

Réseaux locaux (LAN) Standard 802.3 et Ethernet

Christian Attiogbé

Christian.Attiogbe@lina.univ-nantes.fr

www.sciences.univ-nantes.fr/info/perso/permanents/attiogbe/

(novembre 1999, maj : 01/2001, 01/2004)



Bibliographie

- A. Tanenbaum. *Réseaux : Architectures Protocoles Applications*. InterEditions, 1995.
- L. Toutain. *Réseaux Locaux et Internet*. Hermès, 1996
- G. Pujolle. *Les réseaux*. Eyrolles 1995
- M. Maiman. *Télécoms et réseaux*. Masson ,1994.
- K-L. Thai, V. Vèque, S. Znaty. *Architecture des réseaux haut débit*. Hermès, 1995



Les protocoles IEEE 802.3 et Ethernet

Ils sont tous de la famille des protocoles à compétition pour l'accès au canal.

Ethernet et 802.3 sont incompatibles entre eux mais ont de nombreux points communs.

Historiquement, c'est le protocole Aloha (connexion des ordinateurs des campus répartis sur des îles) qui est à l'origine de Ethernet.



Les principaux supports de Ethernet

Paramètres	10base5	10base2	10 baseT
médium de transmission	coaxial (50 ohms)	coaxial (50 ohms)	paire téléphonique
technique de signalisation	Manchester	Manchester	Manchester
vitesse de transmission	10 Mbit/s	10 Mbit/s	10 Mbit/s



Les principaux supports de Ethernet

Paramètres	10base5	10base2	10 baseT
longueur maximale du segment	500m	185 m	100m
nombre maximum de noeud	100	30	selon l'équipement actif
espace entre noeuds	2,5m	0,5m	-
diamètre du cable	10mm	5 mm	-



Le standard 802.3

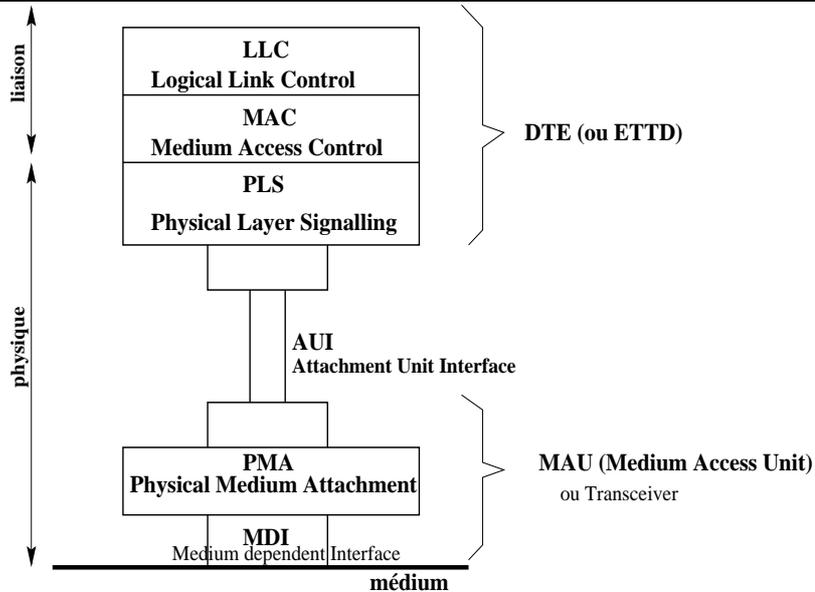


Fig. 1 – Architecture détaillée du 802.3



Le standard 802.3

La spécification 802.3 concerne :

- le **PMA (Physical Medium Access)**, l'équivalent de la couche physique de l'OSI.

Les fonctions de cette couche peuvent être réparties entre le dispositif de raccordement à la paire coaxiale et la station elle-même.

- le **MAC (Medium Access Control)**, la **sous-couche inférieure de la couche liaison** de données.



Le standard 802.3

La **sous-couche MAC** gère :

- l'**aquisition** par la station du *droit à émettre*,
- les situations de *contention*,
- les *échanges* avec la couche PMA.

Dans la suite nous allons étudier les protocole et service MAC [et les protocole et service PHY].



