

Couche Liaison de Données (3)

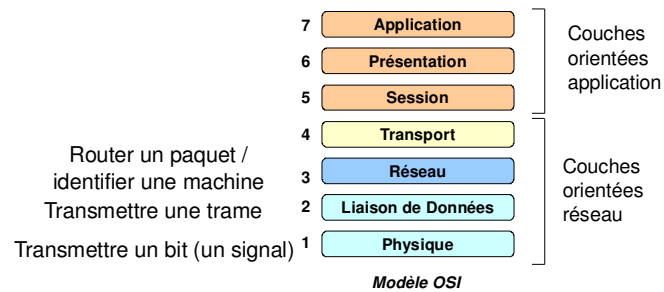
- Objectifs:
 - Situer les technologies et protocoles de WAN et LAN
 - Typiquement PPP, FrameRelay, Ethernet
 - Comprendre les mécanismes de gestion d'accès au canal
 - Allocations statiques, déterministes, aléatoire
 - Connaître le fonctionnement d'Ethernet classique et ses supports
- Plan
 - Liaisons louées, commutation de paquet, réseaux locaux
 - Les réseaux locaux: partage de canal
 - Ethernet
 - Format, protocole, supports

Bibliographie et sources

- Les cours de Stéphane Lohier <http://igm.univ-mlv.fr/~lohier>
- **CCNA ICND1 et CCENT**, 2^eed., Wendell Odom Pearson Education 2007.
- **Réseaux**, 4^{ème} éd. Andrew Tanenbaum, Pearson Education 2003.
- **Analyse structurée des réseaux**. Kurose & Ross, Pearson Education 2003.
- **Java et Internet** Roussel, Duris, Bedon et Forax. Vuibert 2002.
- **Les réseaux**. 3^{ème} éd. Guy Pujolle, Eyrolles 2000.
- **Interconnections**. 2nded. Radia Perlman. Addison Wesley 2000.
- **Réseaux haut débits**. T 1. 2^{ème} éd. D Kofman et M. Gagnaire, Dunod 1999.
- **Guide Pratique des Réseaux Ethernet**. Charles Spurgeon, Vuibert 1998.
- **Les réseaux locaux virtuels**. Gilbert Held, InterEditions 1998.
- **Gigabit Networking**. Craig Partridge. Addison Wesley 1994.

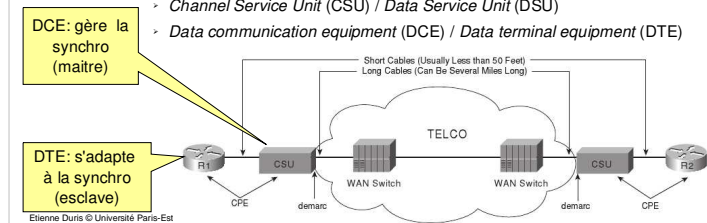
Le modèle en 7 couches de l'OSI

- *Open System Interconnection (OSI)*
International Standardisation Organisation (ISO)



Les liaisons louées (*Leased Lines*)

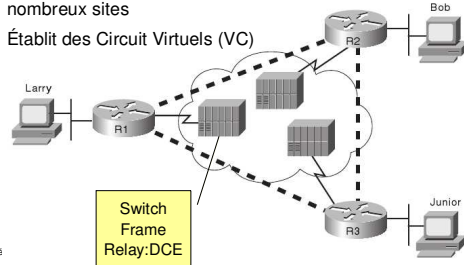
- Relier des routeurs pour interconnecter directement deux sites distants avec un lien « dédié »
 - Protocoles HDLC ou PPP sur les liaisons série point à point
 - L'interlocuteur est quasiment implicite
 - Le lien établi entre les 2 CSU est de type commutation de circuit
 - *Customer Premises Equipment (CPE)*
 - *Channel Service Unit (CSU) / Data Service Unit (DSU)*
 - *Data communication equipment (DCE) / Data terminal equipment (DTE)*



La commutation de paquets (ou cellules)

