ETHERNET

Bruno Gauthier

gauthier@univ-mlv.fr

IUT Marne-la-Vallée

Services et Réseaux de Communication

Historique (1)

- Né au début des **années 1970** au sein de Xerox
  - version expérimentale fonctionnant à 3 Mbit/s sur câble coaxial de 75 ohm sur 1km
- **septembre 1980** : publication du livre bleu *The Ethernet* (*ether* : câble passif, *net* : network) par Digital Equipment Corporation (DEC), Intel et Xerox
  - version 1.0 : méthode, topologie, support physique, principales contraintes
- **novembre 1982** : publication de la version 2.0 (document DIX)
  - partiellement incompatible avec la version précédente (ex : transceivers)
- **1985** : norme ANSI/IEEE 802.3
  - norme suivant dans les grandes lignes la version 2.0
  - modèle OSI : division de la couche 2 en deux pour insérer Ethernet dans les couches MAC et physiques
  - connectique redéfinie précisément, temps recalculés
- **1988** : recueil de suppléments au standard IEEE 802.3
  - intégration d'autres média ou d'autres débits et topologie (ex : 802.3a : câble coaxial fin [10base2])
    ⇨ débit maximum, type de modulation longueur des brins
- **février 1989** : l'ISO normalise le document IEEE (8802.3)

Historique (2)

- Différences entre Ethernet V2.0 et IEEE 802.3
  - troisième champs de la trame
  - adresses
  - brochage câble AUI
  - temps de propagation maximum dans un réseau
  - extension des moyens de connexions station-réseau
  - *7 ans de différence !*

- Suppléments IEEE 802.3
  - 1985 : **10base5** (ethernet gros)
  - **802.3 a** (1988) : **10base2** (ethernet fin)
  - **802.3 b** : **10broad36**
  - 802.3 c&d : caractéristiques des répéteurs 10base5 et 10base2 et liaisons optiques FOIRL
  - **802.3 e** : **1base5**
  - 802.3 g (1991) : câbles AUI (méthodologie et implémentation des tests de conformité)
  - 802.3 h (1990) : ajout d'une entité d'administration pour les couches physiques, MAC, LLC
  - **802.3 i** : **10baseT**
  - **802.3 j** (1993) : **10baseF** (FP, FB et FL)
  - 802.3 k (1992) : répéteurs en bande de base
  - 802.3 l (1992) : méthodes de test de conformité des transceivers 10baseT
  - **802.3 u** : **100base-*** (T,F)

Introduction (1)

- **En quelques mots…**
  - Développé par Digital, Intel et Xerox (DIX)
    - *basé sur la méthode d'accès 802.3*
  - Basé sur la méthode d'accès CSMA-CD
    - *CSMA: accès multiples et écoute de la porteuse*
    - *CD :détection de collision*

- **Buts énoncés dans le document DIX**
  - Simplicité, faible coût
  - Réseau multipoint
  - Pas de priorité
  - Peu de fonctions optionnelles
  - Débit: 10Mbit/s
  - Performances peu dépendantes de la charge

Introduction (2)

- **« Non Buts »**
  - Full-duplex
  - Contrôle d’erreur
  - Sécurité et confidentialité
  - Vitesse variable
  - Priorité
  - Protection contre un utilisateur malveillant

Principes (1)

- Support de transmission
  - Segment = bus
  - Pas de boucle, pas de sens prédéfini de circulation
  - Permet la diffusion
  - Transmission en bande de base, (signal numérique, câble à paires torsadées 50 Ω)
- Tout équipement informatique est raccordé sur ce câble par un transceiver
  - Transceiver = transmitter + receiver
- **Tout équipement Ethernet a une adresse unique au monde**
- Sur le câble, circulent des trames :
  - Suites d'éléments binaires (trains de bits)
- À un instant donné, une seule trame circule sur le câble
  - Pas de multiplexage en fréquence
  - Pas de full duplex
- Une trame émise par un équipement est reçue par tous les transceivers du segment Ethernet
- Une trame contient l'adresse de l'émetteur et l'adresse du destinataire

Principes (2)

- Principe du CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect)

En absence d'information à transmettre, une station
- écoute les paquets en transit (n'a aucun moyen de déterminer d'où ils viennent)
- si une trame lui est destinée (@_destinataire = @_station), il la prend, la traite et la délivre à la couche supérieure. Sinon, il n'en fait rien.

Une station qui veut émettre
- regarde si le câble est libre **[CS]**
- si oui, elle envoie sa trame. Si non, elle attend que le câble soit libre

Si deux stations émettent ensemble **[MA]**, les deux trames émises se percutent : il y a **collision**
- les deux trames sont inexploitables
- les deux stations détectent la collision **[CD]**, elles réémettront leur trame ultérieurement ou l'élimineront

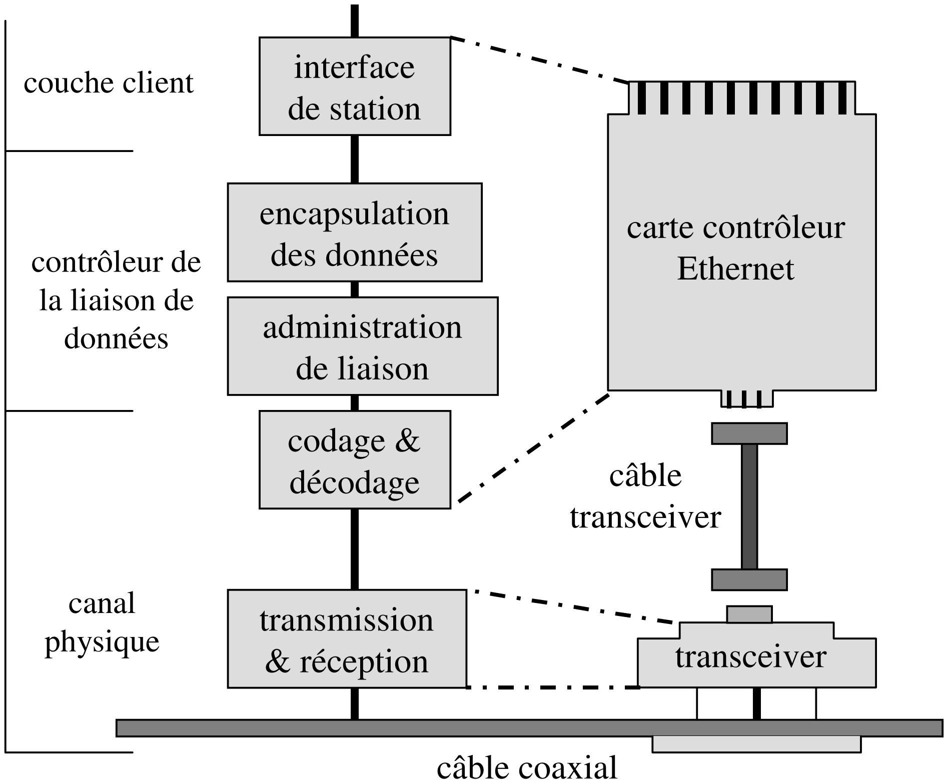
Plus le réseau est important (nombre de stations), plus la probabilité d'apparition de collisions est grande

