

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 = transmettre + 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

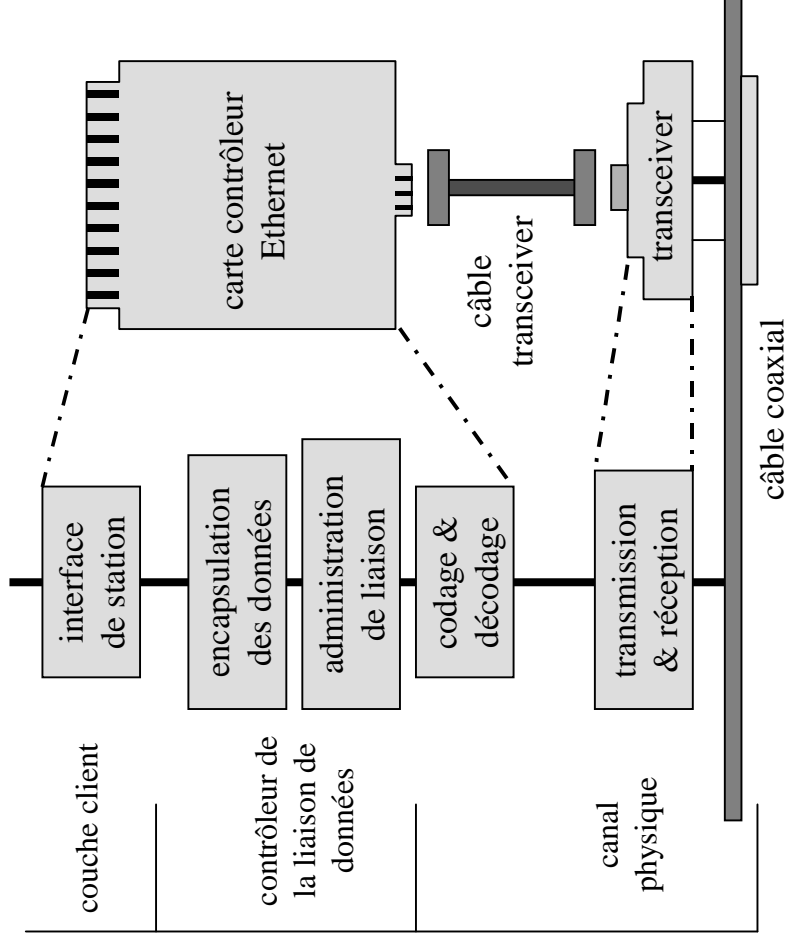
Ethernet est un réseau

- probabiliste
- sans chef d'orchestre
- égalitaire
- performances variables

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

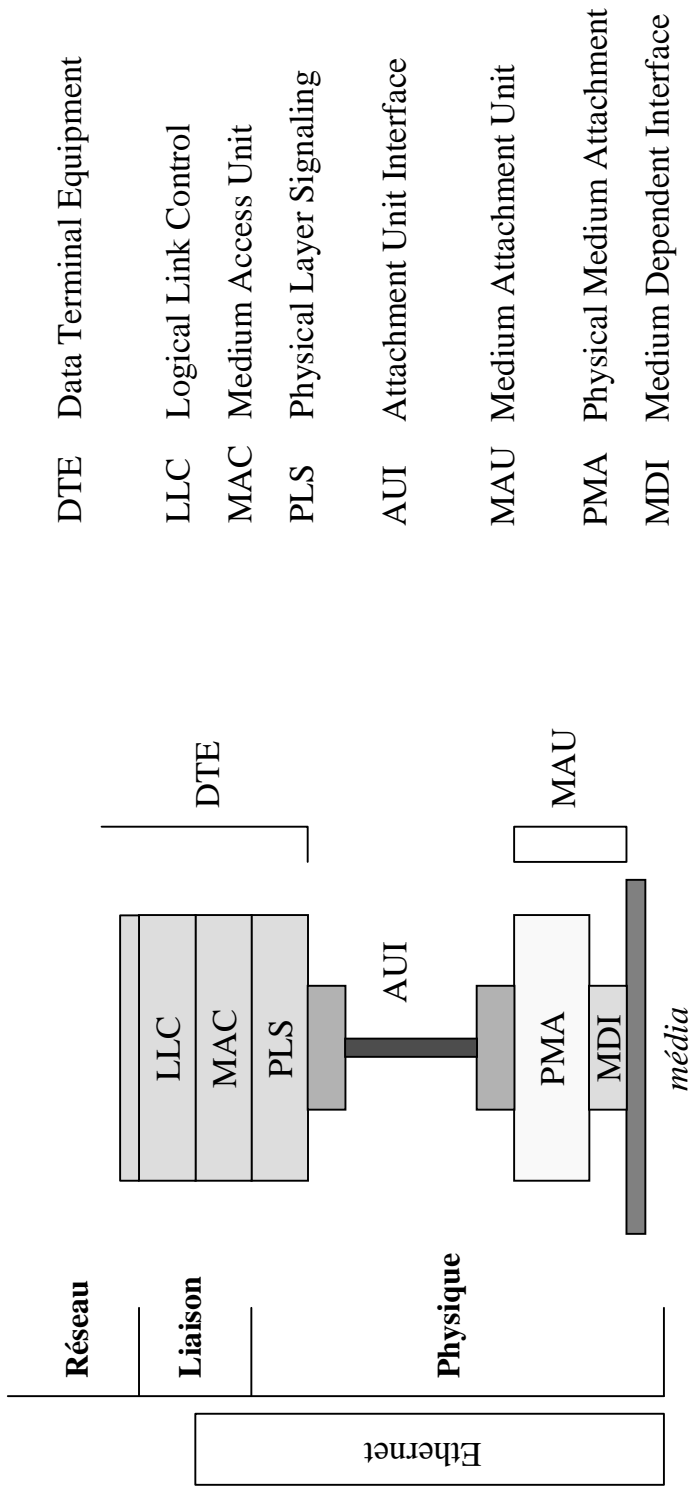
Modèle OSI et Ethernet (1)

