



Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg  
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

---

## Réseaux IP

# 210. Ethernet

# Réseaux IP

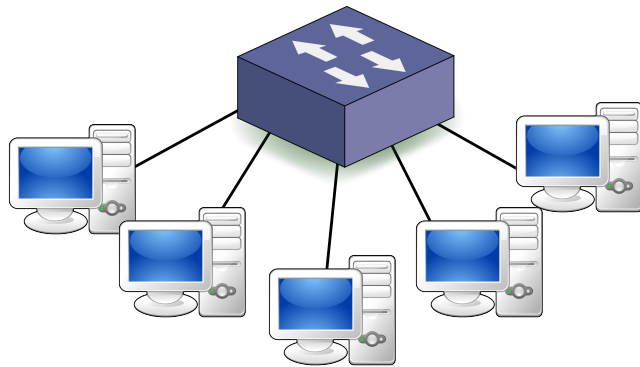
## 210. Ethernet 10Mbit/s

Caractéristiques, Modèle de référence, Evolution, Ethernet et 802.3, Trames, Adressage, Codes des fabricants, Champ de type de protocole, Trames LLC 802.2, Couche physique, 10BASE-5, 10BASE-2, 10BASE-T, Câbles et connecteurs, *Hubs* et *Switches*, Protocole CSMA/CD, Mesures de trames, Fiabilité, Performances et Temps de transfert

### Références:

- Réseaux (Andrew Tanenbaum, ISBN:2-7440-7001-7)
- Les Réseaux (Edition 2011, Pujolle, ISBN: 2-212-11437-0)

# Ethernet



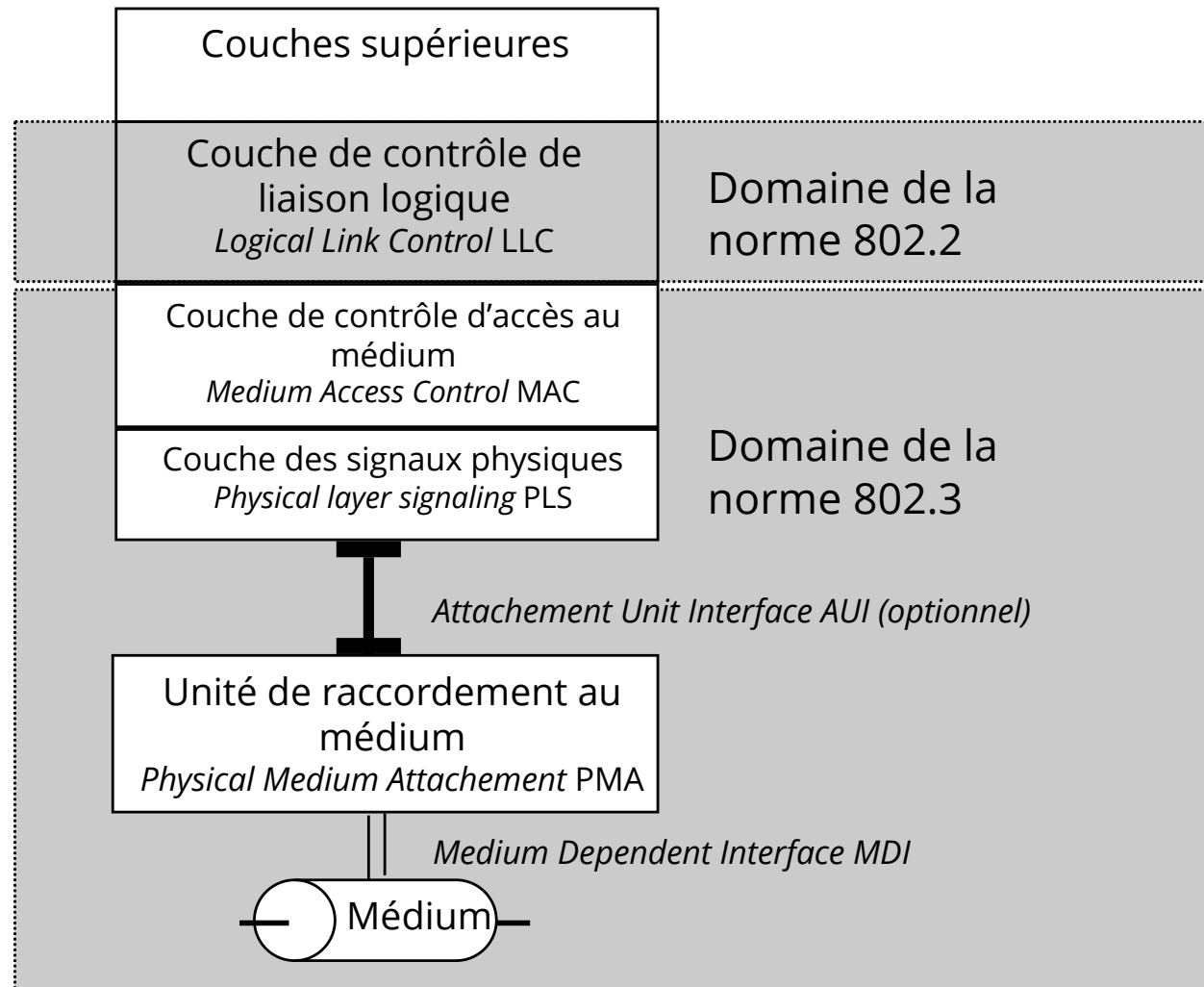
Réseau local le **plus connu** caractérisé par

- Une topologie **physique** en **étoile** (à l'origine en bus)
- Une topologie **logique** en **bus** (*Hub*), maintenant le plus souvent point-à-point ou en étoile (*Switch*)
- Un protocole MAC de type CSMA/CD. Bien adapté au trafic en rafales (données), moins adapté au trafic synchrone (téléphonie).
- Evolution vers le *switching* et la transmission point à point full duplex
- Un débit de 10Mbit/s, 100Mbit/s, 1Gbit/s, et même  $\geq 10\text{Gbit/s}$
- Une couche physique sur paires torsadées et fibres optiques (pour les plus hauts débits et plus longues distances)

En fait, Ethernet désigne une norme propriétaire. Le réseau normalisé est le IEEE 802.3 CSMA/CD (repris par le standard ISO 8802/3). Dans le langage courant, Ethernet désigne les deux types de réseaux qui sont d'ailleurs quasiment identiques.

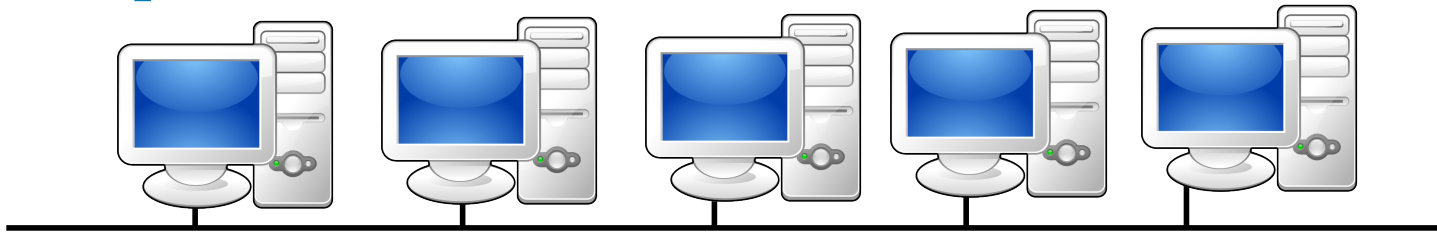
# Modèle de référence IEEE 802.3/ISO 8802/3 (1Mbit/s et 10Mbit/s)

On remarque que la norme IEEE 802.3 ne définit pas d'interfaces entre le plan gestion de réseau et les couches MAC et physiques



Note: ce modèle correspond à la révision IEEE 802.3 1993 sans les variantes à 100Mbit/s et 1000Mbit/s

# Passé, présent et future (1)



Ethernet a été un des premiers réseaux locaux qui atteigne le stade d'un produit. Il a été développé à partir de 1973 au centre de recherche XEROX à Palo Alto (PARC) en Californie par une équipe dirigée par Bob Metcalfe et David Boggs.

Son nom, Ethernet, vient de l'**éther**, substance invisible qui, selon une théorie de la physique du XIXème siècle abandonnée depuis la théorie de la relativité, devait "imbiber" tout l'univers et constituer ainsi un référentiel absolu.

Ethernet est le réseau local le plus répandu. Du fait de la simplicité du protocole et de ce succès, les cartes réseau sont très bon marché. Les PCs ont habituellement un accès Ethernet directement sur la carte mère.

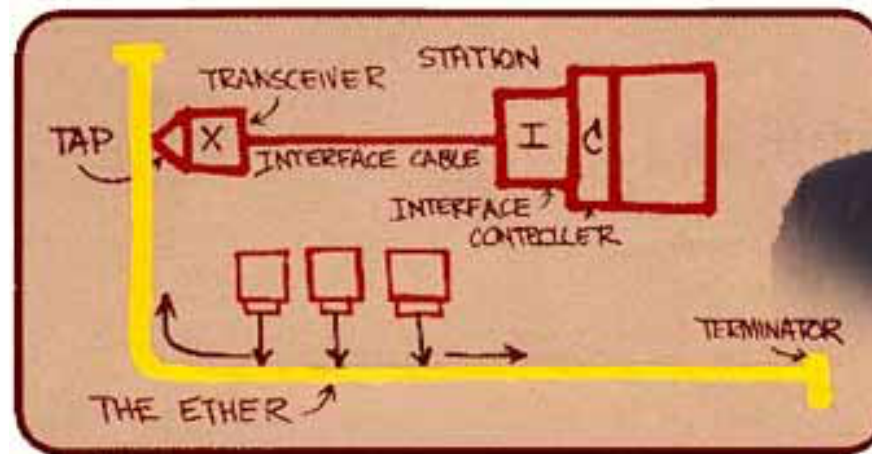
Les premières générations Ethernet utilisaient un bus coaxial physique. La variante actuelle principale est le 10/100 BASE-T à 10/100Mbit/s avec une topologie physique en étoile autour d'un *Hub* ou d'un *Switch*.