Protocole MAC

- Fonctionnement de CSMA/CD (standard 802.3)
- Format des trames 802.3 (physiques et MAC)
- Paramètres de MAC
- Format de la trame Ethernet
- L'algorithme CSMA/CD + BEB
- Algorithme d'émission
- Résolution de la collision
- Algorithme de réception



Principe de fonctionnement de CSMA/CD

Carrier Sense Multiple Acces with Collision Detect

CSMA/CD est une méthode d'accès de type *aléatoire*.

Les stations peuvent émettre à tout instant donc possibilité de *contention*.

La méthode ou protocole CSMA/CD impose donc des règles

- avant la transmission,
- pendant la transmission et
- en cas de contention.



CSMA/CD - Transmission d'une trame

La **transmission** commence **lorsque le canal est libre**.

Avant de transmettre une station **écoute le canal**.

Si elle ne détecte **aucune porteuse sur le support**,

– elle transmet.

Si elle détecte **un signal en ligne**,

– elle **attend que le canal devienne libre** pour émettre sa trame.

CSMA/CD - Transmission d'une trame

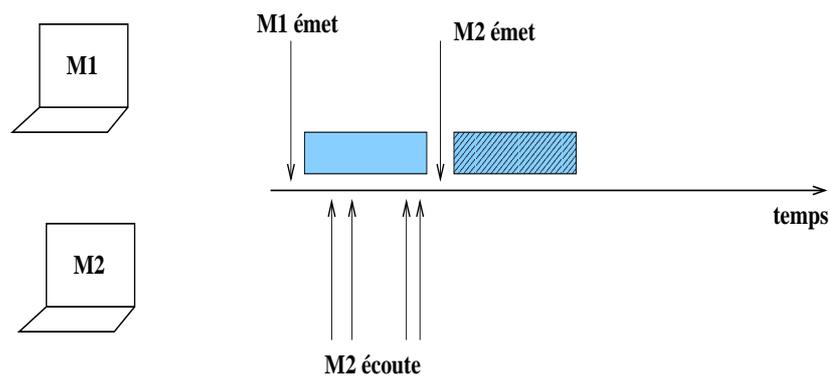


Fig. 2 – Principe du CSMA

Le nombre de collisions est diminué mais pas nul.

CSMA/CD - Transmission d'une trame

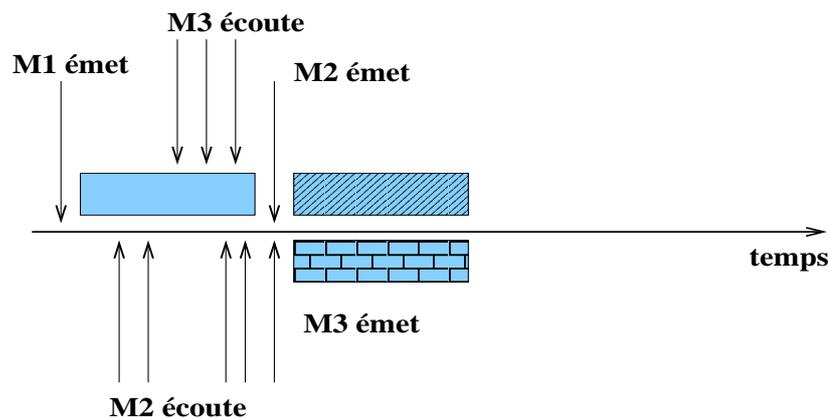


Fig. 3 – CSMA avec collision

CSMA/CD - Détection des collisions

Il y a collision lorsque deux stations émettent en même temps.

Physiquement, **une collision est un signal brouillé (ne respecte pas le codage en bande de base)**.

Pour détecter une éventuelle collision,

une station doit rester à l'écoute pendant sa propre transmission.

lorsqu'elle détecte un signal non conforme,

– elle arrête sa transmission et

– elle **émet une séquence de brouillage (Jamming)**

signal).

