

Une brève introduction aux réseaux locaux filaires

Session de Remise à Niveau, Télécom Paris
Août-septembre 2021

Ken CHEN
ken.chen@univ-paris13.fr

Positionnement (rappel)

- + Deux grandes catégories de réseaux :
 - Les réseaux locaux (LAN, Local Area Network)
 - Les réseaux étendus (WAN, Wide Area Network)
- + Les réseaux locaux
 - + Couverture limitée (< qqe km)
 - + Topologie simple
 - + Débits élevés (10 Mbps, ... 10 Gbps ...)
- + Les réseaux étendus
 - + Couverture large (région, pays, continent)
 - + Réseaux maillé
 - + Débits (*de bout-en-bout et par communication*) faible
- + *Les réseaux métropolitain*
 - + MAN (*Metropolitan Area Network*)

Caractéristiques des LAN

- + Couverture limitée
 - *m, 10 m, n*100 m, Km, ...*
- + Débits élevés
 - *1Mbps, 10 Mbps, 100 Mbps, 1Gbps, 10 Gbps*
- + Topologie simple => **pas de maillage**
 - pas besoin de routage
- + Environnement sous gestion autonome
 - Installation (Câblage, équipement)
 - Administration

Panorama

+ Réseaux filaires : quasi-exclusivement **ETHERNET**

- Domination de la **commutation**
- Exception : réseaux spécifiques
 - + productique (conduite de processus)
 - + réseaux embarqués (véhicule, ...)
 - + *Autres solutions « legacy » et/ou propriétaires (en survie/sursis)*

+ Constat et évolution

- Montée en puissance des **réseaux sans fil**
 - + 802.11 (WiFi), Bluetooth (*PAN : Personal Area Networks*)
- Evolution vers les débits plus élevés
 - + *Vers Gigabit Ethernet*
- Montée en puissance des réseaux sans fil
 - + WiFi (802.11) : WLAN
 - + Autres technologies apparentées LAN
 - Bluetooth (*PAN : Personal Area Networks*)
 - *Evolution vers les « réseaux portables » (!?)*

Applications

+ Bureautique

- Reliant PC, imprimantes, etc.
- **dominance Ethernet**
- Part croissante du **sans fil**

+ Industrie

- Chaîne de production (CAN, etc.)
- Véhicule (VAN, Vehicle Area Network)
- produits dédiés
- introduction de Ethernet

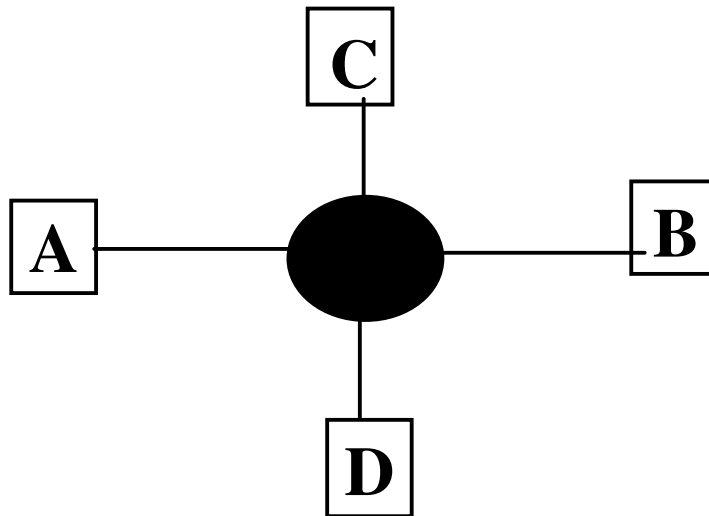
+ Domotique

- *Sans fil, CPL (réseaux électrique)*

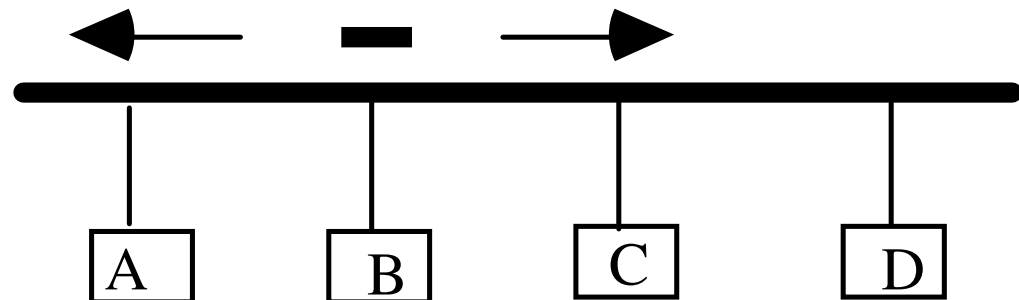
Médium partagé (1/3)