- Plutôt que d'établir une liaison louée pour chaque filiale, il est possible d'utiliser la commutation de paquet ou de cellule
- FrameRelay ou ATM (*Asynchronous Transfer Mode*)

- La notion d'adresse devient importante (et type de données)
- Une seule interface de routeur (DTE) permet de connecter de nombreux sites
- Établit des Circuit Virtuels (VC)



Réseaux locaux (couches 1 et 2)

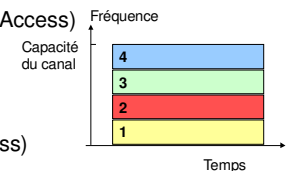
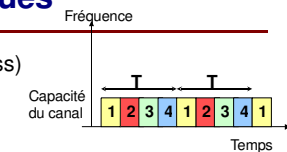
- Réseaux locaux **LAN** (Local Area Network)
 - Nombre de machines et couverture limitée
 - Débit très important (jusqu'à la dizaine de Gigabits/s)
 - Possibilité d'utiliser la diffusion => **support partagé**
 - Normes gérées par le groupe IEEE 802 (février 1980) (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*)
 - par exemple **802.3 Ethernet**, 802.4 Token Bus, 802.5 Token Ring
 - Différentes topologies (bus, étoile, anneau, arbre...)
 - Différents moyens de gérer la répartition du temps de parole
 - interrogation, jeton, accès aléatoire
 - Différents formats de trame

Méthode d'accès

- Méthode **statique**
 - Chaque station utilise pour toute une session une partie allouée des ressources (temps de transmission, bande de fréquence...)
 - Exemple: téléphone fixe, GSM
- Méthode **déterministe**
 - Une station (contrôleur) est chargée d'attribuer dynamiquement des ressources (contrôleur centralisé ou distribué)
 - Exemple: Bluetooth, Token Ring, GPRS
- Méthode **aléatoire**
 - Toutes les stations tentent d'accéder et risquent de provoquer des collisions
 - Exemple: Ethernet, WiFi

Méthodes d'accès statiques

- TDMA (Time Division Multiple Access)
 - Chacun a droit à un laps de temps
- FDMA (Frequency Division Multiple Access)
 - Chacun a droit à une bande de fréquence propre
- CDMA (Code Division Multiple Access)
 - Chaque signal est soumis à un code => étalement de spectre
 - Accès statiques mal adaptés à l'arrivée/départ de stations
 - Sous-optimisation si les stations n'ont pas un débit uniforme



Méthodes d'accès déterministes

- Allocation dynamique permettant de garantir un temps d'accès à chaque station
 - Une certaine équité (comme méthodes statiques) mais qui prend en compte le fait que certaines stations peuvent n'avoir rien à dire
- Contrôle centralisé par **interrogation** (*polling*)
 - Un superviseur scrute toutes les stations et les invite à transmettre chacune leur tour en fonction de leurs besoins
- Contrôle décentralisé par **passage de jeton** (*token passing*)
 - Un jeton (droit d'accès) circule de station en station
 - Une station qui souhaite émettre retient le jeton le temps d'émettre sa trame, puis le libère
- Nécessite un contrôle (doit être administré)

Méthodes d'accès aléatoires

- Pas d'administration centralisée; « *plug and play* ».
 - Chacun essaye d'émettre, avec le risque de provoquer des collisions (plusieurs trames se superposent)
- CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*)
 - L'écoute du canal (carrier sense) permet de n'émettre que si le canal est libre
- CSMA/CD (*Collision Detection*) – Ex: Ethernet
 - La détection d'une collision indique aux émetteurs qu'il faut attendre (un temps aléatoire) avant d'essayer de réémettre
- CSMA/CA (*Collision Avoidance*) – Ex: WiFi
 - Spécifique sans-fil: ne peut pas émettre/recevoir en même temps
 - « Prévient » avant d'émettre (*ReadyToSend / ClearToSend*)

