

# Le protocole Ethernet

Pascal Barbier

Au fil des années, le protocole Ethernet est devenu incontournable dans la majorité des installations de réseaux locaux. De plus il a inspiré de nombreux autres protocoles. Cet article revient sur les bases théoriques du fonctionnement de ce protocole.



linux@software.com.pl

Comme beaucoup de success stories de l'informatique (les fenêtres, la souris ou presque, le traitement de texte WISIWIG, l'imprimante laser, PostScript, la programmation orientée objet, les VLSI...) Ethernet est né au PARC (Palo-Alto Research Center, filiale de Xerox). Parmi ses concepteurs, le fameux Bob Metcalf, génial instigateur du succès d'Ethernet. En 1975, Xerox dépose un brevet sur la première version d'Ethernet (3Mbits/s et adresses sur 8 bits, abandonnée maintenant). Quatre ans plus tard, Metcalf fonde la société 3Com et convainc DEC, Intel et Xerox de s'associer pour promouvoir Ethernet.

La seconde version du protocole (souvent appelée DIX, initiales des trois sociétés), née de cette association est un réel succès. 3Com est alors propulsée au rang de grande entreprise. Le protocole est alors en concurrence commerciale avec quelques produits comme ArcNet de Datapoint et surtout Token Ring d'IBM.

En 1985, l'IEEE standardise le protocole sous la référence IEEE 802.3. De nombreux amendements de ce standard suivront les évolutions technologiques de ce protocole (voir encadré).

Au début des années 90, le câblage en étoile (plus pratique) puis la version commutée du protocole (plus performante) auront finalement raison des compétiteurs et Ethernet deviendra la référence presque absolue dans le domaine des réseaux locaux. Entre temps, de nombreuses évolutions seront étudiées : différentes vitesses (100Mbits/s, 1 puis 10 Gbits/s, bientôt 100), paires torsadées, fibres optiques. Beaucoup n'ont pas dépassé le stade des laboratoires et des campus universitaires. Ethernet a également inspiré de nombreux protocoles de réseaux tels que Wifi.

## Première génération : le bus

Les premières versions d'Ethernet mettent en œuvre un bus à base de câble coaxial. Ce câble ressemble à celui du téléviseur. Sa conception vise à protéger le signal transporté par le conducteur central des perturbations électromagnétiques. La tresse métallique qui l'entoure joue le rôle de cage de Faraday et élimine une grande partie des parasites.

Ethernet utilise deux types de câbles coaxiaux : le Thick et le Thin. Le premier est plus épais, souvent de couleur jaune (certains l'appellent le tuyau d'arrosage) et doit généralement être installé en pose définitive. La longueur maximale est



### Cet article explique...

- L'histoire de ce protocole.
- Les bases théoriques de son fonctionnement.
- Le format des trames.
- Le fonctionnement des commutateurs.

de 500 mètres (en général 117 mètres). Une résistance de 50 ohms ferme chaque extrémité pour éviter les ondes stationnaires. Les stations sont connectées en parallèle sur ce câble par l'intermédiaire d'un transceiver auquel elles sont reliées par un câble (AUI) muni de prises sub-d 15 points.

Le Thin peut être utilisé en volant. Il est constitué d'un câble plus fin, de couleur noire et autorise une longueur maximale de 185 mètres. Les stations sont reliées au bus par l'intermédiaire d'un té BNC auquel deux cordons sont connectés. Ces deux cordons sont reliés respectivement à la station précédente et la station suivante (voir Figure 1).

Le principe de la méthode d'accès est le CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*). Ceci signifie que toutes les stations peuvent accéder au même support à tout moment (*multiple access*). Pour pouvoir communiquer, une station émettrice doit d'abord « écouter » le support (carrier sense). Si la voie est libre, la communication peut commencer. Si une autre station est en train d'émettre, il faut attendre la fin de la trame en cours.

Cette méthode est optimale lorsque la bande passante théorique est peu ou moyennement utilisée. Lorsque le débit augmente, la probabilité de prise de parole simultanée augmente (essentiellement au moment de la fin d'une trame). Il y a alors collision. Intervient alors le troisième volet de la méthode d'accès : la détection des collisions. Pour cela, la station qui émet doit continuer à écouter le support. Si une autre station commence une émission en même temps qu'elle, les deux signaux émis se mélangent. Les informations lues sur le support sont différentes des informations écrites. La station qui détecte une collision arrête de transmettre la trame.

