

Résumé

Ethernet est une technologie universelle qui dominait déjà les réseaux locaux bien avant le développement de l'Internet. La clé de la longévité de cette technologie, c'est sa simplicité. Souvent critiquée, elle a toujours été plus facile à utiliser et à mettre en oeuvre que ses concurrentes. Cet article est à la fois une introduction aux normes (IEEE 802.3 - 10Mbps, Fast Ethernet - 100Mbps, Gigabit Ethernet - 1Gbps, 10Gbps) et une aide à la conception et la réalisation de réseaux locaux.

Table des matières

1. Copyright et Licence	2
1.1. Meta-information	2
2. Ethernet : les raisons du succès	3
2.1. Quelques principes simples	3
2.2. Ethernet a été intégré dans le modèle OSI	3
2.3. Une évolution constante	3
3. Définitions IEEE 802.3	5
4. Normalisations IEEE 802.3	6
4.1. Ethernet IEEE 802.3	6
4.1.1. Ethernet standard	6
4.1.2. IEEE 802.3 a	7
4.1.3. IEEE 802.3 c-d	7
4.1.4. IEEE 802.3 i	7
4.1.5. IEEE 802.3 j	8
5. Fast Ethernet IEEE 802.3u	8
5.1. 100BaseT	8
5.2. 100BaseF	9
6. Gigabit Ethernet	9
6.1. définitions IEEE 802.3z : 1000BaseX	9
6.2. définition 1000BaseT : IEEE802.3ab	10
6.3. Extension CSMA/CD	10
7. 10 Gigabit Ethernet	10
7.1. IEEE 802.3ae	10
8. Négociation de la bande passante	10
8.1. Auto-négociation	10
8.2. Mode Full-Duplex IEEE 802.3x	11
8.3. Exemple de conception	11
9. Format de trame	12
9.1. Le préambule	12
9.2. Les adresses MAC	12
9.3. Le champ longueur / type	12
9.4. Les données	13
9.5. Le champ de contrôle	13
9.6. Le temps inter-trame	13
10. Trames erronées	13
10.1. Runt	13
10.2. Jabber	13
10.3. Misaligned frame	14
10.4. Bad FCS	14
10.5. Les collisions	14
10.6. Les collisions tardives	14
11. Couche liaison et Ethernet	15

11.1. Sous-couche MAC : Méthode d'accès CSMA/CD	15
11.2. Sous-couche LLC : IEEE 802.2	16
12. En guise de conclusion	16

1. Copyright et Licence

Copyright (c) 2000,2015 Philippe Latu.
Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.3 or any later version published by the Free Software Foundation; with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts. A copy of the license is included in the section entitled "GNU Free Documentation License".

Copyright (c) 2000,2015 Philippe Latu.
Permission est accordée de copier, distribuer et/ou modifier ce document selon les termes de la Licence de Documentation Libre GNU (GNU Free Documentation License), version 1.3 ou toute version ultérieure publiée par la Free Software Foundation ; sans Sections Invariables ; sans Texte de Première de Couverture, et sans Texte de Quatrième de Couverture. Une copie de la présente Licence est incluse dans la section intitulée « Licence de Documentation Libre GNU ».

1.1. Meta-information

Cet article est écrit avec **DocBook**¹ XML sur un système **Debian GNU/Linux**². Il est disponible en version imprimable au format PDF : **ethernet.pdf**³.

¹ <http://www.docbook.org>

² <http://www.debian.org>

³ <http://www.inetdoc.net/pdf/ethernet.pdf>

2. Ethernet : les raisons du succès

2.1. Quelques principes simples

- Toutes les stations sont égales vis-à-vis du réseau : il n'y a pas d'équipement maître de contrôle du réseau.
- La méthode d'accès employée est distribuée entre tous les équipements connectés.
- Le mode de transmission est de type bidirectionnel alterné : les signaux transitent dans les deux sens, mais pas simultanément.
- on peut relier ou retirer une machine du réseau sans perturber le fonctionnement de l'ensemble.

Ces principes ont montré qu'il était plus facile de concevoir les réseaux et les équipements correspondants avec Ethernet qu'avec d'autres technologies aux définitions plus complètes. De nombreuses technologies réseaux «mieux définies» au départ comme Token Ring (IEEE 802.5) par exemple, se sont avérées très peu évolutives au fil du temps.

Ces principes ont été formalisés au début des années soixante-dix. Aujourd'hui, seul le mode de transmission bidirectionnel alterné est de moins en moins employé. Le déploiement de la commutation de niveau 2 étant généralisé, les transmissions se font sur des paires cuivre ou fibre optique dédiées à chaque sens de communication. On parle alors de mode full duplex.

2.2. Ethernet a été intégré dans le modèle OSI

Ethernet était à l'origine un standard développé par les laboratoires Xerox au tout début des années 1970. Ce standard a d'abord évolué jusqu'à la version Ethernet II aussi appelée DIX ou encore v2.0 avec l'association regroupant Digital Equipment Corporation, Intel et Xerox. Par la suite, Ethernet a été inclus dans les travaux sur la modélisation OSI au début des années 1980. Depuis cette époque, la technologie Ethernet est totalement indépendante des constructeurs ; c'est un des facteurs importants de sa popularité.

Les éléments de la couche physique (couche 1 OSI) sont définis par les normes IEEE des sous-comités 802.3 et la méthode d'accès CSMA/CD correspond à la partie MAC de la couche liaison (couche 2 OSI).

Comme dans le cas des principes énoncés ci-avant, la généralisation de la commutation simplifie la méthode d'accès en éliminant toute la partie consacrée à la gestion des collisions. On attache aujourd'hui beaucoup plus d'importance aux méthodes de codage employées au niveau de la couche physique.

2.3. Une évolution constante

La simplicité de la méthode d'accès et la simplicité de l'interconnexion avec les autres technologies ont fait d'Ethernet une technologie évolutive à des coûts acceptables pour toutes les catégories d'utilisateurs.

Même si les évolutions des débits ont entraîné l'abandon de supports bon marché (câbles coaxiaux lors du passage de 10 à 100Mbps), la mise en œuvre est restée simple. Les infrastructures existantes progressent vers les technologies multimédias sans réinvestissements lourds.

