

Interconnexion de LAN

1

Plan

- Interconnexion LAN
 - Commutation

2

Interconnexion

- Définition: Fonction pour réaliser l'interfonctionnement de réseaux hétérogènes
 - Hétérogénéité des réseaux :
 - Matériels
 - Capacité
 - Taille de paquets
 - Protocoles
 - Services
- Méthode : Identifier le niveau d'hétérogénéité afin de déterminer les fonctions requises pour établir l'interconnexion (Modèle OSI)
- Selon le niveau d'hétérogénéité considéré : Mise en œuvre d'un dispositif d'interfonctionnement
- Techniques employées:
 - Amplification
 - Fragmentation/Réassemblage
 - Encapsulation
 - Conversion de protocole/service
- Équipements employés:
 - Répéteurs (Repeter)
 - pont (Bridge)
 - Routeurs (Router)
 - Passerelles (Gateway)
 - Concentrateurs (Hub)
 - Commutateurs (Switch)

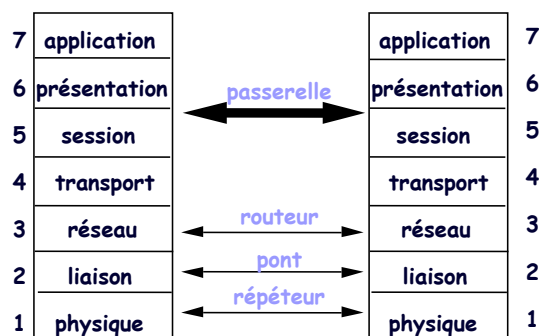
3

Interconnexion de LAN

- Problématique

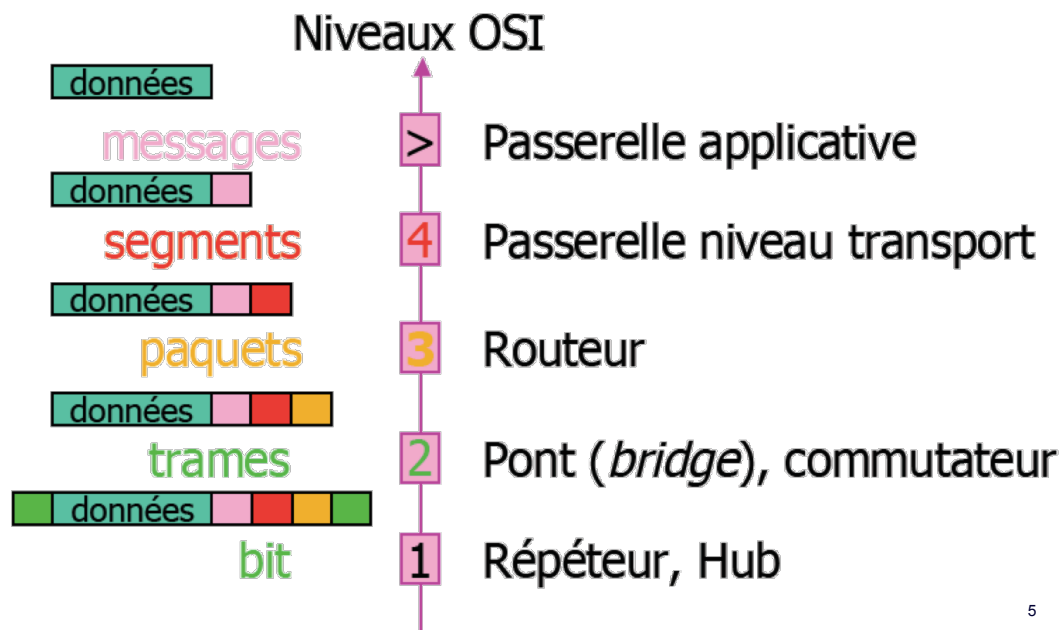


- les solutions



4

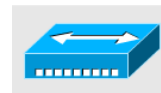
Interconnexion de LAN



5

Les Stations d'interconnexion

- Le répéteur/ Hub/ Concentrateur



- Les ponts
 - Commutateur



- Les routeurs

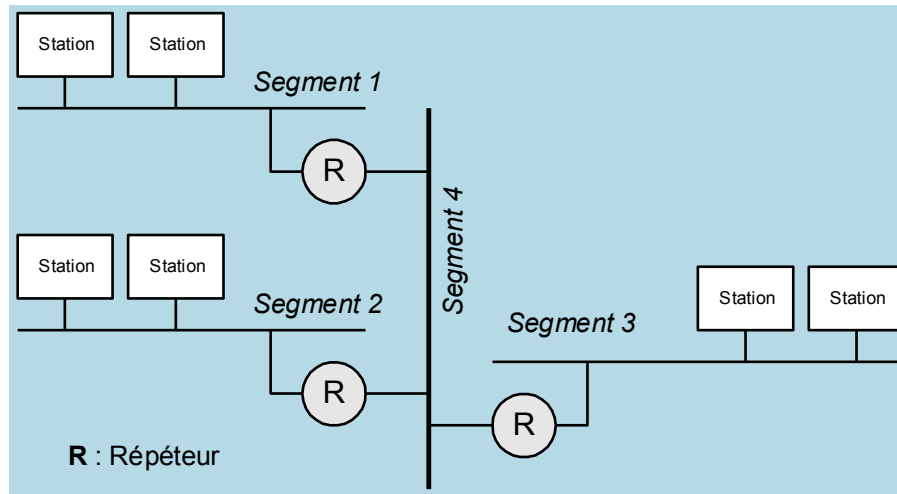


- Les passerelles



6

Le répéteur



7

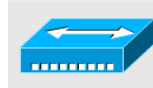
Niveau physique: Répéteur



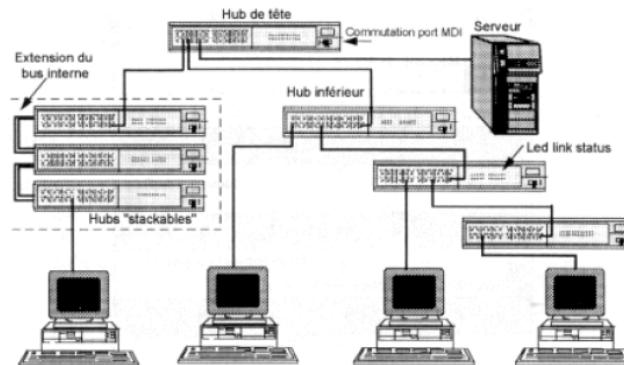
- Traite le problème de l'atténuation
 - Régénère le signal et filtre le bruit
 - Pour augmenter la portée géographique du support
- Fonctionne au niveau Physique (bit),
 - ne connaît pas la trame,
 - ne procède à aucun filtrage (ne diminue pas la charge du réseau),
 - détecte les collisions et les propage (jam),
 - remet en forme les signaux électriques ou optiques,
 - Débit identique
- Changement de type de support
- Ne peuvent être utilisés que sur les mêmes types de segments (Ethernet-Ethernet ou Token Ring-Token Ring)
 - Car il opère au niveau physique : il n'y a pas d'intelligence

8

Niveau physique : Concentrateurs / Hubs



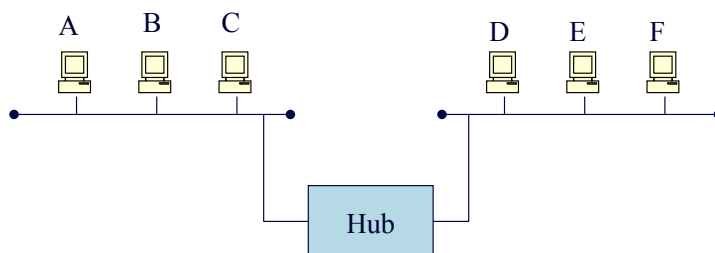
- Un Hub émule un bus
- Diffusion des messages sur tous les ports
- détection des collisions (le signal de collision est retransmis à l'ensemble des stations)
- Liaison Hub/Station ou Hub/Hub en paires torsadées (1 pour l'émission, 1 pour la réception)



9

Niveau physique: Le répéteur (Hub)

- interconnexion au niveau de la couche physique
- permet l'interconnexion de 2 segments → augmenter la distance
- ne possède pas d'@MAC
- régénère le signal pour compenser un affaiblissement ou changer de média (câble coaxial à paire torsadée)
 - Répéter le signal reçu d'un port d'entrée vers tous les ports de sortie
- n'effectue aucun filtrage : transparent au protocole
- aucune administration