L'accès au réseau

- Tous les LAN sont orientés et sans connexion
- Carte d'interface réseau (NIC)
 - Identification d'une machine sur le support
 - Adresse physique (MAC) pour tous les protocoles
- Permet d'émettre et de recevoir des trames
 - format dépendant du protocole
 - nous allons nous intéresser à Ethernet et/ou IEEE 802.3
- Intermédiaire pour l'adressage logique
 - de type IP par les mécanismes ARP ou DHCP

Le cas Ethernet

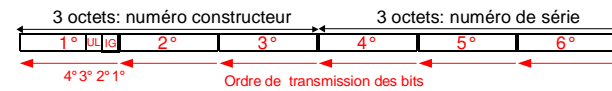
- Invention en 1973 à Xerox PARC
 - (Metcalfe & Boggs), 3 Mégabits/sec, câble coaxial
- Consortium DIX (DEC Intel Xerox) créé en 1979
- **Ethernet II** et **IEEE 802.3** convergent en 1982
 - 10 mégabits par seconde,
 - support coaxial, paire torsadée ou fibre optique
 - principe d'accès **CSMA/CD**
 - **Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection**
 - écoute et, si canal silencieux, tentative d'émission en écoutant. En cas de collision, les deux émetteurs réorganisent les transmissions ultérieurement.

Adresses MAC

- Identifie chaque carte d'interface sur un réseau local
- Nécessairement unique (pour un réseau donné)
 - Partie dépendante du constructeur juxtaposée à numéro de série
- Adressage standardisé IEEE 802
 - CSMA/CD, Token Bus, Token Ring, DQDB
 - Également pour FDDI et ATM
- Longueur 6 octets, représentés en hexadécimal
 - Classiquement sous l'une des formes
 - **00:0B:DB:16:E7:8A** ou **00-0B-DB-16-E7-8A**

Adresses MAC (Ethernet)

- Les 6 octets sont transmis dans l'ordre, mais chacun le bit de poids faible en premier (*LSB, Least Significant Bit first*)
 - Premier bit transmis: I/G : Individuel (0) / Groupe (1)
 - Second bit transmis: U/L : adresse administrée de manière Universelle (0) / Locale (1)
- Les 24 premiers bits constituent l'OUI (*Organizationally Unique Identifier*). Ex: **00:00:0C** (Cisco) **00:C0:4F** (DELL)
- Les 24 bits restant sont des numéros de série



Exemples d'adresse MAC

- Si on dispose de l'OUI **AC-DE-48**, il est possible de construire une carte ayant l'adresse suivante:
 - **AC-DE-48-00-00-80**, soit **1010 1100-1101 1110-...**
 - Ce qui correspond, lors d'une transmission LSB, à la suite:

➢ premier octet | second octet | ...

lsb msb

0011 0101 0111 1011 0001 0010 0000 0000 0000 0000 0000 0001
 C A E D 8 4 0 0 0 0 0 8

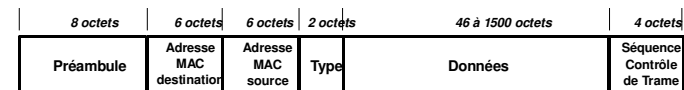
➢ Ou bien l'adresse de groupe **AD-DE-48-00-00-80**

1011 0101 0111 1011 0001 0010 0000 0000 0000 0000 0000 0001
 D A E D 8 4 0 0 0 0 0 8

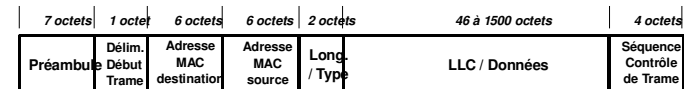
Bit I/G

Le format d'une trame Ethernet

- Version Ethernet II (consortium DIX)



- Version IEEE 802.3

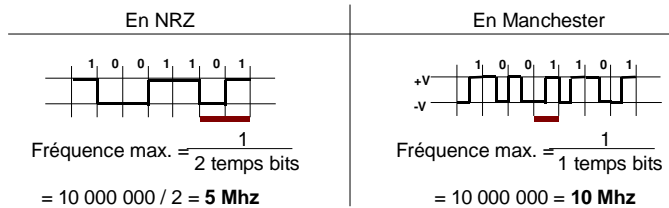


Préambule

- Sert à synchroniser l'horloge du récepteur avec le signal entrant: 01010101 ... (x 7 octets) ... 01010111
 - Fréquence de 5 Mhz passant à la fin à 10 Mhz
 - Fréquence codage **Manchester** double de fréquence NRZ.