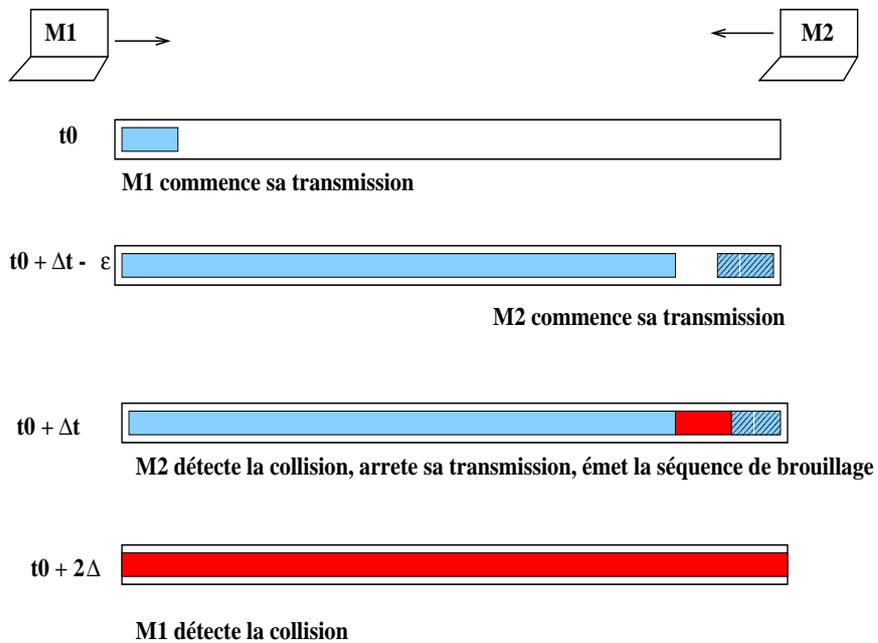


Fig. 4 – Fenêtre et détection de collision



CSMA/CD - Conditions de détection de la collision

Pour qu'une station puisse détecter la collision, **il faut qu'elle reste à l'écoute pendant sa propre émission.**

Le temps d'émission d'une trame doit être supérieur à 2 temps de propagation.

$$tps_{emission} > 2 * tps_{propagation}$$

Réseau Ethernet à 10Mbit/s, avec une trame de taille minimale 64 octets (512 bits).



CSMA/CD - Conditions de détection de la collision

Le **temps de propagation approximatif est de 5 nanosecondes** (10^{-9}) par mètre sur un **cable coaxial.**

Pour un câble de 500 mètres on a un slot-time de $5\mu s$
(i.e. $2 * (5ns * 500) = 5000 ns$)

Puisqu'on a **un temps bit de 100 nanosecondes sur un réseau à 10Mb/s**, on a l'équivalent de 50 bits transmis pendant ce temps d'incertitude.



CSMA/CD - Conditions de détection de la collision

- En additionnant tous les délais dans l'aller et le retour d'un signal introduit pour la transmission de celui-ci et
- en considérant les deux stations les plus éloignées,
- on a une **durée maximale de propagation de $\sim 44,9 \mu s$** .

La valeur de $51,2 \mu s$ est imposée comme slot-time dans CSMA/CD.



Les principaux paramètres CSMA/CD (802.3)

- **Tranche canal (TC) ou Time Slot (TS) ou slot-time** : durée nécessaire à une application pour que celle-ci soit certaine que son message est transmis sans problème.
- Le **slot-time** (unité de temps du protocole) est au moins deux fois la durée maximale de propagation d'un signal sur le support - justification de certaines contraintes de câblage.

La durée d'une tranche canal est la durée d'émission de 512 bits avec un débit de 10Mbit/s : $51,2 \mu s$



Les principaux paramètres CSMA/CD (802.3)

$$tps_{emission} > 2 * tps_{propagation}$$

⇒ le temps d'émission d'une trame

$$tps_{emission} \geq slot-time$$



Les principaux paramètres de CSMA/CD (802.3)

- La **fenêtre de collision** ou **Slot-time** ou **Tranche Canal** représente le délai maximum qui s'écoule avant qu'une station ne détecte une collision.
- La **période de vulnérabilité** est la durée pendant laquelle une station éloignée peut détecter le canal libre et transmettre à son tour.
- La période de vulnérabilité est au maximum égale à un **temps de propagation** entre les deux stations les plus éloignées sur le support.



