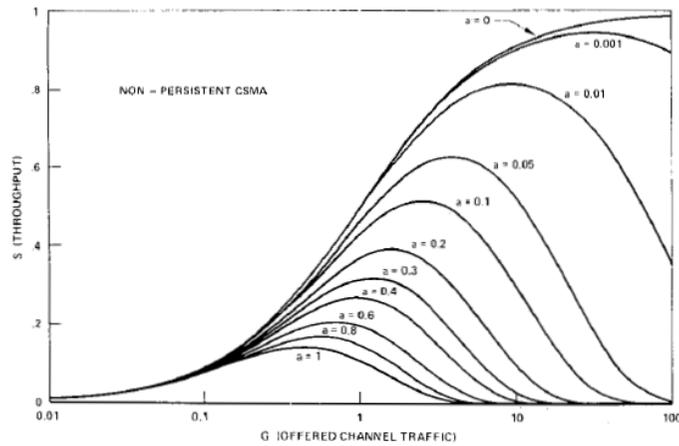
[5]

III. CSMA et CSMA-CD

F. Performances



CSMA non persistant :



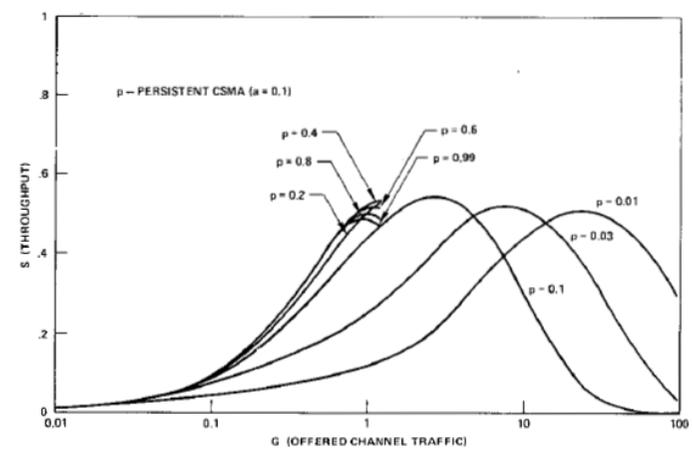
[5]

III. CSMA et CSMA-CD

F. Performances



CSMA p-persistant ($a=0.1$) :



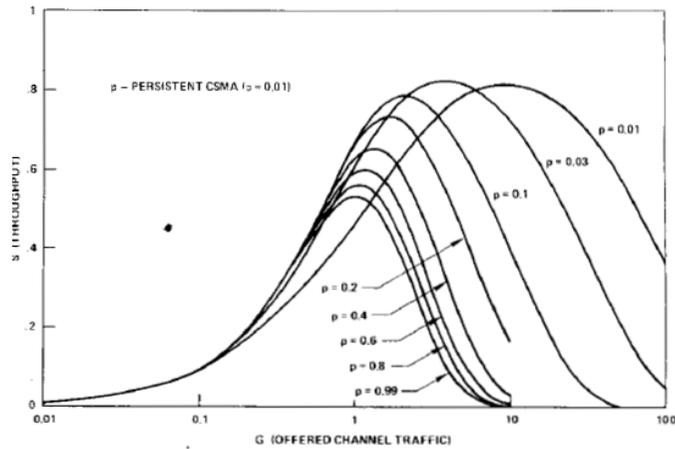
[5]

III. CSMA et CSMA-CD

F. Performances



CSMA p-persistent ($a=0.01$) :



[5]

III. CSMA et CSMA-CD

F. Performances



Capacités comparées :

CAPACITY C FOR THE VARIOUS PROTOCOLS CONSIDERED ($a = 0.01$)

Protocol	Capacity C
Pure ALOHA	0.184
Slotted ALOHA	0.368
1-Persistent CSMA	0.529
Slotted 1-Persistent CSMA	0.531
0.1-Persistent CSMA	0.791
Nonpersistent CSMA	0.815
0.03-Persistent CSMA	0.827
Slotted Nonpersistent CSMA	0.857
Perfect Scheduling	1.000

[5]

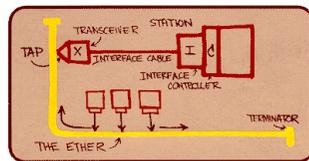
IV. Ethernet

A. Historique de la norme



L'évolution des standards Ethernet et les premières versions :