L'évolution est tout azimut: très hauts débits (1Gbit/s, 10Gbit/s et au-delà), redondance, gestion de la couche physique, accès DSL (« *Ethernet in the first mile* ») et même alimentation en énergie à travers le réseau ont fait l'objet d'intenses activités de standardisation ces dernières années.

# Passé, présent et future (2)

- 1970 ALOHAnet radio network deployed in Hawaiian islands
- 1973 Metcalf and Boggs invent Ethernet, random access in wired net
- 1979 DIX Ethernet II Standard
- 1985 IEEE 802.3 LAN Standard (10 Mbps)
- 1995 Fast Ethernet (100 Mbps)
- 1998 Gigabit Ethernet
- 2002 10 Gigabit Ethernet
- 2003 Power over Ethernet
- 2006 10Gb/s over UTP
- 2010 40Gb/s and 100 Gb/s
- 2016 25Gb/s and 50 Gb/s

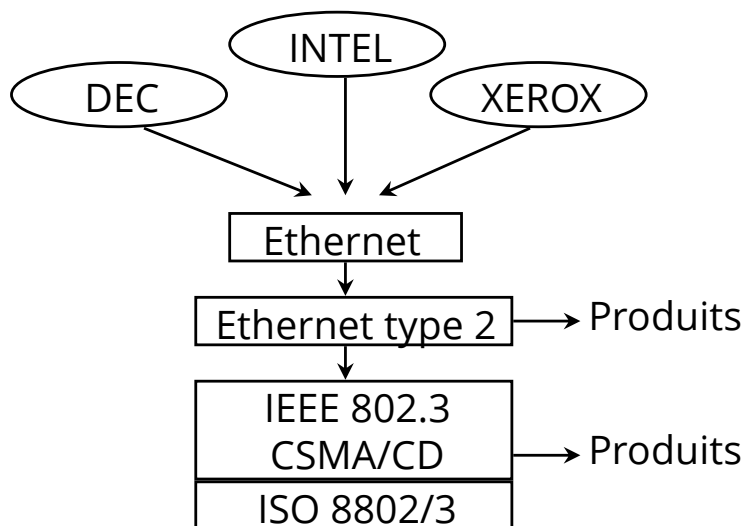
## Metcalf's Sketch



# Ethernet et IEEE 802.3

Le standard Ethernet a d'abord été mis au point par un consortium formé des entreprises DEC, INTEL et XEROX (DIX) fondé en 1979. Le premier standard DIX a été publié en 1980. Le deuxième, appelé **Ethernet type 2** (et parfois Ethernet ARPA) a été publié en 1984.

A la même époque, le standard Ethernet a été soumis à l'IEEE qui avait formé le comité 802 (en février 1980).

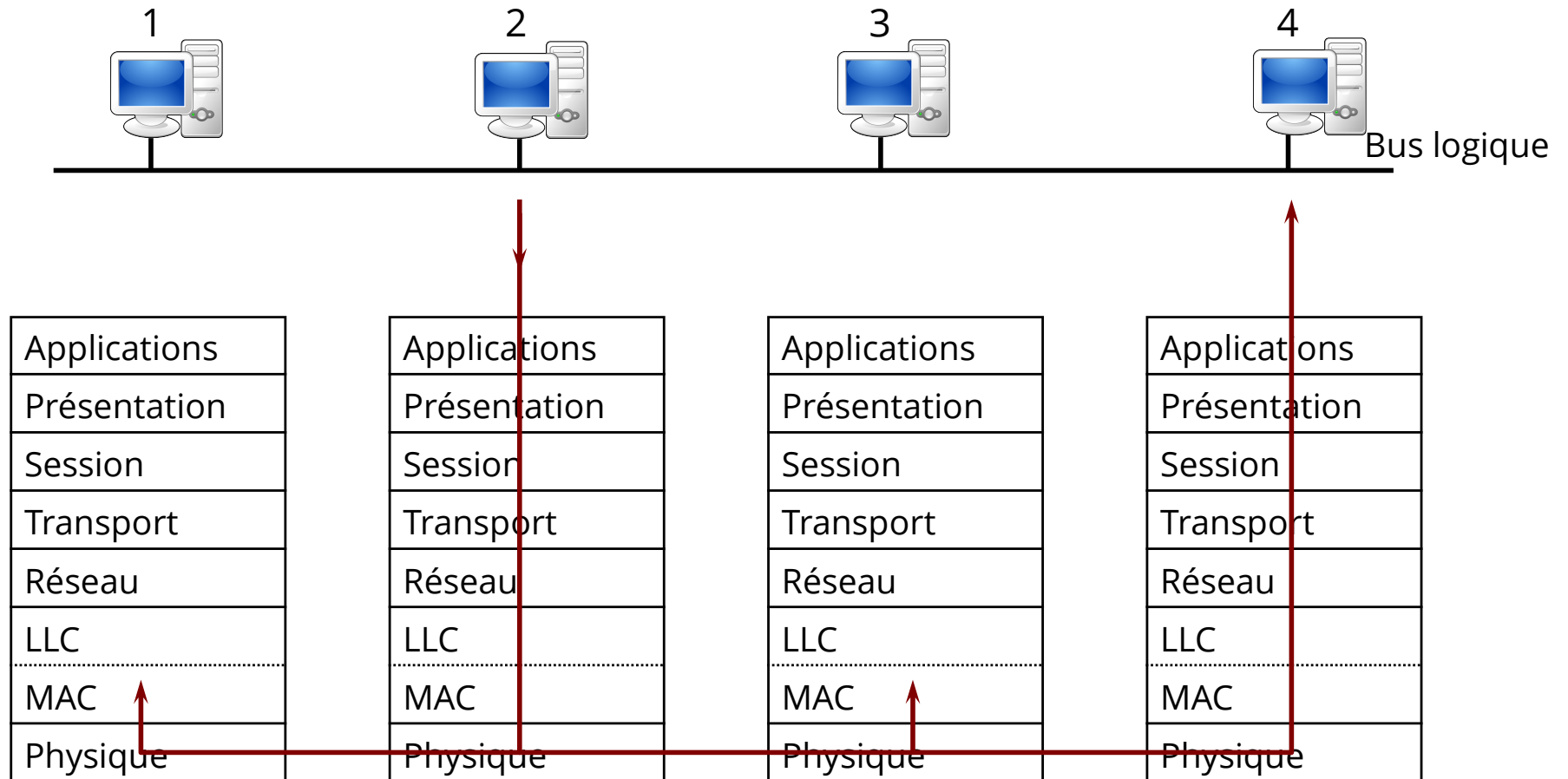


Le standard IEEE 802.3 CSMA/CD diffère seulement sur quelques points mineurs du standard DIX (avant tout sur le fait qu'un champ d'indication de protocole des couches supérieures dans Ethernet est remplacé par un champ d'indication de longueur du champ d'information dans 802.3). Il n'y a donc pas une identité absolue au niveau de la couche MAC. Les deux standards sont par contre équivalents au niveau de la couche physique. On peut donc mélanger sur le médium des trames Ethernet et 802.3 et laisser à la couche MAC la responsabilité de les différencier.

On devrait parler de standard 802.3 ou CSMA/CD et réserver le nom Ethernet au produit qui porte ce nom. Dans la pratique, "Ethernet" est utilisé de façon très générale pour tous les réseaux de ce type.

Le standard 802.3 est encore régulièrement complété avec des nouveaux aspects. Ces extensions sont désignées par des lettres consécutives: a, b, .., z, aa, ab, ..., etc.

# Exemple de fonctionnement du réseau 802.3



Ici, la station 2 envoie une trame à la station 4. Les couches MAC des stations 1 et 3 reçoivent la trame mais ne la transmettent pas vers les couches supérieures. La station 4 reçoit la trame et la met à disposition des couches supérieures



# Trames 802.3 et trames Ethernet

0x: hexadécimal

## SNAP

	0xAA	0xAA	0x03	OUI	Type de protocole	Données
Longueur	1	1	1	3	2	0-1492 octets

## 802.2 LLC

	DSAP	SSAP	CTRL	Données
Longueur	1	1	1	0-1497 octets

## Trame 802.3

	Préambule	SD	Adresse de destination	Adresse de source	Longueur/Type	Données	Bourrage	FCS
Longueur	7	1	6	6	2	46-1500		4 octets

## Trame Ethernet

	Préambule	Adresse de destination	Adresse de source	Type de protocole	Données	Bourrage	FCS
Longueur	8	6	6	2	← 46-1500 →		4 octets

entre 64 octets et 1518 octets

↑  
1er bit

# Champs des trames 802.3 et Ethernet

Les champs 802.3 sont envoyés sur le médium avec le bit de poids **faible** (LSB - *least significant bit*, *Little Endian*) de chaque octet en premier

- **Préambule (*preamble*)**: champ utilisé pour la délimitation des trames et fournir un signal à 5MHz  
(802.3): 7 octets de "10101010"  
(Ethernet): 62 bits de "10..." et 2 bits "11" (*synch*)
- **SFD (*start frame delimiter*)**:  
(802.3) délimitation de trame 1 octet "10101011"  
Note: les 8 premiers octets des trames 802.3 et Ethernet sont donc identiques
- **Adresses de source et de destination**: adresses MAC de 48 bits chacune
- **Type de protocole**: (Ethernet) *type field*: est utilisé pour déterminer quel est le protocole utilisé aux couches supérieures. Ce code, aussi appelé *DIX code*, identifie le protocole de couche 3. La trame Ethernet n'a pas de champ de longueur. C'est donc le rôle de la couche MAC d'identifier la fin de la trame et le rôle des couches supérieures de déterminer la longueur du champ de données.
- **Longueur/Type**: (IEEE 802.3) donne le nombre d'octets dans le champ de données. Si la valeur de ce champ est supérieure à 0x0600 (1536), il est interprété comment étant le type de protocole.
- **Bourrage (*pad*)**: ce champ permet de garantir une longueur minimale de trame de 64 octets (sans préambule et sans SFD)
- **FCS (*frame check sequence*)**: séquence de contrôle d'erreur, permet de détecter les erreurs sur la trame avec un polynôme de degré 32. Protège du premier bit de l'adresse de destination au dernier bit du FCS.