□ Architecture et implémentation typique d'Ethernet



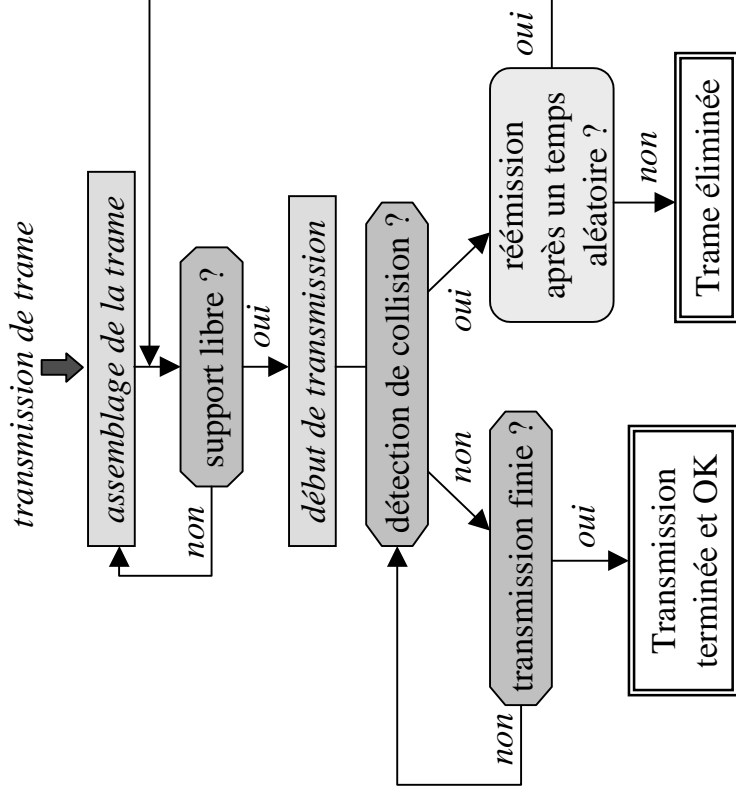
Modèle OSI et Ethernet (2)

- Décomposition d'Ethernet en sous-couches OSI



Erreurs (1)

□ Transmission d'une frame



Erreurs (2)