C'est une des grandes leçons de l'histoire des réseaux de télécommunications sur les trente dernières années. Toutes les technologies de transmission qui ont cherché à qualifier les flux réseau au plus près du matériel n'ont pas su évoluer simplement. L'exemple de la technologie ATM est caractéristique. Faire évoluer les équipements actifs ATM pour adapter les débits est excessivement plus coûteux qu'avec des équipements Ethernet.

Au début des années 1970 :

Le premier réseau local Ethernet expérimental a été développé au centre de recherche Xerox de Palo Alto (PARC) pour interconnecter des ordinateurs et des imprimantes laser à un débit de 2.94Mbps. En juillet 1976, les deux concepteurs de ce réseau Bob Metcalfe et David Boggs

publièrent le document de référence **Ethernet: Distributed Packet Switching for Local Computer Network**⁴.

En Septembre 1980 :

Le premier standard Ethernet est publié. Les sociétés Intel et Digital Equipment Corporation (DEC) ont rejoint Xerox pour produire un standard utilisable par tous. On a baptisé ce standard DIX standard. Il correspond à la version 10Base5 ou Ethernet «épais». Voir **Section 4.1.1, « Ethernet standard »**. Les premières cartes Ethernet sont apparues avec la version 2.0 du standard DIX en Novembre 1982 : le standard Ethernet II.

En 1983 :

La première norme Ethernet est publiée par l' **Institute of Electrical and Electronic Engineers**⁵ (IEEE) ; plus précisément par le sous-comité **IEEE 802.3**⁶. C'est à cette époque qu'est apparue la double signification d'un champ dans le format de la trame Ethernet : le champ Type/Longueur. Cette différence entre normalisation et standard n'a jamais eu d'effet sur l'exploitation des réseaux locaux Ethernet. Voir **Section 9, « Format de trame »**.

En 1985, l'IEEE publia la norme **IEEE 802.3a** correspondant à l'Ethernet «fin». En 1987, l'utilisation des fibres optiques devint effective avec la norme **IEEE 802.3d**.

En 1990 :

La première norme utilisant les câbles de paires torsadées cuivre sur une topologie étoile est publiée : **IEEE 802.3i**. C'est à partir de cette étape que les autres technologies de réseaux locaux ont décliné rapidement.

En 1993, la norme **IEEE 802.3j** est venue étendre l'application de la topologie étoile sur fibres optiques.

En 1995 :

Nouvelle étape majeure dans l'évolution d'Ethernet : le passage à 100Mbps avec l'introduction de la norme **IEEE 802.3u**. Cette version d'Ethernet est connue sous le nom FastEthernet.

En 1997 :

La norme **IEEE 802.3x** a défini le mode «full-duplex» qui permet de réserver une paire cuivre ou fibre optique par sens de communication. Associée à la généralisation de l'utilisation des commutateurs, cette norme marque la fin de l'utilisation de la méthode d'accès historique d'Ethernet : **CSMA/CD**.

En 1998 :

Les débits ont à nouveau été multipliés par 10 avec la sortie du Gigabit Ethernet. La norme correspondante est l'**IEEE 802.3z**.

Cette première définition a été complétée en 1999 avec la norme **IEEE 802.3ab** qui définit l'utilisation du Gbps sur les câbles en paires torsadées UTP de catégorie 5.

En 2002 :

Une fois de plus, les débits ont été multipliés par 10 pour atteindre les 10Gbps avec la publication de la norme **IEEE 802.3ae**. Cette catégorie de débit marque l'avènement de l'exploitation d'Ethernet sur les dorsales des réseaux étendus.

De même qu'avec le Gigabit Ethernet, une définition d'Ethernet 10Gbps sur paires torsadées cuivre devrait voir le jour prochainement. La norme devrait être publiée avec l'appellation **IEEE 802.3an**⁷.

L' **Institute of Electrical and Electronic Engineers**⁸ a mis à disposition en ligne les normes du comité 802 : **Get IEEE 802**⁹.

Ce document est construit à partir des 4 familles de débits d'Ethernet :

⁴ <http://www.acm.org/classics/apr96/>

⁵ <http://www.ieee.org/>

⁶ <http://grouper.ieee.org/groups/802/3/index.html>

⁷ <http://grouper.ieee.org/groups/802/3/an/index.html>

⁸ <http://www.ieee.org/>

⁹ <http://standards.ieee.org/getieee802/>

- **Ethernet à 10Mbps** : la définition d'origine à partir de la constitution du sous-comité IEEE 802.3.
- **Ethernet à 100Mbps** ou FastEthernet.
- **Ethernet à 1Gbps** ou GigabitEthernet.
- **Ethernet à 10Gbps** ou 10GigabitEthernet.

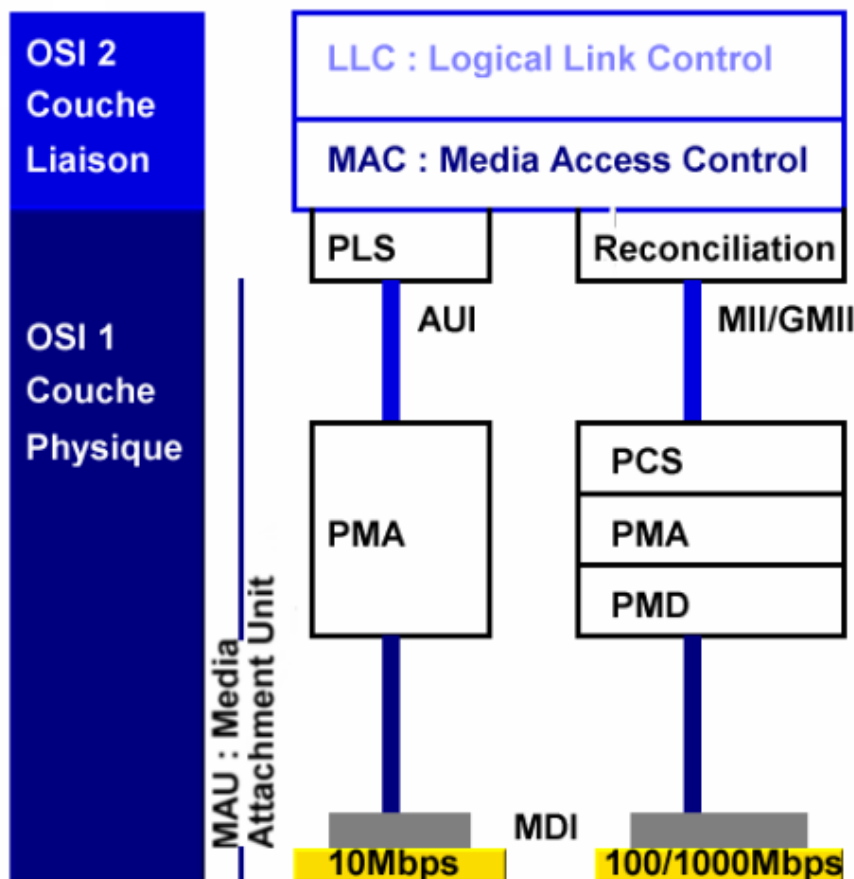
A l'intérieur de chaque famille, il existe de nombreuses déclinaisons. Les plus utilisées sont décrites ci-après.