# Adresses MAC

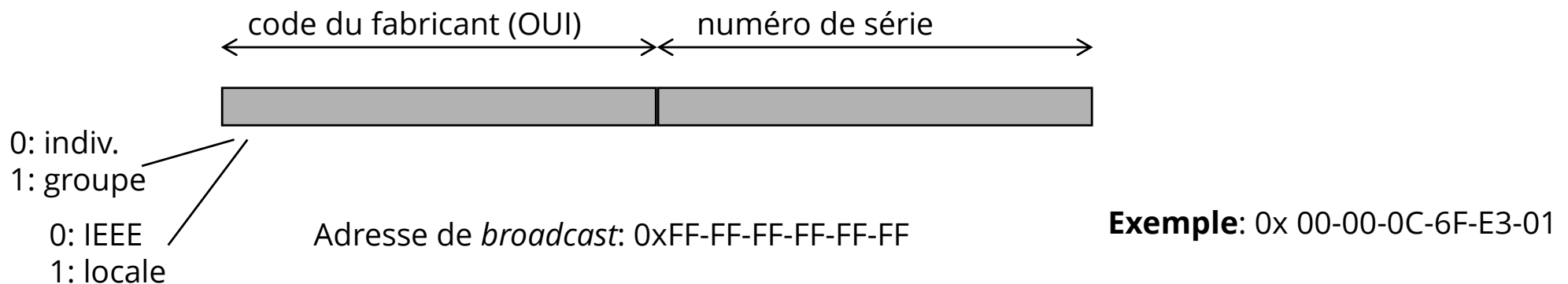
Pour que chaque carte d'accès 802.3 puisse être identifiée, le protocole MAC définit une adresse appelée adresse MAC (*MAC address*). Cette adresse est attribuée par l'IEEE de **façon unique**. Elle peut cependant être parfois modifiée.

L'adresse MAC est normalement indiquée sous forme hexadécimale en 12 caractères. Les 6 premiers sont attribués à un fabricant ou un vendeur. C'est le code OUI (*Organizationally Unique Identifier*). Les six derniers sont administrés par les fabricants (numéro de série).

Le premier bit (sur le médium, soit le dernier bit du 1<sup>er</sup> octet) de l'adresse MAC indique si il s'agit d'une adresse individuelle (0) ou d'une adresse de groupe (1). Le deuxième bit indique si il s'agit d'une adresse globale, administrée par l'IEEE (0) ou qu'elle est administrée localement (1).

En général, l'adresse MAC est placée dans une mémoire ROM. On parle alors de "burned-in address" (BIA).

Il faut remarquer que l'adresse MAC est en fait un nom qui permet d'identifier une carte d'accès et non pas une adresse au sens par exemple des adresses IP (*internet protocol*) de couche 3 qui permettent de trouver un chemin pour accéder à la station.



# Ethernet/IEEE 802.3: codes OUI des fabricants

From <http://standards.ieee.org/regauth/oui/index.shtml>

Voir aussi <http://map-ne.com/Ethernet> et

<http://www.cavebear.com/CaveBear/Ethernet/index.html>

Ethernet hardware addresses are 48 bits, expressed as 12 hexadecimal digits (0-9, plus A-F, capitalized). These 12 hex digits consist of the first/left 6 digits (which should match the vendor of the Ethernet interface within the station) and the last/right 6 digits which specify the interface serial number for that interface vendor. Ethernet addresses might be written unhyphenated (e.g. 123456789ABC), or with one hyphen (e.g. 123456-789ABC), but should be written hyphenated by octets (e.g. 12-34-56-78-9A-BC).

These addresses are physical station addresses, not multicast nor broadcast, so the second hex digit (reading from the left) will be even, not odd.

According to some informal correspondence, when the IEEE assigns an Ethernet address block, a block of  $2^{25}$  is reserved. Both a unicast and a multicast (group address) block, in a pair. Thus multicast groups for vendor-specific uses tend to match the non-multicast vendor assignments with "010000" added. This rule seems to be true for most of the addresses in these files.

A portion of the vendor block address is reportedly assigned serially, with the other portion intentionally assigned randomly. If there is a global algorithm for which addresses are designated to be physical (in a chipset) versus logical (assigned in software), or globally-assigned versus locally-assigned addresses, some of the known addresses do not follow the scheme (e.g AA0003; 02xxxx).

## Exemples

00000C	Cisco
...	
080002	3Com (formerly Bridge)
080003	ACC (Advanced Computer Communications)
080005	Symbolics Symbolics LISP machines
080006	Siemens Nixdorf PC clone
080007	Apple
080008	BBN (Bolt Beranek and Newman, Inc.)
080009	Hewlett-Packard
08000A	Nestar Systems
08000B	Unisys
08000D	ICL (International Computers, Ltd.)
08000E	NCR/AT&T
08000F	SMC (Standard Microsystems Corp.)
080010	AT&T [misrepresentation of 800010?]
080011	Tektronix, Inc.
080014	Excelan BBN Butterfly, Masscomp, Silicon Graphics
080017	National Semiconductor Corp. (used to have Network System Corp., wrong NSC)
08001A	Tiara? (used to have Data General)
08001B	Data General
08001E	Apollo
08001F	Sharp
080020	Sun
080022	NBI (Nothing But Initials)
080023	Matsushita Denso
080025	CDC
080026	Norsk Data (Nord)
080027	PCS Computer Systems GmbH
080028	TI Explorer
08002B	DEC
etc.	

# Adresses *Multicast* et *Broadcast*

Ethernet Multicast (including Broadcast) Addresses and uses

Ethernet Address	Type	Field	Usage
---------------------	------	-------	-------

Multicast Addresses:

01-00-10-00-00-20-802-	Hughes Lan Systems Terminal Server S/W downloa
01-00-10-FF-FF-20 -802-	Hughes Lan Systems Terminal Server S/W request
01-00-1D-00-00-00-802-	Cabletron PC-OV PC discover (on demand)
01-00-1D-42-00-00-802-	Cabletron PC-OV Bridge discover (on demand)
01-00-1D-52-00-00-802-	Cabletron PC-OV MMAC discover (on demand)
01-00-5E-00-00-000800	DoD Internet Multicast (RFC-1112)
through	
01-00-5E-7F-FF-FF	
01-00-5E-80-00-00????	DoD Internet reserved by IANA
through	
01-00-5E-FF-FF-FF	
01-00-81-00-00-00????	Synoptics Network Management
01-00-81-00-00-02????	Synoptics Network Management
01-80-C2-00-00-00-802-	Spanning tree (for bridges)

*etc.*

Broadcast Address:

FF-FF-FF-FF-FF-FF	0600	XNS packets, Hello or gateway search? 6 packets every 15 seconds, per XNS station
FF-FF-FF-FF-FF-FF	0800	IP (e.g. RWHOD via UDP) as needed
FF-FF-FF-FF-FF-FF	0804	CHAOS
FF-FF-FF-FF-FF-FF	0806	ARP (for IP and CHAOS) as needed
FF-FF-FF-FF-FF-FF	0BAD	Banyan

*etc.*

# Ethernet: champ « type de protocole »

Obtenu de <http://www.iana.org/assignments/ethernet-numbers>. Voir aussi <http://www.cavebear.com/CaveBear/Ethernet/type.html>. Voir aussi RFC 1700 et 3232 (obsolètes).

Ethernet		Description	References
-----		-----	-----
<b>Decimal</b>	<b>Hex</b>		
0000	0000-05DC	IEEE802.3 Length Field	[XEROX]
0257	0101-01FF	Experimental	[XEROX]
0512	0200	XEROX PUP (see 0A00)	[8,XEROX]
0513	0201	PUP Addr Trans (see 0A01)	[XEROX]
	0400	Nixdorf	[XEROX]
1536	0600	XEROX NS IDP	[133,XEROX]
	0660	DLOG	[XEROX]
	0661	DLOG	[XEROX]
2048	0800	Internet IP (IPv4)	[IANA]
2049	0801	X.75 Internet	[XEROX]
2050	0802	NBS Internet	[XEROX]
2051	0803	ECMA Internet	[XEROX]
2052	0804	Chaosnet	[XEROX]
2053	0805	X.25 Level 3	[XEROX]
2054	0806	ARP	[IANA]
...			
	86DD	IPv6	[IANA]
34543	86DF	ATOMIC	[Postel]
	86E0-86EF	Landis & Gyr Powers	[XEROX]
	8700-8710	Motorola	[XEROX]
34667	876B	TCP/IP Compression	[RFC1144]
34668	876C	IP Autonomous Systems	[RFC1701]
34669	876D	Secure Data	[RFC1701]
	880B	PPP	[IANA]
	8847	MPLS Unicast	[Rosen]
	8848	MPLS Multicast	[Rosen]
etc.			