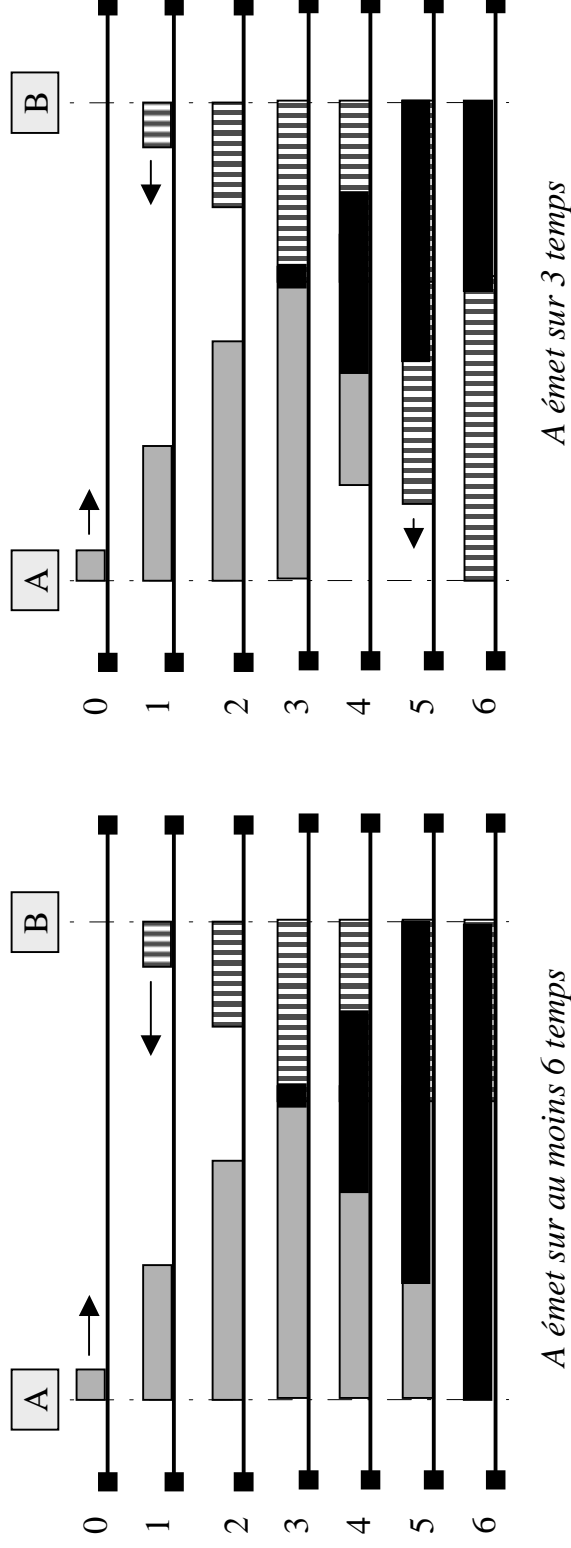
□ Collision

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



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

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

Erreurs (4)