Paramètres de CSMA/CD (802.3)

Paramètre	Description	Valeur
SLOT TIME	fenêtre de collision	512 temps-bits
INTER FRAME SPACING	attente entre 2 transmissions	9,6 μs
ATTEMPT LIMIT	nb. maxi. de retransmission	16
BACKOFF LIMIT	limite max. intervalle de tirage	10
JAM SIZE	taille de la sèquence de bourrage	4 octets
MAX FRAME SIZE	longueur maxi. de trame	1518 octets
MIN FRAME SIZE	longueur mini. de trame	64 octets
ADDRESS SIZE	longueur du champ d' adresse	48 bits

Format des trames 802.3

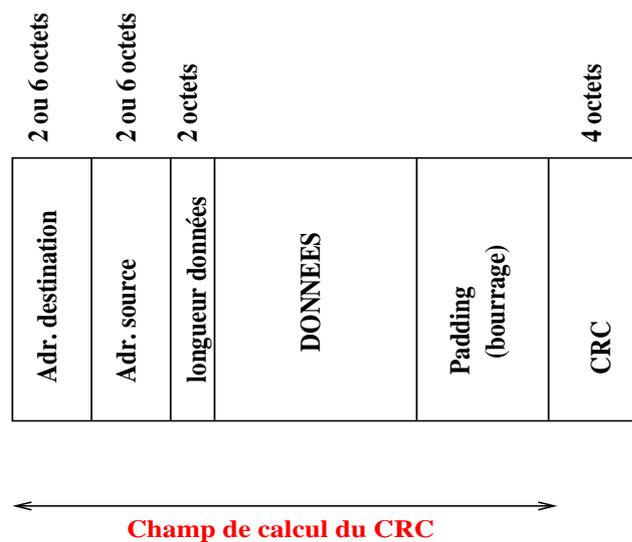


Fig. 5 – Format de la trame MAC 802.3

Encapsulation des trames MAC

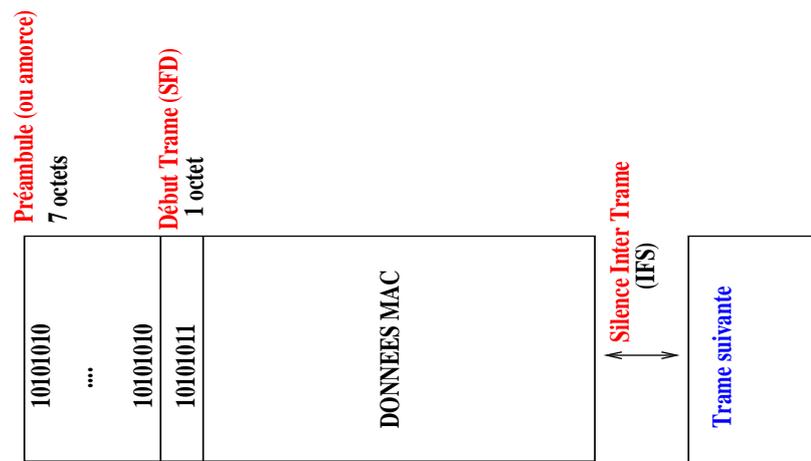


Fig. 6 – Format de trames MAC naviguant

Structuration des trames MAC

Le champ **amorce** : 7 octets de valeur 10101010, sert à **synchroniser les stations** qui échantent.

Le champ **start frame delimiter** : 1 octet, marque le **début de trame**

Il a la valeur 10101011 et sert à la **synchronisation** par caractère.

Les champs d'**adresse** : 2 ou 6 octets, contiennent des **adresses physiques (adresses MAC)**.

Structuration des trames MAC

Les **adresses de 2 octets** (16 bits) ne sont **pas administrées localement**,

celle de **6 octets** (48 bits) peuvent l'être **soit localement soit globalement** (adresse universelle IEEE).

Le bit de plus haut rang dans le champ destination indique s'il s'agit d'une adresse individuelle ou d'une adresse de groupe.



Structuration des trames MAC

le champ **FCS** est constituée de 32 bits, il contient la séquence de **contrôle de redondance longitudinale (CRC)** qui est calculée sur tous les champs exceptés le préambule, le délimiteur de début de trame et le champ de contrôle lui-même.