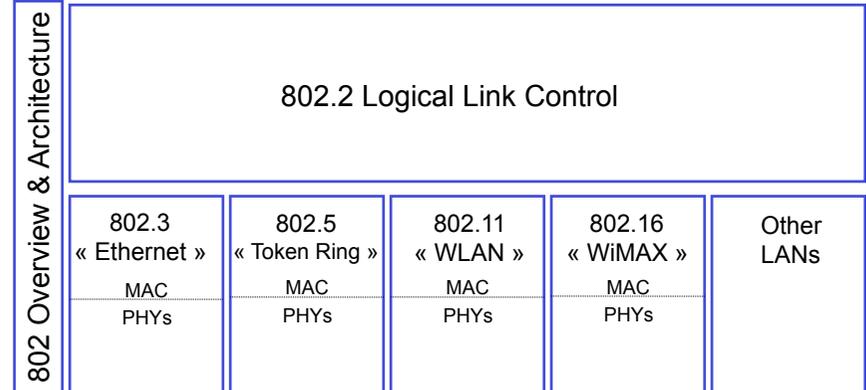
- ⇒ 1975 : Projet de recherche des laboratoires Xerox Parc. « Ethernet expérimental » à 2.94 Mbps sur câble coaxial.
- ⇒ 1980 : Ethernet Version I, proposé par DEC et INTEL à 10 Mbps.
- ⇒ 1982 : DEC, INTEL et Xerox (DIX) proposent Ethernet version II
- ⇒ 1984 : Standards 802.2+802.3 proposés par l'IEEE (compatible avec DIX v2) : thick Ethernet 10 Base 5 (10Mbps)
- ⇒ 1985 : 802.3a (thin Ethernet 10 Base 2)
- ⇒ 1990 : 802.3i (10 Base T)
- ⇒ 1993 : 10 Base F
- ⇒ 1995 : Fast Ethernet 100 Mbps
- ⇒ 1997 : Mode Full duplex
- ⇒ 1998 : Gigabit Ethernet 1 Gbps
- ⇒ 2003 : Gigabit Ethernet 10 Gbps
- ⇒ 2015 : 100 Gbps Ethernet



Dessin initial de Robert Metcalfe

IV. Ethernet

A. Historique de la norme



IV. Ethernet

B. Types de câblage



Le **plan de câblage** peut être en bus ou en étoile.

La nomenclature du câblage est **XBaset**, où X est le débit en Mbps, « Base » signifie que la transmission s'effectue en bande de base et t donne le type de câble ou la longueur maximale d'un segment.

10 Base 5 (*thicknet*)

- ⇒ Topologie en bus
- ⇒ Câble coaxial épais (jaune)
- ⇒ Prises vampire
- ⇒ Espacement min. entre stations : 2.5m
- ⇒ Nombre max de stations : 100
- ⇒ Longueur maximale : **500m** (atténuation)



[Wikipedia]

33

IV. Ethernet

B. Types de câblage



10 Base 2 (*thinnet*)

- ⇒ Topologie en bus
- ⇒ Câble coaxial fin
- ⇒ Espacement min. entre stations : 0.5m
- ⇒ Nombre max de stations : 30
- ⇒ longueur maximale: **185m**



10 Base 5 et 10 Base 2 sont aujourd'hui obsolètes.

[Wikipedia]



34

IV. Ethernet

B. Types de câblage



10 Base T : c'est la norme qui a popularisé Ethernet

- ⇒ Topologie étoile/câblage Point à Point
- ⇒ Paire torsadée (câble téléphonique en cuivre) 0.5mm de diamètre
- ⇒ Catégories les plus usitées : 5 et 6 (3 n' est plus utilisé, bientôt 7)
- ⇒ Nombre max de stations (half-duplex) : 1024
- ⇒ Nombre max de stations (full-duplex) : 2
- ⇒ Longueur maximale: **100m**
- ⇒ Système le moins cher

Une paire de fils pour la réception

Une paire de fils pour la transmission

Deux paires de fils non-utilisées



[Wikipedia]

« jack » 8 broches Connecteur RJ-45

35

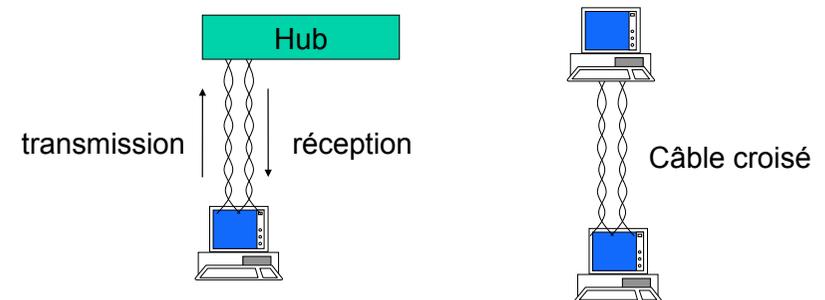
IV. Ethernet

B. Types de câblage



10 Base T : topologie en étoile point-à-point en full-duplex

Les équipements récents détectent automatiquement le type de câble.