Une trame envoyée par A à B est reçue par toutes les stations B, C, D, E, F 10

Niveau trame: Pont ou commutateur de trames



- Limitations du répéteur
 - Diminution du débit par nœud
 - Limitations physiques
 - Distance maximum imposée par Ethernet (long segment = 500 m et longueur max = 2.5km)
 - Nombre limité de hubs en cascade (exemple : 4 au max pour la norme 10 BASE 5)
 - Un même domaine de collision
- Interconnexion par filtrage de trames
 - Performance
 - Diminution de la charge par segment physique
 - Augmentation de la bande passante disponible par transmissions parallèles
 - Sécurité
 - Isolation des trafics
 - Flexibilité des débits : Un pont délivre sur tous les **ports** un **débit** à la vitesse du médium
 - Augmentation de la portée géographique
 - Utilisation de liens point à point
 - Indépendance des segments car isolation des trafics
 - Capable de convertir des trames de formats différents (ex : Ethernet Token Ring).(hétérogène)

11

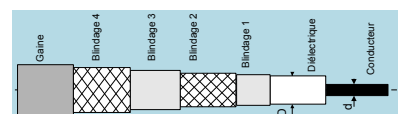
Spécification des supports physiques IEEE 802.3

Norme 10 BASE 5

« Câble jaune » câble coaxial épais
RG11
Topologie en bus
Débit
Impédance
Diamètre
Longueur maxi. segment
Distance mini. entre 2 stations
Nombre maxi. de stations/segment
Nombre maxi. de répéteurs
Longueur maxi. d'un chemin

Valeurs

→ 10 Mbit/s
→ 50 Ω
→ 10 mm
→ 500 m
→ 2.5 m
→ 100
→ 4
→ 2.5 km



- codage en bande de **base** (Manchester)
- raccordement des stations au câble coaxial par :
 - câble de liaison (50 m max.)
 - transceiver (émetteur-récepteur)

12

Spécification des supports physiques IEEE 802.3

Norme 10 BASE 2

Topologie en étoile

« Câble noir » câble coaxial fin RG 58
débit

Impédance

Diamètre

Longueur maxi. segment

Distance mini. entre 2 stations

Nombre maxi. de stations/segment

Nombre maxi. de répéteurs

Longueur maxi. d'un chemin

Valeurs

→ 10 Mbit/s

→ 50 Ω

→ 5 mm

→ 200 m

→ 0.5 m

→ 30

→ 4

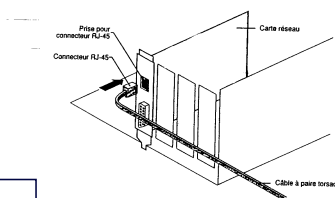
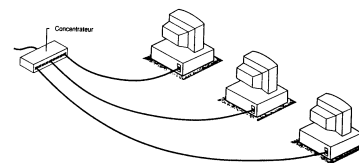
→ 1 km



13

Ethernet 10BaseT

- débit : 10 Mbit/s
- topologie physique en étoile
- topologie logique en bus grâce aux hubs
- paires Torsadées
 - une paire en émission
 - une paire en réception
- connecteur RJ45
- En tenant le connecteur face à soi avec le clip de fixation vers le haut, les broches sont numérotées de 1 à 8 de la gauche vers la droite



Norme 10 BASE T

« Paires torsadées » Topologie en étoile

Nombre de stations

Distance maxi. Hub/station

Valeurs

→ Hub

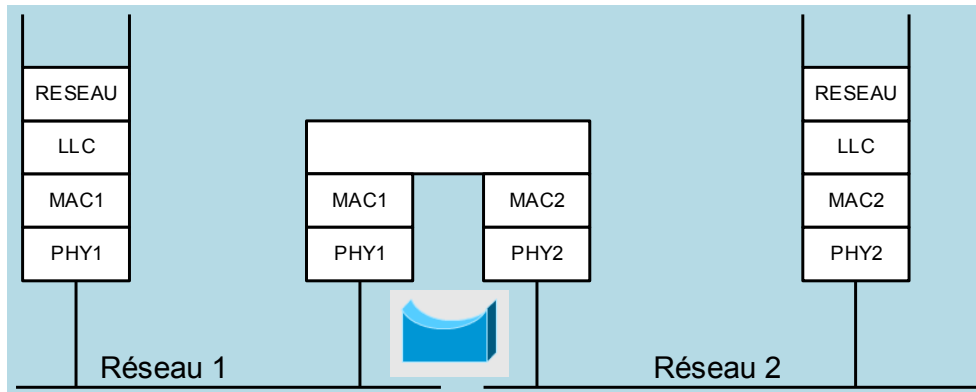
→ Nombre de ports sur un hub

→ 100 m



14

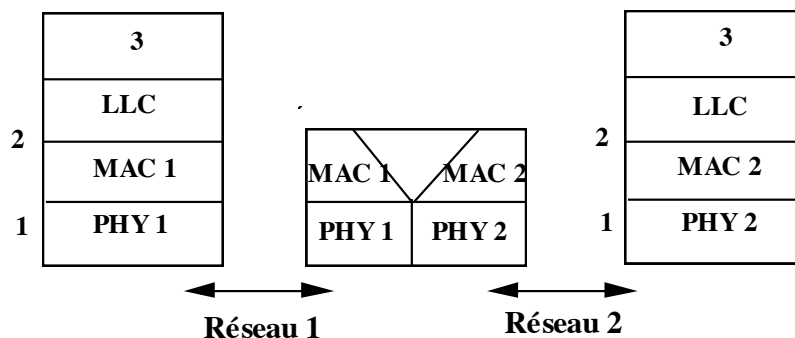
Niveau trame:Le pont



15

Niveau trame : Le pont (*bridge*)

- interconnexion au niveau MAC
- permet de
 - structurer un réseau d'entreprise en le segmentant physiquement
 - rallonger un réseau local
 - relier deux réseaux de technologies différentes
- possède une @MAC (transparente pour les stations)



16

Niveau trame:Le pont (*bridge*)

□ difficultés

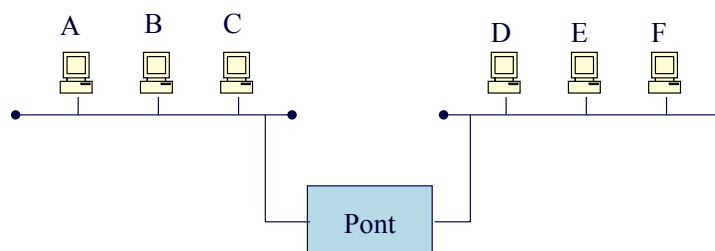
- les LAN peuvent utiliser un format de trame différent → reformatage
- le pont peut constituer un goulet d'étranglement lorsque
 - les LAN ont des débits différents et que le pont relaie une communication d'un LAN rapide vers un LAN plus lent
 - plusieurs communications ont le même port de sortie

17

Niveau trame:Le pont (*bridge*)

□ fonctions supplémentaires

- filtrer le trafic non destiné à un segment
- ne pas laisser passer les trames destinées à une station sur le même segment
- apprentissage des infos de filtrage
- administration à distance (agent SNMP)

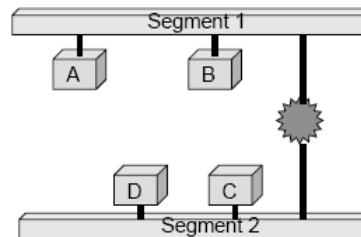


Une trame envoyée par A à B n'est reçue que par les stations de même segment (B et C)

18

Niveau trame: Principe du pontage

- Pont (ou commutateur) est un relais
 - retransmet les trames en fonction de l'adresse MAC de destination
- Séparation en domaines de collision:
 - Permet de segmenter le réseau en sous-réseaux indépendants
 - Transmission de trames en parallèle (sur des ports différents).
 - dispositif actif filtrant (collision) : permet de diminuer la charge du réseau.
 - Pas de limitation du nombre en cascade

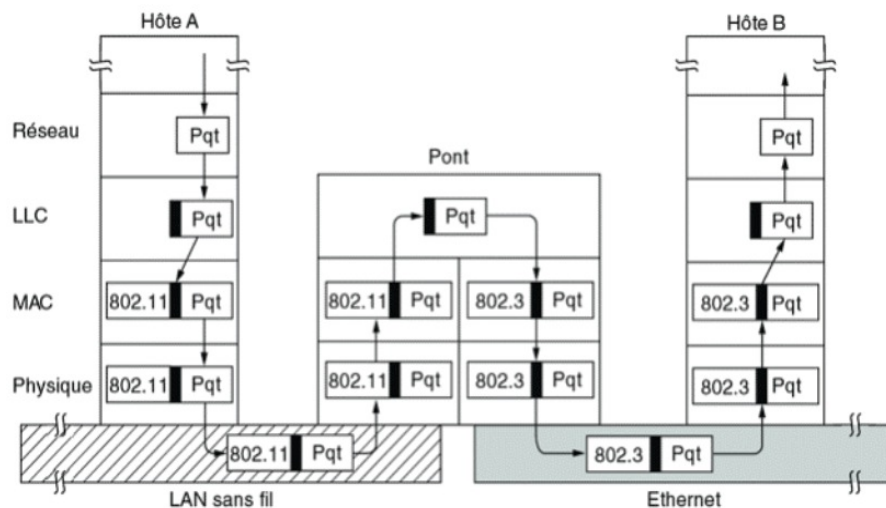


- les trames A<-->B ne sont pas transmises sur le segment 2
- les trames C<-->D ne sont pas transmises sur le segment 1,
- la distance entre A et D est en théorie illimitée avec ponts et segments en cascade ,
- les collisions sont filtrées.