<u>Ethernet est un réseau</u>
- probabiliste
- sans chef d'orchestre
- égalitaire
- performances variables

⇨ *comparaison avec une réunion sans animateur entre gens polis*

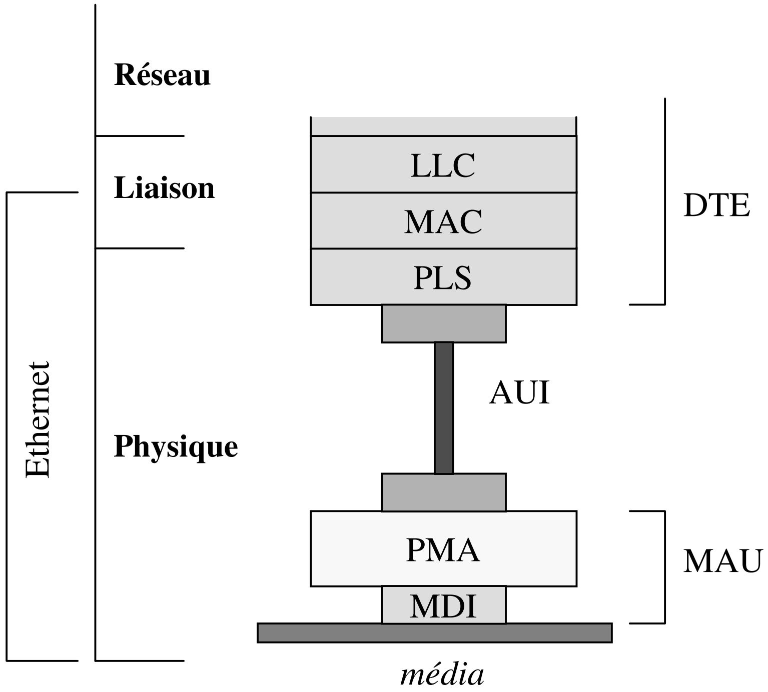
Modèle OSI et Ethernet (1)

- Architecture et implémentation typique d'Ethernet



Modèle OSI et Ethernet (2)

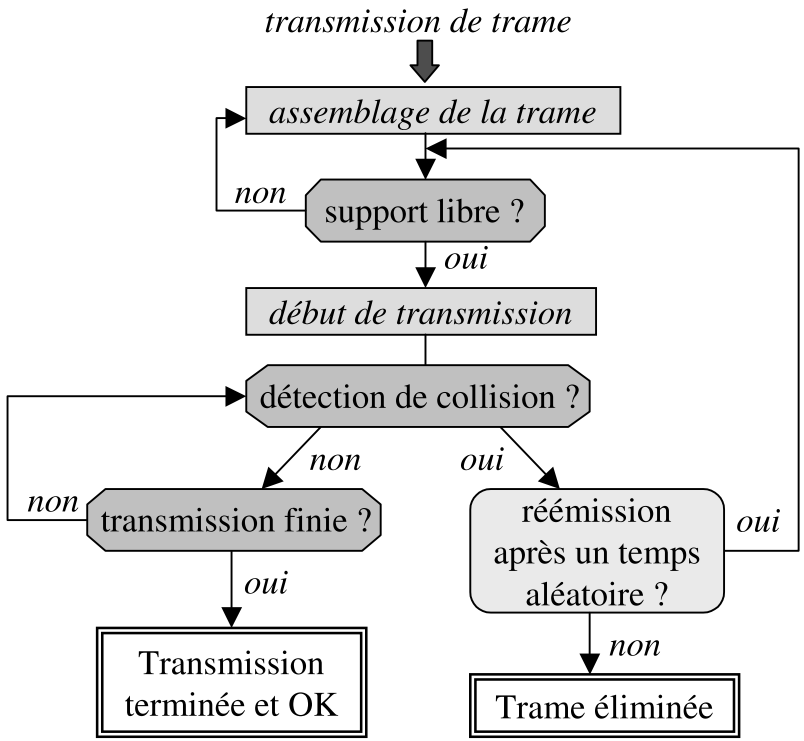
- Décomposition d'Ethernet en sous-couches OSI



DTE	Data Terminal Equipment
LLC	Logical Link Control
MAC	Medium Access Unit
PLS	Physical Layer Signaling
AUI	Attachment Unit Interface
MAU	Medium Attachment Unit
PMA	Physical Medium Attachment
MDI	Medium Dependent Interface

Erreurs (1)

❑ Transmission d'une trame



Erreurs (2)

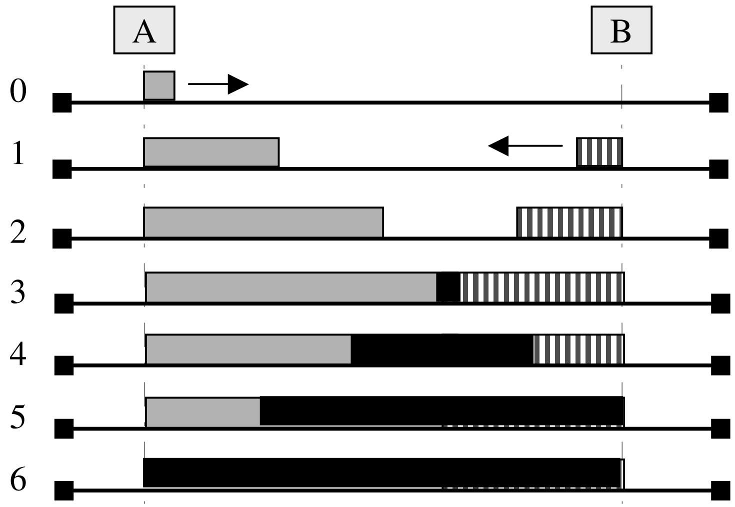
❑ Collision

Phénomène résultant de la **superposition de deux signaux** sur le support

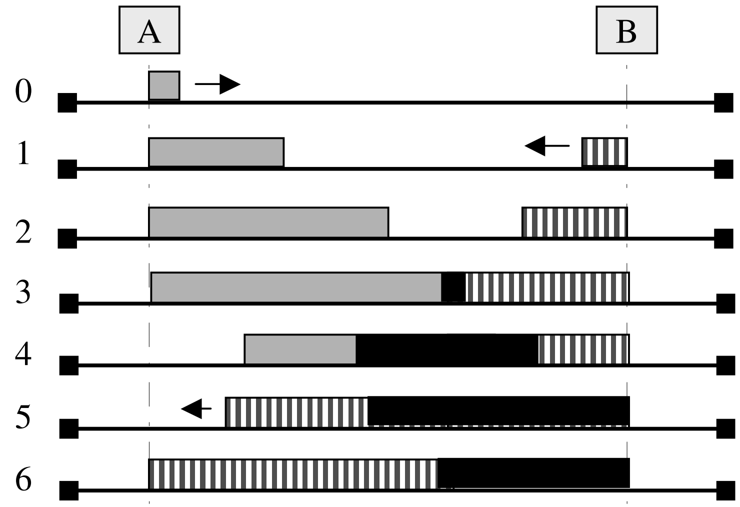
La détection des collisions repose sur deux hypothèses