Du point de vue conception, les câblages en paires torsadées cuivre sont habituellement utilisés pour la «desserte» des postes de travail à des débits allant de 10Mbps à 1Gbps. Ensuite, les câblages en fibres optiques sont utilisés pour les dorsales réseau.

Bien que cela ne corresponde à aucune normalisation, on rencontre de plus en plus souvent un découpage en 3 couches lors de la conception des réseaux locaux Ethernet : accès, distribution et coeur. Ce découpage a surtout pour but de faciliter le classement des équipements dans les catalogues constructeurs.

Pour en savoir plus sur la hiérarchie dans les réseaux locaux, lire l'article : [Segmentation des réseaux locaux](#)¹⁰.

3. Définitions IEEE 802.3



Correspondance entre le modèle OSI et les définitions IEEE 802.3

Cette vue met en évidence les éléments introduits pour faire évoluer les débits.

Les acronymes :

- AUI : Attachment Unit Interface
- MDI : Media Dependant Interface

¹⁰ <http://www.inetdoc.net/articles/lan-segmentation/>

- MII : Media Independent Interface : reconnaissance des vitesses 10/100/1000 Mbps
- PCS : Physical Coding Sublayer
- PLS : Physical Layer Signaling
- PMA : Physical Media Attachment sublayer
- PMD : Physical Media Dependant sublayer

4. Normalisations IEEE 802.3

Il existe de nombreux suppléments à la norme IEEE 802.3 initialement publiée qui décrivent les différents supports utilisables.

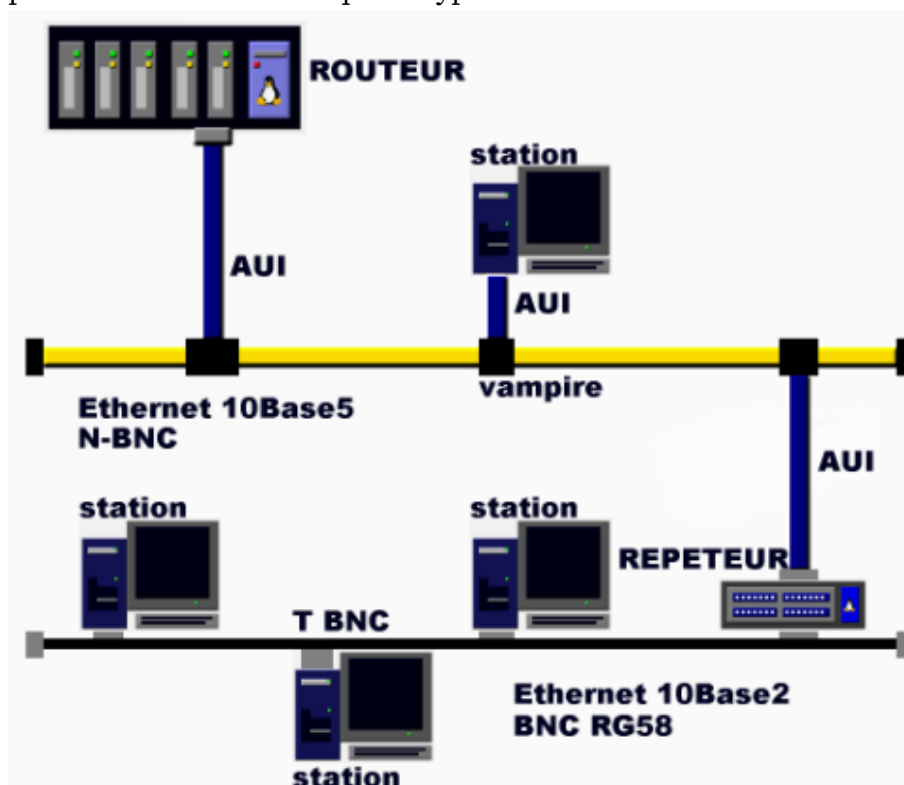
4.1. Ethernet IEEE 802.3

C'est le point de départ de la normalisation. La première définition est la plus proche du Standard Ethernet II publié par DEC, Intel et Xerox.

La topologie utilisant des câbles coaxiaux est toujours de type BUS. Cette topologie était avantageuse lorsque le nombre et la disposition des stations changeaient. Aujourd'hui, les câbles coaxiaux sont systématiquement abandonnés au profit des câbles en paires torsadées cuivre ou des fibres optiques. Le coût de la connectique des câbles coaxiaux est devenu supérieur à celui de la connectique RJ45 utilisée avec les paires torsadées.

4.1.1. Ethernet standard

Le câble standard a été défini à l'origine pour des connexions avec transceivers à piquage (vampire) puis étendu à la connectique de type N-BNC.