### Le format de la trame

Les messages transmis sur le bus sont organisés selon un format précis appelé trame. La trame



### Ce qu'il faut savoir...

Quelques notions d'informatique et des réseaux.

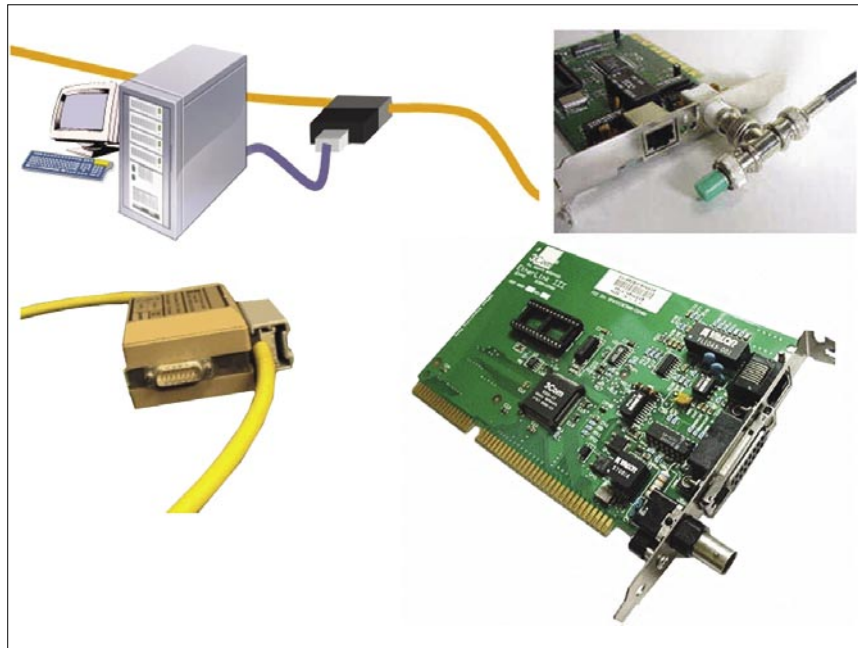


Figure 1. Les constituants d'un réseau ThickNet

comporte une série de champs successifs (voir Figure 2).

Le préambule est un champ de 56 bits alternant 1 et 0. Son rôle est de permettre la synchronisation des horloges d'échantillonnage.

L'octet SFD (*Start of Frame Delimiter*) est le marqueur de début de trame. Il vaut 10101011.

Le champ T/L, de deux octets, indique soit le type de contenu (IEEE 802.3) soit la longueur (*Ethernet*). Le champ FCS est un code de détection d'erreur. Il est basé sur un principe de calcul polynomial qui permet de repérer les erreurs de transmission. Le code est calculé, à l'émission, à partir de la séquence des bits transmis. A la réception, il est calculé de la même façon. Les deux codes sont comparés et une différence démontre une erreur de transmission.

L'IFG (*Inter Frame Gap*) est un délai minimum de 12 octets entre deux trames.

Les adresses MAC (*Medium Access Control*) sont des adresses attribuées de façon définitive à chaque carte réseau. L'adresse est composée de deux parties de 3 octets chacune. La première partie est une identification du fabricant. La seconde partie est le numéro de série de la carte chez le fabricant. Cette technique permet d'identifier de façon unique 16 millions de cartes par fabricant.

La charge utile doit être au moins de 46 octets et ne doit pas être plus longue que 1500 octets. La limite inférieure permet

de garantir la détection des collisions à 10 et à 100 Mbits/s.

La technique utilisée est, comme nous l'avons dit, très optimisée lorsque les débits sont faibles ou moyen. Lorsque la bande passante occupée approche la moitié de la bande passante disponible, le taux de collisions commence à augmenter de façon importante. Au final, le réseau ne génère plus que des collisions : on arrive en situation de congestion. Les protocoles concurrents à l'origine évitent ce problème en utilisant une technique de jeton (un droit d'émettre). L'inconvénient de cette technique est qu'elle augmente le délai de transmission (il faut attendre de recevoir le jeton avant d'émettre). Ethernet est plus efficace que ses concurrents lorsque le réseau n'est pas en situation de congestion.