- + LAN : topologie **sans maillage**
- + Conséquence
 - **Modèle** de communication en étoile
 - *Perception* par la couche supérieure
- + Nature du nœud
 - Actif : commutateur
 - + Exige du matériel rapide
 - Passif : médium commun (partagé)
 - + Arbitrage pour un partage équitable
- + Choix historique (début 198x) : **Médium partagé**
 - Matériel pas encore assez rapide -> commutateur pas viable
- + Dominance aujourd'hui : **Commutateur**
 - Fonctionnalités et performances accrues
 - Héritage « médium partagé » à gérer

Médium partagé (2/3)



Commutation vs médium partagé



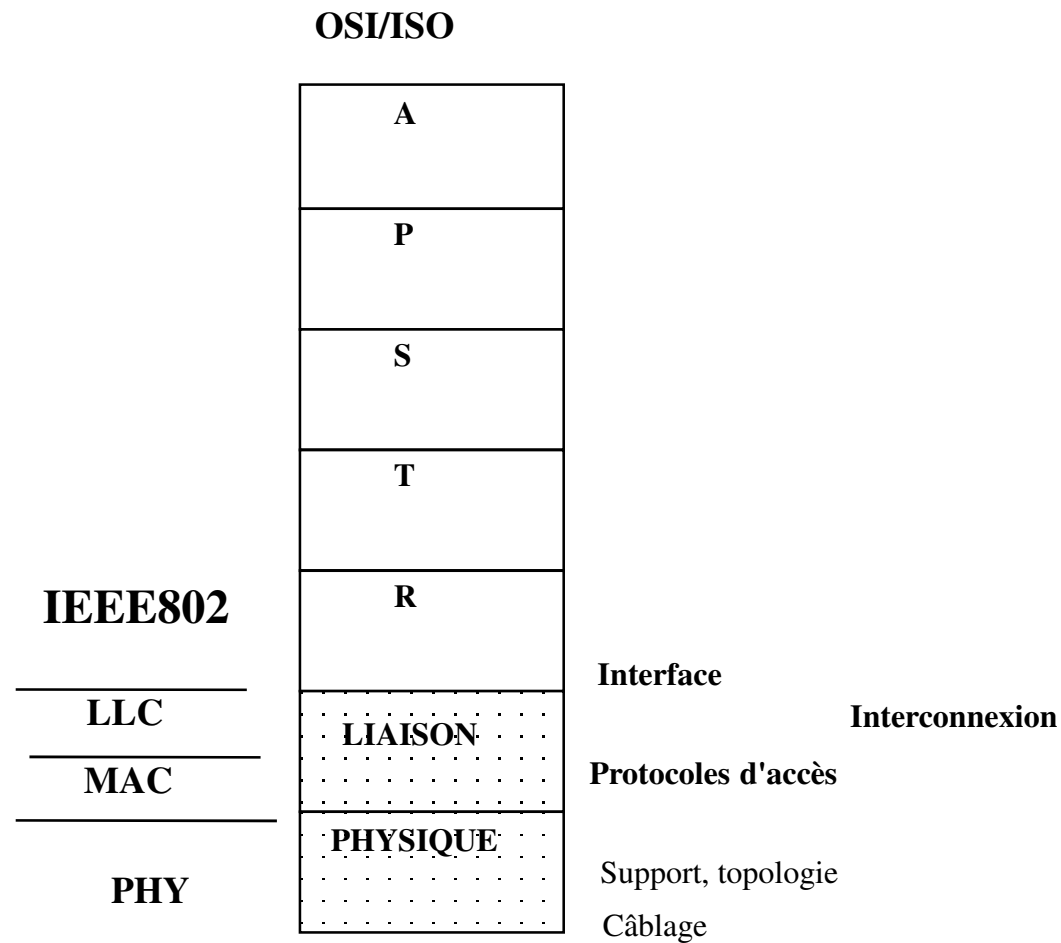
Médium partagé (3/3)

- + Conséquences du médium partagé
 - Nécessité d'une méthode de contrôle (arbitrage) d'accès
 - + **MAC** = Medium Access Control
 - **Diffusion naturelle** de l'information
 - + Facilite la diffusion (broadcast, multicast)
 - + Problème de **confidentialité** des données
 - Liaison entre deux entités => liaison virtuelle
 - + Gestion des liaisons virtuelles créées par MAC
 - + **LLC** = Logical Link Control
- + Facilité de diffusion
 - Gestion de cet héritage pas tjrs aisé par des commutateurs
- + Renforcement de confidentialité
 - Hub, pontage/commutateur, Vlan

