

Ethernet ?

- Créé début des années 70 par Xerox Palo Alto Research Center
- Protocole de communication sur un réseau informatique
 - LAN, MAN et WAN
- Implémente couches physique et liaison du modèle OSI
- Différentes normes
 - 10BASE2, 10BASE5, 10BASE-T, 802.3...

Couche physique

- Support physique
 - Historique = câble coaxial



- Aujourd'hui = paire torsadée, fibre optique



Julien Montavont



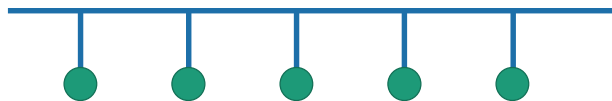
Ethernet



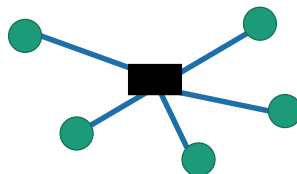
3

Topologie

- Historique = bus



- Aujourd'hui (Ethernet commuté) = étoile



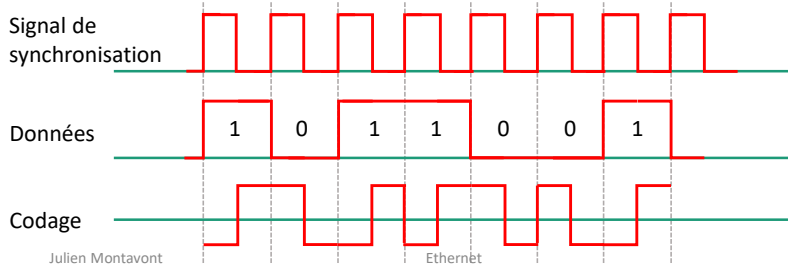
Julien Montavont

Ethernet

4

Codage Manchester

- Utilisé dans 10BASE5, 10BASE2, 10BASE-T
- Codage synchrone
 - Signaux transmis intègrent
 - Données à transmettre
 - Horloge de synchronisation entre émetteur / récepteur(s)
- Codage bit à bit (version Ethernet)
 - 1 => transition du niveau bas vers le niveau haut du signal
 - 0 => transition du niveau haut vers le niveau bas du signal



5

Réseau à diffusion

- Tout bit envoyé sur le support est diffusé à l'ensemble du réseau
 - Trafic **unicast** (un expéditeur / un destinataire) => filtrage sur les récepteurs
 - Trafic **broadcast** (un expéditeur / tous les hôtes connectés au réseau) => support natif
 - Trafic **multicast** (un ou plusieurs expéditeurs / ensemble spécifique de destinataires) => apparenté à du trafic broadcast
- Note : certains réseaux ne possèdent pas cette propriété
 - On parle de réseaux **NBMA** (*Non-Broadcast Multiple Access*)
 - Ex : ATM (*Asynchronous Transfer Mode*)

Julien Montavont

Ethernet

6

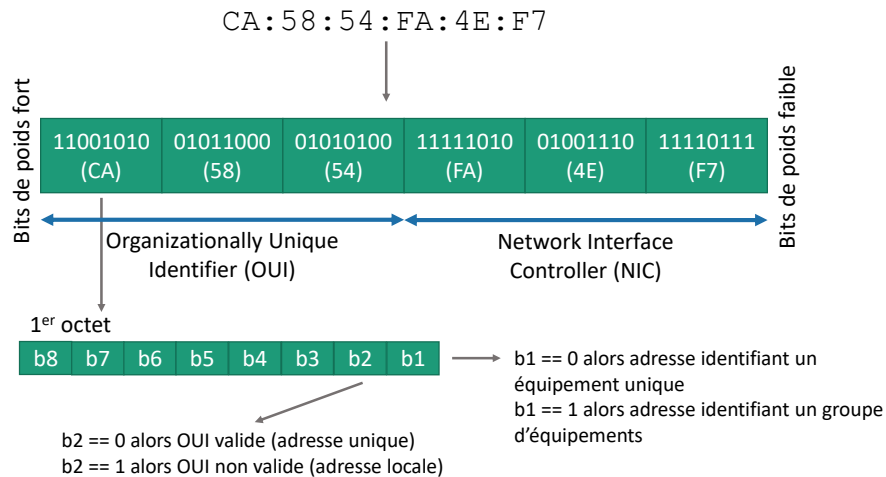
Adressage

- Identifiant unique
 - Plusieurs dénominations
 - Adresse MAC (*Medium Access Control*)
 - Adresse de niveau 2 (en référence au modèle OSI)
 - Adresse liaison (en référence au modèle OSI)
- Quelle longueur choisir ?
 - 8 bits => 256 adresses différentes => trop juste pour un déploiement commercial
 - **48 bits** => 281474976710656 adresses différentes
 - Espace d'adressage large permettant
 - D'assigner de large blocs aux constructeurs
 - Réserver des blocs pour des adresses spéciales (e.g. multicast)