Un autre inconvénient de cette première génération est son manque de souplesse. Il est impossible de modifier le plan du réseau sans le débrancher, donc sans arrêter les communications.

### Une idée qui a fait un succès : l'étoile

Pour pallier cet inconvénient, le câblage bus en étoile a été retenu. Ce câblage utilise un équipement intermédiaire appelé concentrateur (Hub). Les stations sont connectées au hub par un câble en paire torsadée. Le signal est transmis sur chacun des deux fils du câble mais en oppo-

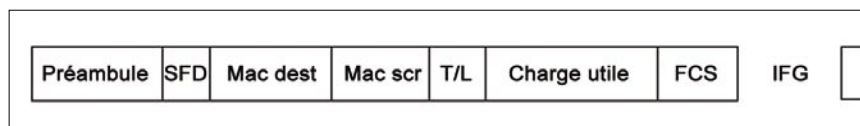


Figure 2. Format de la trame Ethernet

sition de phase (positif sur un fil et négatif sur l'autre). A l'extrémité, un détecteur différentiel effectue la différence entre les deux signaux. Si un signal parasite est induit sur le câble, il aura la même valeur sur chacun des deux fils qui restent en permanence rigoureusement parallèles. Dans le détecteur différentiel il est donc éliminé. Cette technique permet d'éliminer une très grande partie des parasites sans utiliser de blindage et en employant un câble moins épais donc plus pratique et moins coûteux.

Chaque station est donc reliée au hub par un câble constitué de deux paires : l'une pour l'émission, l'autre pour la réception. En fait, dans le hub, toutes les stations sont reliées entre elles en parallèle. Le réseau agit alors exactement comme un bus. L'avantage de la solution paraît anodin mais fera le succès : il est très facile de modifier le réseau sans arrêter l'exploitation. L'ajout ou le retrait d'une station, même à chaud, ne perturbe aucunement les autres stations. D'autre part, le câble constitué de paires téléphoniques et nettement moins onéreux à la fabrication et beaucoup plus commode à faire passer dans les chemins de câbles (voir Figure 3 et 4).

### Pour aller plus vite, plus loin : la commutation

Comme nous l'avons vu, les collisions sont la cause d'une chute de performances lorsque le débit augmente. Pour améliorer cette situation, le protocole a remplacé les concentrateurs par des commutateurs qui éliminent les collisions (voir Figure 5). Le commutateur est un équipement intelligent qui connaît les adresses MAC des stations qui lui sont reliées (en fait il les découvre lors des communications). Lorsqu'une trame entre sur l'un des ports du commutateur, celui-ci détecte l'adresse MAC du destinataire. S'il connaît l'adresse du destinataire, il dépose la trame sur le port de sortie vers cette station. Object/Relational Mapping avec Doctrine

Le premier effet de cette technique est une réduction considérable du trafic : avec les hubs, une trame monte vers le hub et est ensuite diffusée sur toutes les stations connectées. Avec