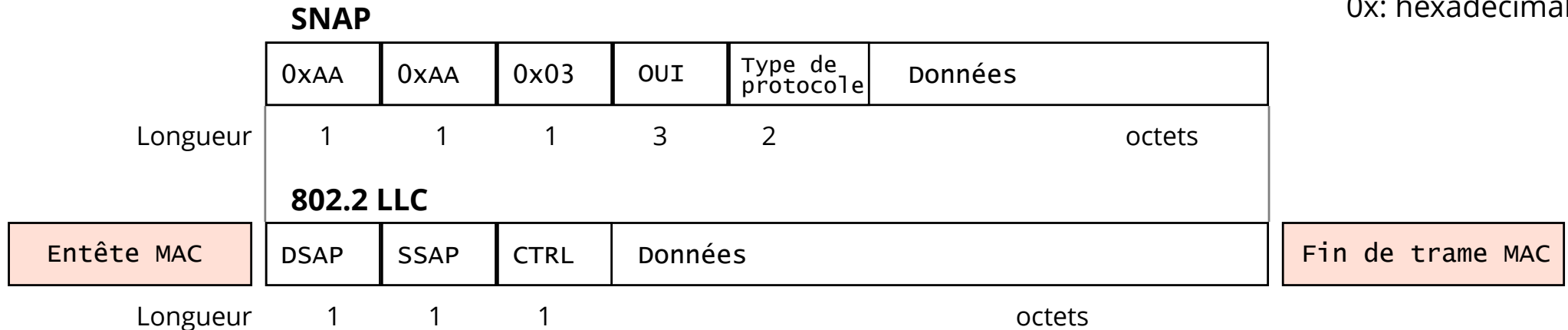
*According to the October 1988 issue of COURIER (page 8), "if it is less than 600H, the packet is assumed to be an 802.3 packet; if it is greater than 600H, the packet is flagged as an Ethernet packet."*

# Trames IEEE LLC 802.2

- Les trames IEEE 802.2 (identiques pour tous les protocoles IEEE 802.x) réserve un octet pour identifier le protocole de la source (*source service access point* - SSAP) et un octet pour identifier le protocole de destination (*destination service access point* - DSAP). SAP = 0x06 est par exemple le protocole IP.
- Le champ de contrôle (*control field*) 802.2 identifie le type de service:
  - LLC 1: sans connexion
  - LLC 2: avec connexion
  - LLC 3: sans connexion mais avec accusé de réception  
(note: Ethernet fournit un service de type LLC 1)
- Malheureusement, il s'est vite avéré que l'octet réservé pour le SAP était trop petit pour identifier le grand nombre de protocoles existants. Deux bits sur 8 sont perdus pour des bits de contrôle, ce qui laisse 62 possibilités (111111 étant réservé pour le *broadcast* et 000000 pour désigner l'ensemble de façon traditionnelle). Pour remédier à ce problème, on a créé une "solution de secours" (*patch*) avec le SNAP (*subnetwork access protocol* - RFC 1042 ou IEEE 802-1990) qui mentionne que lorsque le SSAP et le DSAP sont à 0xAA définit deux champs supplémentaires: le champ OUI (*Organizationally Unique Identifier*, voir les adresses MAC) et le type de protocole (voir trame Ethernet).

# Trames IEEE 802.2 et SNAP

0x: hexadécimal



- La trame 802.2 possède un octet **DSAP** (*Destination Service Access Point*) pour identifier le protocole de destination et un octet **SSAP** (*Source Service Access Point*) pour identifier le protocole de source.
- Le champ de contrôle CTRL contient des informations de couche 2 comme le numéro de séquence, une quittance, etc.
- 1 bit dans le DSAP est réservé pour indiquer s'il s'agit d'une adresse de groupe ou d'une adresse individuelle. Une adresse de groupe signifie que les données sortant par ce point d'accès sont destinées à plusieurs entités de couche réseau (couche 3).
- 1 bit dans le SSAP permet de distinguer les commandes des réponses du protocole LLC.



# Variantes physiques des réseaux 802.3

La norme 802.3 décrit une grande famille de réseaux basés à l'origine sur le protocole CSMA/CD et maintenant sur le format de trame Ethernet.

La notation suivante est utilisée pour indiquer le type de couche physique:

**[Débit en Mbit/s] [Mode de transmission] - [Longueur max. du médium et/ou type de médium]**

1: 1Mbit/s  
10: 10Mbit/s  
100: 100Mbit/s  
1000: 1Gbit/s  
10G: 10Gbit/s

BASE: bande de base  
BROAD: large bande avec  
modulation de phase DPSK sur  
coax 75W (obsolète)

2: coax 185m (pour 200m)  
5: coax 500m  
36: coax 3600m  
T: *twisted pairs* (paires torsadées) 100m  
F: fibres optiques multimodes, 62.5mm/125mm.  
Une variante principale à 10Mbit/s:  
• FL: *fiber link* (≤ 2km, point-à-point, duplex)

## Exemples:

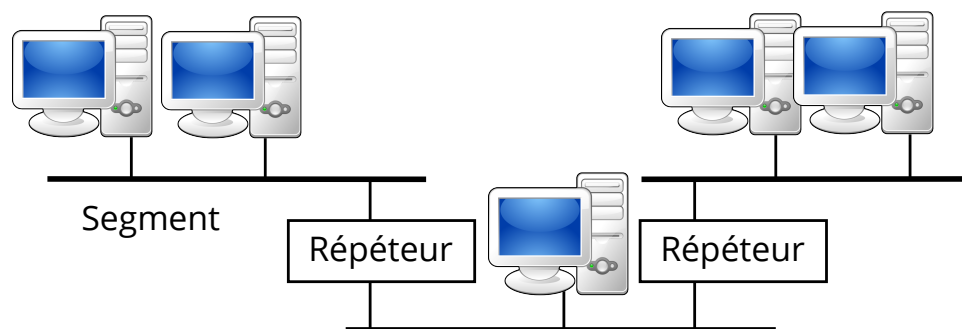
10BASE-5: 10Mbit/s, bande de base, 500m max. sur coax

10/100 BASE-T: 10/100 Mbit/s avec auto-négociation de la vitesse, bande de base, paires torsadées, 100m

# Topologies 802.3 (10Mbit/s)

Variante couche physique	Topologie physique	Nombre de stations par segment	Longueur maximale des segments
10BASE-5 (coax)	Bus	100	500m
10BASE-2 (coax)	Bus	30	185m
10BASE-T (paires torsadées)	Etoile	2	100m
Fibres optiques (plus. var.)	Point-à-point, étoile	2	500m à 2000m

La topologie générale d'un réseau 802.3 est constitué d'une suite de **segments** connectés par des **répéteurs** (ou *Hubs*). Le nombre de segments et leur longueur sont limités car le temps de propagation de bout en bout doit être inférieur à la moitié de la durée de la plus courte trame CSMA/CD possible (et même un peu moins si on tient compte des délais des répéteurs, de la détection d'une collision, et d'une marge de sécurité). Cette contrainte permet à la source de détecter les collisions dans tous les cas.

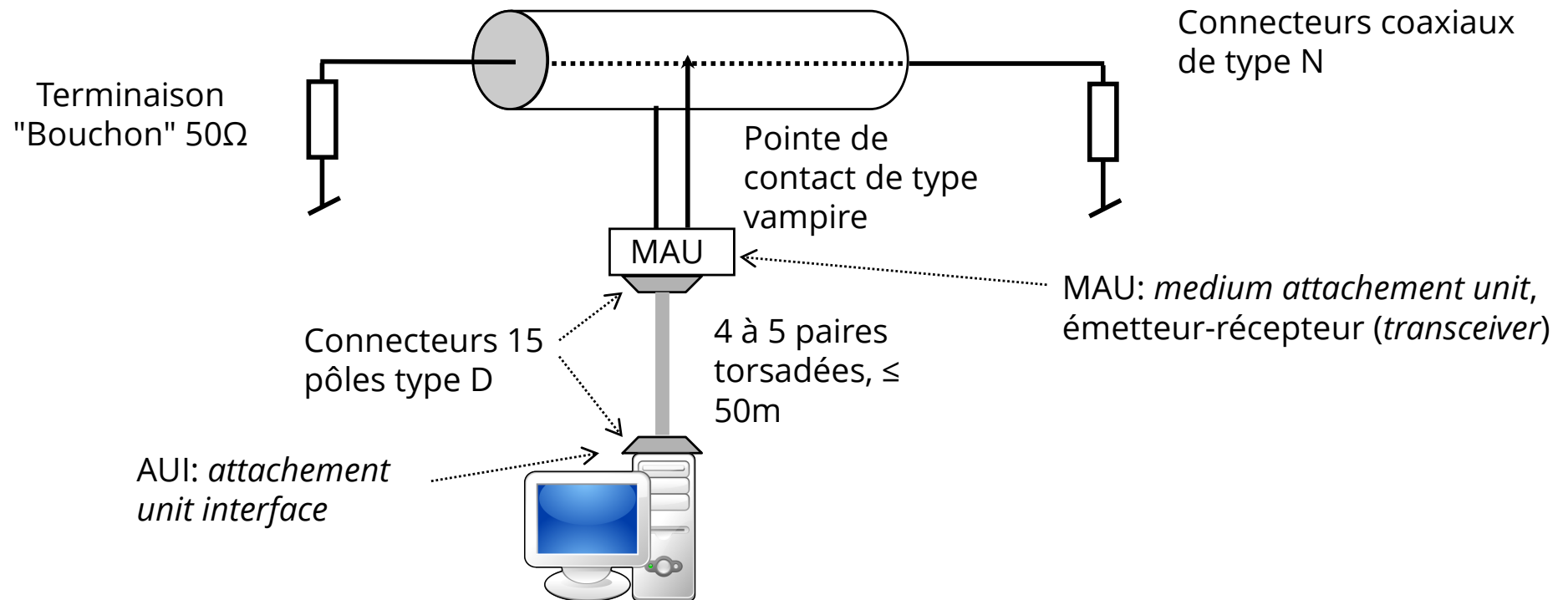


## Règles:

- Toute connexion entre segments nécessite un répéteur
- Pas plus de 5 segments (dont au maximum 3 coax) soit 4 répéteurs