Débit = 10.000.000 bits / seconde
=> 1 temps bit = 1/10.000.000 seconde

$$\text{Fréquence} = \frac{1}{\text{Période}}$$



Champ Type ou Longueur

- Champ Type d'Ethernet II (16 bits = 2 octets)
 - Indique le protocole de plus haut niveau transporté
 - 0x0800 trame IP, 0x0805 X.25, 0x0806 ARP...
- Champ Longueur/Type de IEEE 802.3 (16 bits)
 - Indique le nombre d'octets dans le champ de données
 - Éventuellement moins de 46 octets (caractères de bourrage)
 - Si ≤ 1518 , c'est la taille des données en octets
 - Si ≥ 1536 (0x600), c'est utilisé comme le type des données
- Ethernet II est compatible avec 802.3

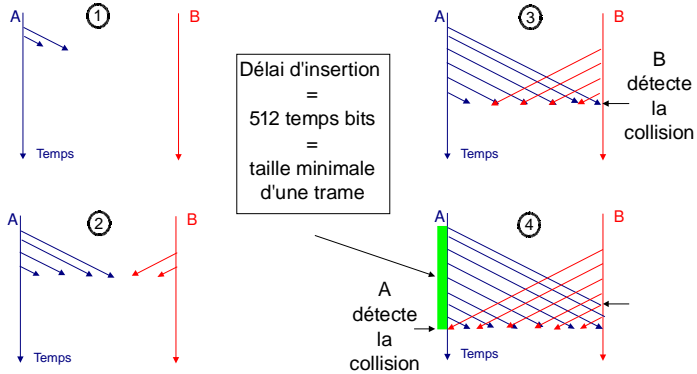
Zone de données

- Ethernet (DIX)
 - 46 octets <= données dans une trame <= 1500 octets
 - Cela incombe au logiciel de réseau, quitte à ajouter du bourrage
- IEEE 802.3
 - 0 octets <= données dans une trame <= 1500 octets
 - Nombre spécifié dans le champ longueur + bourrage éventuel
 - Si longueur utilisée, on peut décrire un type LLC
 - Il est fourni par le protocole de la couche LLC (802.2)
 - Permet de faire du démultiplexage (DSAP/SSAP)
- Toute trame émise doit faire **au moins 64 octets** (CSMA/CD)

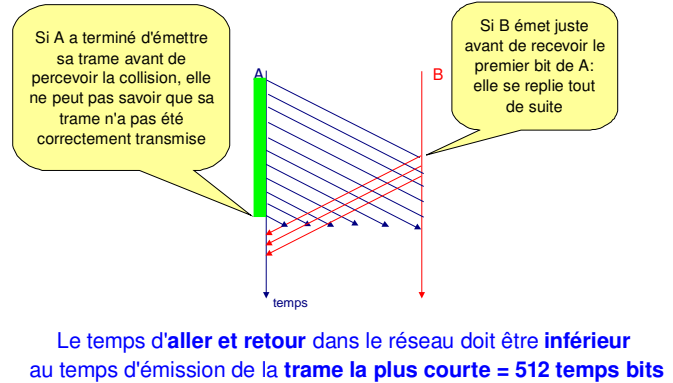
CSMA/CD et taille minimum de trame

- Le support est écouté en permanence
 - Après 96 temps bits de silence (IFG, *Inter Frame Gap*), début d'émission
 - Si collision détectée (tension moyenne double), émission d'une séquence de brouillage (*jam*), puis algorithme de repli
- Le repli est d'une durée pseudo aléatoire multiple de 512 temps bits
- Cette valeur est appelée le **délai d'insertion** ou encore **slot time** (temps d'acquisition du canal)
 - En effet, une fois ce temps écoulé, toutes les machines sur le réseau savent qu'une émission a lieu et l'émetteur ne peut normalement plus être interrompu.