- une longueur minimale de trame (durée minimale d'émission)
- un temps de propagation connu des signaux

Exemple : temps de propagation des signaux = 5 temps



A émet sur au moins 6 temps



A émet sur 3 temps

Erreurs (3)

❑ Temps de propagation

Temps de propagation aller-retour d'une trame (**Round Trip Delay** ou RTD) limité à 50 µs

Ce délai passé, aucune collision ne peut plus arriver

La norme 802.3 définit un « Slot Time » d'acquisition du canal égal à 51.2 µs ce qui correspond à une longueur de trame minimum de 512 bits (soit 64 octets, préambule et FCS non compris)

Une station doit donc écouter le signal « Collision Detection » pendant 51.2 µs à partir du début d'émission

❑ La détection des collisions

- si une station en train d'émettre détecte une collision, elle arrête son émission
- si une station en réception reçoit une trame inférieure à 72 octets, elle en déduit l'existence d'une collision

❑ La gestion

- <u>en émission</u>, la station après avoir détecté la collision (signal CD) la renforce en émettant 32 bits supplémentaires (séquence de brouillage ou *jam*)
- <u>en réception</u>, la station n'a pas besoin de tester le signal CD car une trame accidentée a une longueur inférieure à 72 octets

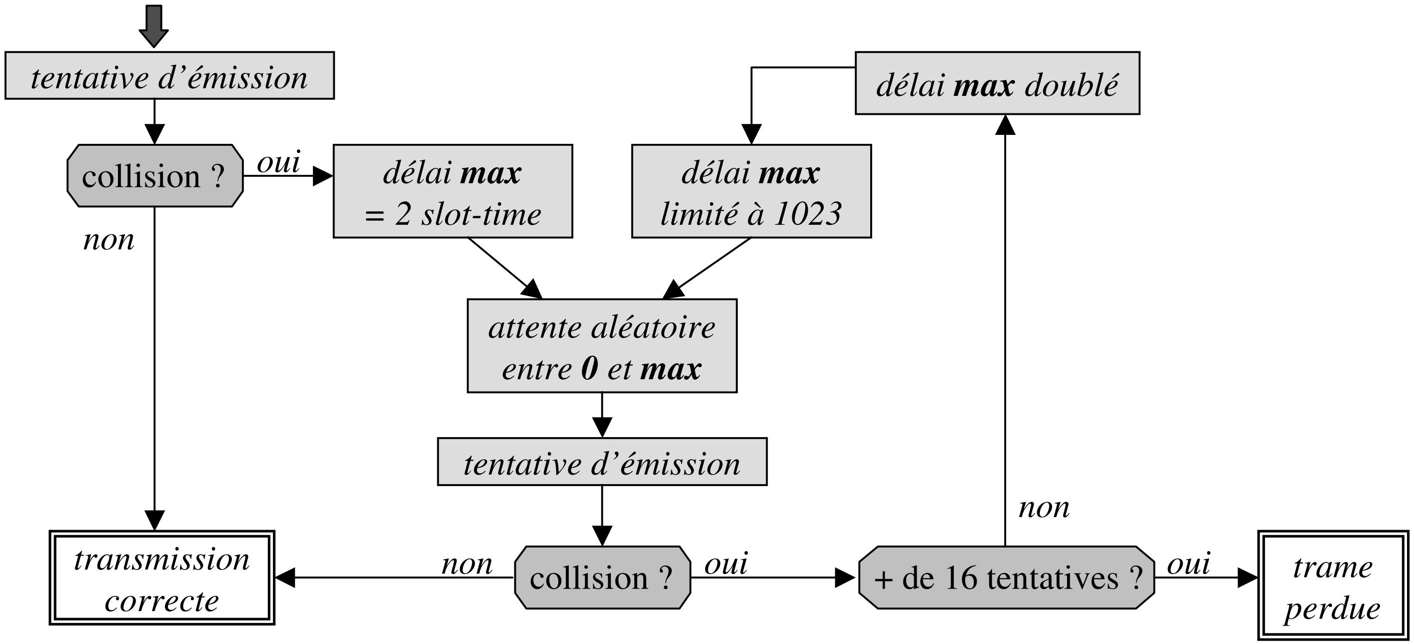
Erreurs (4)

- Ré-émission de la trame

En cas de collision, la trame est ré-émise après un temps aléatoire
⇨ éviter que toutes les stations qui souhaitent émettre le fasse en même temps

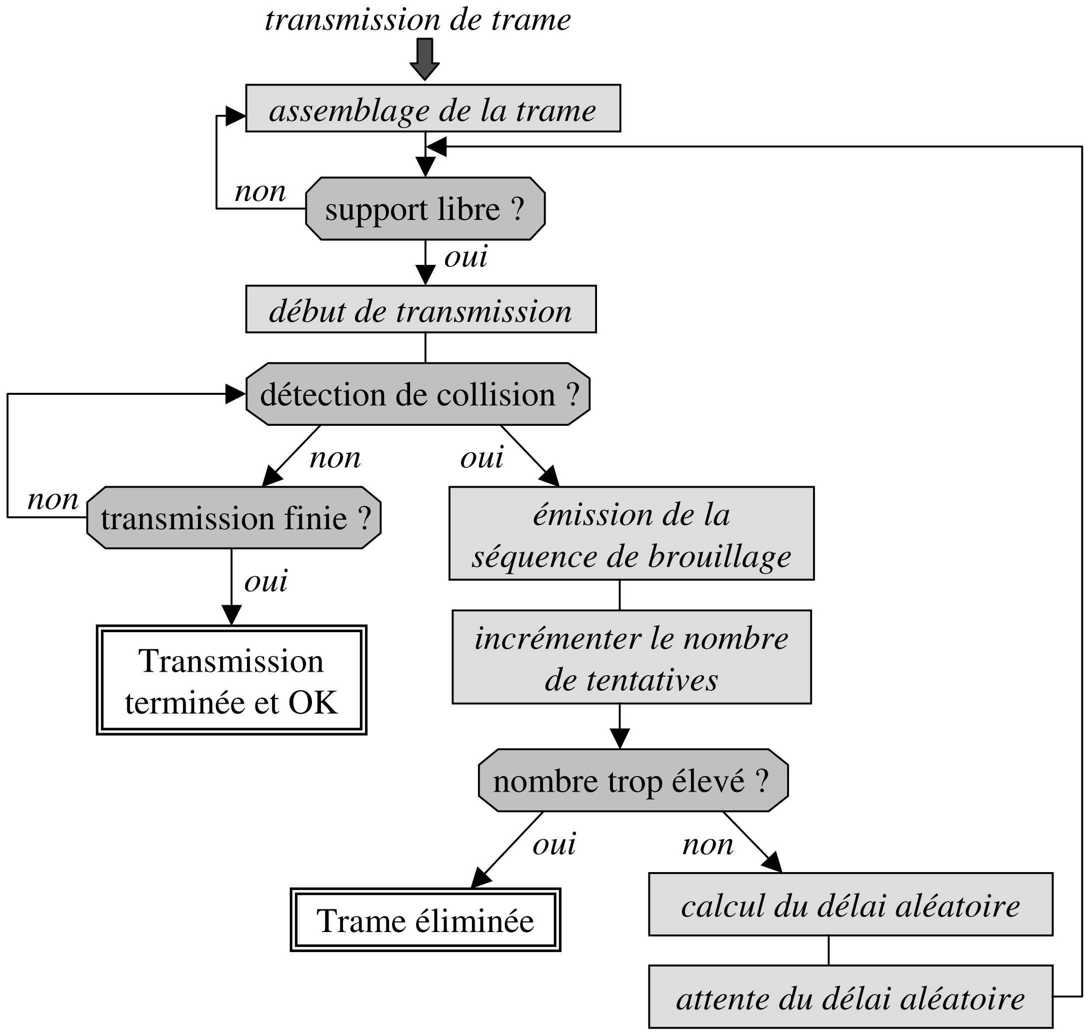
Jusqu'à 16 tentatives avant élimination de la trame