Représentation humaine

- Binaire ? => trop fastidieux
 - 11001010 01011000 01010100 11111010 01001110 11110111
- Hexadécimal
 - CA:58:54:FA:4E:F7
- Structuration hiérarchique
 - 3 premiers octets (poids fort) = **identifiant constructeur**
 - *Organizationally Unique Identifier* (OUI)
 - Attribué par l'IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*)
 - 3 derniers octets (poids faible) = **identifiant de l'interface**
 - *Network Interface Controller* (NIC)
 - Attribution à la discrétion du constructeur
 - Mais comment distinguer adresse unicast / multicast ?
 - Impossibilité d'utiliser un adressage local (i.e. non unique) ?
 - **Bits spéciaux** (2) dans l'octet de poids le plus fort

Structuration adresse MAC



Julien Montavont

Ethernet

9

Annuaire des identifiants constructeurs

- <https://regauth.standards.ieee.org/standards-raweb/pub/view.html#registries>

- Ex :

Apple

F0:76:6F

40:CB:C0

...

Dell

00:60:48

7C:C9:5A

...

Microsoft

00:50:F2

60:45:BD

...

Julien Montavont

Ethernet

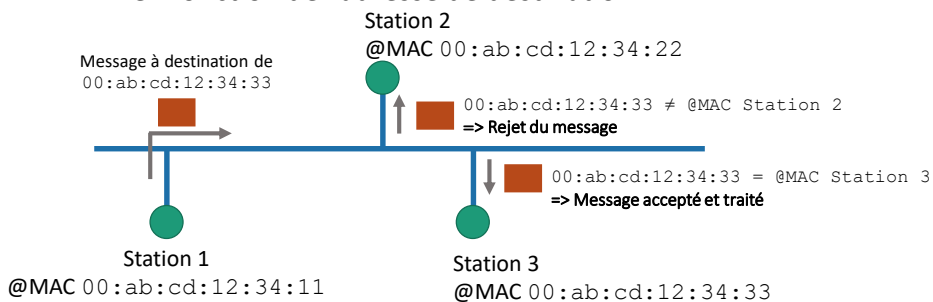
10

Adresses spéciales

- Adresse de diffusion (broadcast)
 - Permet de joindre tous les équipements du réseaux
 - `FF:FF:FF:FF:FF:FF`
- Adresses multicast
 - `01:XX:XX:XX:XX:XX`
 - Ex spanning tree protocol : `01:80:C2:00:00:00`
 - `33:33:XX:XX:XX:XX` => IPv6 multicast

Transmission des messages

- Message diffusé sur le réseau...
 - naturellement grâce aux propriétés physiques du support de communication
- ... et filtré par les stations
 - en fonction de l'adresse de destination



Accès au support de communication

- Bus à diffusion
 - support partagé => nécessite un protocole d'accès au support pour éviter les collisions
- *Carrier-Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD)*
 - Principe (étude complète au semestre 6) :
 - Écouter le support avant de parler
 - Support libre => je peux transmettre
 - Support occupé => je dois attendre
 - Écouter le support pendant la transmission
 - Si données émises \neq données reçues alors collision
 - Arrêt de la transmission, envoi de bruit, nouvelle planification de la transmission
 - Impose des limitations physiques sur la taille du réseau et la taille des messages
 - Transmettre assez longtemps pour être en mesure de détecter une collision même dans le pire cas

Julien Montavont

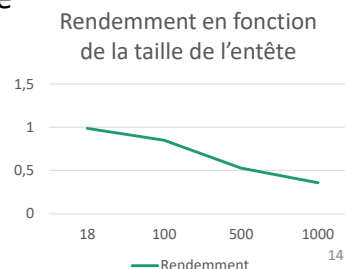
Ethernet

13

Organisation des messages

- Quelles informations de contrôle en plus des données ?
 - Expéditeur : adresse MAC source (48 bits)
 - Destinataire : adresse MAC destination (48 bits)
 - Type des données encapsulées
 - Contrôle d'erreur...
- Plus on ajoute des informations de contrôle, plus le rendement de la liaison diminue