19

Niveau trame: Principe du pontage

- Un pont possède autant de lignes (ou interfaces) que de LAN interconnectés; chaque ligne contient la sous-couche MAC appropriée



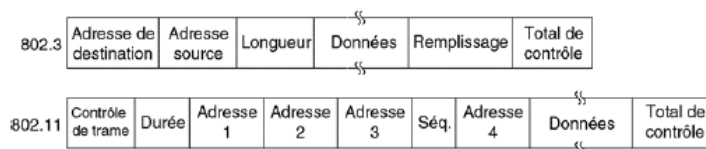
20

Fonctionnement des Ponts

- Une table de localisation basée sur l'adresse MAC permet de connaître le LAN de sortie (FDB - Forwarding Data Base)
- Un timer est associé à chaque entrée de la table (les stations peu bavardes sont éliminées)
- Quand un pont reçoit une trame
 - LAN destination = LAN source -> rejet de la trame
 - LAN destination \neq LAN source -> acheminement
 - LAN destination inconnue, diffusion de la trame sur toutes les lignes sauf celle d'entrée

Reformatage des trames

- Le format de l'en-tête des trames diffère d'un LAN à l'autre
- Le pont doit reformater les trames
 - -> consomme du temps CPU
 - -> il faut recalculer le CRC

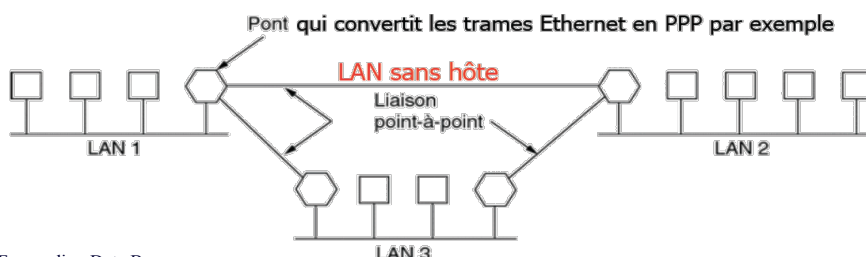


21

Adresse DA/SA/RA/TA : Adresse destination (finale) / source (initiale) / station réceptrice (niveau sans fil) / station émettrice (niveau sans fil)

Différents types de ponts

- **Ponts simples**
 - table d'acheminement (FDB) statique (configurée par l'administrateur)
- **Ponts transparents**
 - FDB construite dynamiquement et maintenue à jour par analyse des trames entrantes
 - déplacements de stations transparents
- **Ponts à routage par la source**
 - la route à suivre est indiquée par la trame elle-même
 - une trame de découverte est envoyée vers le destinataire avant l'envoi des données
 - champ RI dans Token Ring (Routing Information)
- **Ponts distants:**
 - Interconnexion de LAN distants de plusieurs centaines de kilomètres par des liaisons point à point (liaisons louées par exemple)



FDB - Forwarding Data Base

22



Le pont simple

- ❑ Conversion du format des trames
- ❑ Filtrage d'adresse
- ❑ Gestion des bits de contrôle des trames

23



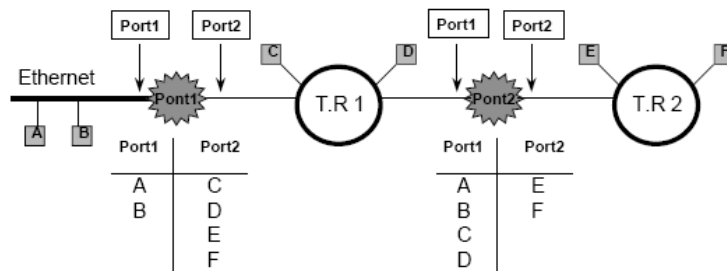
Le pont routeur

- ❑ Construction des tables de routage
- ❑ Contrôle de flux
- ❑ Filtrage du trafic local

24

Ponts Transparents

- Conçus à l'origine pour interconnecter des réseaux Ethernet,
 - fonctionnent en « auto-apprentissage »: « plug & play »
 - découvrent automatiquement la topologie du réseau Ethernet
 - le pont construit au fur et à mesure une table de correspondance entre adresses sources et segments sur lesquels les trames correspondantes sont acheminées.
 - Les trames à destination d'une adresse non inscrite sont répétées sur tous les ports, sauf le port de réception
- Aujourd'hui également utilisés pour interconnecter les réseaux Ethernet et Token Ring :
 - Convertissent les trames d'un format à l'autre,
 - les stations du réseau Token Ring doivent être configurées de manière à limiter la longueur de leurs trames à 1500 octets (longueur maximum d'une trame Ethernet); nécessaire car il n'existe pas de possibilité de segmentation au niveau de la couche LLC.

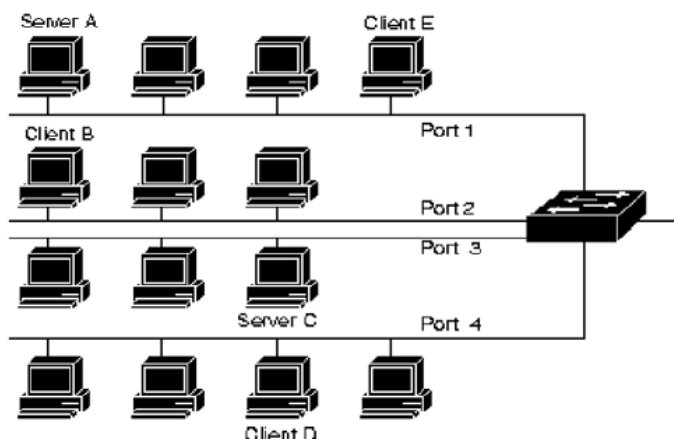


25

Ponts/commutateurs



- Pas vraiment de différence !
- Dans les deux cas, sur Ethernet, une ligne = un domaine de collisions
- On parle plutôt de commutateur (switch) quand on interconnecte des machines individuelles et de pont pour l'interconnexion de LAN
- Un commutateur possède en général plus de lignes qu'un pont
- Equipements configurés de manière à gérer une ou plusieurs stations par port,
- Commute les trames au niveau MAC



Echanges simultanés :

- A (port 1) <--> B (port 2)
- C (port 3) <--> D (port 4)

Echange non commuté :

- A (port 1) <--> E (port 1)

26

Commutateur (Switch)

- ❑ Équipement réseau au niveau trame
- ❑ Réduire à une station par segment → Ethernet commuté
- ❑ Ne plus avoir de collision
- ❑ 2 méthodes de commutation

store and forward

réception intégrale de la trame

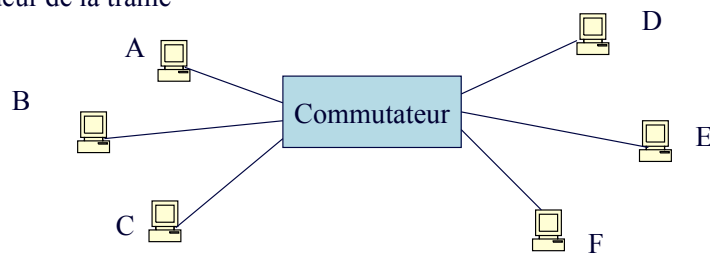
puis stockage, choix du routage,
et retransmission vers un port de sortie

- ☺ 100 vers 10 Mbit/s possible
- ☺ filtrage d'erreurs
- ☹ temps de latence fonction de la longueur de la trame

fast forward ou on the fly

retransmission de la trame en
sortie dès le décodage des bits
de l'adresse destinataire

- ☹ 100 vers 10 Mbit/s impossible
- ☹ pas de filtrage d'erreurs
- ☺ latence faible