Délai d'attente qui augment après chaque tentative (borné à 1023 slot-time après la 10ème tentative)



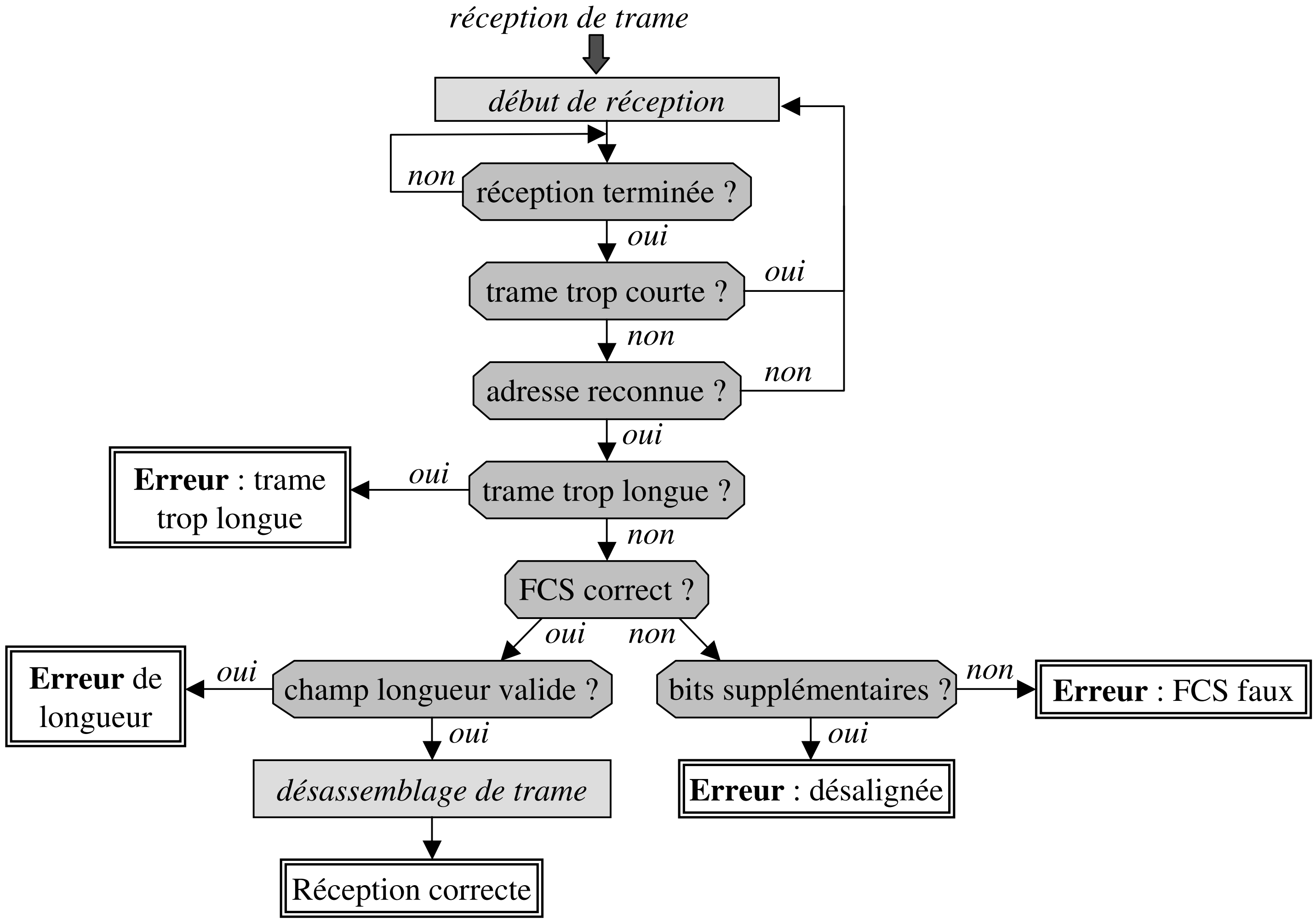
Erreurs (5)

- Transmission d'une trame :



Erreurs (6)

❑ Réception d'une trame



Erreurs (7)

❑ Trames erronées

➢ Trame trop courte ou ‘ Runt ’

trame inférieure à 64 octets (sans préambule)
trame ‘acceptable’ car elle peut résulter d’une collision

➢ Trame trop longue ou ‘ Jabber ’

trame de plus de 1518 octets (sans préambule)
ne doit ne jamais se produire sur un réseau sain (collision non détectée ou matériel défectueux)

➢ Trame désalignée ou ‘misaligned’

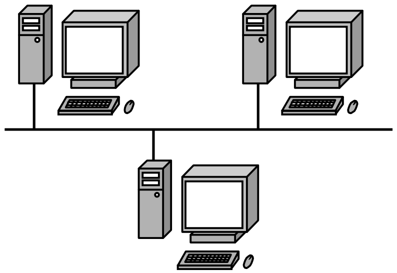
trame dont le nombre de bits n’est pas divisible par 8 ⇨ identification impossible des champs

➢ mauvais FCS ou ‘bad FCS’