Exemple de topologie BUS Ethernet IEEE 802.3

Tableau 1. Ethernet Standard

Appellations	10Base5, Thick Ethernet
Support	câble coaxial 50 Ohms associé à une connectique N-BNC

Appellations	10Base5, Thick Ethernet
Longueur maximum	500 m par brin. Les câbles doivent avoir une longueur multiple de 23,4m (généralement 117m) pour que les réflexions produites sur les raccords soient superposées déphasées
Distance entre connexions	au moins 2,50m (points repérés sur le câble)
Nombre maximum de connexions	au plus 100 connexions par brin

4.1.2. IEEE 802.3 a

Tableau 2. Ethernet Fin

Appellations	10Base2, Thinnet ou Thin Ethernet
Support	câble coaxial 50 Ohms (RG58) associé à une connectique BNC
Longueur maximum	185m
Distance entre connexions	50cm
Nombre maximum de connexions	30 stations

4.1.3. IEEE 802.3 c-d

Définit les caractéristiques des répéteurs 10Base2 ainsi que les liaisons inter-répéteurs en fibre optique FOIRL (Fiber Optic Inter Repeater Link).

Le répéteur interconnecte les brins de média entre eux en :

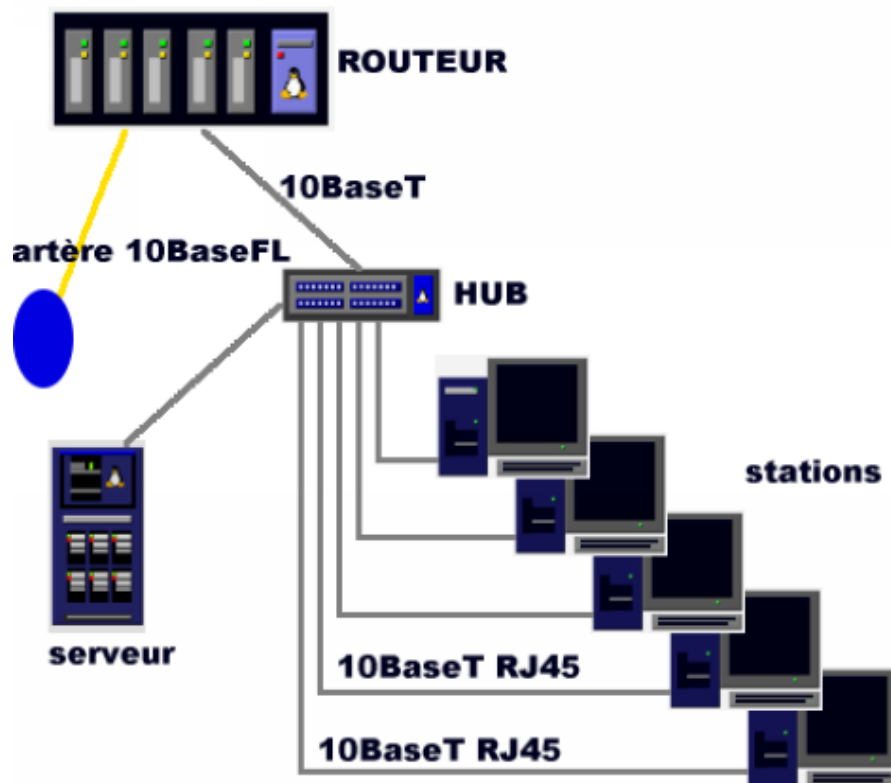
- régénérant les signaux,
- prolongeant les fragments (morceaux de trames issus des collisions),
- complétant les préambules.

Il peut aussi intervenir sur la propagation des collisions (Jamming) ou interrompre une émission trop longue.

La liaison FOIRL doit avoir une longueur inférieure ou égale à 1 Km.

4.1.4. IEEE 802.3 i

Introduite en 1990, cette définition constitue une évolution majeure d'Ethernet. C'est la première à adopter une topologie étoile analogue à celle des installations téléphoniques. Depuis, cette topologie étoile domine très largement dans les installations réseau.



Exemple de topologie étoile 10BaseT et 10BaseFL

Tableau 3. 10BaseT

Appellations	10BaseT débit 10Mbps
Support	paire torsadée non-blindée (UTP : Unshielded Twisted Pair) associée à une connectique RJ45 en topologie étoile.
Longueur maximum	100m

4.1.5. IEEE 802.3 j

Cette définition a très largement été utilisée pour l'implantation des dorsales réseau de campus.

Tableau 4. 10BaseF

Appellations	10Base-F débit 10Mbps
Support	fibre optique multimodes (62.5/125µm) associée à une connectique ST ou SC.
Longueur maximum	2Km

10BASE-FL : Redéfinition de FOIRL avec des capacités plus intéressantes telles que la possibilité de concevoir une topologie étoile avec des répéteurs multi-ports.

5. Fast Ethernet IEEE 802.3u

Publiée en 1995, ces spécifications ont très vite été adoptées. Le coût par port a chuté de 50% entre 1996 et 1999.

5.1. 100BaseT

La signalisation 100Base-X sur les câbles et fibres reprend celle développée pour la technologie FDDI (Fiber Distributed Data Interface).

Tableau 5. 100BaseT

Appellations	100BaseT débit 100Mbps
Support 100Base-T4	utilise 4 paires (transmission, réception, 2 bi-directionnelles) de câbles UTP de catégories 3, 4 ou 5. Les 100Mbps sont répartis sur 3 paires.
Support 100Base-TX	utilise 2 paires (transmission, réception) de câbles UTP5 ou STP (Shielded Twisted Pair). Ce câble supporte 200Mbps en mode full duplex après négociation entre les extrémités.
Longueur maximum	100m

5.2. 100BaseF

Tableau 6. 100BaseFX

Appellations	100BaseFX débit 100Mbps
Support	fibre optique multimodes (62.5/125µm) associée à une connectique ST ou SC.
Longueur maximum	400m

6. Gigabit Ethernet

Comme les câbles en paires torsadées de catégorie 5 sont certifiés pour des fréquences allant jusqu'à 100MHz (cf TIA/EIA-568-A), le passage à 1000Mbps pose des difficultés nouvelles par rapport aux évolutions précédentes. La couche physique a été entièrement revue. La nouvelle définition est une « fusion » de deux technologies : l'Ethernet IEEE802.3 et le Fiber Channel ANSI X3/T11.