36

IV. Ethernet

B. Types de câblage



10 Base F

- ⇒ Topologie étoile
- ⇒ Fibre optique
- ⇒ Nombre max de stations : 1024
- ⇒ Longueur maximale : **2000m**
- ⇒ N'a pratiquement jamais été commercialisé



37

IV. Ethernet

C. Codage de Manchester

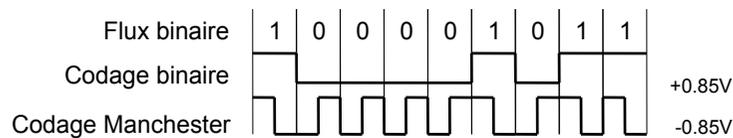


Le codage en bande de base doit permettre :

- Une synchronisation aisée du récepteur,
- La détection des collisions,
- D'éviter toute ambiguïté entre 0, 1 et pas de signal.

Codage de Manchester :

- Chaque période est divisée en deux intervalles égaux,
- 1 : tension haute puis tension basse,
- 0 : tension basse puis tension haute.



39

IV. Ethernet

B. Types de câblage

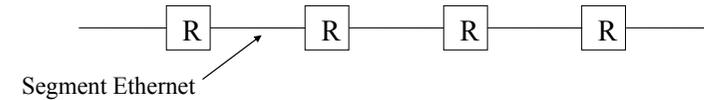


Les limitations d'Ethernet :

Nombre maximale de stations sur un réseau Ethernet half-duplex: 1024

Deployment: la règle 5-4-3 :

- ⇒ On peut connecter au maximum **5** segments avec des répéteurs



- ⇒ Il ne doit pas y avoir plus de **4** Hubs entre deux stations (le raccourcissement de l'intervalle entre trames pose des problèmes en half-duplex).

- ⇒ Dans le cas où on connecte des segments Ethernet avec des Hubs, on ne peut avoir plus de **3** segments en câble coaxial.

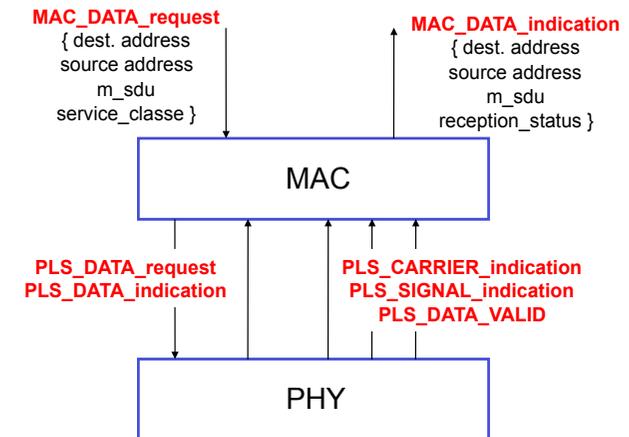
38

IV. Ethernet

D. Couche MAC



Principales primitives :



40

IV. Ethernet

D. Couche MAC



Le protocole :

- Half-duplex : on utilise CSMA-CD sur une paire torsadée, plusieurs stations partagent le medium.
- Full-duplex :
 - Transmission et réception s'effectuent sur deux paires différentes et sont donc indépendantes,
 - Les connexions sont point-à-point, i.e. seules deux stations partagent le medium,
 - Le CSMA-CD est réduit à sa plus simple expression : les trames sont envoyées sans souci de collisions, seul l'intervalle minimal entre deux trames doit être respecté (9.6 µs pour 10 Base T).

41

IV. Ethernet

D. Couche MAC



Préambule : permet au récepteur de se synchroniser : 10101010 ... 10101010

Start Frame Delimiter (SFD) : 10101011 indique le début de la trame. La couche PHY signale à la couche MAC « DATA_VALID » pour lui indiquer que le décodage de la trame commence.

Length/Type : ce champ a deux significations selon sa valeur.

- Si la valeur est entre 0 et 1500, le champ indique la longueur de la charge,
- Au delà de 1536, le champ indique le type de protocole utilisé au dessus de la couche MAC, e.g. 0x0800 = IPv4.

Frame Check Sequence (FCS) : séquence de contrôle des erreurs portant sur l'ensemble des champs à l'exception du préambule et du SFD.

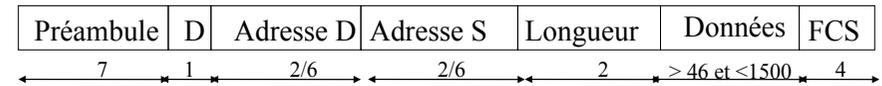
43

IV. Ethernet

D. Couche MAC

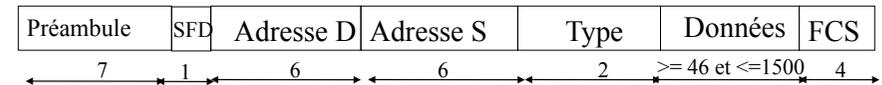


Couche MAC Ethernet I



Préambule=01010101

Couche MAC Ethernet II et IEEE 802.3



42

IV. Ethernet

D. Couche MAC



L'adresse MAC est universelle : une station s'attachant à un réseau n'importe où dans le monde a la certitude d'avoir une adresse unique.