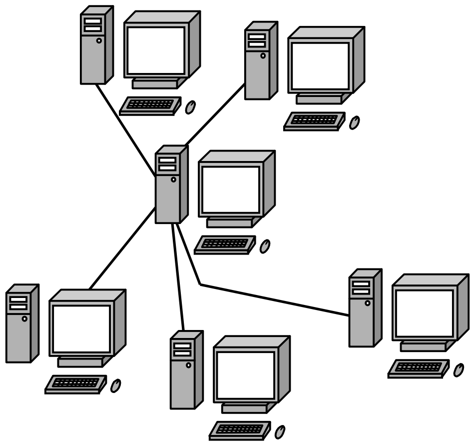
le CRC recalculé ne correspond pas aux quatre derniers octets de la trame reçue
peut résulter d’une erreur de transmission ou d’une collision (trame tronquée ⇨ ‘runt’ et désalignée)

Différents standards

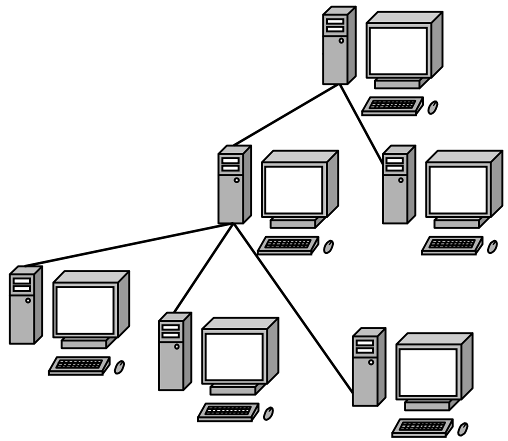
- Différentes topologies



bus



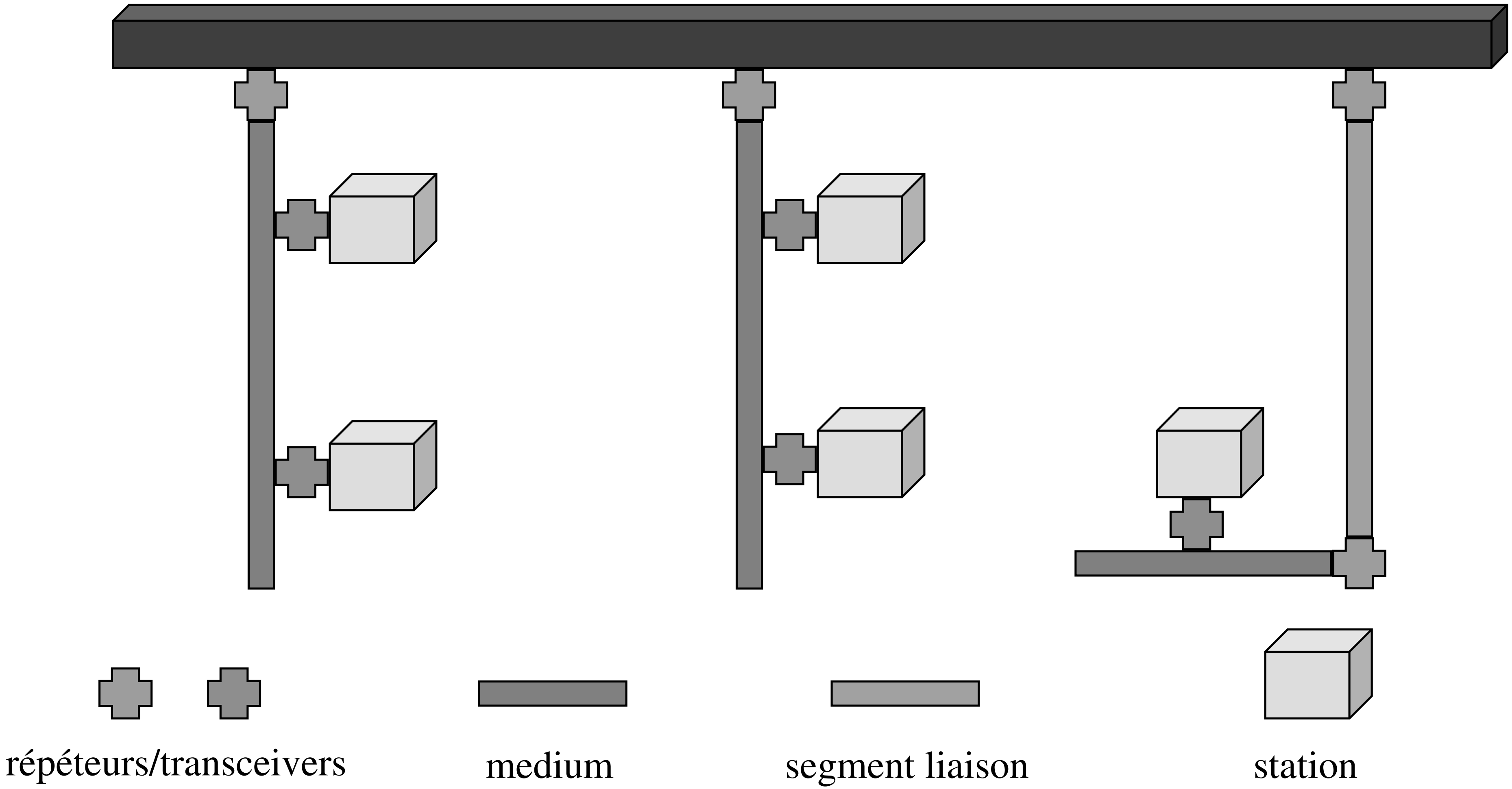
étoile



arborescence

- Différents câbles
  - câble coaxial
  - câble à paires torsadées
  - fibre optique

Backbone



Format d’une trame (1)

❑ Format d’une trame IEEE 802.3

7 octets	1octet	6 octets	6 octets	2 octets	46 - 1500 octets	4 octets
Préambule	SFD	@ DEST	@ SOURCE	Lg DATA	DATA	FCS

❑ Format d’une trame Ethernet

7 octets	1octet	6 octets	6 octets	2 octets	46 - 1500 octets	4 octets
Préambule	SFD	@ DEST	@ SOURCE	**Type**	DATA	FCS

❑ Sens de circulation des octets

- ➢ Premier : premier octet du préambule
- ➢ Dernier : dernier octet de la séquence de contrôle

❑ Sens de circulation des bits pour un octet

- ➢ Premier : bit de poids faible (bit 0)
- ➢ Dernier : bit de poids fort (bit 7)

Format d’une trame (2)

- Débit d’émission/réception :10 Mbit/s
  - 10 bits /µs

- Longueur des trames (avec préambules)
  - 26 octets réservés au protocole
  - Longueur minimale : 72 octets (46 octets de données)
  - Longueur maximale : 1526 octets

- Espace inter-trames : 9.6 µs minimum
  - 10 Mbit/s = 10 bits / µs
  - Espace inter-trames 9.6 µs, donc 9.6 ∗10 = 96 bits (12 octets)

Différents champs d'une trame (1)