Format des trames Ethernet

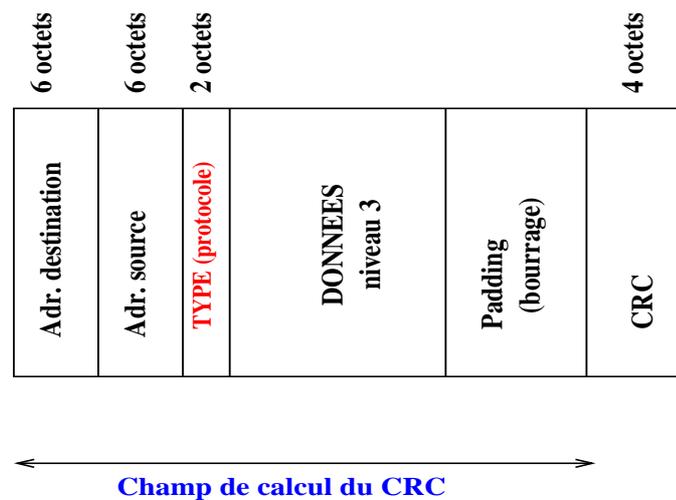


Fig. 7 – Format de la trame MAC Ethernet

Ethernet - un produit 802.3

La trame Ethernet diffère de la trame 802.3 par le troisième champ.

Ici ce champ contient l'identificateur du **protocole de niveau supérieur** au lieu de la longueur des données.

Par exemple **IP**, X25, ...

Il n'y a **pas de couche LLC** (qui normalement fait l'aiguillage vers les protocoles de niveau supérieur).

Cet **aiguillage est fait au niveau MAC**.

Ethernet

Les bits de bourrage introduits au niveau MAC de l'émetteur ne peuvent pas être supprimés au niveau MAC (violation du fonctionnement en couche).

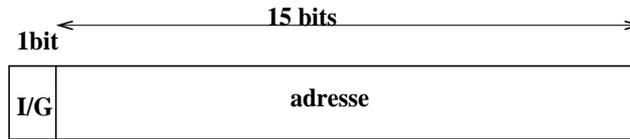
Le protocole de niveau 3 doit donc contenir un moyen d'éliminer les octets de bourrage s'ils existent.

L'adressage (IEEE 802.1)

La norme 802.1 propose deux formats d'adresses :

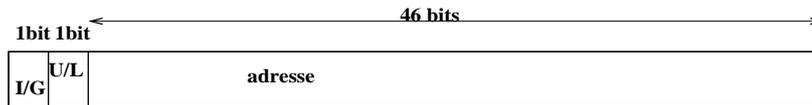
- une courte sur 16 bits pour les réseaux locaux non interconnectés,
- une longue (universelle) sur 48 bits (6 octets) pour les réseaux interconnectés ;

L'adresse universelle est gérée par un organisme international, alors que l'adresse locale est choisie par l'administrateur du réseau.



I/G = 0 : Adresse individuelle
I/G = 1 : Adresse de groupe

Fig. 8 – Format des adresses locales



I/G = 0 : Adresse individuelle
I/G = 1 : Adresse de groupe
U/L = 0 : Adresse administrée globalement,
U/L = 1 : Adresse administrée localement

Fig. 9 – Format des adresses globales



Adresses MAC

Principe d'attribution des adresses MAC : xx :xx :xx :xx :xx :xx

Début d'adresse MAC (hexa)	Vendeur
00 :00 :0C :...	Cisco
00 :00 :1D :...	Cabletron
08 :00 :20 :...	Sun
08 :00 :2B :...	DEC
08 :00 :5A :...	IBM



Algorithme CSMA/CD, émission (+BEB) et réception

- Algorithme d'émission + traitement collision
- Algorithme de réception

Protocole d'accès aléatoire CSMA

Le protocole CSMA/CD est utilisée dans Ethernet.



Emission dans CSMA/CD

Quand MAC, l'entité émettrice de la couche, prend en compte les données,

- elle ajoute les champs adresse de destination et adresse de la source
- et calcule le CRC.

L'entité MAC écoute ensuite le support pour savoir si une transmission est en cours (partie CSMA de l'algorithme).



Emission dans CSMA/CD

Quand toute activité cesse (= silence),

la station commence la transmission après $9,6\mu s$ correspondant au silence inter frame (IFS).

Elle continue d'écouter le canal pour savoir si une collision a été détectée (partie CD de l'algorithme).