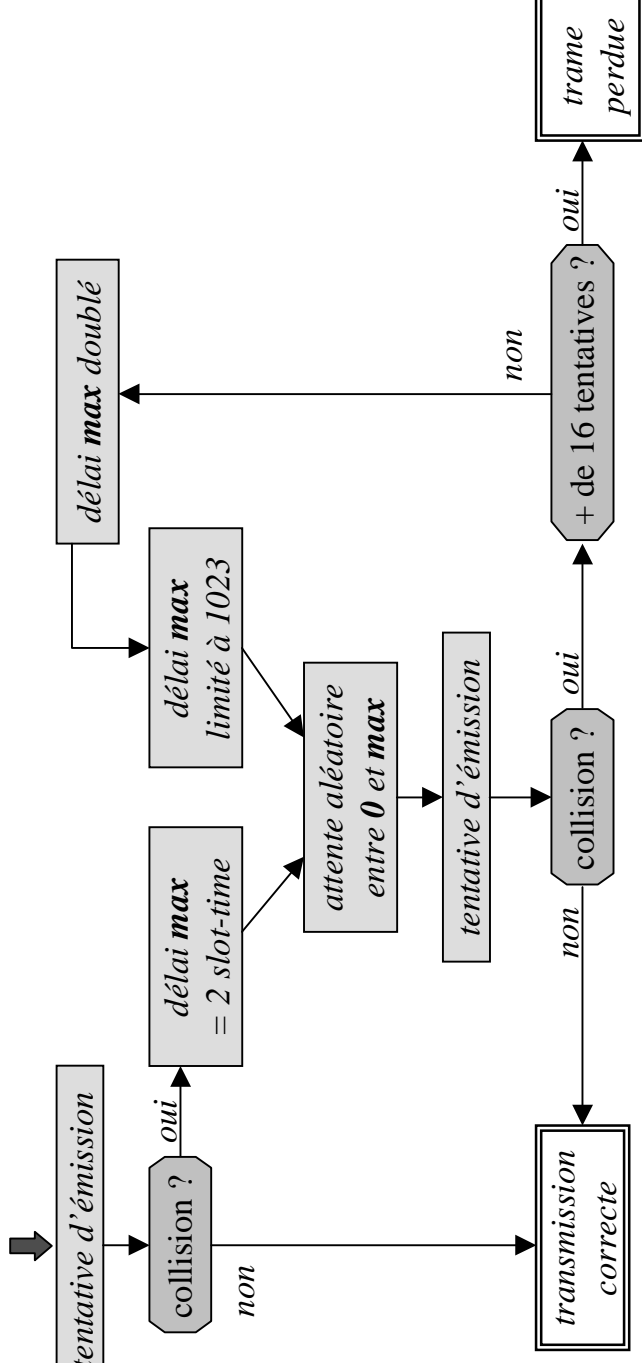
□ Ré-émission de la trame

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

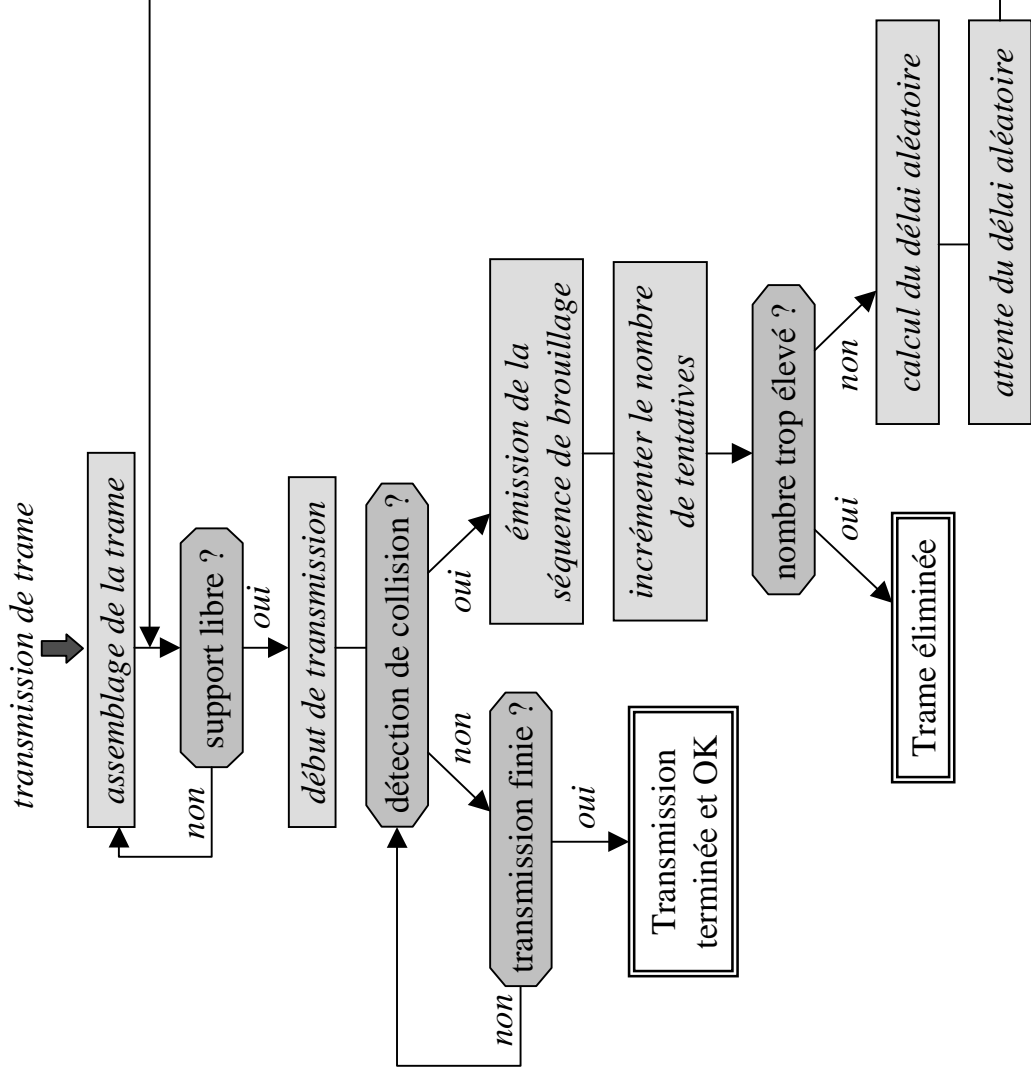
Jusqu'à 16 tentatives avant élimination de la trame