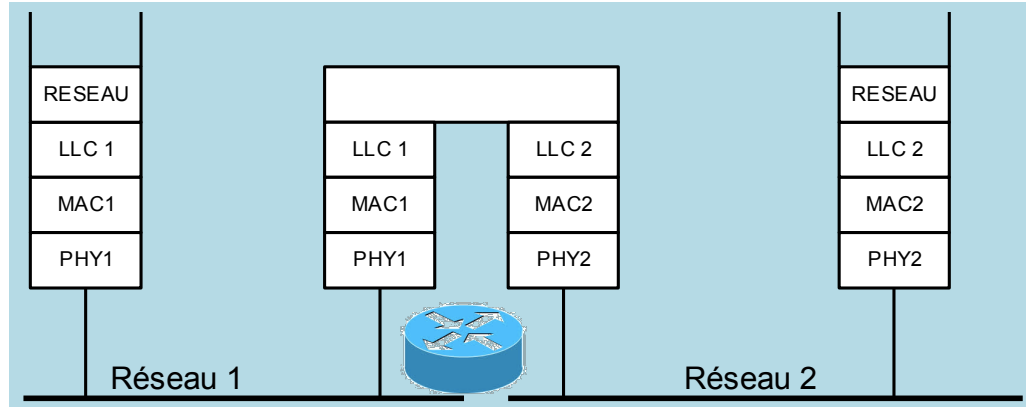
27

Ethernet commuté

- ❑ un LAN 10BaseT dans lequel on aurait remplacé le *hub* par un commutateur (*switch*) Ethernet
 - comparable à un pont multi-port
- ❑ protocole modifié
 - pas de détection de collisions
- ❑ paires torsadées utilisées en *full-duplex*
 - la station peut simultanément émettre et recevoir
- ❑ débits variables selon le port
 - 1, 10, 100, 1000 Mbit/s

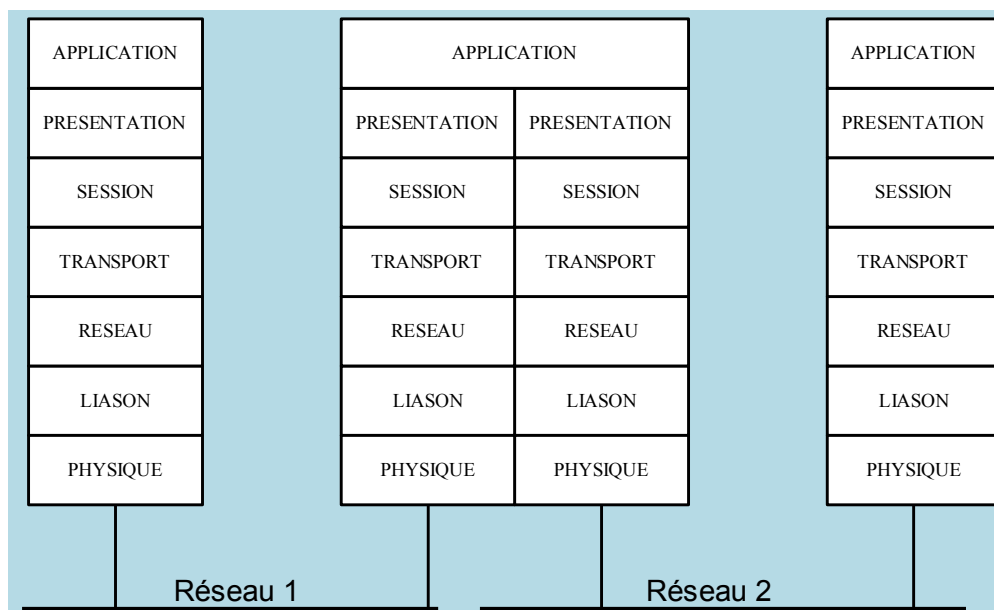
28

Le routeur



29

La passerelle



30

En résumé

<p>Le hub (concentrateur)</p> <p>C'est le matériel réseau le plus basique. Utilisé pour un réseau local avec un nombre très limité de machines.</p> <p>C'est une multiprise RJ45' qui amplifie le signal réseau => une requête destinée à un ordinateur X du réseau sera envoyée à la totalité des ordinateurs du réseau. Cela réduit considérablement la bande passante et pose des problèmes d'écoute du réseau.</p> <p>Les hubs travaillent sur la première couche du modèle OSI</p> <p>Le Répéteur</p> <p>Ce dispositif ne fait qu'amplifier le signal pour les réseaux qui s'étendent sur de longues distances.</p>	<p>Le Switch</p> <p>Le switch (ou commutateur) travaille lui sur les deux premières couches du modèle OSI.</p> <p>Il distribue les données à chaque machine destinataire, alors que le hub envoie toutes les données à toutes machines qui répondent. Conçu pour travailler sur des réseaux, avec un nombre de machines légèrement plus élevé que le hub, il élimine les collisions de paquets éventuelles (<i>une collision apparaît lorsqu'une machine tente de communiquer avec une seconde alors qu'une autre est déjà en communication avec celle-ci..., la première réessaiera quelques temps plus tard</i>).</p>
<p>Le Routeur</p> <p>Il autorise l'utilisation de plusieurs classes d'IP au sein d'un même réseau et implémente un protocole de routage capable de :</p> <ul style="list-style-type: none">• déterminer la route ayant le plus faible coût,• permettre plusieurs routes vers le réseau,• échanger les informations de routage précises en évitant les erreurs,• minimiser le trafic généré par le protocole et donc maximiser la bande passante utile• éviter les pointes de charge dans le réseau, être évolutif pour supporter la croissance du réseau, avoir un temps de convergence rapide après la détection d'un changement de routage• mécanisme de sécurité afin d'éviter des modifications de configuration frauduleuses	<p>Selon l'importance et le type de réseau, on utilise le plus souvent un des trois concentrateurs les plus généraux : Les Hubs, Switchs et Routeurs</p>

31

- Introduction
- Selon l'importance et le type de réseau, on utilise le plus souvent un des trois concentrateurs les plus généraux : Les Hubs, Switchs et Routeurs.
- 1. Le Hub
- Le **hub** (concentrateur) est le matériel réseau le plus basique. Il est utilisé pour un réseau local avec un nombre très limité de machines. Il n'est ni plus ni moins qu'une 'multiprise RJ45' qui amplifie le signal réseau (base 10/100).
- Dans ce cas, une requête destinée à un ordinateur X du réseau sera envoyée à la totalité des ordinateurs du réseau. Cela réduit considérablement la bande passante et pose des problèmes d'écoute du réseau.
- Les hubs travaillent sur la première couche du modèle OSI :
- <http://sebsauvage.net/comprendre/tcpip/osi.html>
- 2. Le Switch
- Le **switch** (ou commutateur) travaille lui sur les deux premières couches du modèle OSI, c'est-à-dire qu'il distribue les données à chaque machine destinataire, alors que le hub envoie toutes les données à toutes machines qui répondent. Conçu pour travailler sur des réseaux, avec un nombre de machines légèrement plus élevé que le hub, il élimine les collisions de paquets éventuelles (*une collision apparaît lorsqu'une machine tente de communiquer avec une seconde alors qu'une autre est déjà en communication avec celle-ci..., la première réessaiera quelques temps plus tard*).
- 3. Le Routeur
- Le **Routeur** autorise l'utilisation de plusieurs classes d'adresses IP au sein d'un même réseau. Il permet ainsi la création de sous-réseaux.
- Il est utilisé dans les plus grandes installations, où il est nécessaire (notamment pour des raisons de sécurité et de simplicité) de constituer plusieurs sous-réseaux. Lorsque le réseau Internet arrive par câble RJ45 (*d'un réseau en amont, par exemple*), il est nécessaire d'utiliser un routeur pour connecter un sous-réseau (réseau local, LAN) à Internet, car ces deux connexions utilisent des classes différentes (il est néanmoins possible mais très déconseillé d'utiliser une classe A ou B pour un réseau local, ceux-ci correspondent aux classes Internet).
- Le routeur est l'équivalent d'un ordinateur gérant plusieurs connexions réseau (*les anciens routeurs étaient d'ailleurs des ordinateurs*)
- Les routeurs sont compatibles NAT, ce qui permet de les utiliser pour des réseaux plus ou moins étendus, disposant de grandes quantités de machines et de créer 'correctement' des sous-réseaux. Ils ont également la fonction de pare-feu (firewall) afin de protéger l'installation.
- 4. Le Répéteur
- Ce dispositif ne fait qu'amplifier le signal pour les réseaux qui s'étendent sur de longues distances.