Emission dans CSMA/CD

Si une collision est détectée,

- MAC poursuit la transmission pendant la période de brouillage.
- Elle comptabilise la tentative (BEB).
- Si ce nombre est trop important (16 tentatives),
 - elle arrête les essais et
 - renvoie une indication négative aux couches supérieures.

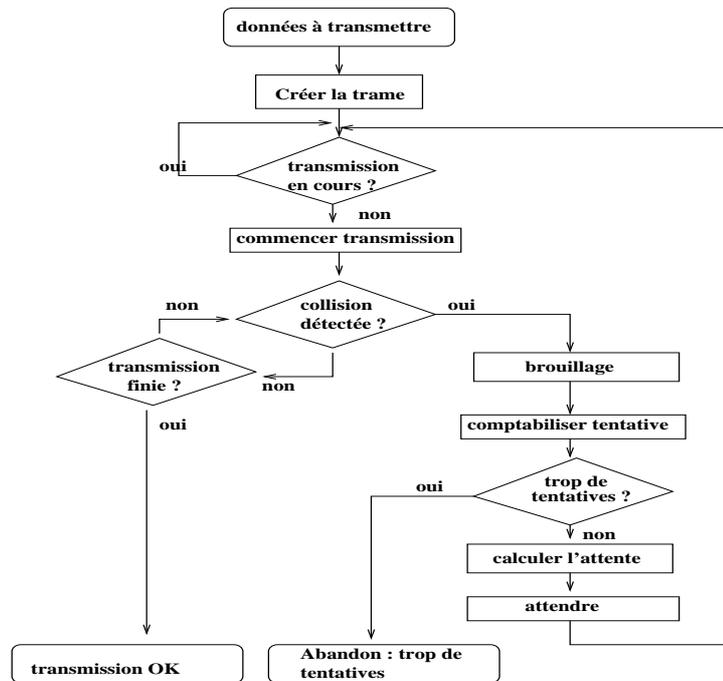


Fig. 10 – L’algorithme CSMA/CD + BEB pour l’émission

CSMA/CD - Réception d’une trame

La topologie du réseau induit un support à **diffusion**.

Toutes les stations sont à l’écoute et reçoivent tous les signaux.

Lorsqu’une station détecte un signal de porteuse, elle recopie les bits jusqu’à la reconnaissance du délimiteur de fin de trame (IFS).

Le champ **contrôle d’erreur (FCS)** est vérifié.

L’**adresse destination** est comparée avec celle de la station.

CSMA/CD - Réception d'une trame

Après les vérifications,

Si la trame est correcte et qu'elle est bien destinée à la station,

alors

– elle est remise au niveau supérieur (sous-couche LLC) ;

sinon

– la trame est détruite.

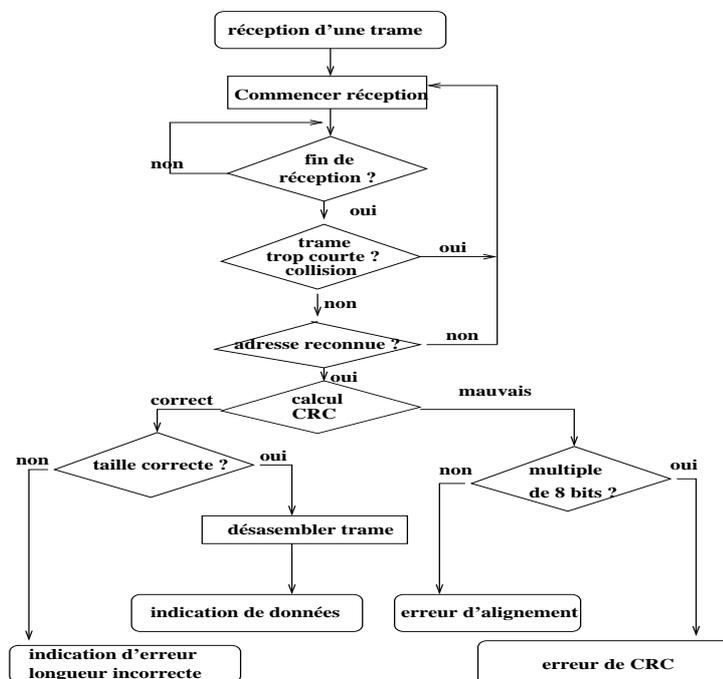


Fig. 11 – Algorithme du CSMA/CD en réception

Binary Exponential Backoff : BEB

C'est l'algorithme qui permet de limiter la charge du réseau quand une collision se produit.