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



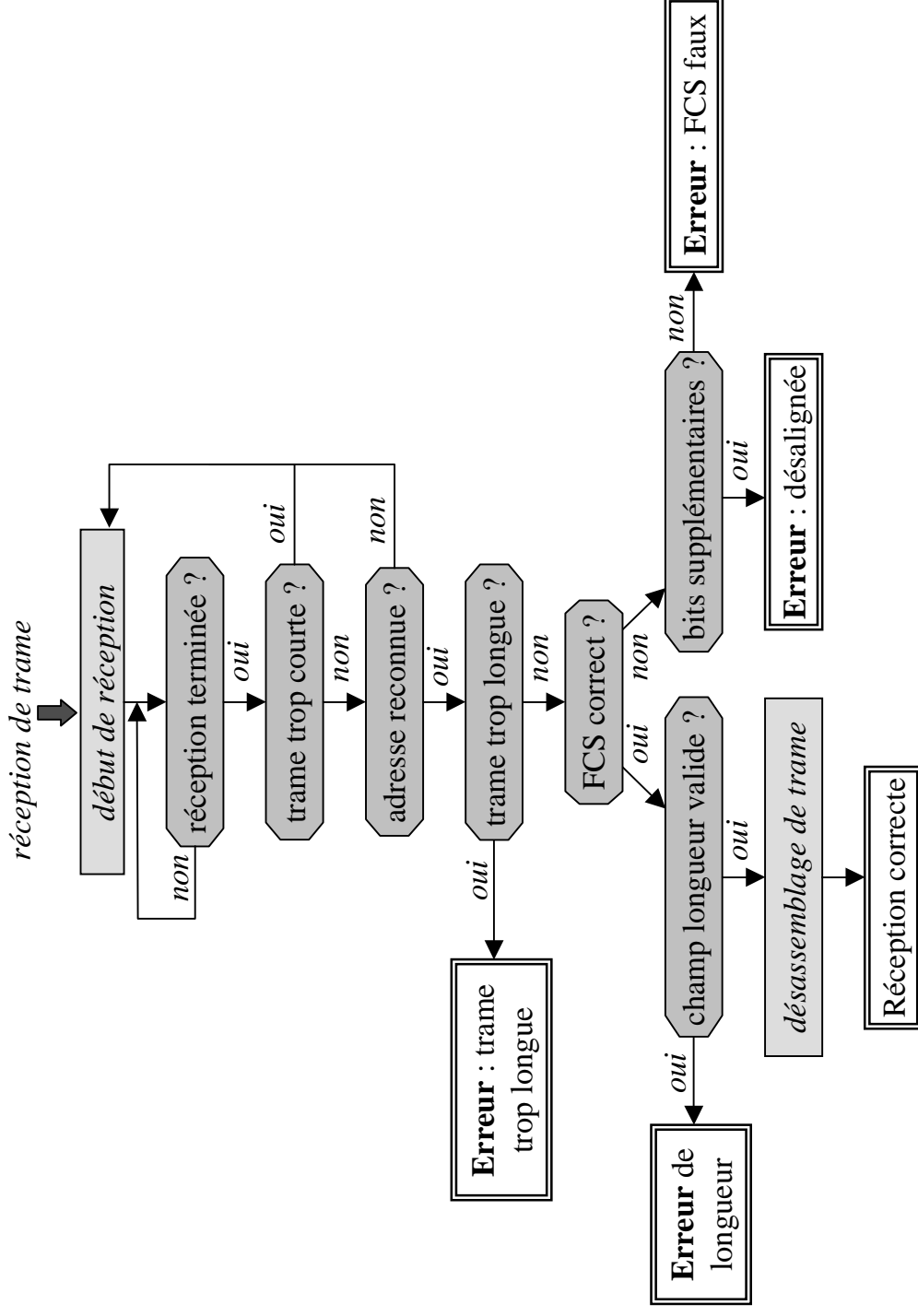
Erreurs (5)

- Transmission d'une trame :



Erreurs (6)