Ex : taille fixe des données 554 octets,
débit de la liaison 1Mbps

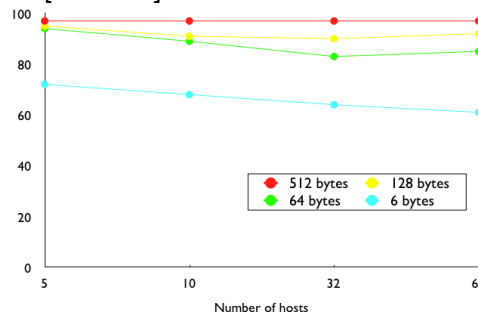


Julien Montavont

Ethernet

Organisation des messages

- Quelle taille pour les données ?
 - Impact de la taille des messages sur l'utilisation de la liaison [SH1980]



[SH1980] Shoch, J. F. and Hupp, J. A., *Measured performance of an Ethernet local network*. Commun. ACM 23, 12 (Dec. 1980), 711-721

Julien Montavont

Ethernet

15

Organisation des messages

- Messages de niveau sont appelés **trames**
- Choix réalisés
 - Adresse sur 48 bits
 - Taille minimale pour les données : 46 octets
 - compromis CSMA/CD (**slot-time** fixé à 51,2ms)
 - Si pas assez de données alors ajout de **padding** (suite de 0 non significatifs)
 - Taille maximale pour les données : 1500 octets
 - RFC1122 imposait une taille de 572 octets

Adresse destination (6 octets)	Adresse source (6 octets)	Type (2 octets)	Données (46 à 1500 octets)	FCS (4 octets)
-----------------------------------	------------------------------	--------------------	-------------------------------	-------------------

Frame Check Sequence
(contrôle d'erreurs)

Julien Montavont

Ethernet

16

Contrôle d'erreur

- Code à redondance cyclique (*Cyclical Redundancy Check* - CRC)
 - Permet uniquement la détection d'erreurs
 - Principe (étude approfondie au Semestre 6)
 - Octets qui composent la trame sont interprétés comme un polynôme $M(x)$
 - Rendre ce polynôme divisible par un polynôme générateur $G(x)$

$$\frac{M(x) \cdot x^n + R(x)}{G(x)} = 0$$

$$\text{avec } R(x) = M(x) \cdot x^n \bmod G(x)$$

CRC

- Quel intérêt ?
 - **Implémentation matérielle simple**
 - XOR et registres à décalage
 - Implémentation matérielle => **codage très rapide**
 - Calcule du reste (R(x)) pendant la transmission
 - CRC en fin de trame
- Lors d'une erreur détectée par CRC
 - Trame **jetée silencieusement** (expéditeur non prévenu)
 - Gestion de cette perte laissée à la discrétion d'un protocole de plus haut niveau dans le modèle OSI
- Existe des codes avec pouvoirs détecteurs / correcteurs supérieurs au CRC
 - Théorie des codes => étude au semestre 6

EtherTypes

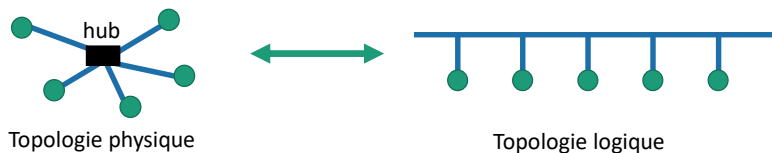
- Numéro sur 2 octets qui identifie le type de données véhiculées par la trame
 - Ex :
 - 0x0800 => paquet IPv4
 - 0x86DD => paquet IPv6
- Normalisé par l'IEEE
 - Liste complète
 - <http://standards-oui.ieee.org/ethertype/eth.txt>

Evolution d'Ethernet

- 10BASE2 (thin Ethernet - 1980)
 - Topologie physique en bus, câbles coaxiaux, débit de 10Mbps, 2 segments de 100m max
- 10BASE5 (thick Ethernet - 1983)
 - Idem mais câble plus épais
 - ⇒ segment de longueur max 500m

Evolution d'Ethernet

- 10BASE-T (Ethernet over Twisted pair - 1990)
 - paire torsadée (utilisation de 2 paires sur les 4), débit de 10Mbps, longueur max 100m
 - Topologie physique en étoile (mais logique en bus)
 - Nouvel équipement réseau => **concentrateur** (hub)
 - Équipement de niveau 1 (physique) qui répète simplement le signal reçu



Evolution d'Ethernet

- Avantages 10BASE-T
 - Paire torsadée (cat. 3) moins cher que le coaxial et plus simple à manipuler
 - Paire torsadée déjà présent dans les bâtiments
 - Ex : téléphone fixe
 - Topologie en étoile bien connue
 - déjà utilisée dans la téléphonie
 - moins sujette aux pannes
 - Coupure d'un câble entre une station et concentrateur n'impacte que cette station
 - Possibilité d'évolution (e.g. seulement 2 paires utilisées sur les 4 présentes, etc.)