32

- Introduction
- Selon l'importance et le type de réseau, on utilise le plus souvent un des trois concentrateurs les plus généraux : Les Hubs, Switchs et Routeurs.
- 1. Le Hub
- Le **hub** (concentrateur) est le matériel réseau le plus basique. Il est utilisé pour un réseau local avec un nombre très limité de machines. Il n'est ni plus ni moins qu'une 'multiprise RJ45' qui amplifie le signal réseau (base 10/100).
- Dans ce cas, une requête destinée à un ordinateur X du réseau sera envoyée à la totalité des ordinateurs du réseau. Cela réduit considérablement la bande passante et pose des problèmes d'écoute du réseau.
- Les hubs travaillent sur la première couche du modèle OSI :
<http://sebsauvage.net/comprendre/tcpip/osi.html>
- 2. Le Switch
- Le **switch** (ou commutateur) travaille lui sur les deux premières couches du modèle OSI, c'est-à-dire qu'il distribue les données à chaque machine destinataire, alors que le hub envoie toutes les données à toutes machines qui répondent. Conçu pour travailler sur des réseaux, avec un nombre de machines légèrement plus élevé que le hub, il élimine les collisions de paquets éventuelles (*une collision apparaît lorsqu'une machine tente de communiquer avec une seconde alors qu'une autre est déjà en communication avec celle-ci..., la première réessaiera quelques temps plus tard*).
- 3. Le Routeur
- Le **Routeur** autorise l'utilisation de plusieurs classes d'adresses IP au sein d'un même réseau. Il permet ainsi la création de sous-réseaux.
- Il est utilisé dans les plus grandes installations, où il est nécessaire (notamment pour des raisons de sécurité et de simplicité) de constituer plusieurs sous-réseaux. Lorsque le réseau Internet arrive par câble RJ45 (*d'un réseau en amont, par exemple*), il est nécessaire d'utiliser un routeur pour connecter un sous-réseau (réseau local, LAN) à Internet, car ces deux connexions utilisent des classes différentes (il est néanmoins possible mais très déconseillé d'utiliser une classe A ou B pour un réseau local, ceux-ci correspondent aux classes Internet).
- Le routeur est l'équivalent d'un ordinateur gérant plusieurs connexions réseau (*les anciens routeurs étaient d'ailleurs des ordinateurs*)
- Les routeurs sont compatibles NAT, ce qui permet de les utiliser pour des réseaux plus ou moins étendus, disposant de grandes quantités de machines et de créer 'correctement' des sous-réseaux. Ils ont également la fonction de pare-feu (firewall) afin de protéger l'installation.
- 4. Le Répéteur
- Ce dispositif ne fait qu'amplifier le signal pour les réseaux qui s'étendent sur de longues distances.

33

La commutation dans les LAN

Principe de la commutation

Problème de congestion

Techniques et modes de commutation

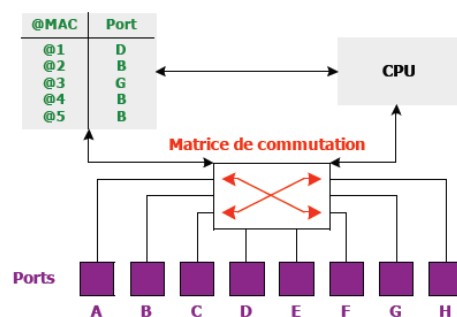
34

Commutation dans les LAN

- Issue de la téléphonie (RTC) et des réseaux grande distance (WAN)
- Apparition dans Ethernet (Switched Ethernet)
 - garantit une certaine bande passante
 - évite les problèmes d'effondrement dans le cas des réseaux CSMA/CD chargés
 - permet des communications full-duplex
- Aujourd'hui, les commutateurs sont largement utilisés dans les réseaux Ethernet
- **Principe de la commutation**
- Commutation = mise en relation directe d'un port d'entrée avec un port de sortie
 - établissement d'une liaison point à point dynamiquement (réseaux locaux) en fonction d'une table d'acheminement (FDB : Forwarding Data Base)
 - plus de problème d'accès multiples au support (évite les collisions)

35

Principe de la commutation (2)



- Table construite par analyse du trafic entrant (@MAC source)
- Les trames à destination d'une @ non présente dans la table sont répétées sur tous les ports sauf le port d'entrée
- Plusieurs trames peuvent être traitées simultanément
- Mémoire limitée dans le commutateur
 - les entrées les plus anciennes sont effacées
 - un timer est associé à chaque entrée de la table
 - il est réinitialisé lors de la réception d'une trame de cette provenance

36



Techniques de commutation

- ❑ Rappel de la mise en relation
- ❑ Types de commutation
- ❑ Techniques de commutation

37



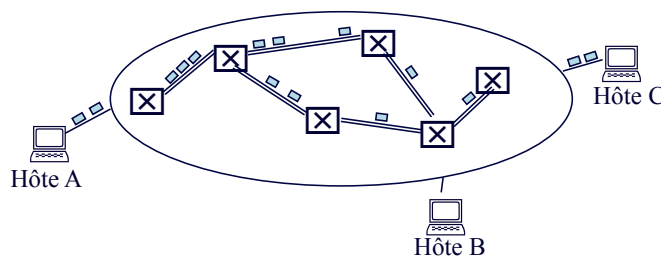
Modes de mise en relation: Mode connecté Vs non connecté

- ❑ Chaque couche peut fonctionner suivant 2 modes de fonctionnement (dépend du protocole)
 - Connecté
 - Non connecté
- ❑ Dépend :
 - Du service demandé
 - Du protocole utilisé

38

Modes de mise en relation

- ❑ Deux modes de fonctionnement pour transiter les informations
- ❑ Mode non connecté (Datagramme)
 - Une seule phase (Transfert des données)
 - Simple
 - Plusieurs chemins possibles



39

Modes de mise en relation : Mode non connecté

- ❑ Par analogie avec un envoi de courrier
- ❑ Chaque message est auto-suffisant (sans état)
- ❑ Aucune garantie
- ❑ ☺ : Plus léger, parfois plus rapide
- ❑ ☹ : Service non fiable
- ❑ Utilisé pour la messagerie électronique (le destinataire n'a pas besoin d'être là), la consultation de bases de données...

40

Modes de mise en relation :

Mode connecté

□ Mode connecté (Circuit virtuel,CV/circuit physique)

- Etablissement d'une connexion
- Transfert des données
- Libération de la connexion

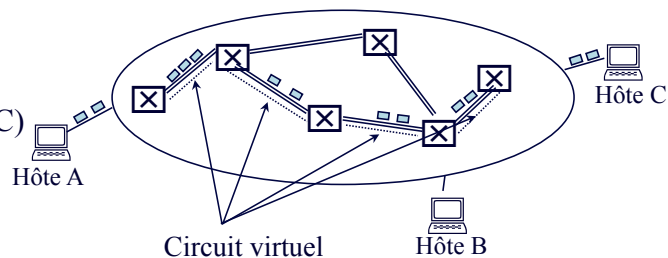
- Service fiable

- Complexe

- Chemin dédié

- Circuits commutés (SVC)

- ou Circuits permanent(PVC)



41

Modes de mise en relation :

Mode connecté

□ Par analogie avec un appel téléphonique

□ 3 temps

- Établissement de la connexion (*synchronisation, négociation, etc..*)
- Utilisation de la connexion
- Relâchement de la connexion

□ ☺ : Service fiable

☹ : Une connexion alourdit le transfert

Difficile pour des applications multipoints (autant de connexions que de paires d'hôtes)

□ Utilisé pour le transfert de voix ou de fichiers

42

Modes de mise en relation

- Technique de commutation : la manière d'interconnecter 2 correspondants
- Le fonctionnement d'un nœud (routeur/switch)
- Nombre de liens= $N(N-1)/2$ (N: nombre de nœuds)
- Temps de traversée du réseau T_p

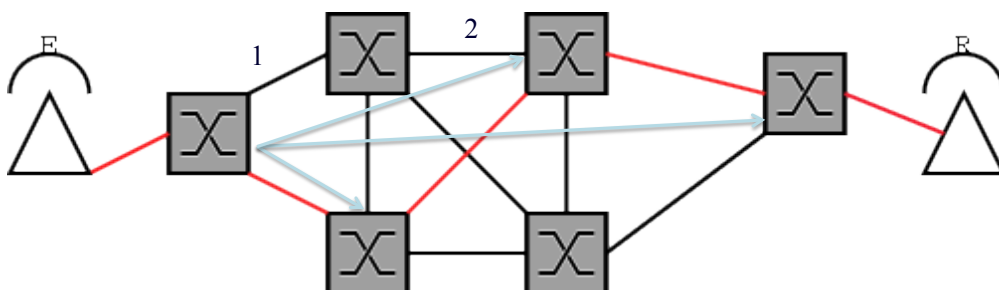
$$T_p = (L + pH)(1 + N/p)/D$$

L: longueur de message, N : nombre de nœuds,

p : nombre de paquets, H : entête protocole, D : débit

43

Nombre de liens= $N(N-1)/2$?