❑ Réception d'une frame

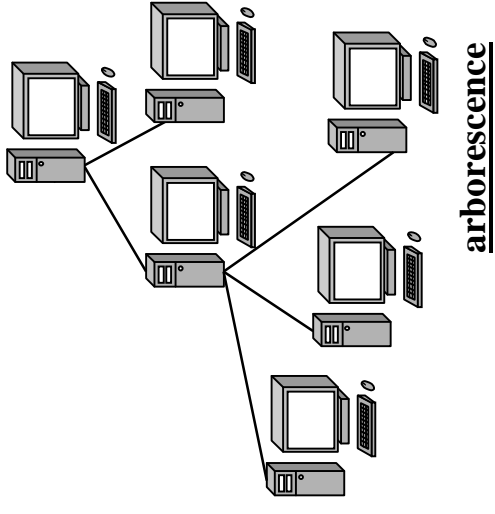
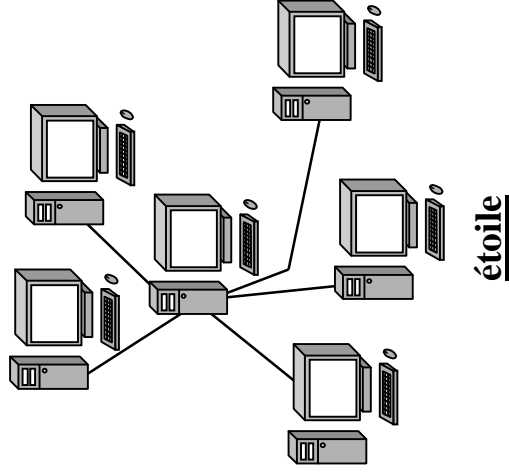
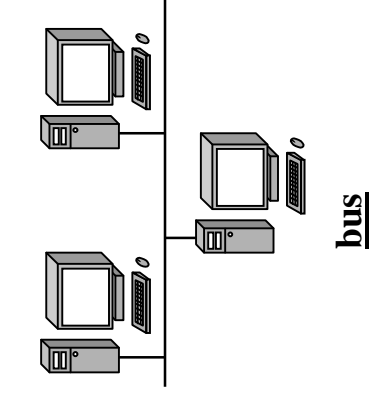


Erreurs (7)