## 802.3 10BASE-5 (*yellow cable ou thick Ethernet*)

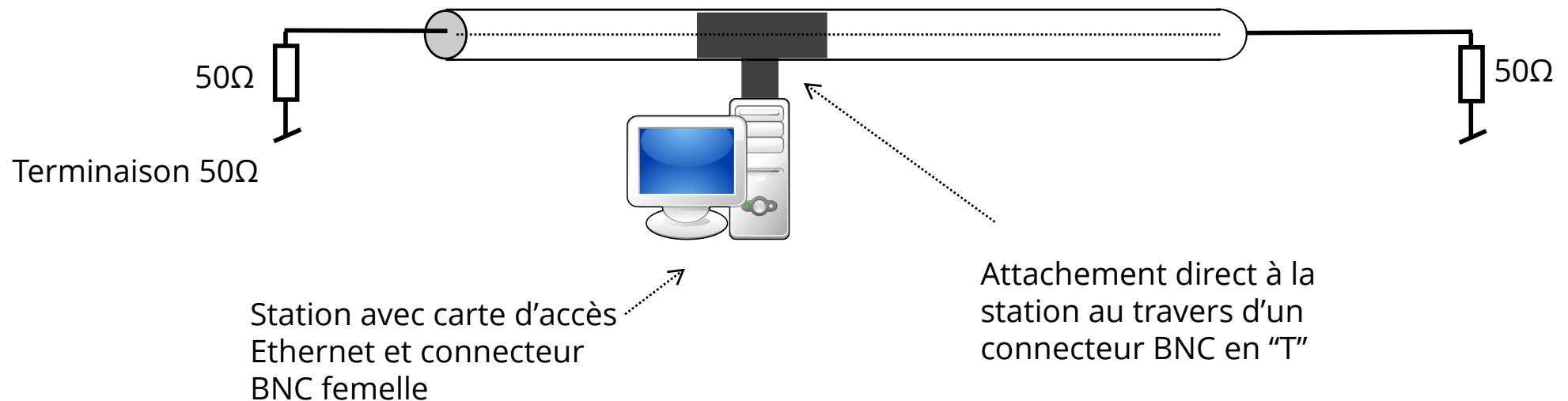
Câble coaxial épais, RG8,  $50\Omega \pm 2\Omega$ , isolation en PVC;  $\varnothing_{\text{ext}}$  10.3mm;  $\varnothing_{\text{int}}$  2.17mm.  
Atténuation  $\leq 8.5\text{dB}/500\text{m}$  à 10MHz et  $\leq 6\text{dB}/500\text{m}$  à 5MHz; vitesse du signal  $\geq 0.77c$



- Segments de câble de 23m, 70m, 117m, etc. (multiples impaires de  $\lambda/2$  à 5MHz) pour éviter les risques d'additions des réflexions en phase à 5MHz
- Le câble 10BASE-5, habituellement de couleur jaune, est difficile à manipuler (lourd et rigide)
- Il est possible de connecter jusqu'à 100 stations par segment 10BASE-5
- **Obsolète** depuis plusieurs années

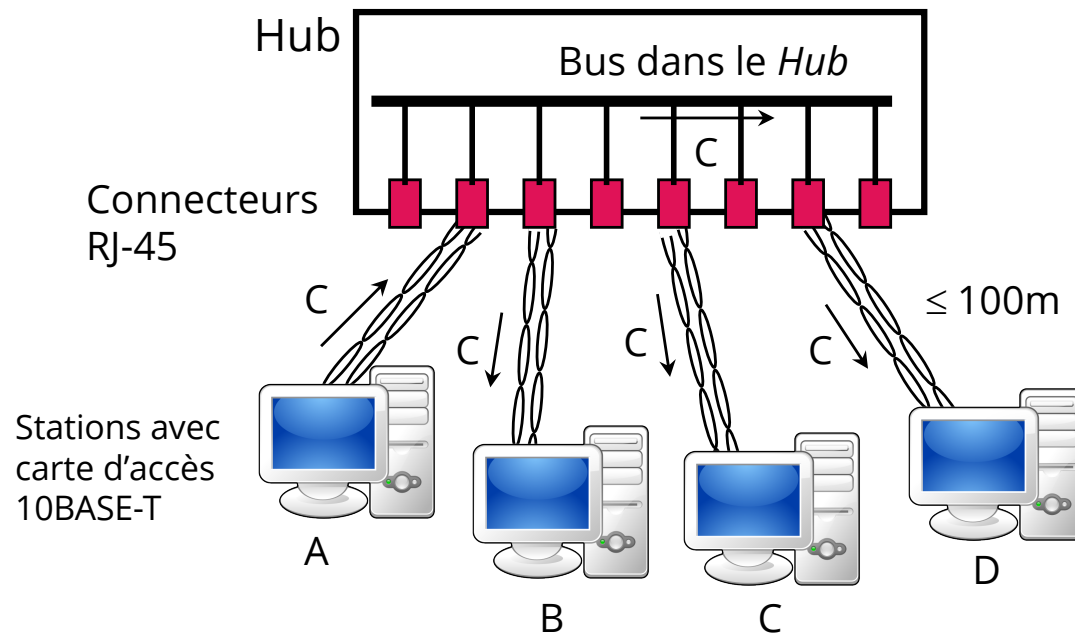
## 802.3 10BASE-2 (*Thin Ethernet* ou *"cheapernet"*)

Câble coaxial mince, RG58,  $50\Omega \pm 2\Omega$ ;  $\varnothing_{\text{ext}}$  4.7mm,  
Atténuation  $\leq 8.5\text{dB}/185\text{m}$  à 10MHz et  $\leq 6\text{dB}/185\text{m}$  à 5MHz; vitesse du signal  $\geq 0.65c$



- Câble généralement noir dont la longueur est au maximum 185m
- Connecteurs coaxiaux  $50\Omega$  de type BNC
- Distance entre les stations  $\geq 0.5\text{m}$
- Câbles et connecteurs relativement faciles à manipuler
- Possibilité de connecter jusqu'à 30 stations par segment
- **Obsolète** depuis plusieurs années

# 802.3 10BASE-T (Hub) (1) *(twisted pair)*



**Exemple:** la station A envoie une trame à la station C (l'adresse MAC de destination est C). La trame est transmise sur tous les autres ports (B, C et D)

Variante en topologie physique étoile sur paires torsadées d'Ethernet à 10Mbit/s. Elle dépend d'un élément central actif, le répéteur multiport, appelé *Hub*.

Chaque station est reliée individuellement au *Hub* avec un câble contenant 2 paires torsadées actives (une paire pour chaque direction).

Les trames arrivant sur un port sont envoyées directement sur tous les autres ports. Distance entre une station et le *Hub* doit être  $\leq 100\text{m}$ .

- Vitesse dans le câble  $\geq 175\text{m/ms}$
- Tensions de 0.5 à 3V environ
- Pertes  $\leq 11.5\text{dB}/100\text{m}$
- Délai dans le *Hub* environ 1ms.

## 802.3 10BASE-T (Hub) (2) *(twisted pair)*

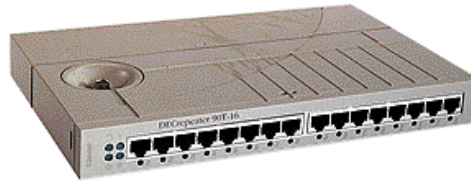
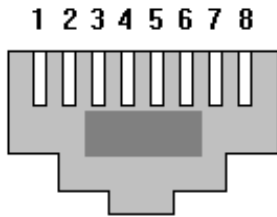
Le **Hub** est essentiellement un répéteur **multi-ports**. Il transmet une trame qui arrive vers toutes les autres stations (*broadcast*). Il régénère le signal à chaque port. Une collision affecte donc l'ensemble des équipements connectés.

Au contraire du **Switch** (commutateur), il n'analyse pas le contenu des trames. Typiquement un *Hub* a de 4 à 24 ports. Certains *Hubs* ont plusieurs bus internes (circuits intégrés) en parallèle.

Par rapport aux variantes sur câble coaxial, 10BASE-T offre un câblage meilleur marché et plus standard. 10BASE-T permet aussi de retirer et d'ajouter des stations sans problèmes. De plus, la fiabilité est nettement meilleure.