N = 6 noeuds

Liens=15

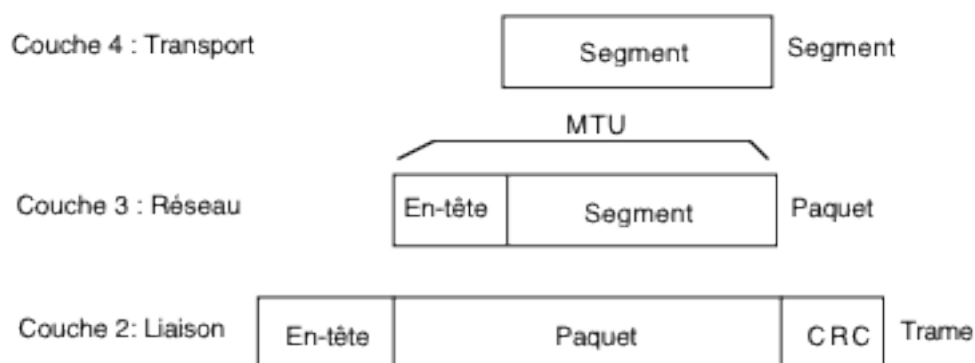
44

Démo!

- Soit n équipements à connecter. Pour le premier équipement, on doit avoir un lien vers chacun des $n-1$ autres équipements. Pour le second équipement, on doit avoir $n-2$ liens vers les autres équipements (le lien avec le premier équipement étant déjà assuré. Etc.. On a donc au total : $(n - 1) + (n - 2) + \dots + 1$ liens
- rappel
$$\sum_{0 \leq p \leq n} u_p = \frac{(n + 1)}{2} (u_0 + u_n)$$
- Ici le nombre de lien est la somme de $p= 1$ à $n-1$ de $U_p = n - p$

45

Segmentation/fragmentation



- La MTU, ou maximum transmission unit

46

Modes de mise en relation

□ Techniques de commutation

■ Commutation de circuit (p=1, N=0)

- Le message est transmis en un seul bloc, il n'y a aucun noeud dans le réseau puisque la connexion est établie d'avance.

$$T = \frac{L+H}{D}$$

■ Commutation de messages (p=1, N>0)

- Le message est transmis en un seul bloc, il peut y avoir plusieurs noeuds dans le réseau.

$$T = \frac{L+H}{D}(1+N)$$

■ Commutation de paquets (p ≥ 1 et N ≠ 0)

- Le message peut être transmis en plusieurs paquets, il peut y avoir plusieurs noeuds dans le réseau.

$$T = \frac{L+pH}{D} \left(1 + \frac{N}{p} \right)$$

L: longueur de message, N : nombre de nœuds,
p : nombre de paquets, H : entête protocole, D : débit

47

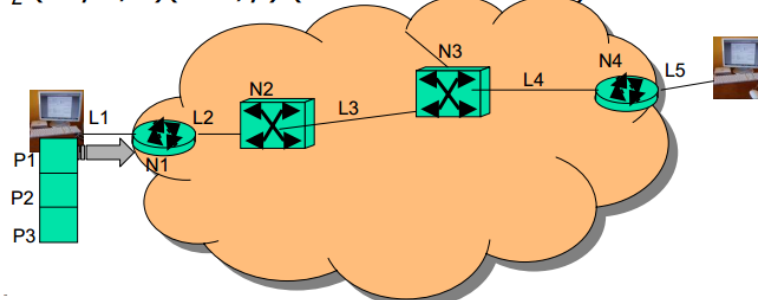
Démo! Temps d'émission d'un message

Temps d'émission du message: $T_E = (p-1)t_p + (N+1)t_p = (p+N)t_p$

Or $t_p = L/pD$

$T_E = (p+N)L/pD = (L/D)(1+N/p)$

$T_E = (L+pH/D)(1+N/p)$ (H: taille de l'entête)



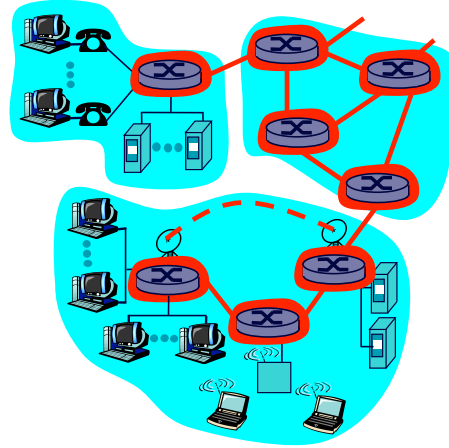
- Temps de transmission d'un paquet/message: t_p, T_e

- Un message = p paquets

48

Le réseau coeur

- Réseau maillés de routeurs
- **La question fondamentale:**
comment les données sont transférées à travers le réseau ?
 - **Commutation de circuits:**
circuit dédié par appel:
réseau téléphonique
 - **Commutation par paquets:**
données envoyées sur le réseau par “morceaux”

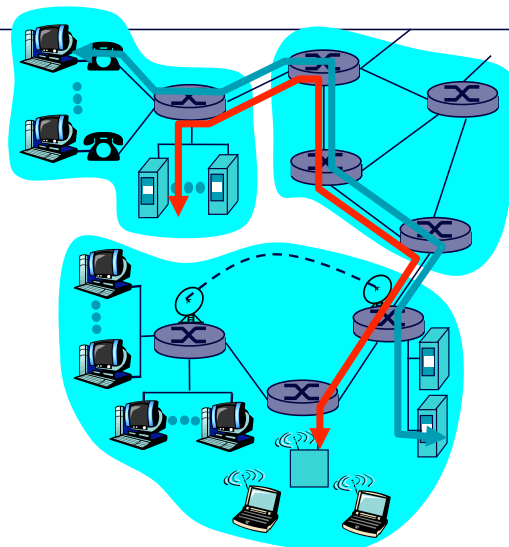


49

Réseau coeur: commutation de Circuits

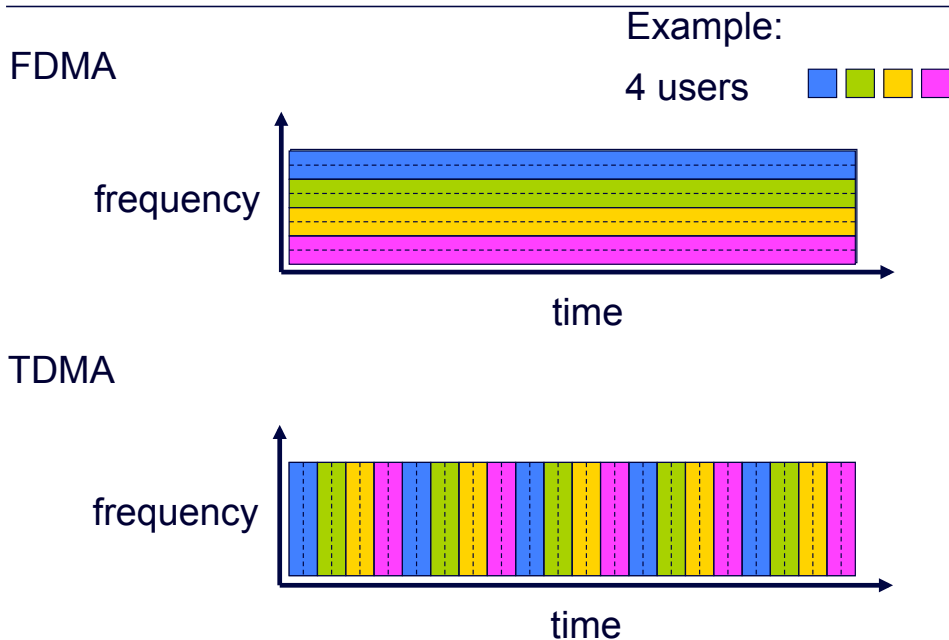
ressources réservées de bout en bout par “appel”

- bande passante de lien, capacité de commutation
- ressources: non partagées
- initialisation de l'appel demandé



50

Commutation de Circuits: FDMA et TDMA



51

Réseau coeur: commutation par paquets

chaque flux de données est
divisé en paquets

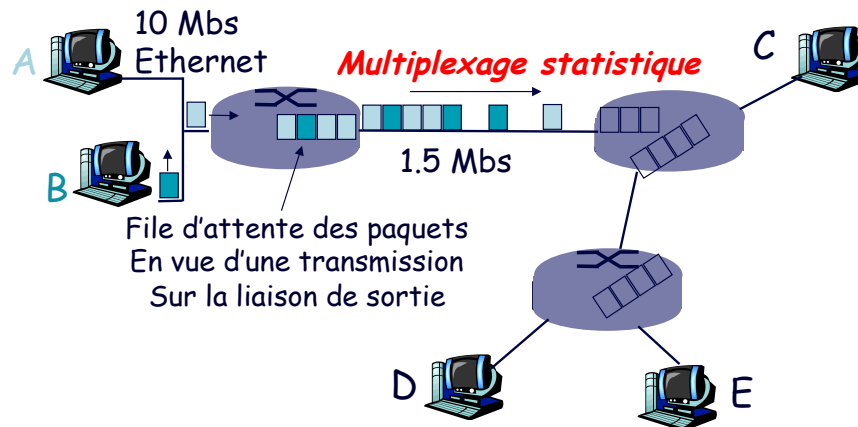
- les paquets des utilisateurs A, B partagent les ressources de réseau
- chaque paquet utilise la bande passante totale de lien

Problèmes de ressources:

- la demande d'agrégation de ressources peut dépasser la moyenne disponible
- congestion: paquets en file, attente pour l'utilisation de lien
- store and forward (enregistrement et retransmission)

52

Commutation par paquets: multiplexage statistique



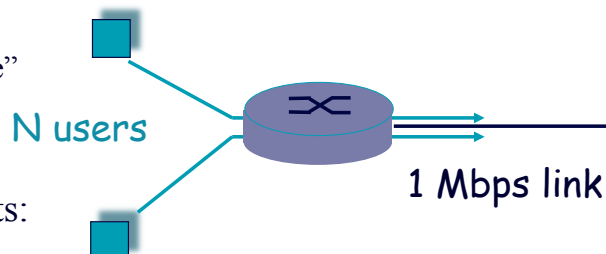
Les Séquences de paquets A & B n'ont pas les mêmes intervalles de temps alloués ➡
multiplexage statistique.