Cette fusion reprend le format de trame Ethernet 802.3 et la méthode d'accès CSMA/CD full-duplex pour conserver la compatibilité avec les couches supérieures du réseau et elle bénéficie du débit élevé de l'interface physique Fiber Channel.

Comme pour la famille FastEthernet, il existe plusieurs variantes 1000BaseX.

6.1. définitions IEEE 802.3z : 1000BaseX

Tableau 7. 1000Base-LX

Appellation	1000BaseLX
Support	laser grandes ondes sur fibre optique multimodes et monomode destiné aux artères de campus.
Longueur maximum	3Km

Tableau 8. 1000Base-SX

Appellation	1000BaseSX
Support	laser ondes courtes sur fibre optique multimodes destiné aux artères intra-muros.
Longueur maximum	500m

Tableau 9. 1000Base-CX

Appellation	1000BaseCX
Support	câble en paires torsadées blindées 150 Ohms destiné aux connexions entre serveurs dans le même local.

Appellation	1000BaseCX
Longueur maximum	25m

6.2. définition 1000BaseT : IEEE802.3ab

Cette définition est très importante. C'est elle qui permet d'utiliser le Gigabit Ethernet dans la majorité des installations actuelles.

Ceci dit, les installations existantes auront certainement besoin d'une « requalification » avant d'être équipées en 1000BaseT. Cette technologie utilise les câbles UTP de catégorie 5 au maximum de leur certification. De nouvelles catégories de câbles sont en cours de spécification : 5enhanced à 100MHz, 6 à 200MHz et 7 à 600MHz.

Il est recommandé de limiter au maximum les brassages intermédiaires dans les armoires de câblage.

Tableau 10. 1000Base-T

Appellation	1000BaseT
Support	câble en paires torsadées non blindées de catégorie 5.
Longueur maximum	100m

6.3. Extension CSMA/CD

Avec la définition GigabitEthernet, la méthode d'accès CSMA/CD n'est pas remise en question mais les «espaces temps» ont été étendus. Sans extension, un paquet de petite taille (64 octets) peut très bien arriver à destination avant que la station qui l'a émis ne puisse détecter une collision. On a donc étendu la taille minimum de paquet à 512 octets avec un nouveau champ placé après le champ de contrôle FCS. Voir [Section 9.5, « Le champ de contrôle »](#).

7. 10 Gigabit Ethernet

7.1. IEEE 802.3ae

Définition 10Gbps

8. Négociation de la bande passante

Avec les évolutions des débits d'Ethernet, la grande majorité des infrastructures actuelles sont « mixtes ». Il est donc nécessaire que les équipements réseau (cartes, commutateurs, etc.) soient capables de reconnaître et d'utiliser la bande passante disponible sur le câble.¹¹

8.1. Auto-négociation

La négociation entre équipements porte sur deux fonctionnalités :

- le débit 10, 100 et 1000Mbps,
- le mode half-duplex ou full-duplex ([IEEE 802.3x](#)).

La fonction d'auto-négociation est optionnelle. Elle est apparue avec l'extension FastEthernet et ne concerne que les câbles en paires torsadées et les fibres optiques.

¹¹Document de référence sur l'auto négociation Ethernet : [An Introduction to Auto-Negotiation](http://www.scyld.com/expert/NWay.html) [http://www.scyld.com/expert/NWay.html].

La fonction de négociation utilise les signaux de contrôle d'état du lien physique en respectant la compatibilité entre tous les équipements indépendamment de leur génération et des options qu'ils supportent.

L'ordre des négociations est le suivant :

1. 100BaseTX Full-Duplex,
2. 100BaseT4,
3. 100BaseTX,
4. 10BaseT Full-Duplex,
5. 10BaseT.

8.2. Mode Full-Duplex IEEE 802.3x

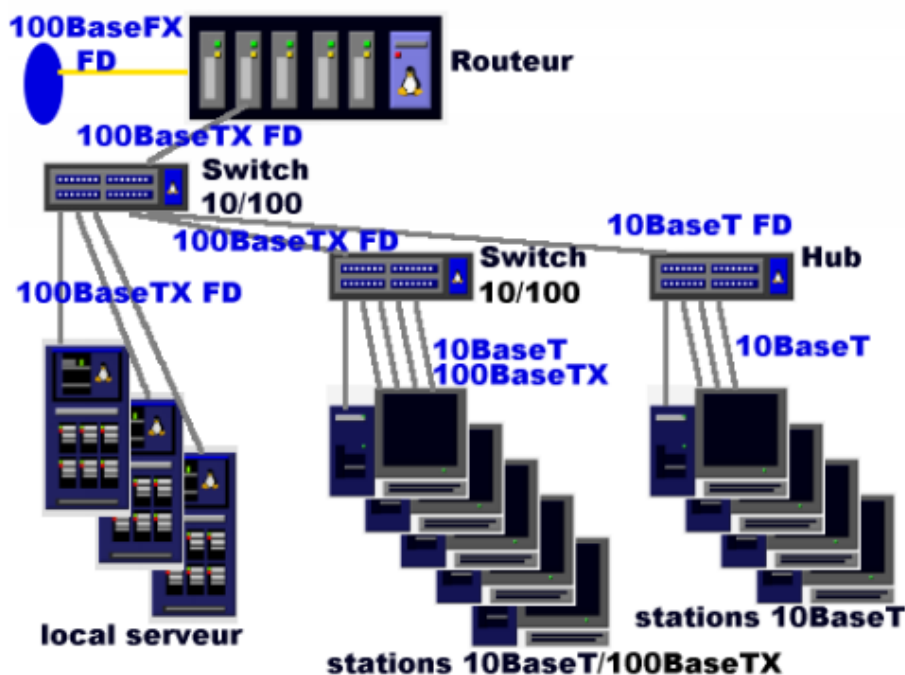
Le mode de fonctionnement de base d'Ethernet est dit Half-Duplex : bidirectionnel à l'alternat. Il suppose que le média est partagé entre plusieurs stations et que les informations transitent dans les 2 sens. C'est sur ce mode de base que **la méthode d'accès CSMA/CD** est bâtie.