La variante 10BASE-T est aussi évolutive et elle supporte la migration du réseau vers Ethernet à 100Mbit/s et plus en utilisant une auto-négociation au niveau de la couche physique

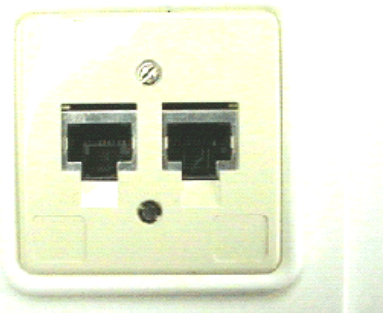
# Hubs « Ethernet » 10BASE-T



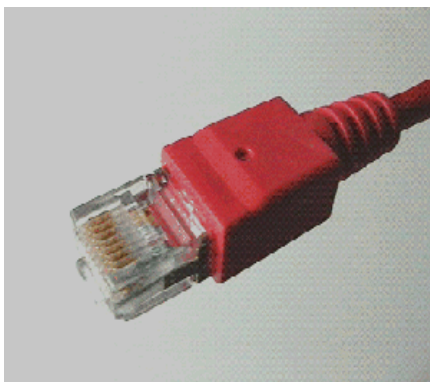
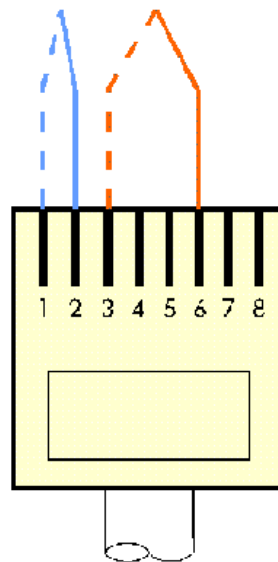
Connecteurs de type RJ-45

Câble de type paires torsadées, généralement de catégorie 5, Impédance  $100\Omega$  ( $85\Omega$  -  $111\Omega$ )

La liaison 10BASE-T entre la station et le Hub se fait au moyen d'un câble « *straight-through* » (peuvent être cascades). Le Hub fournit la « fonction de croisement ».



Paire 0 Paire 1



Vue du côté des conducteurs

**Attention:** faire la différence entre les ports de *Hub* vers les stations (permettant de les relier avec un câble *straight-through*) et le port *uplink* permettant de se relier à un autre *Hub* en amont en « émulant » une station.

La fonction « **Auto-MDIX** » implémentée sur certains équipements permet de détecter le type de câble. Il est ainsi possible d'utiliser soit un câble « *straight-through* », soit un câble « *cross* »

# Câblage 10/100BASE-T (RJ-45)

FUNC.	PIN#	
TX+	1	To Hub
TX-	2	To Hub
RX+	3	From Hub
RX-	6	From Hub

Câble "**straight-through**" pour la connexion de stations à un hub/switch:

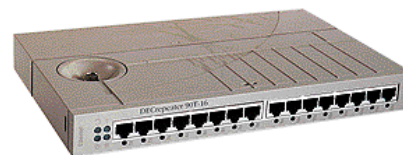
1 - 1  
2 - 2  
3 - 3  
6 - 6

Câble "**cross**", connexion directe de stations

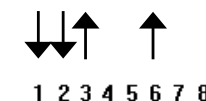
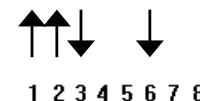
1 - 3  
3 - 1  
2 - 6  
6 - 2

Type de connexion	Station/Routeur	Hub/Switch
Station/Routeur	Câble « cross »	Câble « straight-through »
Hub/Switch	Câble « straight-through »	Câble « cross »

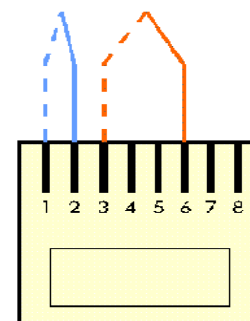
Hub



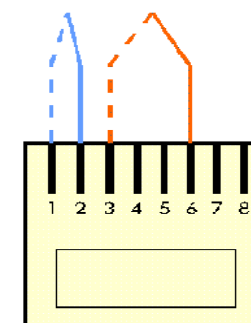
Station



Paire 0 Paire 1



Paire 0 Paire 1



Câble "straight-through"

Vue du côté des conducteurs

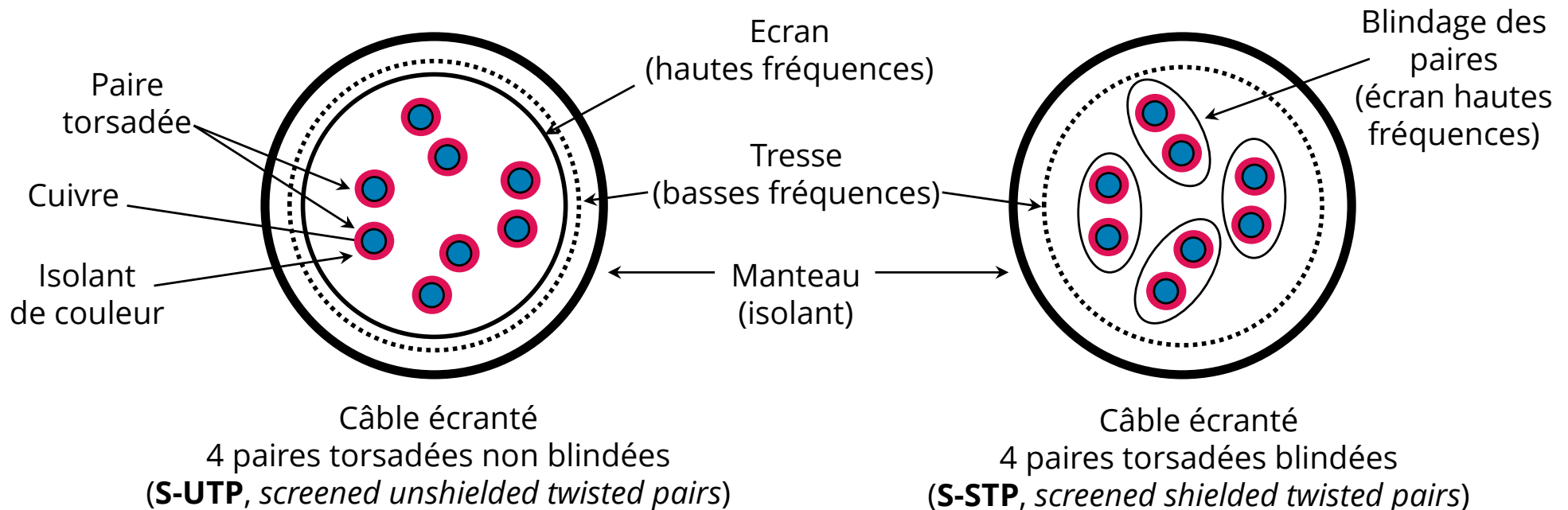
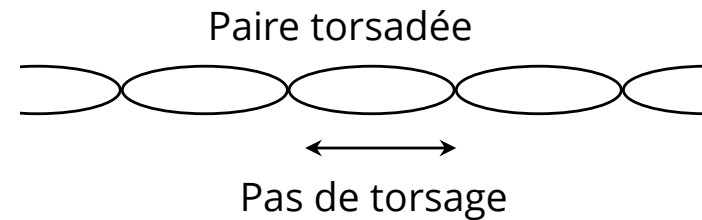


# Câblage 10/100/1000BASE-T (paires torsadées)

Les câbles de paires torsadées sont couramment utilisés dans les réseaux Ethernet pour le secteur tertiaire (du répartiteur d'étage aux stations, distances inférieures à 100m). Ethernet utilise deux paires à 10/100Mbit/s et quatre paires au Gbit/s.

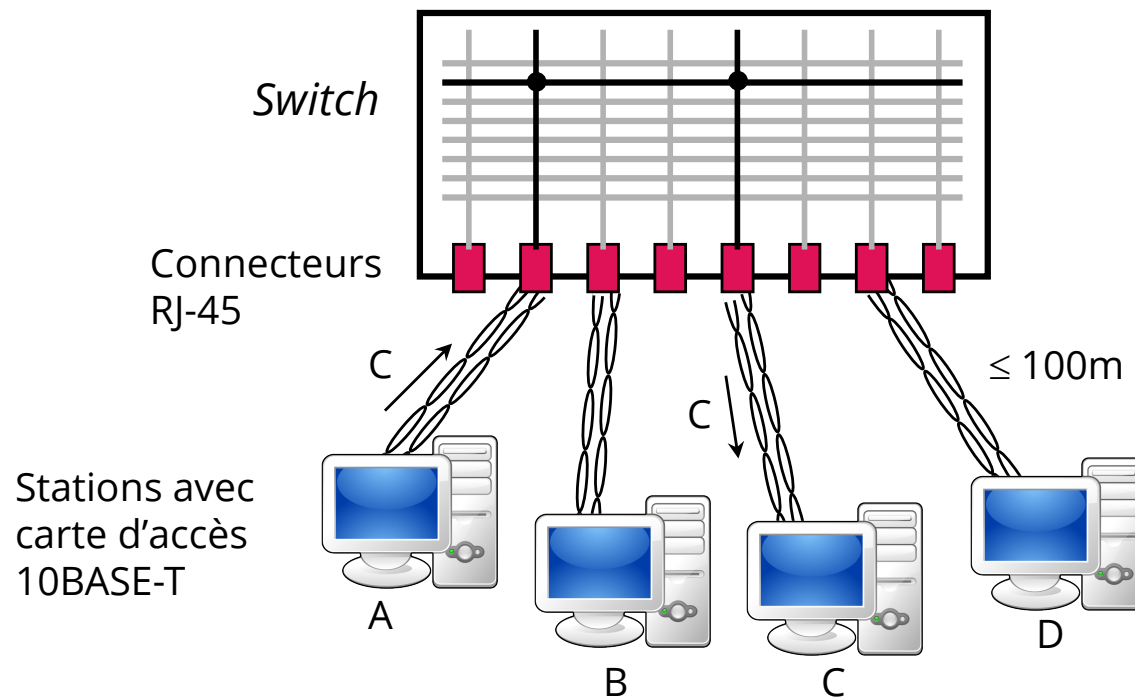
Les câbles comprennent généralement deux ou quatre paires torsadées (torsadées individuellement)

Dans les réseaux Ethernet on utilise généralement du câble de catégorie 5/5e (S-UTP à 4 paires) ou meilleur.