- **Préambule**
  - 7 octets de « synchronisation bit »
  - 7 fois `10101010`
- **Délimiteur de début de trame** (**S**tart **F**rame **D**elimiter)
  - 1 octet `10101011`
  - Indique le début de trame (synchronisation caractère)
- **Adresse destinataire**
  - Premier bit (transmis)
    - = 0 adresse d'une station unique
    - = 1 adresse d'un groupe de stations (multicast)
  - Second bit (transmis)
    - = 0 adresse administrée globalement (universelle)
    - = 1 adresse administrée localement
  - Tous les bits à 1 : adresse de broadcast (toutes les adresses du réseau sont concernées)
- **Adresse source** : adresse physique de la station émettrice
  - Premier bit (transmis) = 0 (adresse d'une station)

Adresses IEEE 802.3 ou ETHERNET

- Adresse = 6 octets (48 bits) ou 2 octets
- Notation hexadécimale
- Diffusion = Broadcast = FF:FF:FF:FF:FF:FF
  - Toutes les stations d'un réseau
- L'IEEE a attribué des tranches d'adresses aux différents constructeurs, les trois premiers octets indiquent ainsi l'origine du matériel
  - `00:00:0C:XX:XX:XX` Cisco
  - `08:00:20:XX:XX:XX` Sun
  - `08:00:14:XX:XX:XX` HP
  - …
- Les adresses Ethernet sont donc uniques, elles ne sont pas programmables

Différents champs d'une trame (2)

- **Taille** de la zone de données
  - Entre 1 et 1500 octets
  - Si la valeur du champ taille est supérieure à 1500, alors la trame peut être ignorée, détruite ou utilisée à d'autres fins (autre protocole que 802.3)
  - Indique le début de trame

- **Données + padding**
  - Entre 46 et 1500 octets
  - Padding (octets sans signification) : pour envoyer moins de 46 octets de données

- **FCS** : Frame Control Sequence
  - 4 octets de contrôle : CRC (Cyclic Redundancy Check)
  - Polynôme de degré 32
  - Le contrôle s'applique aux champs
    - Adresses (destination et source)
    - Taille de la zone de données
    - Données + padding

Fonctions de la couche MAC (1)

- La couche **MAC** est indépendante du média de communication, il suffit que ce dernier supporte l'accès CSMA/CD
- Deux fonctions
  - Gestion des données
    - Mise en forme de la trame : champs, gestion FCS
    - « Conversion » : octets de la trame → éléments binaires
  - Gestion de la liaison
    - Allocation du canal
    - Gestion des collisions en écoutant les signaux générés par la couche physique
- **À la transmission**, la couche MAC
  - Ajoute le préambule et SFD à la trame
  - Ajoute le padding si nécessaire
  - Assemble les champs : *@ origine, @ destinataire, taille données et padding*
  - Calcule le FCS et l'ajoute à la fin de la trame
  - Transmet la trame à la couche physique
    - Si le support est libre depuis 9.6 µs au moins, la transmission s'effectue (suite de bits)
    - Sinon, elle attend que le support devienne libre, attend 9.6 µs et commence la transmission.

Fonctions de la couche MAC (2)

- **À la réception**, la couche MAC est à l'écoute, elle reçoit tous les trains de bits qui circulent sur le câble et
  - Enlève le préambule, le SFD et l'éventuel padding
  - Analyse d'adresse du destinataire de la trame
  - Si l'adresse destination de la trame est différente de l'adresse de la station, poubelle
  - Si l'adresse inclut la station
    - Elle découpe la suite de bits reçus en octets, puis en champs
    - Elle transmet à la couche LLC les champs @ destination, @ source, taille, données
    - Elle calcule le FCS et indique une erreur à la couche LLC si
      - FCS incorrect
      - Trame trop grande (>1526 octets)
      - Longueur de la trame n'est pas un nombre entier d'octets, (erreur d'alignement)
      - Trame trop petite (< 64 octets), (trame avec collision)

Couche Physique

- *Fonctions* de la couche physique
  - Permet de recevoir et d'émettre des suites d'éléments binaires
  - Détecte la transmission par une autre station
    - Pendant que la station n'émet pas : *carrier sense*
    - Pendant la station émet : *collision detection*
  - *Codage Manchester*
  - voltage suivant type de câble ([0, -2] Volts ou [-1,+1] Volts)

- *Interface* entre la couche MAC et la couche physique:
  - ***3 requêtes*** :
    - **Transmettre un bit** (requête MAC → couche physique), paramètre d'appel : un bit
    - **Recevoir un bit** (requête MAC → couche physique), paramètre de retour : un bit
    - **Attendre N bits** (requête MAC → couche physique), paramètre d'appel : nombre de bits à attendre

  - ***3 booléens*** :
    - **Carrier sense** (MAC ← couche physique), il y a du trafic sur le câble ?
    - **Transmitting** (MAC → couche physique), il y a des bits à transmettre ?
    - **Collision detection** (MAC ← couche physique), il y a une collision sur le câble ?

Matériel et cablâge : Transceivers

Fonctions du transceiver

- ***transmettre*** et ***recevoir*** les bits
- *détecter les collisions* : la détection de collision est effectuée par comparaison entre les signaux émis et les signaux reçus
- *limiter la longueur de trame* : si une trame est trop longue, il active le signal de présence de collision

Matériel et cablâge : Câble Ethernet

- **Le câble "Ethernet"**
  - point de départ de la technologie Ethernet (1982)
  - coaxial constitué d'une âme conductrice centrale et d'une masse tressée le tout isolé par un diélectrique.
  - *caractéristiques de la norme IEEE 802. 3 :*
    - impédance 50 ohms, bande de base, encodage Manchester
    - niveaux 0V et -2V, propagation > 0.77 c
    - réflexion du signal évitée par des bouchons (extrémités)

Matériel et cablâge

10Base5 = (10 Mb/s, Baseband, 500 m),

- gros câble (diamètre = 0,4 inch), thick ethernet,
- topologie bus, transceiver vampire,
- couleur jaune recommandée,
- terminaison 50 ohms,
- MAU séparés de 2,5 mètres avec connexion par prise vampire,
- environ 25 F le mètre.

10Base2 = (10 Mb/s, Baseband, 185 m),

- câble fin, thin ethernet, souple,
- raccordement transceiver en T, BNC,
- 30 stations maximum, espacement >= 50 cm,
- terminaison 50 ohms,
- topologie bus, stations en série,
- facilite le chaînage des stations,
- économique, beaucoup de stations intégrant le transceiver,
- environ 6 F le mètre.

Matériel et cablâge

10BaseT = (10 Mb/s, Baseband, Twisted pair),

- double paire torsadée UTP (émission + réception)
- raccordement prise RJ45,
- longueur maximum 100m,
- 30 stations maximum,
- topologie en étoile, raccordement à un hub,
- transceiver paire torsadée, intégré à la station,
- utilisé pour pré-câbler les bâtiments,
- environ 4 F le mètre.