Lors d'une collision, les stations impliquées arrêtent leur émission après que celle-ci ait duré une tranche canal.

Elles doivent recommencer l'émission.

Si elles recommencent en même temps, la collision se reproduit et ainsi de suite.



Binary Exponential Backoff : BEB

Il faut trouver un mécanisme pour départager les stations dans la concurrence d'accès.

L'algorithme BEB permet aux stations de tirer au sort la durée d'attente avant la prochaine tentative de réémission.

Soient 0 et 1 les choix possibles, en ne considérant que deux stations impliquées dans la résolution de la collision : quatre cas sont possibles.

Le calcul du temps d'attente avant réémission est fait en fonction de la valeur tirée et du slot-time.



Binary Exponential Backoff : BEB

Station 1	Station 2	Traitement de la collision
0	0	les deux stations recommencent à émettre en même temps, il y aura de nouveau collision
0	1	La première station commence à émettre. Au bout d'une tranche canal, la deuxième va vouloir émettre, elle détecte une activité sur le canal, elle attend et émet plus tard. Pas de collision.

Binary Exponential Backoff : BEB

Station 1	Station 2	Traitement de la collision
1	0	La collision est résolue comme précédemment
1	1	Les deux stations vont attendre une tranche canal. Elles retentent l'émission simultanément. Collision de nouveau.

Binary Exponential Backoff : BEB

Il y a ainsi **1 chance sur 2** de résoudre la collision.

Dans le cas où la collision n'est pas résolue ou s'il y a plus de stations, on double l'espace de tirage (courante * 2).

Les stations pourront donc attendre 0, 1, 2, 3 tranches canal, on réduit à 1/4 la probabilité d'émettre simultanément.

Par défaut l'espace de tirage est doublé jusqu'à la 10^e tentative.

Au bout de **16 tentatives sans succès**, on abandonne la transmission.



Le service MAC

Le **service MAC** est utilisé par les entités de la couche LLC pour permettre l'échange des données entre MAC et LLC.

CSMA/CD étant en mode connecté, MAC ne concerne que le transfert de données.

Il y a **deux primitives de service** de la sous-couche MAC :

- **MA_DATA.request**
- **MA_DATA.indication**



La couche Physique

Elle est divisée en **trois parties : PLS, AUI, MAU**.

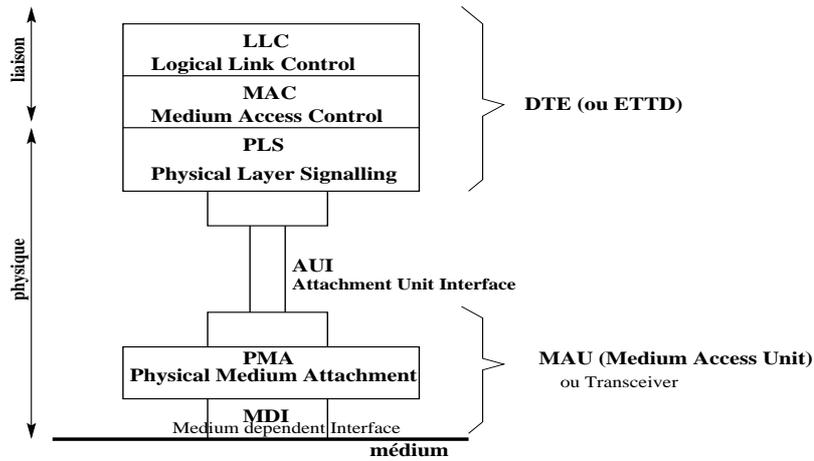


Fig. 12 – Architecture détaillée du 802.3

(Pour détails, voir documents cités en bibliographie et les RFC.)