53

Commutation par/de paquets/circuits

Par paquets permet à plusieurs utilisateurs d'utiliser le réseau!

- Liaison de 1 Mbit
- Chaque utilisateur:
 - 100 kbps quand "active"
 - actif 10% du temps



- commutation de circuits:
 - 10 utilisateurs
- commutation par paquets:
 - avec 35 utilisateurs, probabilité > 10 actifs moins de 0.0004

54

commutation par paquets: store-and-forward



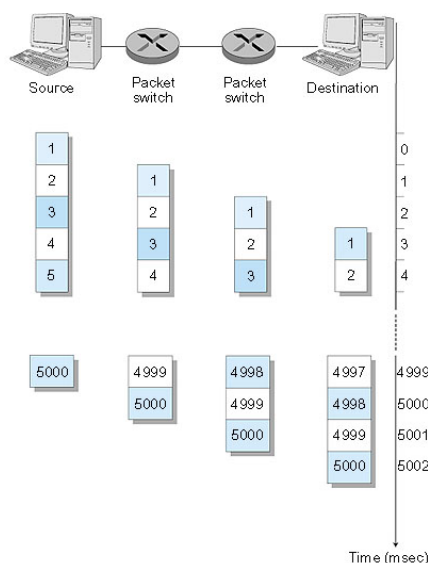
- L bits : longueur de message et R débit de lien
- $\text{délai} = 3L/R$

Exemple:

- $L = 7.5 \text{ Mbits}$
- $R = 1.5 \text{ Mbps}$
- $\text{délai} = 15 \text{ sec}$

55

Commutation par paquets: segmentation du Message

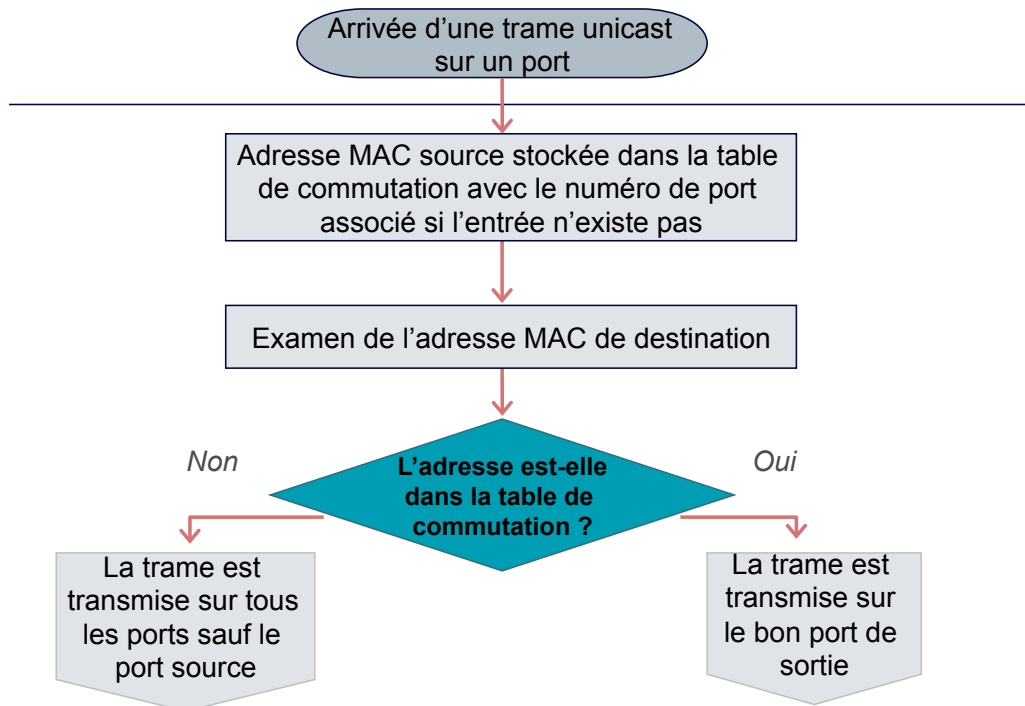


Découpage du message en 5000 paquets

- 1,500 bits par paquet
- 1 msec pour transmettre un paquet sur un lien
- *pipelining*: chaque lien travaille en parallèle
- Délai réduit de 15 sec à 5,002 sec

56

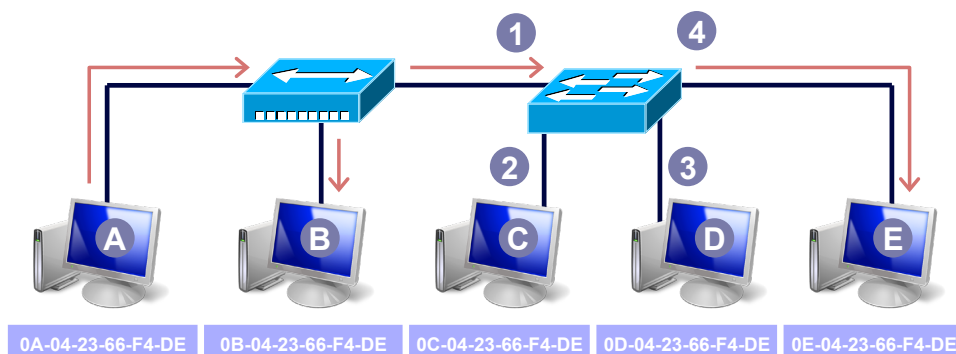
Commutation de trames



Commutation de trames

- A veut communiquer avec E
- La table de commutation est déjà remplie

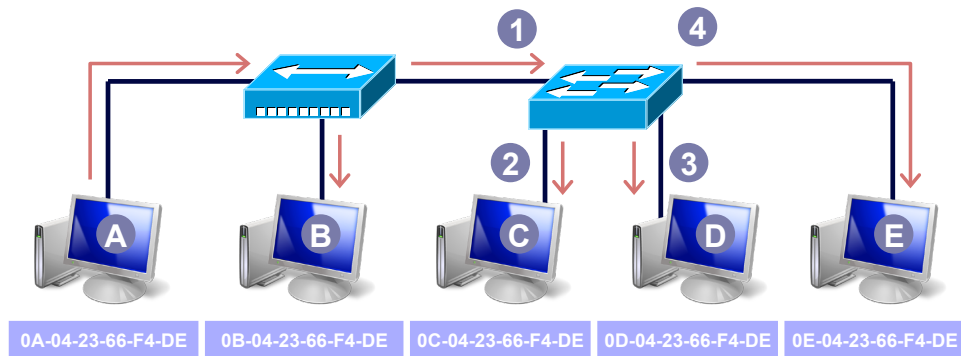
Port	Adresse MAC
1	0A-04-23-66-F4-DE
1	0B-04-23-66-F4-DE
2	0C-04-23-66-F4-DE
3	0D-04-23-66-F4-DE
4	0E-04-23-66-F4-DE



Commutation de trames

- A veut communiquer avec E
- A connaît l'adresse MAC de E
- La table du commutateur est vide