Fibre optique

- utilisée en point à point (segment de liaison) ou en étoile avec un transceiver en bout de branche qui réalise la transformation optique-électrique.
- support onéreux (environ 80 F le mètre pour un câble de 10 fibres)
- longueur maximum 1000m à 2000m

L'interconnexion : répéteurs

- dispositif actif non configurable
- permet d'augmenter la distance entre deux stations Ethernet
- **reçoit**, **amplifie** et **retransmet** les signaux

- Caractéristiques:

  - n'opère aucune modification des données mais régénère les signaux électriques
  - indépendant du protocole (fonctionne au niveau bit de la couche physique, ne connaît pas la trame) et ne procède à aucun filtrage (ne diminue pas la charge du réseau)
  - se connecte comme une station : câble de transceiver + transceiver (le transceiver ne doit pas être distant de plus de 2,5m du répéteur)
  - les répéteurs munis de deux prises AUI relient deux segments de câbles via un transceiver (peuvent être utilisés sur plusieurs média)

  - **remet en forme les signaux électriques**
  - propage les collisions
  - peut intégrer un agent de gestion de réseau SNMP

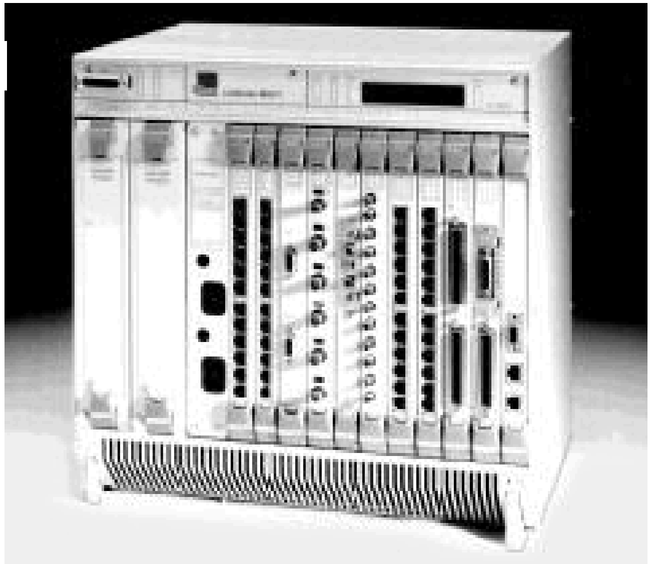
L'interconnexion : concentrateurs

- Un concentrateur (ou étoile, multi-répéteur, hub) a une fonction de répéteur
- permet de mixer différents médias (paires torsadées, AUI, Thin ethernet, fibre optique)
- souvent composé d'un châssis pouvant contenir plusieurs cartes
- comprend généralement un agent SNMP
- peuvent être «empilables» (un seul domaine de collision)
- peuvent être «cascadables» (plusieurs domaines de collisions)
- Hub plat : 4, 8, 16, 24, 32 ports
- Carte dans chassis : 8,16,24 ports.

L'interconnexion : matériels

- Exemples

Transceiver

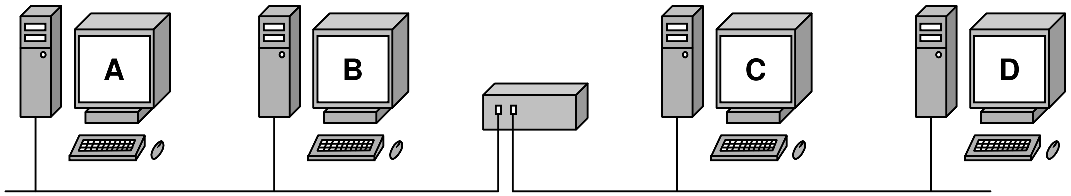


Hub multi Protocole (3com)

Mini hubs (Hewlet Packard)

L'interconnexion : Ponts (1)

- dispositif actif filtrant,
- permet d'augmenter la distance maximum entre deux stations,
- permet d’augmenter la confidentialité,
- permet de diminuer la charge du réseau.



- ✓ les trames A ↔ B ne sont pas transmises sur le segment 2,
- ✓ les trames C ↔ D ne sont pas transmises sur le segment 1,
- ✓ la distance entre A et D est en théorie illimitée avec ponts et segments en cascade,
- ✓ les collisions sont filtrées.

L'interconnexion : Ponts (2)

- **Le pont construit au fur et à mesure une table de correspondance entre adresses sources et segments sur lesquels les trames correspondantes sont acheminées.**

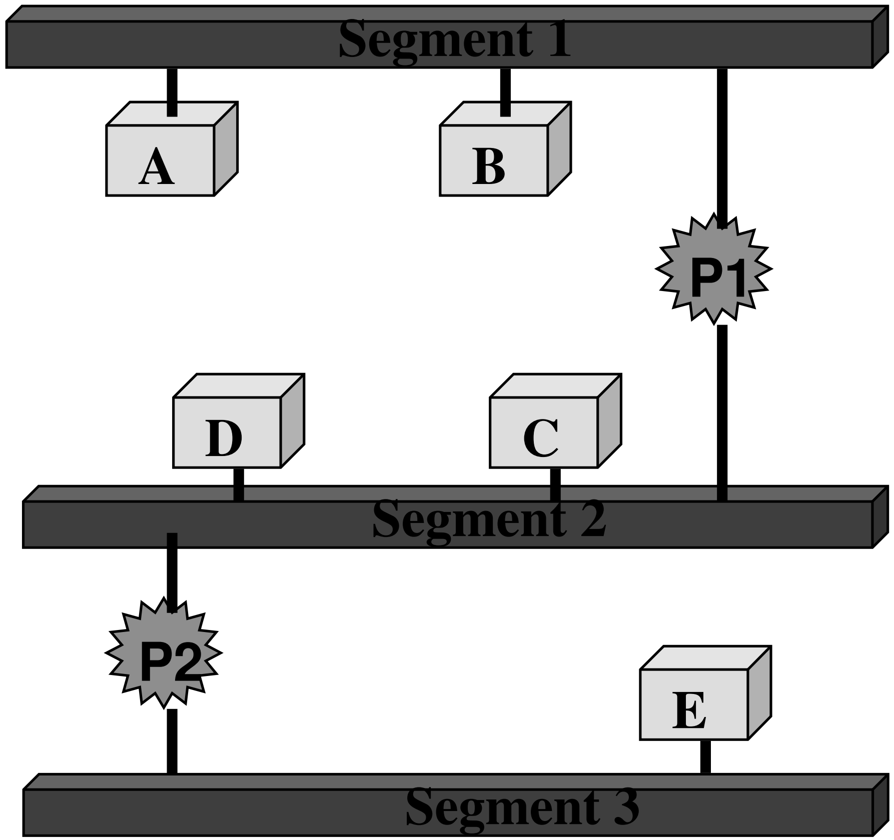
- Lorsque les ponts sont connectés pour la première fois, les tables de correspondance ne sont pas initialisées; les ponts utilisent l'algorithme d'inondation (retransmission sur tous les segments auxquels ils sont connectés) pour relayer la trame.

- Un pont examine toutes les trames des segments qui lui sont connectés; lorsqu'une trame arrive, le pont sait ainsi la relayer vers le segment approprié; un autre pont éventuellement relayera à nouveau cette trame avant qu'elle ne parvienne à son destinataire.