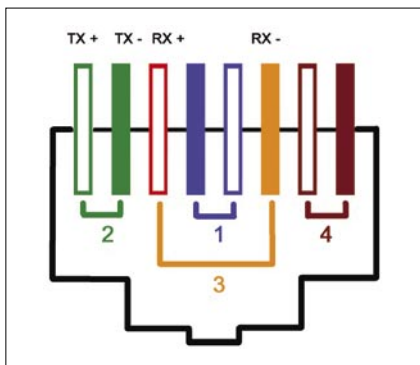


Figure 3. La prise RJ45

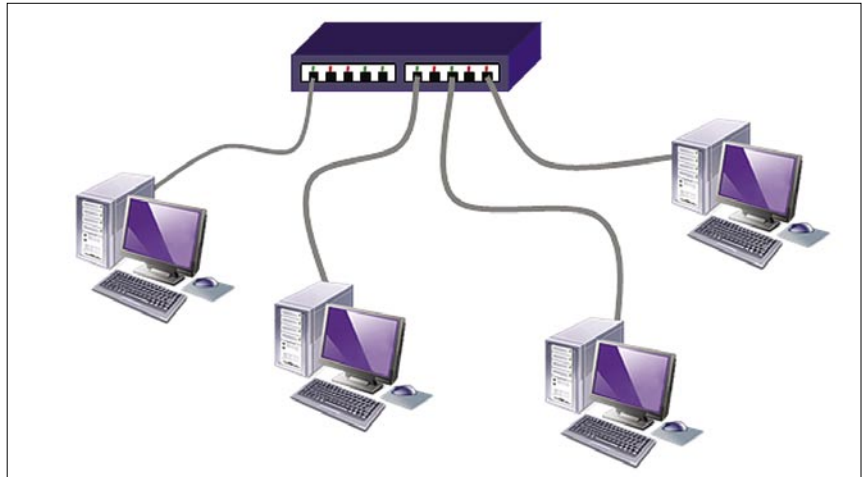


Figure 4. Le câblage en étoile

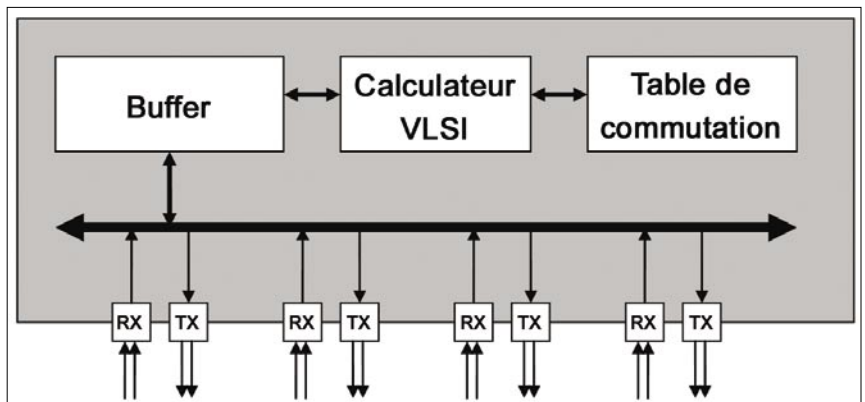


Figure 5. Schéma de principe d'un commutateur

un commutateur, une trame monte vers le commutateur et redescend uniquement vers son destinataire. Les autres stations ne sont pas concernées.

Cette technique, appelée *Full duplex* simplifie considérablement le protocole et le rend plus performant. En effet, les stations ne sont reliées qu'au commutateur. Elles peuvent donc émettre dès qu'elles le souhaitent. La seule contrainte est de respecter le délai IFG de 12 octets entre deux trames. De plus, la station peut recevoir en même temps qu'elle émet puisque les deux sens empruntent des voies séparées. Enfin, les collisions sont totalement éliminées. Seule la taille du buffer du commutateur (et sa vitesse de traitement) peuvent affecter la performance.

La solution la plus simple pour réaliser la commutation (celle qui est utilisée dans la majorité des commutateurs courants) est appelée *store and forward*. Le commutateur reçoit chaque trame intégralement. La trame est vérifiée, son destinataire identifié, puis elle est transmise vers le port voulu. L'inconvénient est le délai de transit dans le commutateur (appelé latence). Pour une trame de taille maximum (1500 octets), la latence atteint 120µs en Fast Ethernet et 1,2ms en Ethernet 10Mbps/s.

Pour améliorer encore les débits, on peut utiliser la méthode *cut-through*. L'idée de base est de lire l'adresse MAC destination (après le préambule) à la volée et de prendre alors immédiatement la décision de commuter la trame. Le retard n'est ainsi que de 14 octets (préambule,

Tabela 1. Les principales versions du standard IEEE 802.3

IEEE 802.3	L'original 10MBps sur câble coaxial (10BASE5)
IEEE 802.3a	La version sur coaxial fin (Cheapernet)
IEEE 802.3d	Liaison entre répéteurs sur fibres optiques (FOIRL)
IEEE 802.3i	Étoile sur paires torsadées (10BASE-T)
IEEE 802.3u	100 Mbits/s (Fast Ethernet)
IEEE 802.3ab	1 Gbits/s (Gigabit Ethernet)
IEEE 802.3an	10 Gbits/s (10GBASE-T)
IEEE 802.3ba	40 et 100 Gbits/s (adoption en cours)



## À propos de l'auteur

L'auteur est, depuis 25 ans, formateur sur de nombreux sujets techniques informatique : système, réseaux, développement, bases de données. En 1982, il a participé au portage du système UNIX sur le premier PC de Toshiba. Depuis, il a assuré de nombreuses formations sur le système UNIX, puis Linux et sur les techniques réseaux. Il est maintenant responsable pédagogique d'une des principales sociétés de formation de la région toulousaine.