Le mode Full-Duplex correspond à une communication point-à-point entre deux équipements. Dans ce contexte, le média n'est plus partagé entre plus de 2 stations et les informations transitent toujours dans les deux sens mais sur des canaux (paires torsadées ou fibres) distincts.

En conséquence, l'algorithme d'accès au média est considérablement simplifié et la bande passante utile est doublée. Aujourd'hui, beaucoup de constructeurs ont adopté ces options d'Ethernet. Il est donc possible de concevoir des artères à 200Mbps entre commutateurs et/ou concentrateurs (hubs) pour un coût très raisonnable.

8.3. Exemple de conception

L'exemple qui suit est une synthèse sur l'utilisation de la technologie Ethernet. Il ne prend pas en compte certaines autres normes telles que les VLANs IEEE 802.1Q qui autoriseraient d'autres modes de conception.

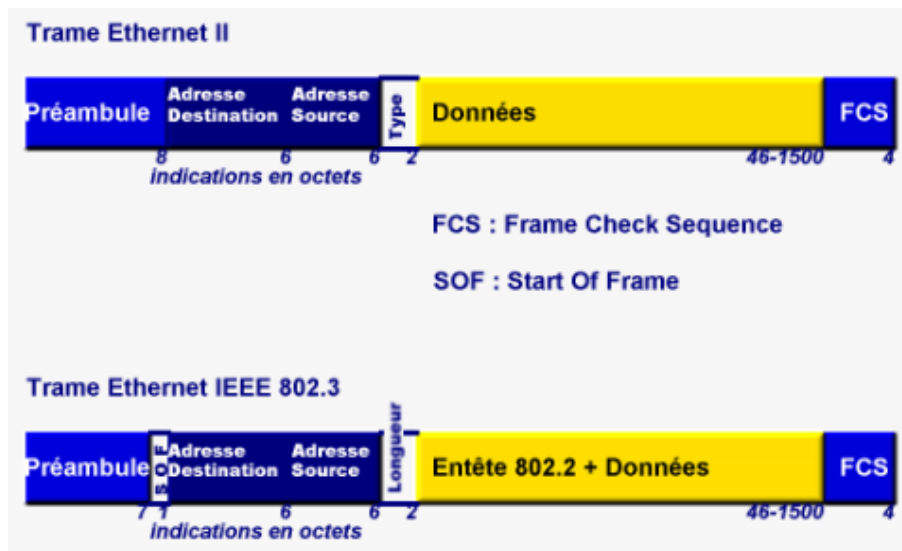


Exemple de conception Ethernet

1. 100BaseFX-FD : dorsale de campus en fibres optiques avec un débit de 200Mbps en Full-Duplex,

2. 100BaseTX-FD : alimentation du commutateur mixte (Switch 10/100) du local serveur (Server Farm) avec un débit de 200Mbps en Full-Duplex,
3. 100BaseTX-FD : alimentation du commutateur mixte (Switch 10/100) des stations 10/100 (typiquement multimédia/CAO) avec un débit de 200Mbps en Full-Duplex,
4. 10BaseT-FD : alimentation du commutateur (Switch) des stations 10BaseT (typiquement bureautique) avec un débit de 20Mbps.

9. Format de trame



Les 2 types de trames reconnues

La signification de chacun des champs de trame est donnée ci-après.

9.1. Le préambule

Le préambule est une suite de 0 et de 1 alternés. Il permet à l'horloge du récepteur de se synchroniser sur celle de l'émetteur. Comme la transmission est asynchrone, il est possible qu'une partie du préambule soit perdue.

Même si la norme IEEE 802.3 a spécifié un champ spécifique en fin de préambule : SOF (Start of Frame) avec 2 bits à 1, il n'y a aucune différence avec le standard Ethernet v2.0 pour lequel les 2 derniers bits du préambule sont aussi à 1.

9.2. Les adresses MAC

Les adresses MAC identifient le ou les destinataire(s) de la trame puis l'émetteur. Elles sont constituées de 6 octets :

- Les 3 premiers octets font référence au constructeur de l'interface. Ils sont uniques et sont attribués par l'IEEE.
- Les 3 octets suivants donnent le numéro d'interface chez ce constructeur.

L'adresse source est toujours celle d'une interface unique (unicast). La destination peut être une adresse unique, de groupe (multicast) ou de diffusion générale (broadcast = FF-FF-FF-FF-FF-FF). Dans une adresse de groupe, le premier bit transmis est à 1. Si les autres bits ne changent pas, l'adresse de groupe correspond à toutes les cartes d'un même constructeur.

9.3. Le champ longueur / type

Ce champ de 2 octets a été défini dans le standard Ethernet II pour indiquer le type de protocole de niveau 3 employé pour transmettre le message.

Avec la normalisation originale IEEE 802.3 ce champ a été redéfini pour contenir la longueur en octets du champ des données.

Depuis 1997, la normalisation IEEE intègre les deux formats de trames. Parallèlement, les documents standards des protocoles de l'Internet se sont appuyés sur des trames Ethernet utilisant des champs type (Voir RFC895 de 1984). À l'heure actuelle on peut considérer que les trames IEEE avec champ type correspondent au trafic utilisateur sur les réseaux IP et que les trames IEEE avec champ longueur correspondent au trafic de dialogue entre équipements actifs (Algorithme STP, etc.).

9.4. Les données

Ethernet II

D'après la définition d'origine, la couche 2 est complète avec ce format. Les données sont directement transmises au niveau réseau identifié par le champ type. Aucune «séquence de bourrage» ou padding n'est prévue bien que le nombre minimum de données attendues soit de 46 octets.

IEEE 802.3

Le champ de données contient l'entête de la sous-couche LLC en plus des données. Au niveau MAC ce champ est vu comme une suite de 46 à 1500 octets que l'on n'interprète pas.

Si le nombre de données n'atteint pas 46 octets, le champ est complété par une séquence de bourrage (padding).