# Switching 10/100BASE-T

Le **Switch** 10BASE-T est une évolution du **Hub** qui « établit un circuit » pendant la durée du transport de la trame de la source vers la destination. Il est donc possible d'avoir un transfert simultané entre paires de ports. Il travaille en « **full duplex** » par port. Il n'y a aucune différence au niveau de la carte d'accès et du câblage par rapport au *Hub*. Le *Switch* existe aussi dans les variantes à 100Mbit/s et plus.



**Exemple:** la station A envoie une trame à la station C

Le *Switch* doit garder en mémoire (file d'attente) les trames qui n'arrivent pas à être émises immédiatement vers le port de sortie (situation de congestion)

# Protocole MAC 802.3: *Carrier Sense*

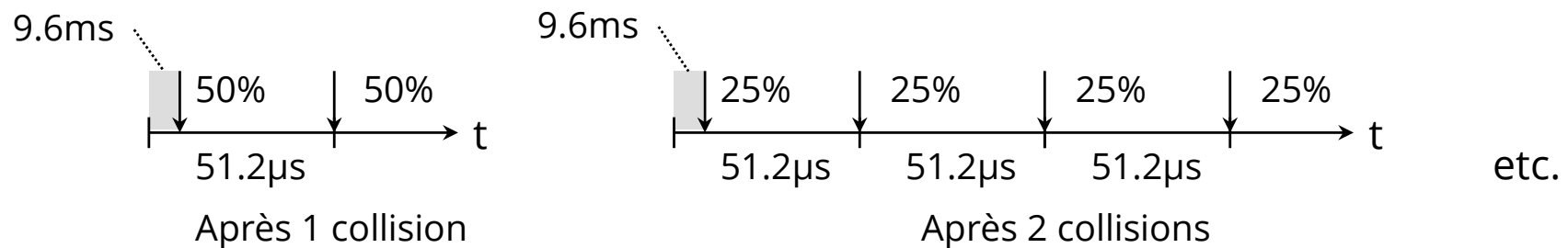
Le protocole MAC 802.3 est le CSMA/CD, variante de l'accès par compétition. Le "**carrier sense**" indique que la station "écoute" le médium pour savoir si il est occupé avant d'émettre sa trame.

1. Une station qui a une trame à émettre l'encapsule dans une trame MAC 802.3
2. Elle observe le médium pour savoir si il est déjà occupé
- 3a. Si il est libre, elle place la trame sur le médium
- 3b. Si il est occupé, elle attend qu'il devienne libre, attend 9.6ms (intervalle inter-trame, permet au récepteur de se « préparer » et laisse s'évanouir les échos en bout de câble) et place la trame sur le médium

- Si il n'y a **pas de collision**, la trame est considérée comme transmise.
- Si il y a une **collision**, un algorithme adaptatif appelé "*exponential backoff*" est mis en œuvre.

# Protocole MAC 802.3: *Exponential Backoff*

1. Dès que la station source détecte la collision, elle interrompt la transmission de la trame et émet un signal de brouillage (**jam signal**) d'une durée de 32 bits pour informer toutes les autres stations impliquées qu'une collision a eu lieu
2. Chaque station source détermine alors un temps d'attente avant une nouvelle tentative de transmission selon l'algorithme **exponential back-off**. Le temps est divisé en intervalles de  $51.2\mu\text{s}$  appelés *slots*. Pour la première tentative de retransmission, la station attend 0 ou 1 *slot* (choix déterminé au moyen d'un générateur aléatoire)
3. Si il y a de nouveau une collision, la station attend 0, 1, 2 ou 3 *slots* avant de refaire une tentative (choix aléatoire)
4. Le processus continue de façon à ce qu'après la  $i$ -ème collision, la station attende entre 0 et  $2^i$  *slots* (choix aléatoire)
5. Après 10 collisions, le nombre maximal reste fixé à 1023
6. Après 16 tentatives, on considère que la transmission a **échoué** et on "passe le problème" aux couches supérieures.



# Paramètres IEEE 802.3 à 10Mbit/s

Paramètres	Valeur
Intervalle minimal entre les trames	9.6µs
Intervalles ( <i>slots</i> ) des tentatives de réémission	51.2µs
Nombre maximal de tentatives	16
Limite du <i>backoff</i>	10
Taille du brouillage ( <i>jam</i> )	32 bits
Taille maximale de la trame (sans préambule)	1518 octets
Taille minimale de la trame (sans préambule)	64 octets
Taille maximale du champ de données	1500 octets
Taille minimale du champ de données	46 octets (bourrage)
Taille de l'adresse MAC	6 octets (anciennement aussi 2)

# Fiabilité dans le réseau 802.3

Les aspects de fiabilité sont très importants dans un réseau local. Dans le cas du réseau 802.3, les mécanismes suivants ont par exemple été prévus:

- Un mécanisme appelé “**anti-jabber**” (de *to jab* = débiter de manière incompréhensible) qui permet à un *Hub* 10BASE-T de bloquer un segment qui a un contrôleur qui envoie des trames trop longues.
- Un avantage important de la variante 10BASE-T est de permettre un fonctionnement même en cas de défectuosité d'une ou plusieurs liaisons entre le *Hub/switch* et les stations (isolation de chaque segment)
- Toujours dans la variante 10BASE-T, un mécanisme appelé **partitioning** permet d'isoler un segment sur lequel se produisent trop de collisions.

# Performances du réseau Ethernet/802.3

Une étude générale sur les performances du réseau Ethernet/802.3 CSMA/CD. peut par exemple être trouvée dans l'article de W.Bux\*. L'étude exacte des performances est compliquée et fait appel à des développements mathématiques assez longs.

Les approximations utilisées pour le CSMA/CD donnent cependant de très bons résultats qui ont été vérifiés dans la pratique.

La formule de Lam\*\* donne le débit effectif maximal en assumant un trafic d'arrivées de type Poisson et une distribution exponentielle de la longueur des trames. Cette approximation est parfaitement suffisante pour l'analyse et le dimensionnement d'un réseau Ethernet normal:

$$D_e = \frac{1}{1 + A(2e + 1)} D_n$$

\*[Bux, 84] W. Bux, « Performance issues in local area networks, » IBM Systems Journal, Vol. 23, No. 4, 1984.

\*\* [Lam, 80], S. Lam « A carrier sense multiple access protocol for local networks, » Computer networks, 4, 1980.

# Débit effectif maximal du protocole CSMA/CD 802.3

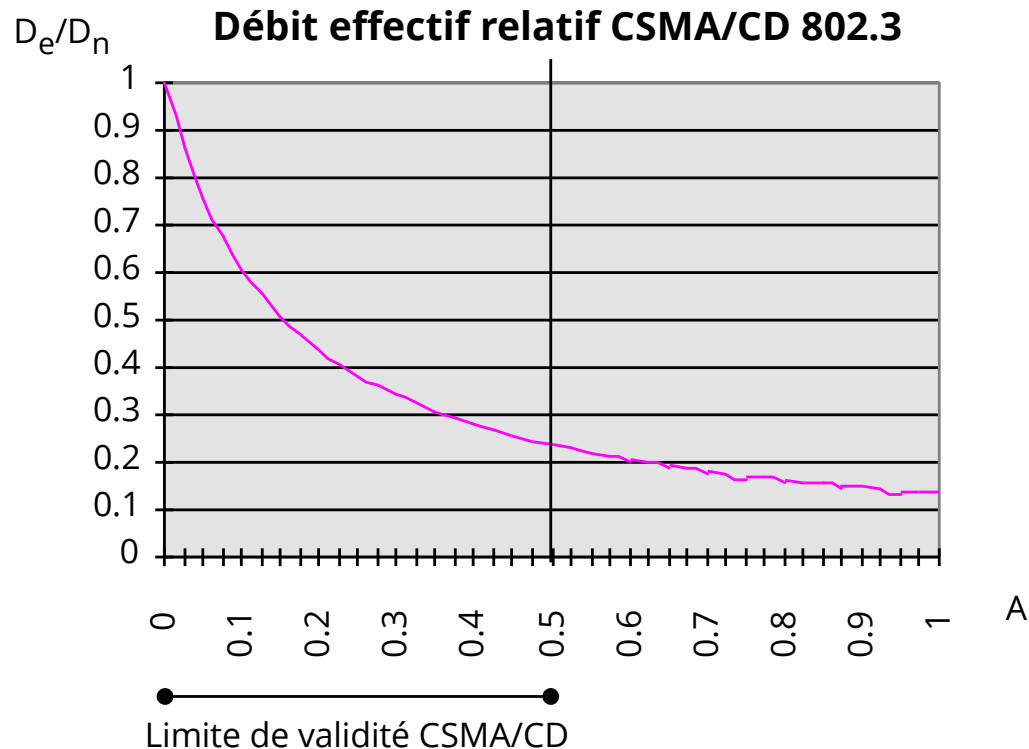
$D_n$  = Débit nominal (10Mbit/s)

$$D_e = \frac{\text{Quantité d'information transmise}}{\text{Temps nécessaire}} [\text{bit/s}]$$

$$A = \frac{\text{Temps de propagation de bout en bout}}{\text{Durée moyenne de transmission d'une trame}} = \frac{T_p}{\bar{T}}$$