SFD et Mac destination). La latence est alors d'un peu plus d'une microseconde (plus le temps de calcul de la commutation).

Toutefois, cette solution présente deux inconvénients. Le premier est que les trames en erreur sont transmises (pas de détection d'erreur dans le commutateur). La seconde est que la stratégie de commutation se base uniquement sur l'adresse physique. Or les commutateurs rapides ont souvent besoin de baser leurs décisions de commutation sur d'autres critères qui mettent en jeu le champ type et les informations de l'entête IP (notamment pour traiter les problèmes de qualité de service). On se tourne alors vers une méthode intermédiaire, appelée *Fragment free* qui attend d'avoir reçu 64 octets de la trame pour prendre une décision complète. Pour finir, signalons que certains commutateurs évolués ap-

pliquent automatiquement celle des trois méthodes qui leur paraît la plus appropriée en fonction du contexte. On parle alors de *commutation adaptative*.

## Les protocoles qui sont inspirés d'Ethernet

Les bases techniques que nous venons de voir ont largement inspiré de nombreux protocoles. Parmi ceux qui ont eu un réel succès, WIFI (802.11) est probablement le plus répandu. L'objectif de ce protocole est de réaliser des réseaux locaux sans fil. Il utilise pour cela une bande de fréquences autour de 2,4 GHz (ou 5 GHz pour certaines variantes). La vitesse de travail est de 1 ou 2 Mbits/s à l'origine. Des variantes (notamment 802.11a, 802.11b et surtout 802.11g) autorisent des vitesses allant jusqu'à 54Mbit/s (théoriques).

La communication on WiFi fait intervenir un équipement relai entre les stations : le point d'accès. Le rôle de ce point d'accès est de réguler le trafic entre les stations pour éviter les collisions (méthode CSMA/CA : *Collision Avoidance*). Les stations ne pouvant pas écouter pendant qu'elles émettent une trame, la méthode CSMA/CD est inapplicable. Le principe est alors, pour une station qui souhaite émettre, d'attendre que le canal radio soit libre pendant un certain temps. Elle émet alors un court message, *Request To Send*, auquel le point d'accès répond par un *Clear To Send*. La station est alors autorisée à émettre.

Basé sur des principes analogues, WiMax (802.16) propose d'augmenter les débits jusqu'à 20 Mbits/s.

Ethernet a également inspiré des réseaux industriels tels que LXI ou spécialisés comme l'AFDX. LXI est un réseau d'instrumentation qui espère remplacer le vieillissant bus IEEE 488 (aussi connu sous le nom GPIB). Il est conçu pour interconnecter des appareils de mesure. De son côté, AFDX est un réseau spécialement adapté aux exigences des communications dans les avions. L'absence de déterminisme d'Ethernet induit par le mécanisme des collisions. Pour cela, le réseau prévoit la réservation de bande passante dans des canaux des circuits virtuels.



## Sur Internet

- La bible des réseaux : *Cisco Internet working Technology Handbook* : [http://www.cisco.com/en/US/docs/internet\\_working/technology/handbook/ito\\_doc.html](http://www.cisco.com/en/US/docs/internet_working/technology/handbook/ito_doc.html).
- La fiche Ethernet sur *comment ça marche* : <http://www.commentcamarche.net/contents/technologies/ethernet.php3>
- Un article complet sur Linux-France : <http://www.linux-france.org/prj/inetdoc/articles/ethernet/>
- Une introduction facile à lire sur la technologie : <http://tssi.borkmadjai.com/file/04.2%20Technologie%20Ethernet.pdf>

## PUBLICITÉ

**FRHACK**

WHO will test your security  
if YOU DON T ? !!

the 1st international technical IT Security conference organized in France

September 2009

<http://www.frhack.org>

FRHACK is organized by JA-PSI  
French IT Security Company  
<http://www.ja-psi.com>

SECURITY SYSTEM BREACH  
INTRUSION DETECTED