9.5. Le champ de contrôle

Le FCS : Frame Check Sequence est un champ de 4 octets qui permet de valider l'intégrité de la trame à 1 bit près. Il utilise un CRC (Cyclic Redundancy Check) qui englobe tous les champs de la trame. Ainsi, la station réceptrice peut décider si la trame est correcte et doit être transmise à la couche supérieure : LLC (Logical Link Control IEEE 802.2) ou réseau. Voir [Section 11.2, « Sous-couche LLC : IEEE 802.2 »](#).

9.6. Le temps inter-trame

Le temps inter-trame est appelé indifféremment Inter Frame Space ou Inter Frame Gap.

Une machine ne peut émettre toutes les trames qu'elle a à transmettre les unes à la suite des autres. Le délai inter-trame normalisé est de 96 bits soit 9,6 microsecondes à 10Mbps. Attention, cette définition a été revue pour le Gigabit-Ethernet. Voir [Section 6.3, « Extension CSMA/CD »](#). Il correspond au temps minimum de retour au repos du média et permet aux autres stations de prendre la main.

10. Trames erronées

Tableau 11. Les champs de trame

Préambule	Adresse destination	Adresse source	Type/ Longueur	LLC	Données	FCS
-----------	---------------------	----------------	-------------------	-----	---------	-----

A la suite d'incidents tels qu'une collision, le débranchement brutal d'une machine, la perte du bouchon d'adaptation d'impédance ou le mauvais fonctionnement d'une partie du matériel, des trames non cohérentes peuvent apparaître. Certains de ces défauts sont répertoriés avec un vocabulaire particulier.

10.1. Runt

Ce terme désigne les trames trop courtes (moins de 64 octets). Ce type de trame est le plus souvent le résultat d'une collision.

10.2. Jabber

Il s'agit d'une trame trop longue (plus de 1518 octets). On distingue 2 types de causes :

- S'il y a superposition de 2 trames sans détection de collision, on peut considérer que les couches 1 et 2 d'une interface du réseau ne fonctionnent plus correctement.
- La trame n'a plus de structure et est émise par un composant qui reste beaucoup trop longtemps en émission.

Ce type de défaut est très pénalisant pour le réseau et entraîne une dégradation rapide des performances.

10.3. Misaligned frame

Une trame désalignée est une trame dont le nombre de bits n'est pas divisible par 8. Dans la pratique, ce type de trame possède presque toujours un CRC faux.

10.4. Bad FCS

Il s'agit d'une trame complète dont un bit n'a pas été reçu tel qu'il avait été transmis ou d'une trame tronquée résultant d'une collision.

10.5. Les collisions

Ce phénomène résulte de la superposition de 2 trames sur le média lorsque deux stations émettent simultanément.



Important

Un réseau peut être considéré comme sain tant que le taux de collision est inférieur à 1 pour 1000 trames.

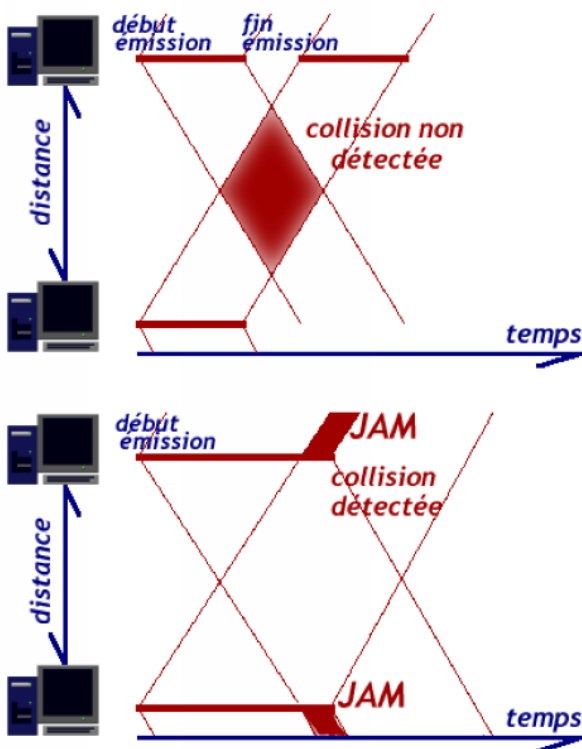


Illustration d'une collision

10.6. Les collisions tardives

Ce type de collision intervient lorsque la longueur du câble dépasse la norme ou lorsqu'il y a trop de répéteurs dans le réseau.

C'est le seul type de collision que l'on rencontre sur les réseaux câblés en paires torsadées et constitués de commutateurs et de routeurs. Les «collisions» apparaissent avec des segments de plus 100m.

11. Couche liaison et Ethernet

11.1. Sous-couche MAC : Méthode d'accès CSMA/CD

La méthode CSMA/CD est dérivée d'un système de transmission radio appelé Aloha. Son principe est de laisser chacun libre de gérer ses émissions en fonction de ses besoins et de la disponibilité du média.