Délai d'insertion ou slot time



Le pire des cas (A et B aux extrémités du réseau)



Algorithme de repli (TBE Backoff)

- > (Truncated Binary Exponential Backoff)
- > Multiple du délai d'insertion ($r * 512$ temps bits)
 - > r est un nombre aléatoire vérifiant $0 \leq r < 2^k$ où $k = \min(n, 10)$ et n est le nombre de tentatives de retransmissions
- > Calcul individuel pour chaque émetteur
 - > Minimise les probabilités de collisions successives
- > 16 tentatives de retransmission maximum
 - > Au delà, abandon de la transmission et remontée d'erreur

Champ de contrôle

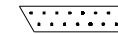
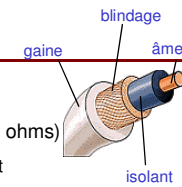
- > FCS (Frame Contrôle Sequence)
 - > 4 octets (32 bits) pour le Cyclic Redundancy Code
 - > CRC calculé sur les champs dest, src, type/lgr et données
 - > Calculé/inséré à l'émission et calculé/vérifié à la réception
 - > Détection de fin de trame
 - > Après toutes ces valeurs, silence sur la trame
 - > Possibilité de bits de « bavure » (bits additionnels post FCS)
 - > Le récepteur tronque à l'octet complet le plus proche
 - > Si jamais une erreur est détectée
 - > La trame est jetée, c'est tout!
 - > Pas de demande de retransmission à ce niveau
- Ethernet = Best Effort**

Les supports en 10 Mégabits par sec.

- **10Base5** ou thick Ethernet (épais) câble coaxial
 - 10 pour le débit (Mb/s), Base pour signal en bande de base et 5 pour la taille max. du segment (x100m)
- **10Base2** ou thin Ethernet (fin) câble coaxial
 - longueur max: 185 m
- **10Base-T** : paire torsadée non blindée (UTP)
 - 100m maximum, catégories : 3, 5 les plus fréquentes
- **10Base-F** ou fibre optique
 - 2 km entre répéteurs, immunité électro-magnétique
 - Supporte facilement l'augmentation de débit

10Base5

- « Thick Ethernet » (Ethernet épais)
 - Coaxial (1cm de Ø , jaune, peu flexible, 50 ohms)
 - Jusqu'à 500 mètres de câble pour 1 segment
 - Max 100 machines, tous les 2,5 mètres (bandes noires)
 - Connectique N-type entre câbles
 - MAU (transceiver) = prise vampire
 - AUI = câble entre transceiver et machine
 - Prise 15 broches (DB15)
 - Longueur maximale du câble = 50 mètres
 - Carte Ethernet avec connecteur 15 broches



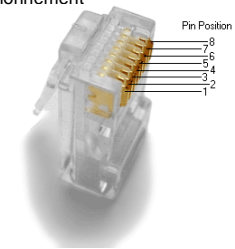
10Base2

- « Thin Ethernet » (Ethernet fin) ou « Cheapernet »
 - Coaxial (0,5cm de Ø , noir/gris, + flexible, 50 ohms)
 - Jusqu'à 185 mètres de câble pour un segment
 - Maximum de 30 machines
 - Espacées de 50 cm
 - Transceiver peut être intégré à la carte Ethernet
 - Dans ce cas, pas besoin de câble de transceiver (AUI)
 - Connectique T-BNC et barillet
 - Pour raccorder une machine directement au câble coaxial