Les 24 premiers bits sont assignés au constructeur par l'IEEE (OUI = Organizationally Unique Identifier), e.g. Alcatel Shanghai Bell = 00-07-72

Les 24 derniers sont choisis par le constructeur de la carte (16 millions de possibilités).

L'adresse *broadcast* est 111...1.

L'adresse MAC est généralement donnée en hexadécimal :

exemple : AC-DE-48-00-00-80



I/G = 0 INDIVIDUAL ADDRESS
 I/G = 1 GROUP ADDRESS
 U/L = 0 GLOBALLY ADMINISTERED ADDRESS
 U/L = 1 LOCALLY ADMINISTERED ADDRESS

[6]

44

IV. Ethernet

D. Couche MAC



Longueur maximale de la charge : 1500 octets, valeur fixée arbitrairement et liée à la taille des mémoires à l'époque de l'invention d'Ethernet.

Longueur minimale de la trame : 64 octets (du champ Address D au FCS), cette valeur correspond à deux fois le temps de propagation via 4 répéteurs à 10 Mbps (des mesures donnent 50 μ s en incluant le temps de traitement des répéteurs).

Nombre maximal de transmissions d'un même paquet : 16

Limite du backoff : 10

45

V. Contrôle de liaison logique (LLC)

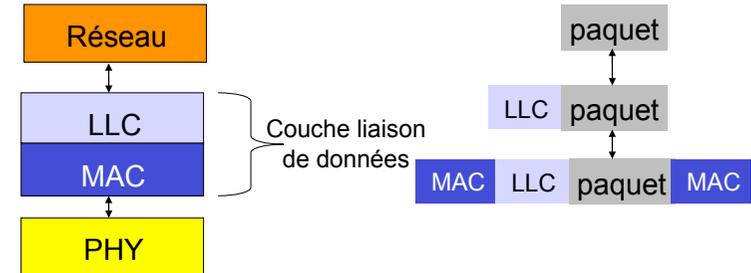
A. Couche liaison de données



La couche liaison de données **fiabilise** une communication point-à-point :

- Gestion des erreurs grâce à l'accusé de réception,
- Contrôle de flux avec fenêtre d'anticipation,
- Ordre des données grâce aux numéros de séquence.

La couche MAC de 802.3 n'assure que l'accès au médium partagé. Certains protocoles de niveau supérieur peuvent avoir besoin d'une fiabilisation de la liaison : c'est le rôle de **802.2 (LLC)**.



46

V. Contrôle de liaison logique (LLC)

B. Services offerts



LLC offre trois types de service à la couche réseau :

Type 1 : mode sans connexion non-acquitté unicast / multicast / broadcast. C'est le mode le plus usité.

Type 2 : mode orienté connexion.

Les trames sont numérotées.

Un contrôle de flux est assuré avec fenêtre d'anticipation.

Type 3 : mode sans connexion avec accusés de réception.