Utilisation paire torsadée

- 4 paires présentes mais utilisation de 2 paires
 - Pin 1-2 et 3-6
- 2 types de câblage
 - **Câble droit** (même câblage à chaque extrémité)
 - Connexion entre station et équipement intermédiaire (concentrateur, commutateur, etc.)
 - **Câble croisé** (câblage différent à chaque extrémité)
 - Connexion entre stations, ou entre concentrateurs, ou entre commutateurs sur port standard
- T568A

Pin	Pair	Wire	Couleur
1	3	Tip	Blanc/vert
2	3	Ring	Vert
3	2	Tip	Blanc/orange
4	1	Ring	Bleu
5	1	Tip	Blanc/bleu
6	2	Ring	Orange
7	4	Tip	Blanc/brun
8	4	Ring	Brun

Julien Montavont

T568B

Pin	Pair	Wire	Couleur
1	2	Tip	Blanc/orange
2	2	Ring	Orange
3	3	Tip	Blanc/vert
4	1	Ring	Bleu
5	1	Tip	Blanc/bleu
6	3	Ring	Vert
7	4	Tip	Blanc/brun
8	4	Ring	Brun

23

⇒ Aujourd'hui auto-négocié à la connexion

Evolution d'Ethernet

- 100BASE-TX (Fast Ethernet - 1995)
 - Identique à 10BASE-T mais...
 - Câbles de catégorie 5
 - Codage différent
 - *Non-Return to Zero Inverted* (NRZI) + 4B5B + *Multi-Level Transmit* (MLT-3)
 - Plus de bits par top d'horloge
 - Full-duplex si utilisé avec **commutateur** (switch)
 - Nouvel équipement réseau de niveau 2
 - Topologie physique et logique en étoile
 - Pas de méthode d'accès si utilisé avec commutateur
 - Débit de 100 Mbps

Julien Montavont

Ethernet

24

Evolution d'Ethernet

- 1000BASE-T (Gigabit Ethernet – 1999)
 - Câbles de catégorie 5 ou plus
 - Codage *Pulse Amplitude Modulation* (PAM-5) + *Trellis Coded Modulation* (TCM)
 - 4 paires utilisées simultanément
 - Plus de bits par top d'horloge
 - Débit 1Gbps
- 10GBASE-T, 25GBASE-T, 40GBASE-T...

Evolution d'Ethernet

- Différentes normes rétrocompatibles entre-elles
 - Rétrocompatibilité descendante uniquement
- Auto-négociation à la connexion des équipements
 - Ex : carte 100BASE-TX peut fonctionner en 10BASE-T

Interconnexion au niveau liaison

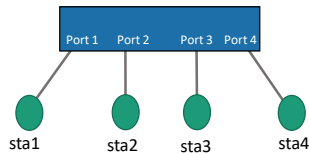
- Concentrateur (hub)
 - Interconnecte 2 ou plusieurs câbles
 - Simple **répéteur** : signal arrive sur un port est répété sur tous les autres ports
 - Équipement de niveau 1 (physique)
 - Aucun traitement sur les signaux reçus
 - 1 **domaine de diffusion et de collision**
 - Même si plusieurs concentrateurs en cascade
 - Obsolète et difficile à trouver sur le marché aujourd'hui

Interconnexion au niveau liaison

- Commutateur (switch)
 - Interconnecte 2 ou plusieurs câbles
 - Équipement de niveau 2 (liaison)
 - Analyse les trames qui circulent afin d'identifier quelle station se situe derrière quel port
 - ⇒ filtrage pour éviter d'inonder le réseau à la manière d'un concentrateur
 - Table de commutation
 - Table contenant des couples (@MAC, port local)
 - Renseignée dynamiquement et remise à zéro à chaque redémarrage de l'équipement
 - 1 **domaine de diffusion mais un domaine de collision par port du commutateur**