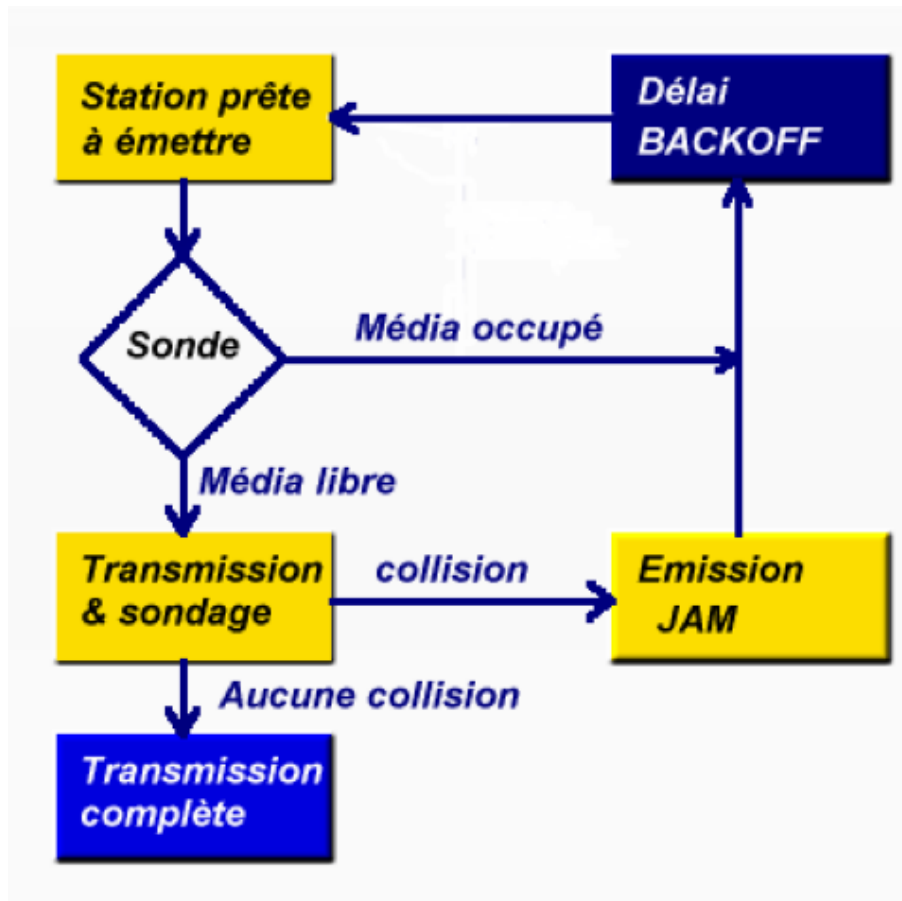
En l'absence d'information à transmettre, la station écoute (ou reçoit) les paquets qui circulent sur le câble dans un sens ou dans l'autre. Quand la station a besoin d'émettre un ou plusieurs paquets, elle agit indépendamment des autres. Elle sait juste que lorsqu'elle perçoit une trame, une autre machine doit être en émission.

Chaque machine ayant à tout instant la possibilité de débiter une transmission de manière autonome, la méthode d'accès est distribuée : elle est dite à accès multiple (Multiple Access: MA). La machine observe le média en cherchant à détecter une porteuse (Carrier Sense: CS). Si aucune trame n'est en transit, elle ne trouve pas de porteuse.

Elle envoie ses paquets sur le support physique et reste à l'écoute du résultat de son émission pendant quelque temps, pour vérifier qu'aucune autre machine n'a suivi le même comportement qu'elle au même instant.

La méthode d'accès étant à détection de collision (Collision Detect: CD), lors de son émission une machine peut déceler un problème de contention, et s'arrêter avec l'intention de renvoyer son paquet ultérieurement quand elle aura de nouveau la parole. De façon à minimiser le risque de rencontrer une deuxième collision avec la même machine, chacune attend pendant un délai aléatoire avant de tenter une nouvelle émission.

Cependant, de manière à ne pas saturer un réseau qui s'avérerait déjà très chargé, la machine n'essaiera pas indéfiniment de retransmettre un paquet. Si à chaque tentative elle se trouve en conflit avec une autre ; après un certain nombre d'essais infructueux, le paquet est éliminé. On évite ainsi l'effondrement du réseau. Les couches supérieures sont averties que la transmission du message a échoué.



Méthode d'accès

11.2. Sous-couche LLC : IEEE 802.2

A partir de cette sous-couche, on sort du domaine d'appelation Ethernet. Cependant, de nombreux réseaux locaux associent la norme IEEE 802.2 avec Ethernet.

Le sous-comité IEEE 802.2 a standardisé une couche de niveau LLC qui possède plusieurs types d'opérations offrant des services de différentes qualités.

- Le premier type d'opération est un service minimum, sans connexion (pas de liaison logique) ni acquittement (pas de retour d'information sur le déroulement de l'acheminement). Le type 1 permet des communications en point à point (un émetteur un récepteur) ou en diffusion (un émetteur plusieurs récepteurs).
- Le type d'opération 2 est un service sur connexion (liaison logique entre SAP) avec acquittement, vérification de l'ordre des trames, détection et correction d'erreur, détection des doubles, contrôle de flux. L'identificateur correspondant au couple SSAP/DSAP (Source Service Access Point / Destination Service Access Point) est unique. Ce type d'opération ne permet que des communications en point à point.
- Le type d'opération 3 est un service datagramme (sans connexion) acquitté, sans retransmission (pas de correction des erreurs), réalisant une prestation de qualité intermédiaire à la fois simple et performante.

Dans tous les cas, quel que soit le type d'opération, les données du niveau LLC sont présentées sous la forme d'un LPDU (LLC Protocol Data Unit), tel que représenté ci-dessous.

Tableau 12. Les champs de trame

Adresse DSAP	Adresse SSAP	Control	Données
--------------	--------------	---------	---------

Les valeurs des LSAP (points d'accès LLC) sont représentées sur un octet. Elles sont relatives au protocole de niveau supérieur (06 pour TCP/IP). Une trame LLC est encapsulée dans la trame de niveau inférieur (MAC). Le LPDU correspond donc au champ de données de la trame.

12. En guise de conclusion

Cette synthèse sur la technologie Ethernet est nécessairement incomplète et certains aspects ont été volontairement occultés. En voici deux exemples significatifs :

La signalisation.

Dans le domaine de l'instrumentation réseau on ne mélange pas le test de câble et l'analyse de protocole. Il en est de même pour cette présentation, l'aspect signalisation dans la couche physique n'a pas été traité. C'est un sujet à part entière qui mérite que l'on s'y intéresse. Après avoir connu une décennie plutôt «tranquille», le test de câble va probablement revenir au devant de l'actualité avec l'utilisation du GigabitEthernet sur les câbles de catégorie 5 qui sont spécifiés à 100MHz seulement.

Les autres définitions 100Mbps.

Il en existe 2 : 100BaseT2 et 100BaseVG AnyLan. Pour le 100BaseT2 la question est vite réglée, il n'existe aucun équipement qui l'utilise à ma connaissance. La situation est à peine différente pour le 100BaseVG AnyLan, cette définition a été publiée en 1995 en même temps que celle du 100BaseTX. Sans rentrer dans la polémique sur le fait qu'elle ne respecte pas la méthode d'accès CSMA/CD, la base installée d'équipements 100BaseVG AnyLan est aujourd'hui insignifiante comparée à la base 100BaseTX.