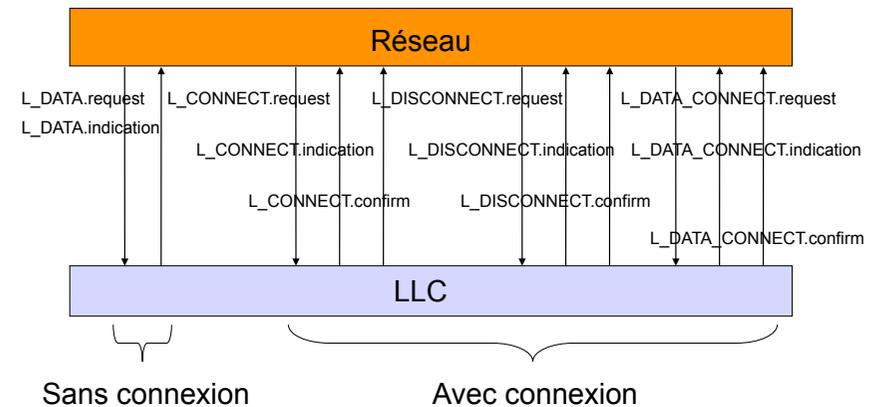
47

V. Contrôle de liaison logique (LLC)

B. Services offerts



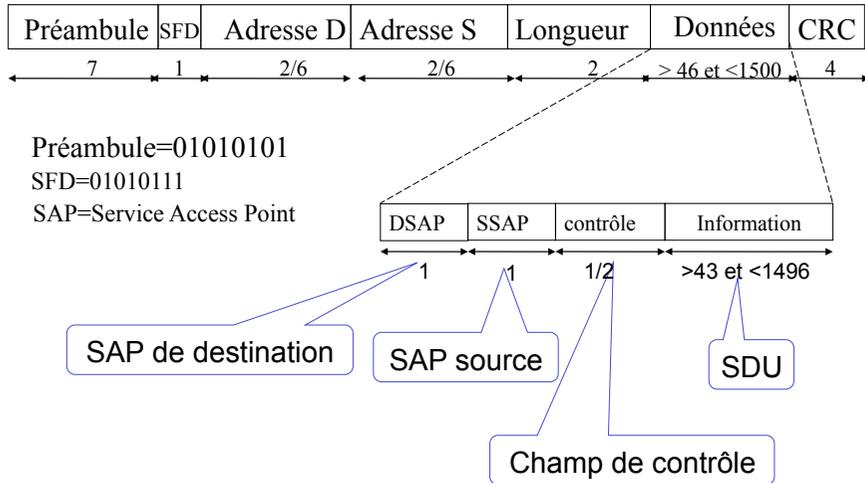
Principales primitives :



48

V. Contrôle de liaison logique (LLC)

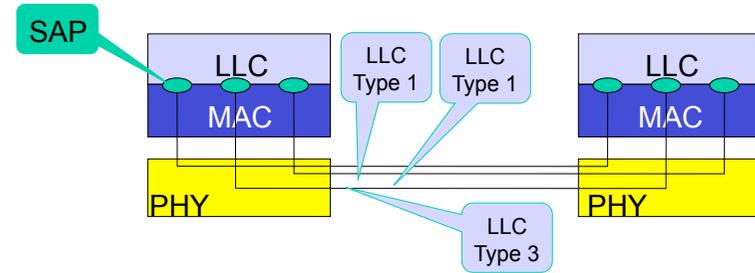
C. Structures de trame



V. Contrôle de liaison logique (LLC)

C. Structures de trame

Service access points : permettent de créer plusieurs liens logiques. A un SAP est associé un protocole de niveau supérieur.



V. Contrôle de liaison logique (LLC)

C. Structures de trame

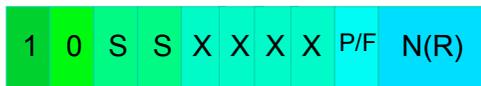
Il y a trois types de trames qui se distinguent par le champ « contrôle ».

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10-16

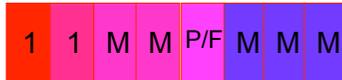
Trames d'information (trames I) :



Trames de supervision (trames S) : RR, RNR, REJ.



Trames non-numérotées (trames U, *unnumbered*) :
 e.g. UI, UA, DISC, SABME, DM, XID, TEST.



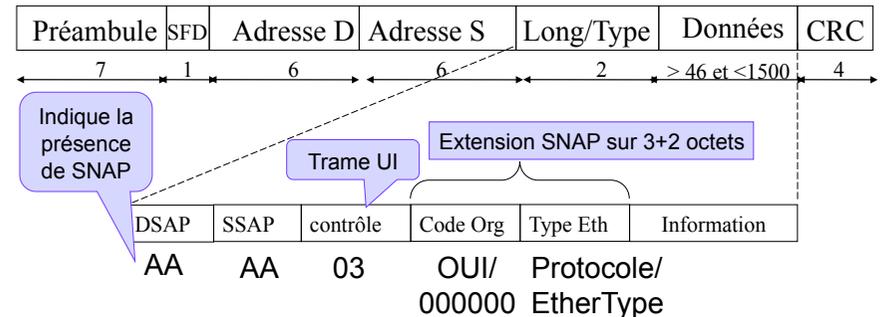
N(S) : n° de séquence à l'émission.
N(R) : n° de séquence attendu par le récepteur.
P/F : Poll/Final bit.
S : Supervisory function.
M : Modifier function.
X : réservé.

V. Contrôle de liaison logique (LLC)

D. SNAP

Les 8 bits initialement prévus pour les champs SAP de l'en-tête LLC ne permettent plus de différencier l'ensemble des protocoles de niveau supérieur. On introduit alors le protocole **SNAP** qui est en fait une extension de l'en-tête LLC.

Le protocole de niveau 2 SNAP (*Subnetwork Access Protocol*) est décrit dans la norme **IEEE 802-2001** (*Overview and Architecture*).



V. Contrôle de liaison logique (LLC)

D. SNAP



L'identifiant de protocole de SNAP (*protocol identifier*) :

Si l'OUI (3 octets) est nul, les 2 octets qui suivent sont l'*Ethernet Type*, dont la valeur est normalisée, e.g. 0x0800 pour IP, 0x0806 pour ARP.