Fonctionnement commutateur

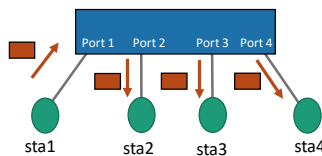
Démarrage du réseau



@MAC	Port

Table de commutation vide

Emission d'une trame de 1 vers 3



@MAC	Port
STA1	1

Trame dont la source est STA1 reçue via le port 1
=> Ajout dans la table de commutation

STA3 non connue dans la table de commutation

=> Diffusion de la trame sur tous les ports (sauf port source)

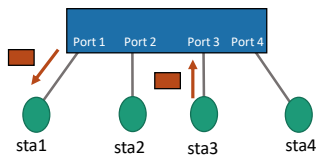
Julien Montavont

Ethernet

29

Fonctionnement commutateur

Emission d'une trame de 3 vers 1

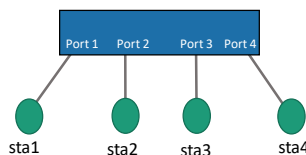


@MAC	Port
STA1	1
STA3	3

Trame dont la source est STA3 reçue via le port 3
=> Ajout dans la table de commutation

STA1 connue => envoi uniquement sur port 1

Après un certain temps...



@MAC	Port
STA1	1
STA3	3
STA2	2
STA4	4

Commutateur connaît toutes les stations

Julien Montavont

Ethernet

30

Fonctionnement d'un commutateur

• Pseudo-code [cnp3]

```
# Arrival of frame F on port P
# Table : MAC address table dictionary : addr->port
# Ports : list of all ports on the switch
src=F.SourceAddress
dst=F.DestinationAddress
Table[src]=P #src heard on port P
if isUnicast(dst) :
    if dst in Table:
        ForwardFrame(F,Table[dst])
    else:
        for o in Ports :
            if o!= P : ForwardFrame(F,o)
else:
    # multicast or broadcast destination
    for o in Ports :
        if o!= P : ForwardFrame(F,o)
```

[cnp3] O. Bonaventure, Computer Networking: Principles, Protocols and Practice
<https://inl.info.ucl.ac.be/cnp3>

Julien Montavont

Ethernet

31

Commutateur : inconvénients

- Que faire si table de commutation pleine ?
 - Premiers commutateurs avec peu de mémoire
 - ⇒ Inonder le commutateur avec des trames dont l'adresse source est falsifiée et change afin de remplir la table de commutation
 - ⇒ lorsque la table est pleine, commutateur diffuse toutes les trames légitimes => **plus de filtrage**
 - Solution : + de mémoire et entrées **soft state**
 - entrée associée à une durée de vie, remplacement de l'entrée la plus vieille si table pleine, etc.
- Que faire si plusieurs commutateurs forment un cycle ?
 - Risque de **prolifération exponentielle des trames** (multiplication et bouclage à l'infini) => réseau tombe
 - Solution : spanning tree protocol (étude complète au semestre 6)
 - Idée : construire une topologie logique en arbre par-dessus la topologie physique
 - ⇒ plus de cycles

Julien Montavont

Ethernet

32

Commutateur : inconvénients

- Commutation de trames
 - Attendre de recevoir toute la trame avant analyse et réémission (commutateur *Store-and-Forward*)
 - Ajout d'un **délai $T = L / D$** à chaque commutateur (T en seconde, L taille de la trame en bit, D débit en bps)
 - Délai dépend de la taille de la trame
 - Solution : commutateur *Cut-Through*
 - Réception des 6 premiers octets permet de déterminer le port de sortie
 - Emission du reste de la trame pendant sa réception
- ⇒ délai fixe qui ne dépend plus de la taille des trames
- Inconvénients :
 - Propage les trames erronées
 - Débit identique sur tous les ports (e.g. pas de mix entre 10BASE-T et 100BASE-TX)
 - Plus complexe

Ethernet aujourd'hui

- Offre un service **non connecté, non fiable** mais
 - Probabilité forte de délivrance réussie des trames
 - Trames généralement transmises dans l'ordre (topologie en bus, files FIFO sur commutateurs)
- Supporte trafic **unicast, broadcast** et **multicast**
- Norme 100BASE-TX
 - mais remplacée progressivement par 1000BASE-T
 - Rétrocompatibilité descendante entre les normes
 - Auto-négociation à la connexion (norme et type de câblage)
- Ethernet commuté => interconnexion via **commutateurs**
 - Suppression de la méthode d'accès car **collision impossible**
 - Filtrage des trames => meilleures **performances** et **gain en sécurité**
- Améliorations / extensions : VLAN, Spanning Tree, qualité de service, contrôle d'accès, etc.