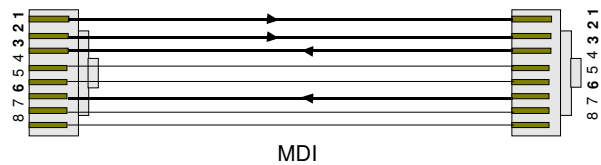
10BaseT

- Ethernet « à paire torsadée »
 - Paire torsadée non blindée (Unshield Twisted Pair)
 - Catégorie 3 minimum (*voice grade*)
 - 4 paires polarisées (1 fil ⊕, 1 fil ⊖);
 - 100 mètres par segment;
 - Peut supporter le mode optionnel de fonctionnement full duplex (802.3x);
 - Impédance 100 ohms;
 - Topologie en étoile (répéteur)
 - Transceiver le + souvent intégré à la carte Ethernet
 - Connectique type RJ45 (8 broches)



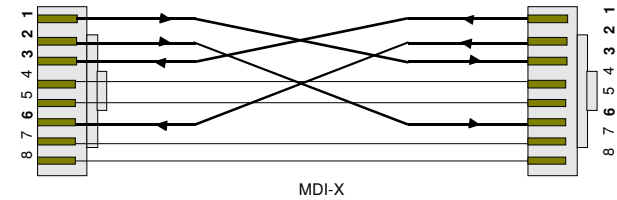
Câble « droit » de liaison

- La liaison d'une station à une autre par un lien équipé de la même prise aux deux extrémités pose un **problème** (symétrie).
 - 2 fils sont dédiés à l'émission
 - 2 fils sont dédiés à la réception



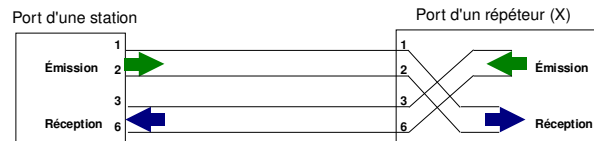
Câble « croisé » de liaison

- Pour relier deux machines entre elles, il faut donc inverser les connexions des fils aux broches de la prise entre les deux extrémités (MDI-X)
 - La broche d'émission doit être reliée à une broche de réception (et vice versa)



Câblage des ports d'équipements

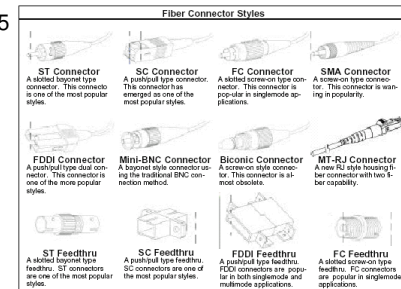
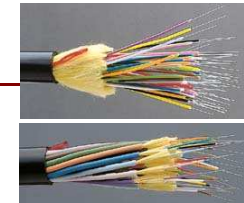
- Pour éviter d'avoir à sertir des câbles croisés, les répéteurs, hubs, etc. fournissent des ports dont les fils sont croisés en interne (marqués d'un « X »)
 - Câble croisé entre deux machines ou deux hubs (MDI-X)
 - Câblage « droit » entre une machine et un hub (MDI), car les fils sont croisés à l'intérieur des ports des répéteurs



- Certains ports disposent d'un bouton ou détectent automatiquement
 - MDI/MDI-X auto-detect**

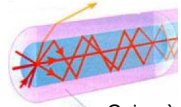
10BaseF – Fibre Optique

- Normes/usages variés
 - FOIRL, 10Base-[FL FB FP]
 - Manchester (LED ou laser) allumée (1) ou éteinte (0)
- Multimode (MMF): 62,5/125
 - Noyau de 62,5µ , revêtement externe de 125µ
- Monomode (SMF)
 - Noyau compris entre 2 et 10 µ
 - Distance maximale bien supérieure (+ cher)

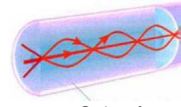


Transmission optique

Fibres multimode: diamètre de coeur de 50 à 80 microns

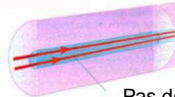


Gaine à faible indice
(ou saut d'indice)
Débit limité à 50 Mb/s



Gaine à gradient d'indice
(débit limité à 1Gb/s)