Si l'OUI est non nul, les 2 octets qui suivent sont fixés par l'organisation identifiée par les 3 premiers octets.

En pratique :

- Si le LAN est Ethernet : on n'utilise pas LLC/SNAP. On préfère utiliser le format de trame Ethernet II qui donne directement l'*Ethernet Type* dans l'entête MAC.
- Si le LAN n'est pas Ethernet, e.g. Token Ring : on utilise LLC/SNAP pour identifier le protocole de niveau supérieur.

53

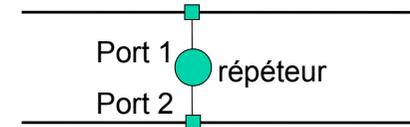
VI. Interconnexion des réseaux locaux

A. Les répéteurs-concentrateurs



Répéteur :

- Il assure des **fonctions de couche 1** (PHY), il n'a donc pas d'adresse MAC.
- Un répéteur peut recevoir et décoder les données venant d'un segment.
- **Il retransmet les données** sur tous les segments auxquels il est attaché : les segments restent dans le **même domaine de collision**.
- L'amplitude est restaurée et les éventuelles distorsions du signal sont supprimées.
- Si une collision est détectée, il propage la collision en envoyant un signal de bourrage (*jam* : 101010...).
- Un répéteur peut permettre le passage à un type de support différent



54

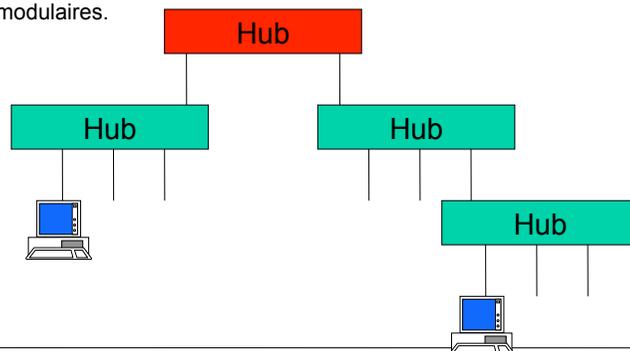
VI. Interconnexion des réseaux locaux

A. Les répéteurs-concentrateurs



Concentrateur ou « Hub » :

- => Permet de connecter 8, 12, 24 ou 32 brins entre eux.
- => Topologie en étoile.
- => Diffusion sur toutes les branches de l'étoile.
- => Soit empilables (*stackables* reliés par un bus externe ~100Mbps), soit modulaires.



55

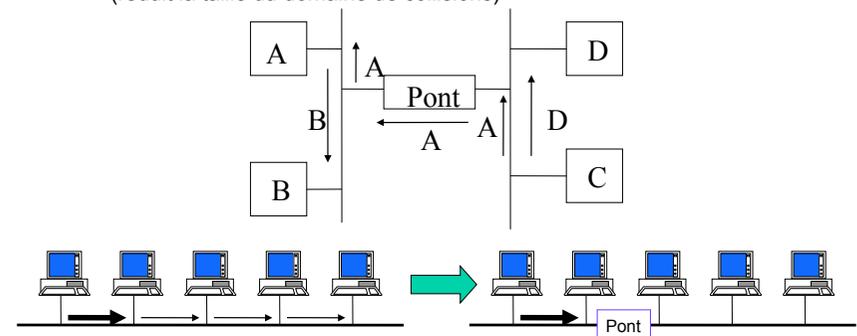
VI. Interconnexion des réseaux locaux

B. Les ponts (*bridge*)



Fonctions de niveau 2

- => Filtrage des trames (mais laisse passer les trames de *broadcast*)
- => Même protocole de niveau 2 (un pont possède donc une adresse MAC)
- => Technique avantageuse: permet une segmentation du réseau (réduit la taille du domaine de collisions)



56

VI. Interconnexion des réseaux locaux

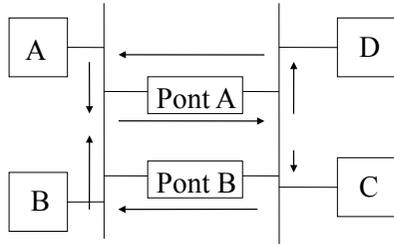
B. Les ponts (bridge)



Le problème des boucles :

- Les trames de *broadcast* peuvent être répétées indéfiniment par les ponts. Conséquence : la charge du réseau augmente à cause des trames de *broadcast*, et le réseau devient inutilisable.
- L'apprentissage des ponts fondé sur l'adresse source des trames peut être perturbé et rendre inefficace le filtrage.