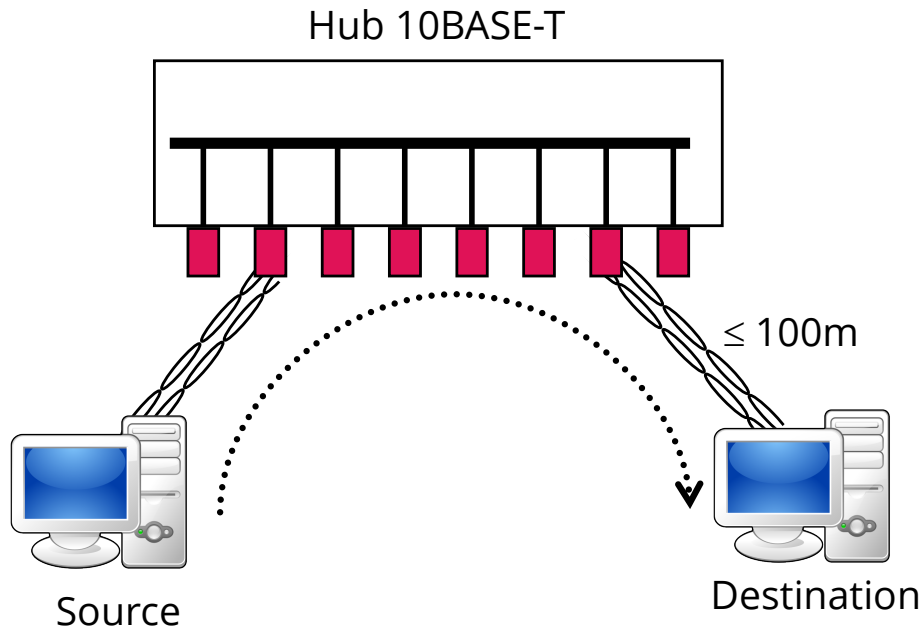
$$D_e = \frac{1}{1 + A(2e + 1)} D_n$$

avec la constante  $e = 2.718..$





# Approximation du temps de transfert en 10BASE-T (1)



Paramètre A et Débit effectif  $D_e$  (qui tient compte du protocole MAC et des collisions)

Temps de transfert total :  $T_{tr} = T_p + \bar{T}_{accès} + \bar{T}_{émission}$

Temps de "**propagation**" (maximal) 10BASE-T comprenant :

- 200m de câble
- 0.75μs dans le répéteur
- 9.6μs d'intervalle inter-trame

$$T_p = 1\mu s + 0.75\mu s + 9.6\mu s = 11.4\mu s$$

$$A = \frac{T_p}{L/D_n}$$

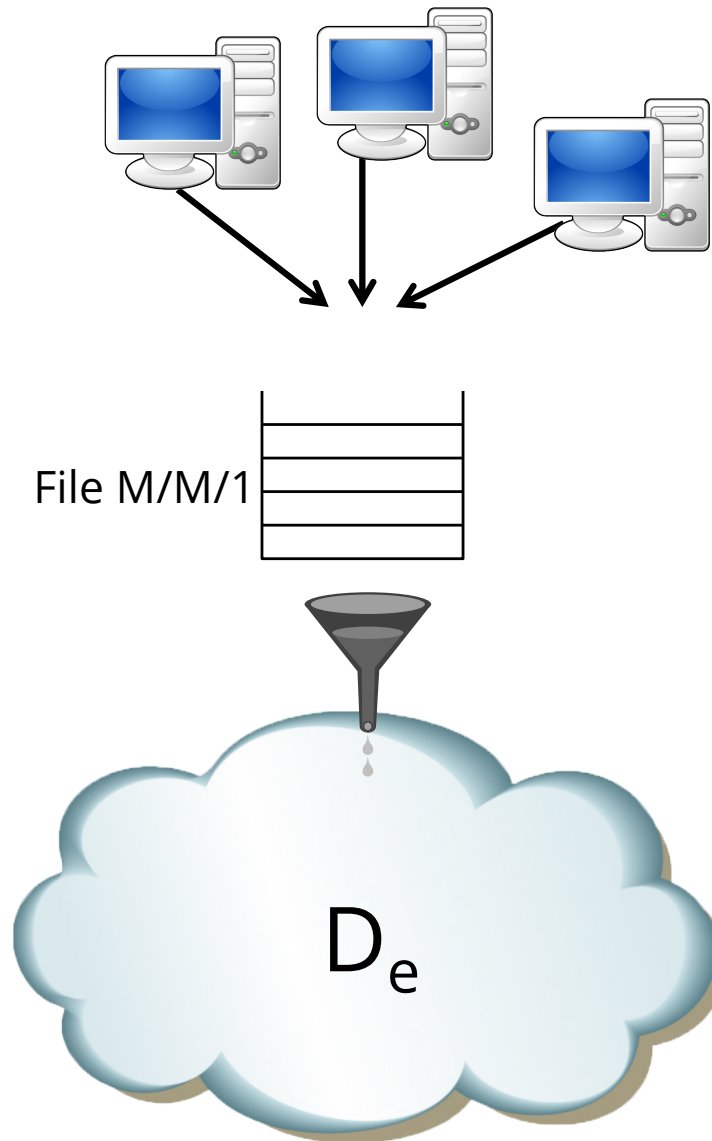
$$D_e = \frac{1}{1 + A(2e + 1)} D_n$$

# Approximation du temps de transfert en 10BASE-T (2)

Temps d'**accès** 10BASE-T  
avec un modèle M/M/1

Modèle équivalent

$$\bar{T}_{\text{accès}} = \frac{\lambda / \mu}{\mu - \lambda} = \frac{S \bar{L} / D_e}{D_e / D_n - S}$$



$$\text{Taux d'arrivées } \lambda = \frac{S \cdot D_n}{\bar{L}}$$

$$\text{Taux de service } \mu = \frac{D}{\bar{L}}$$

$$\bar{T}_{\text{émission}} = \frac{\bar{L}}{D_n}$$

# Approximation du temps de transfert en 10BASE-T (3)

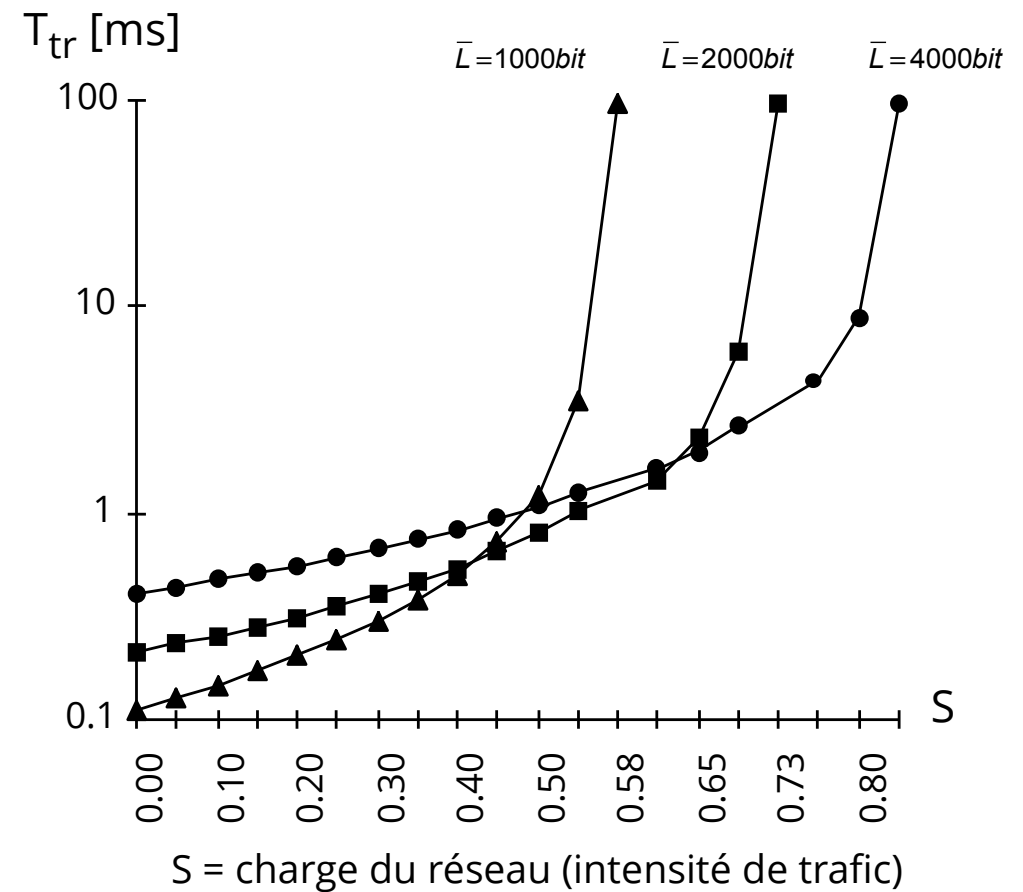
Temps d'émission au débit nominal:

$$\bar{T}_{\text{émission}} = \frac{\bar{L}}{D_n}$$

Marche à suivre pour le calcul du temps de transfert:

1. Calculer  $T_p$
2. Calculer  $A, D_e$
3. Calculer  $\bar{T}_{\text{accès}}$
4. Calculer  $\bar{T}_{\text{émission}}$
5. Calculer le temps de transfert total

$$T_{tr} = T_p + \bar{T}_{\text{accès}} + \bar{T}_{\text{émission}}$$



# Que peut-on dire sur les performances d'Ethernet ?

De façon générale, on peut dire que:

- Le temps de transfert augmente très rapidement lorsque le trafic offert approche une zone critique (env. 50% de charge)
- Le débit maximal réellement possible avec un réseau Ethernet 10Mbit/s sur un médium partagé (*Hub*) est d'environ 4 à 6Mbit/s.

# Exercices

## Caractéristiques d'Ethernet

- 200.1 à 200.3
- 200.4 (homework - réponses à publier sur Moodle)
- 200.5

## Ethernet et collisions

- 200.6

## Temps de transfert sur Ethernet

- 200.7 (homework - réponses à publier sur Moodle)