- ❑ **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

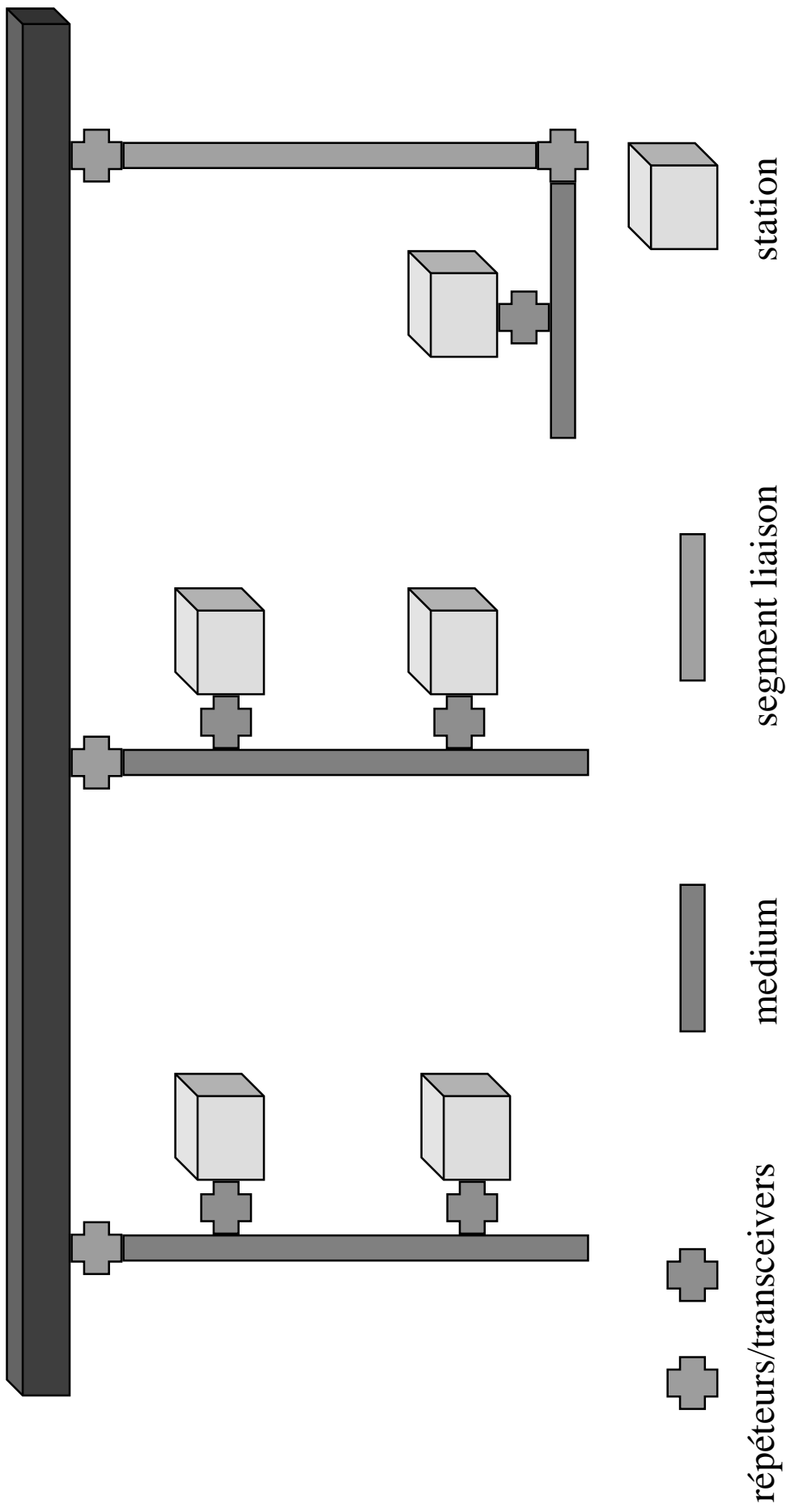
❑ Différentes topologies



❑ 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	1 octet	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	1 octet	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 / μ s

- ❑ 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 μ s minimum
 - 10 Mbit/s = 10 bits / μ s
 - Espace inter-trames 9.6 μ s, 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 (Start Frame Delimiter)**
 - 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 μ s au moins, la transmission s'effectue (suite de bits)
 - Sinon, elle attend que le support devienne libre, attend 9.6 μ s 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
 - Détection de 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 câblage : 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 câblage : 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 câblage

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 câblage

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 châssis : 8,16,24 ports.

L'interconnexion : matériels

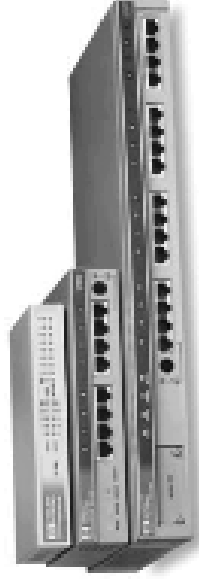
□ Exemples



Transceiver



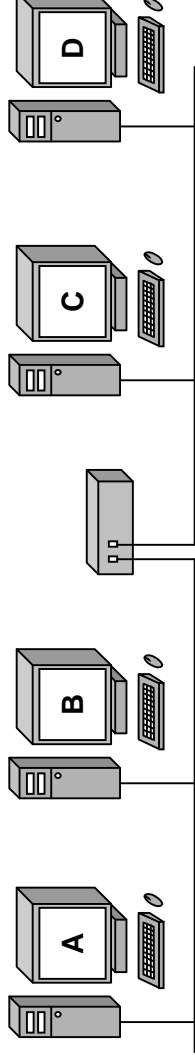
Hub multi Protocole (3com)



Mini hubs (Hewlett 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.