=> Nécessité d'un algorithme adéquate



57

VI. Interconnexion des réseaux locaux

C. Spanning tree (IEEE 802.1d)



Caractéristiques :

- Permet la suppression des boucles dans des topologies de réseau contenant des chemins redondants.
- Il ne conserve qu'un seul chemin entre deux équipements terminaux. Il bloque l'accès aux autres chemins.
- En cas de rupture d'un chemin le spanning tree bascule automatiquement sur un autre chemin précédemment bloqué.

Principe :

- A partir d'un graphe connecté non orienté, on construit un arbre recouvrant l'ensemble des noeuds.
- On choisit une racine (*Root*) et chaque pont (*Bridge*) calcule le plus court chemin vers cette racine.

Protocole : SPT (*Spanning Tree Protocol*)

- L'élection de la racine se fonde sur l'adresse MAC et une priorité.
- A chaque port du pont, on associe un identifiant et un coût.
- L'algorithme est mise en oeuvre par l'échange régulier de trames Bridge PDU.

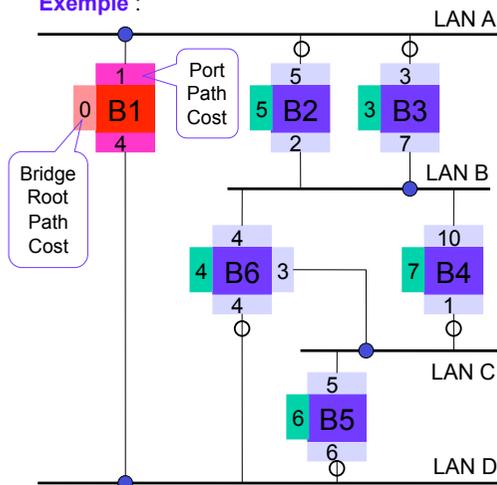
58

VI. Interconnexion des réseaux locaux

C. Spanning tree (IEEE 802.1d)



Exemple :



- Root** = B1 (choix fondé sur adresse MAC + priorité).
- Chaque pont calcule le plus court chemin vers le Root => **Bridge Root Path Cost**.
- Chaque LAN désigne un **Designated Port** ● = port attaché au pont de plus faible Bridge Root Path Cost.
- Chaque pont désigne son **Root Port** ○ = port lié au plus court chemin vers la racine.

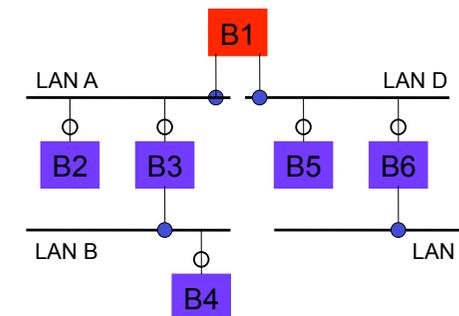
59

VI. Interconnexion des réseaux locaux

C. Spanning tree (IEEE 802.1d)



Exemple :



- Seuls les ports « Root Ports » et « Designated Ports » peuvent retransmettre des trames.
- Si une trame est reçue sur un Root Port, elle est retransmise sur les Designated Ports éventuels.
- Si une trame est reçue sur un Designated Port, elle est retransmise sur le Root Port.

60

VI. Interconnexion des réseaux locaux

D. Les commutateurs (switch)

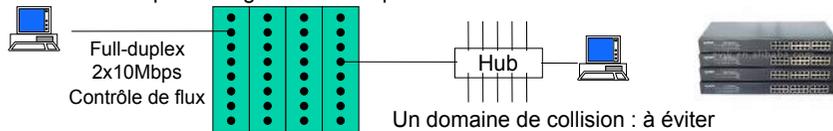


Caractéristiques d'un commutateur Ethernet :

- Il est composé de 4 à 32 cartes comprenant chacune 8 ports.
- Les cartes sont reliées entre elles par un bus interne à haut débit (plusieurs Gbps).
- Chaque carte dispose d'une mémoire tampon.
- Les stations directement reliées à un port dialoguent en point-à-point full-duplex avec le commutateur.

Un commutateur peut commencer à retransmettre une trame avant de l'avoir analysée complètement (*cut through*) :

- => Aiguille une trame sans savoir si elle est correcte (état du CRC)
- => Gain de temps si trame correcte
- => Risque de dégradation des performances si les trames sont incorrectes



61

VIII. Gigabit Ethernet



En 1998 : 802.3z ou « Gigabit Ethernet » (1 Gbps) et en 2002 802.3ae pour 10 Gbps.

En full-duplex, CSMA-CD n'est plus utilisé. En half-duplex, le CSMA-CD est conservé (la trame minimale doit passer à 512 octets ou on doit utiliser du *frame bursting* pour maintenir des distances raisonnables).