Fibres monomode: diamètre de coeur de 10 microns

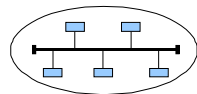


Pas de réflexion ni de dispersion nodale

Domaine de collision (1)

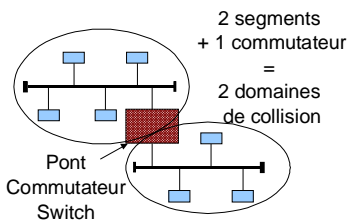
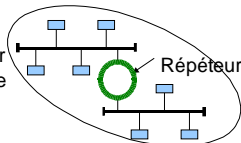
- Au delà de la taille maximum d'un segment
 - le signal est détérioré
 - nécessité de le restaurer
 - la limite du délai d'insertion n'est pas forcément atteinte
- En restant dans les limites de CSMA/CD il est possible d'agrandir le réseau avec des **répéteurs**
 - équipement de la **couche physique** (1)
 - même protocole, même vitesse, média différents
 - (pour vitesses ou protocoles différents, il faut un pont, un commutateur ou un routeur)

Domaine de collision (2)



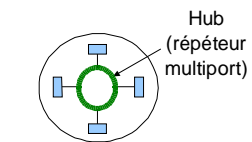
1 segment = 1 domaine

2 segments
+ 1 répéteur
= 1 domaine



Pont
Commutateur
Switch

2 segments
+ 1 commutateur
=
2 domaines
de collision



1 étoile = 1 domaine

Hub
(répéteur
multiport)

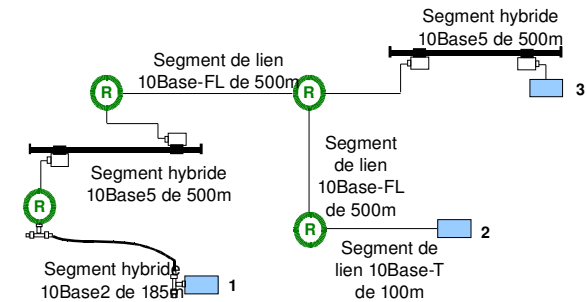
Fonctions des répéteurs (couche 1)

- Équipement de niveau physique (1)
- Restauration du signal
 - Amplitude, Synchronisation, Symétrie
- Restauration du préambule
- Détection des collisions et extension de fragment
- Partitionnement d'un port défectueux (isolement)
- Limitations
 - **Pas de boucle** (pas plus d'un lien actif entre 2 répéteurs)
 - Nombre de répéteurs limité à 4 dans un même domaine de collision (rétrécissement de l'espace inter trame)

Règles de configuration (10Mb/s)

- > Il existe deux modèles (1 et 2) de configuration des domaines de collision
 - > l'un, « sur étagère », décrit les cas typiques qui assurent un bon fonctionnement
 - > l'autre, « ad hoc », requiert des calculs précis et permet de statuer sur une topologie spécifique
- > Ces deux modèles vérifient, dans les pires cas entre deux machines, le respect:
 - > de la longueur de chaque segment
 - > du **rétrécissement de l'espace inter trame**, ≤ 49 temps bits
 - > du **délai d'insertion** (d'aller-retour), ≤ 575 temps bits

Ex. de configuration (conforme aux modèles 1 et 2)



La prochaine fois

- > L'Ethernet « commuté »
 - > C'est à dire en abandonnant les répéteurs au profit des commutateurs
 - > Relaxe les contraintes de CSMA/CD
 - > Permet d'étendre les LAN en conservant le haut débit
 - > Spanning Tree Algorithm
 - > Comment autoriser des liens redondants sans avoir de boucles
- > Évolutions d'Ethernet
 - > Full Duplex
 - > Débits jusqu'à 10 gigabits/secondes
 - > VLANs