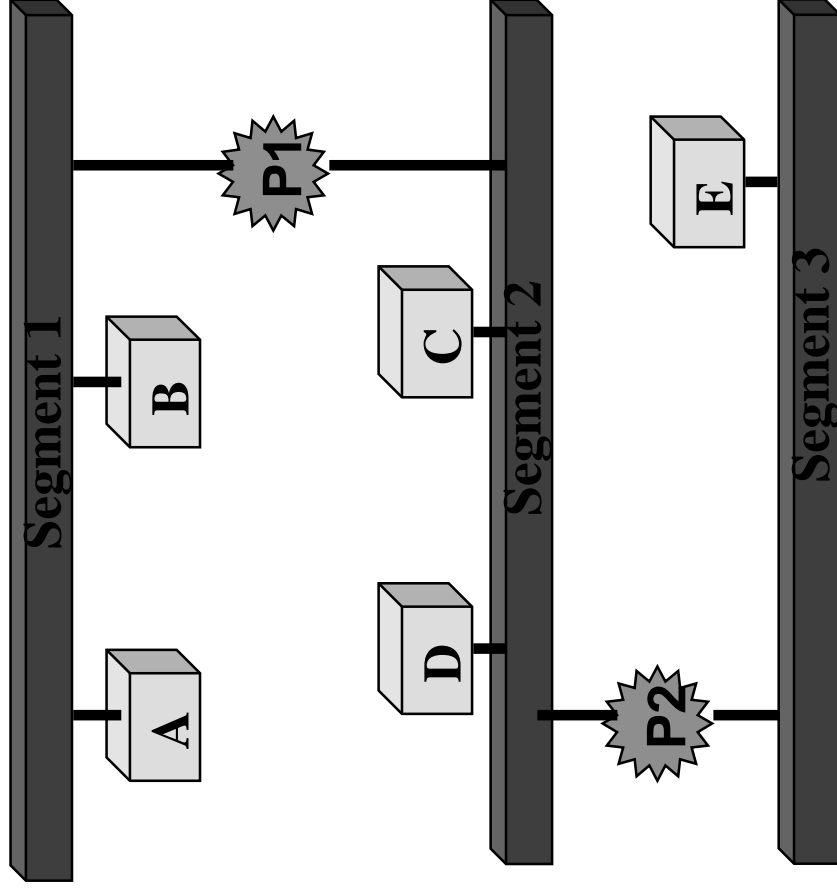


- ✓ les trames $A \leftrightarrow B$ ne sont pas transmises sur le segment 2,
- ✓ les trames $C \leftrightarrow D$ ne sont pas transmises sur le segment 1,
- ✓ la distance entre A et D est en théorie illimitée avec ponts et segments en cascade,
- ✓ les collisions sont filtrées.

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 ↔ segment 1
 - C, D, E ↔ segment 2

- ❑ Table de P2 :
 - A, B, C, D ↔ segment 2
 - 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, réémettre 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

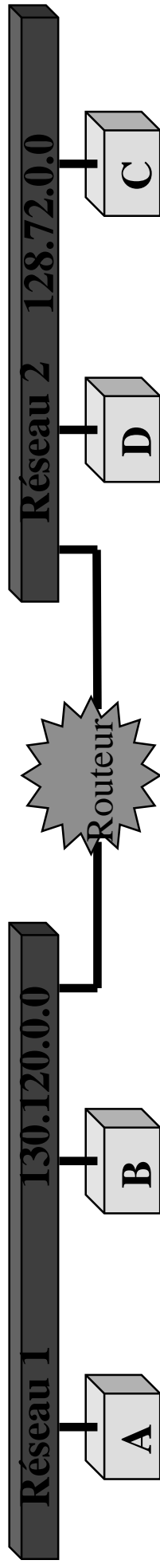
L'interconnexion : Routeurs

- 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

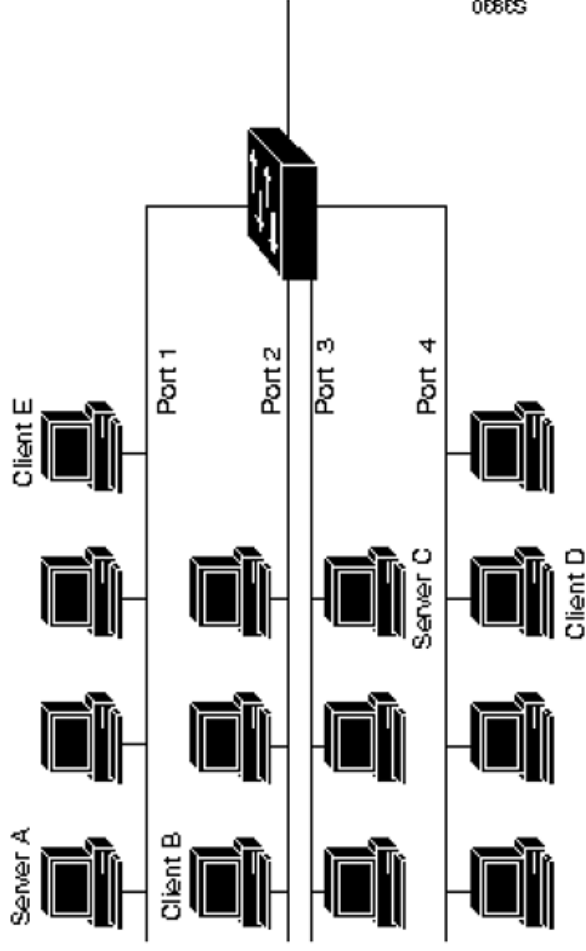
L'interconnexion : Routeurs

- ❑ **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 réémet 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 fabricants**
- ❑ **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