Nouveaux types de câblage :

Fibre optique :

- 1000 Base SX (moins chère) : multimode 550 m
- 1000 Base LX : monomode 5000 m, e.g. Barrault-Dareau

1000 Base T :

- 4 paires torsadées catégorie 5/6.
- 125 MHz.
- Nouveau codage avec 5 niveaux de tension
- Contrôle de flux

10 Gbps : en fibre ou en cuivre.

63

VII. Fast Ethernet



En 1995 est normalisé 802.3u ou « Fast Ethernet » : le CSMA-CD est conservé mais le format de la trame MAC est différent. Trois grands types de câblage possibles :

100 Base T4 :

- On réutilise les mêmes types de câble que pour 10 Base T : paires torsadées de catégorie 3.
- 4 paires sont utilisées : 1 pour TX, 1 pour RX, les deux autres de manière dynamique pour TX ou RX.
- 25 MHz vs. 20 MHz pour 10 Base T.
- Signal ternaire vs. Codage de Manchester.
- La communication est full-duplex 100 / 33 Mbps.

100 Base TX : le plus utilisé

- Deux paires torsadées de catégorie 5.
- Nouveau codage à 125 MHz.
- Communications full-duplex 100 / 100 Mbps.

100 Base FX : jamais utilisée

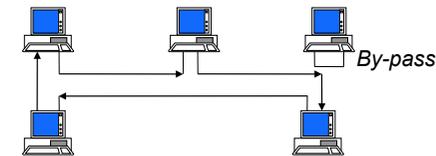
- Deux fibres multimode, full-duplex 100 / 100 Mbps, jusqu'à 2 Km.

62

IX. Token Ring



L'anneau à jeton ou « Token Ring » a été développé par IBM et a été normalisé par l'IEEE dans le standard 802.5.



L'anneau est uni-directionnel, les liaisons sont point-à-point.

Un équipement qui n'a pas le jeton se comporte comme un répéteur, une station qui a le jeton peut émettre une trame.

Lorsqu'un équipement a transmis sa ou ses trames, il passe le jeton à la station suivante dans l'anneau et redevient répéteur.

[1]

64

X. Conclusion



Les raisons du succès d'Ethernet :

- Simplicité et souplesse : FDDI et ATM sont beaucoup plus complexes et nécessitent une gestion plus difficile.
- Fiabilité.
- Faible coût (paires torsadées, simplicité du protocole).
- Maintenance aisée : simples pilotes à installer, pas de configuration complexe.
- Evolutions et compatibilité vers de très hauts débits.

65

Références



- [1] Introduction aux réseaux, Xavier Lagrange et Dominique Seret, éditions Hermès
- [2] Computer Networks, Andrew S. Tanenbaum, éditions Prentice Hall
- [3] Principes de commutation numérique, Claude Rigault, Éditions Hermès
- [4] Data Networks, D. Bertsekas et R. Gallager, Prentice Hall
- [5] Packet Switching in Radio Channels: Part I — Carrier Sense Multiple-Access Modes and Their Throughput-Delay Characteristics, L. Kleinrock et F. A. Tobagi, Trans. On Communications, décembre 1975
- [6] Normes IEEE 802-2001, IEEE 802.1d-2004, IEEE 802.3-2002 et IEEE 802.2-1985

67

Glossaire



ARP : Address Resolution Protocol	PDU : Packet Data Unit
ATM : Asynchronous Transfer Mode	PHY : Physical Layer
BEB : Binary Exponential Backoff	PLS : Physical Signaling
BER : Bit Error Rate	REJ : Reject
CRC : Cyclic Redundancy Check	RNR : Receiver Not Ready
CSMA : Carrier Sense Multiple Access	RR : Receiver Ready
CSMA-CA : CSMA w/ Collision Avoidance	RX : Reception
CSDMA-CD : CSMA w/ Collision Detection	SAP : Service Access Point
CSMA-CR : CSMA w/ Collision Resolution	SABME : Set Asynchronous Balanced Mode Extended
D : (trame Ethernet)	SDU : Service Data Unit
DISC : Disconnect	SFD : Start Frame Delimiter
DM : Disconnected Mode	SNAP : Subnetwork Access Protocol
dest. : destination	SPT : Spanning Tree Protocol
DIX : DEC, INTEL, Xerox	SSAP : Source SAP
DSAP : Destination SAP	TDMA : Time Division Multiple Access
FCS : Frame Check Sequence	TX : Transmission
FDDI : Fiber Distributed Data Interface	UA : Unnumbered Acknowledgment
FDMA : Frequency Division Multiple Access	UI : Unnumbered Information
I/G : Individual/Group	U/L : Universal/Local
IP : Internet Protocol	WLAN : Wireless LAN
LAN : Local Area Network	XID : Exchange of Identification
LAP-B : Link Access Procedure - Balanced	
LLC : Logical Link Control	
MAC : Medium Access Control	
OUI : Organizationally Unique Identifier	

66