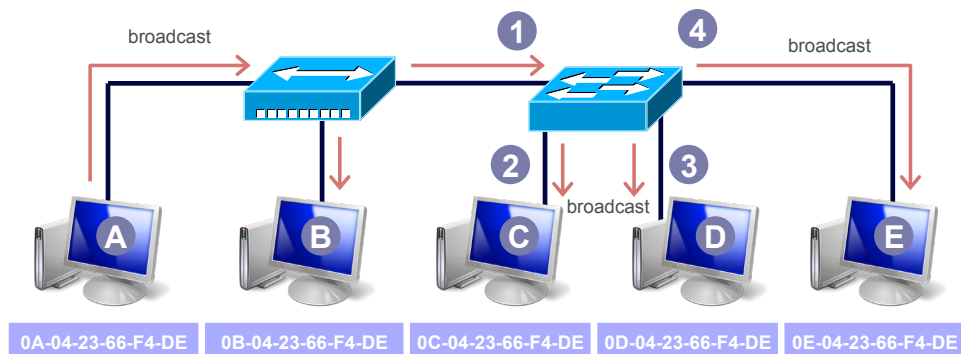
Port	Adresse MAC
1	0A-04-23-66-F4-DE
1	
2	
3	
4	



Commutation de trames

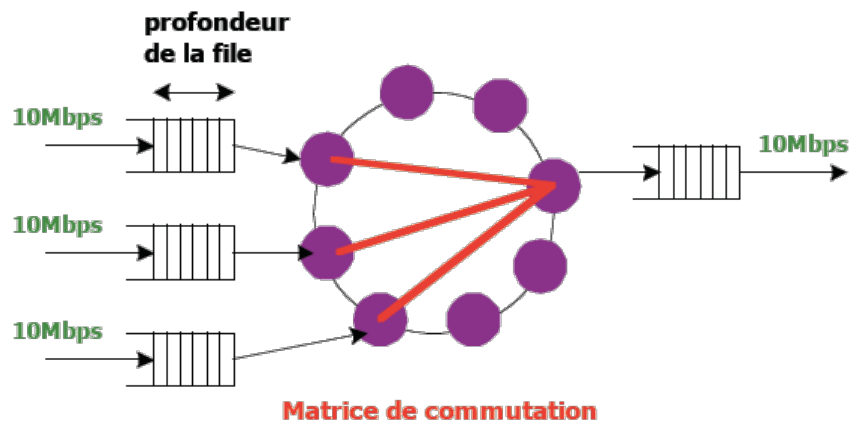
- A veut communiquer avec E
- A ne connaît pas l'adresse MAC de E
- La table du commutateur est vide

Port	Adresse MAC
1	0A-04-23-66-F4-DE
1	
2	
3	
4	



Problème de congestion

- Plusieurs ports d'entrée peuvent simultanément être dirigés vers un même port de sortie
 - saturation des files d'attente (perte de trames)



61

Problème de congestion (2)

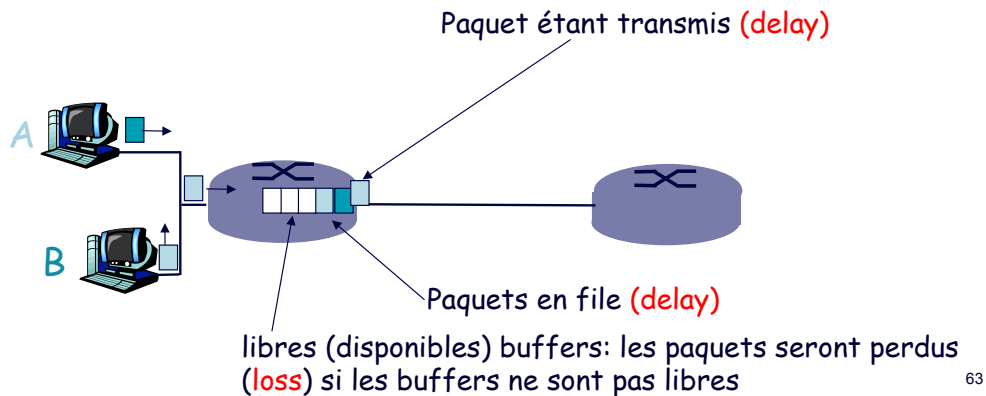
- Contrôle de flux "back pressure" dans certains commutateurs
 - émission de données vers les liens qui consomment trop de ressources du commutateur -> provoque l'arrêt des émissions (collisions) en CSMA/CD (ne fonctionne que pour du half-duplex)
 - en full-duplex, émission d'une trame particulière indiquant un délai pendant lequel l'équipement ne doit plus émettre de trames

62

Comment la perte et le délai se produisent?

Les paquets enfilés dans les buffers du routeur

- Débit d'arrivée des paquets sur le lien dépasse la capacité de lien de sortie



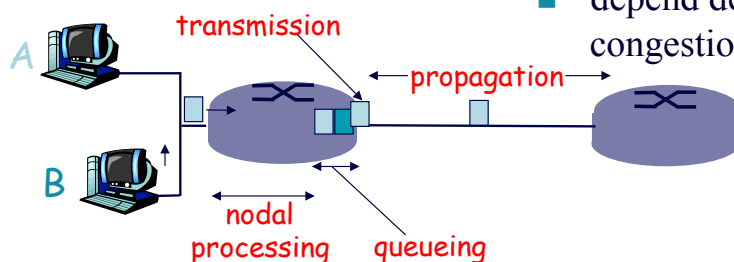
Différents types de retards

- 1. temps de traitement

- contrôle d'erreurs bit
- détermine le lien de sortie

- 2. temps d'attente

- temps d'attente sur le lien de sortie avant transmission
- dépend de niveau de congestion de routeur



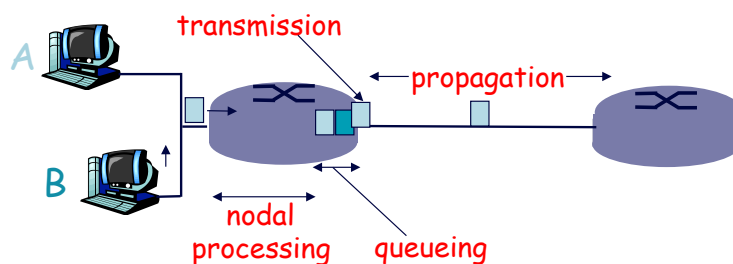
Différents types de retards

3. Délai de transmission :

- R = link bandwidth (bps)
- L = packet length (bits)
- time to send bits into link
= L/R

4. Délai de propagation :

- d = length of physical link
- s = propagation speed in medium ($\sim 2 \times 10^8$ m/sec)
- propagation delay = d/s



65

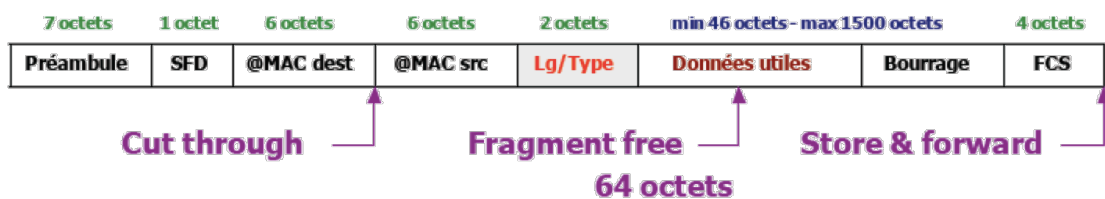
Techniques de commutation

- Cut through ou fast forward - commutation rapide à la volée
 - dès que le port de destination est connu (premier champ de la trame Ethernet), les données sont recopiées directement vers le port de sortie
 - plus performante en terme de nombre de trames commutée par seconde.
 - elle propage les trames erronées et en particulier les trames ayant subi des collisions
- Store & Forward - stockage avant retransmission
 - une trame est entièrement mémorisée avant retransmission
 - permet vérification du CRC, des longueurs minimales et maximales des trames, détection des trames de collision
 - mais: mémoire sur le commutateur, délai supplémentaire

66

Techniques de commutation (2)

- Variantes
 - méthode "fragment-free" : équivalent au « cut-through » mais supprime les trames trop courtes (collisions)
 - méthode au choix de l'administrateur du commutateur : la méthode est fixée par une commande
 - méthode adaptative :
 - démarrage en mode « cut-through »
 - passage en "store & forward" au delà d'un certain seuil de taux d'erreurs calculé par vérification des CRC
 - retour en mode "cut-through" en dessous du seuil



67

Ethernet full-duplex

- Ethernet full-duplex impossible sur un support partagé avec accès CSMA/CD
- Ethernet full-duplex nécessite une liaison point à point, utilisable dans les deux sens de communication, sans méthode d'accès
- doubler la bande passante d'un réseau local
- Invalider la détection de collision

68



Conclusions sur la commutation

- Meilleur accès au média
 - meilleur contrôle de la bande passante : le trafic est dirigé vers la station spécifiée uniquement
 - la charge du réseau est mieux répartie (segmentation du trafic)
 - moins de conflits d'accès, collisions réduites
- Les trames de diffusion sont répétées sur tous les ports
- Intelligence dans le port du commutateur
 - analyse des trames, mémorisation, prises de décision
 - temps de traversée de l'équipement plus élevé
- Deux techniques : "store & forward" et "cut through"