Architectures types de réseaux Ethernet

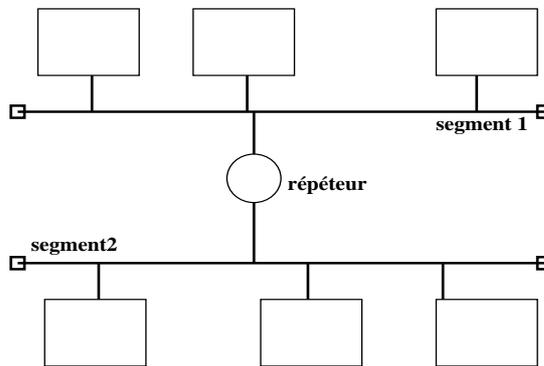


Fig. 13 – Câblage d'un réseau simple

Equipements pour câblages Ethernet : coaxial, terminateurs, répéteurs



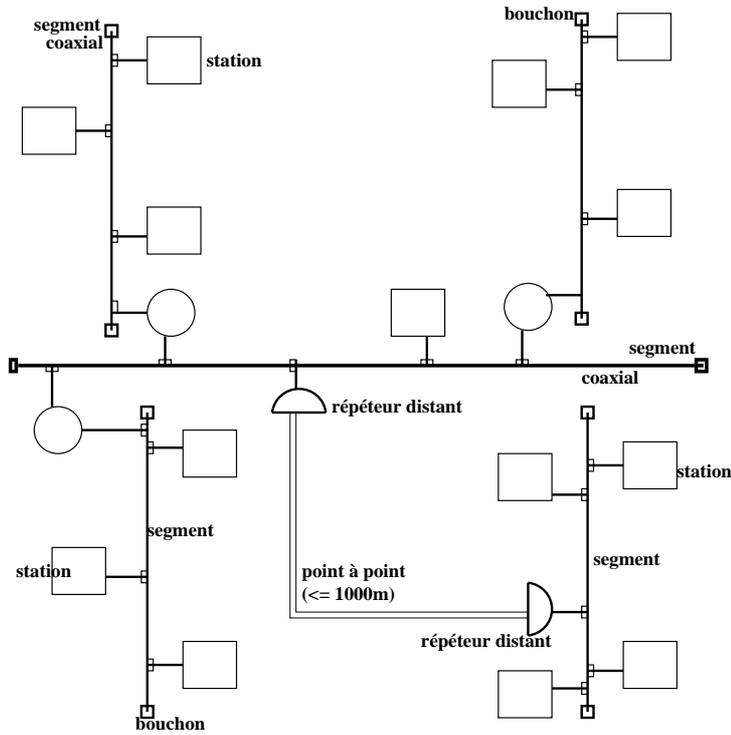


Fig. 14 – Câblage d'un réseau complexe

Architectures types de réseaux Ethernet

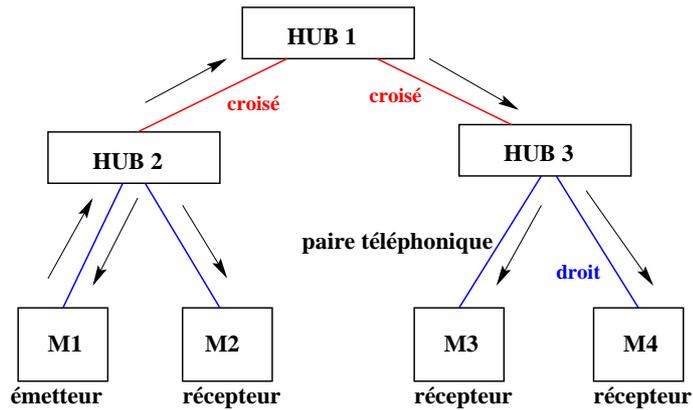


Fig. 15 – Exemple de câblage d'un réseau en 10baseT

Équipement actif : **hub** (pour le 10baseT)



Architectures types de réseaux Ethernet

Le câble reliant un hub à une station est **droit**.

Le câble reliant deux hubs doit avoir ses paires de **fils croisés**, sinon les paires en émission et en réception de retrouvent face à face.

Conclusion

Standard IEEE 802.3 (dont Ethernet) pour les réseaux locaux.

Autres standards IEEE :

- 802.4 Token Bus (bus à jeton)
- 802.5 Token-Ring (anneau à jeton)
- 802.14 Fast Ethernet
- ...