L'interconnexion : Ponts (3)

- **Table de P1 :**
  - **A, B ↔ segment1**
  - **C,D,E ↔ segment 2**

- **Table de P2 :**
  - **A, B,C,D ↔ segment2**
  - **E ↔ segment 3**



L'interconnexion : Ponts (4)

- les ponts maintiennent l'heure d'arrivée (avec mise à jour continue) des trames dans les tables de correspondance; ceci permet d'invalider certaines entrées périmées et par conséquent permet de gérer l'arrêt ou le déplacement de stations dans le réseau.
- les ponts doivent laisser passer les messages de diffusion (broadcast, multicast),
- algorithme de fonctionnement
  - extraire l'@ destination de la trame
  - si aucune entrée relative à l'@ dans la table de correspondance, reémettre la trame sur tous les segments (sauf le segment émetteur) reliés au pont,
  - sinon acheminer la trame vers le segment identifié par l'entrée relative à @ dans la table de correspondance.

- ✓ il existe des ponts multi-protocoles : Exemple 802.3 + 802.4 + 802.5
- ✓ tendance à être remplacé par les routeurs ou pont-routeurs

L'interconnexion : Routeurs

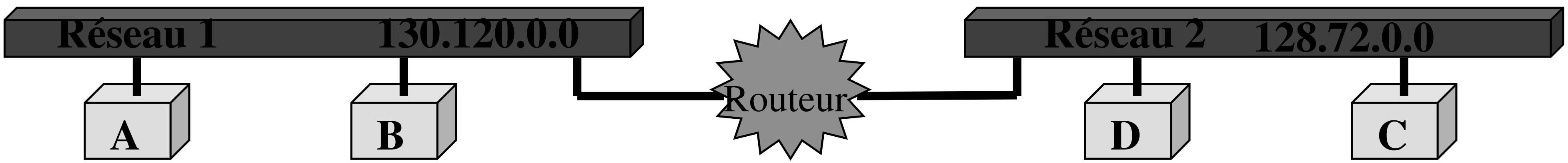
- équipement permettant de relier deux réseaux
- équipement complexe comprenant les couches de protocoles de niveau physique, liaison et réseau
- souvent équipement dédié (CISCO, TRT-EXPERTdata, ...)
- parfois ordinateur (SUN, PC, etc)

- supporte toute topologie (y compris boucles et liens redondants)
- comprend des tables de routage construites soit manuellement, soit dynamiquement par l'intermédiaire de protocoles spécialisés
- très bon filtre : ne laisse pas passer les collisions, les messages de diffusion
- exécute un routage du paquet dans le réseau global

L'interconnexion : Routeurs

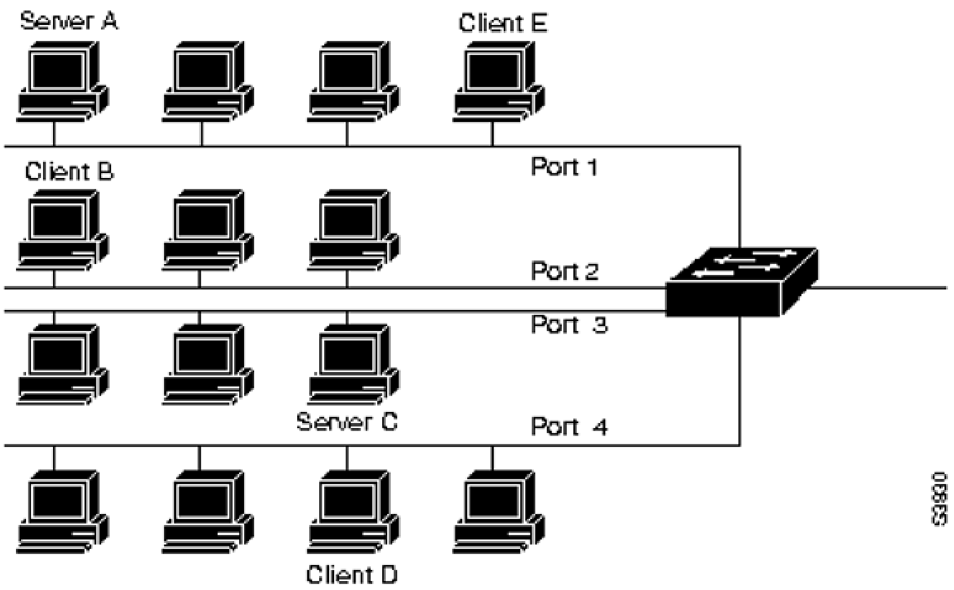
- **Exemple de fonctionnement avec IP :**

1. A émet un paquet vers C,
2. IP de A sait que C appartient au réseau 128.72 et consulte sa table de routage: réseau 2 est accessible via le routeur sur l'interface réseau 1 (exemple d'adresse du routeur : 130.120.0.1),
3. A émet alors une requête de résolution d'adresse pour obtenir l'adresse ethernet correspondant à l'adresse IP du routeur (130.120.0.1),
4. le routeur retourne son adresse ethernet à la station A,
5. à partir de cette étape, tous les paquets destinés à C seront émis avec l'adresse ethernet du routeur.
6. le routeur recevant les paquets de A sur l'interface réseau 1 examine l'adresse destination (l'adresse de la station C), associe le réseau 2 à C et enfin reémet le paquet destiné à C via l'interface du réseau 2.



L'interconnexion : Commutateurs

- ❑ Relie plusieurs segments physiques
- ❑ Équipement configuré de manière à gérer une ou plusieurs stations par port
- ❑ Commute les trames au niveau MAC
- ❑ Peut gérer simultanément plusieurs liaisons
- ❑ Commutateurs logiciels ou matériels



Echanges simultanés :

A (port 1) ↔ B (port 2)

C (port 3) ↔ D (port 4)

Echange non commuté :

A (port 1) ↔ E (port 1)

Conclusion

- **Ethernet est le réseau le plus répandu au monde**
- **Il se construit comme un mécano avec des pièces normalisées et disponibles auprès de nombreux fabriquants**
- **Certains problèmes sont connus, la plupart n'étaient pas considérés comme tels au départ :**
  - **sécurité,**
  - **confidentialité,**
  - **protection contre les utilisateurs,**
  - **pas de trame prioritaire.**
- **Un autre problème est la vitesse du réseau qui trouve ses limites avec les performances accrues des stations, la lutte pour la succession a commencé : fast ethernet, FDDI, ATM, …**

Évolutions

- Ethernet commuté
  - utilisation de commutateurs pour établir des routes uniques dans le réseau
  - limiter le trafic sur chaque brin

- 100 Base(T, F)
  - migration simple de 10baseT vers 100baseT
  - remplacement de l ’AUI par le MII (Medium Independent Interface)
  - câble à partir de la catégorie 3 pour T

- Ethernet Gigabit
  - fibre optique ou SUTP catégorie 5