Architecture selon IEEE 802

- + IEEE 802 (détails plus loin)
 - comité de normalisation spécialisé en LAN
- + Modèle architectural
 - Couche Liaison => 2 sous-couches
- + Sous-couche MAC
 - MAC = Medium Access Control
 - Arbitrage d'accès
 - Création de liaison virtuelle
- + Sous-couche LLC
 - LLC = Logical Link Control
 - Gestion de liaison virtuelle

Modèle IEEE 802 : schéma



MAC

MAC

- + Généralités
- + TDMA
- + Token Ring
- + CSMA
 - Aloha
 - CSMA
 - CSMA/CD

- + *(Remarque : une partie de ce thème est traité ici à titre pédagogique et pour information scientifique)*

Méthodes d'accès

- + Vocabulaire :
 - Méthode/Protocole/Algorithme d'accès
- + Principe :
 - Arbitrage d'accès au médium partagé
 - Maintien d'équité
- + Problème sous-jacent
 - Partage de ressources (en l'occurrence la **bande passante**)
- + Procédés
 - **Multiplexage dans le temps**
 - + **Accès exclusif au médium répartis (différé) dans le temps**
 - multiplexage en fréquence (FDMA)
 - via codage approprié (CDMA)

Classification

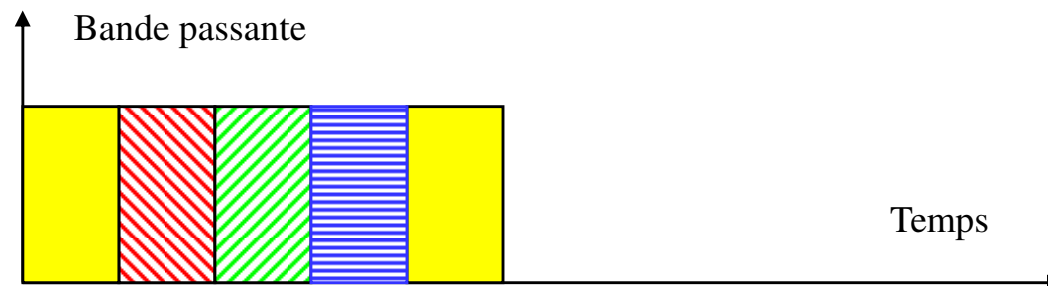
- + Critère : mode d'attribution de ressources
- + Accès **statique** vs **dynamique**
 - Statique : attribution préprogrammée
 - + Exemples : *TDMA, FDMA*
 - Dynamique : attribution à la demande
- + Les deux sous-catégories de l'accès dynamique
 - Critère : délai d'attente
 - Accès aléatoire vs accès déterministe
 - + Accès aléatoire
 - Délai d'attente **non borné** (aléatoire)
 - + Exemples : *Aloha, CSMA/CD*
 - + Accès déterministe
 - Délai d'attente peut être borné
 - + Exemples : *Anneau à jeton, scrutation*

TDMA (1/2)

+ TDMA = Time Division Multiple Access

+ Principe :

- Chaque station se voit attribuer **périodiquement** un créneau (un slot) d'accès **exclusif** au médium
- Famille des méthodes d'accès statique

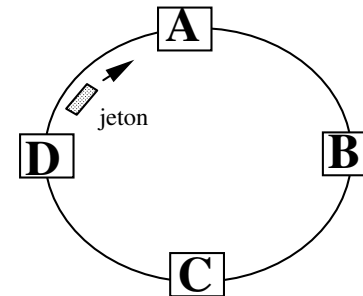


TDMA (2/2)

- Contrainte
 - + Accès exclusif
 - + Matérialisation de slot
 - + Synchronisation entre stations
- Efficacité
 - + Souvent médiocre (accès exclusif)
 - + Peut-être élevé si fort taux d'utilisation
 - La gestion d'accès n'induit pas une consommation de la BP
- Synchronisation => station de base
- Utilisation dans des liaisons sans fil (mobile, satellite)
- Pas efficace pour les liaisons filaires

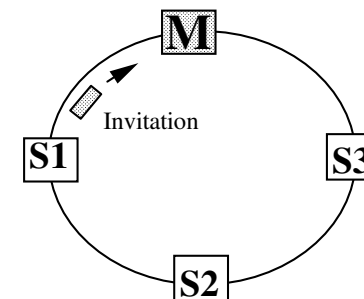
Anneau à jeton

- En anglais : *Token Ring*
- Principe
 - + Stations organisées en un anneau logique
 - + le droit d'accès (jeton) passe de station en station
 - + Seule la détentrice du jeton possède le droit d'accès
- Propriété
 - + Accès **déterministe**
 - + Concept simple
- Mise en œuvre difficile
 - + Matérialisation de l'anneau logique
 - + Gestion du jeton (initialisation, perte, doublon, ...)



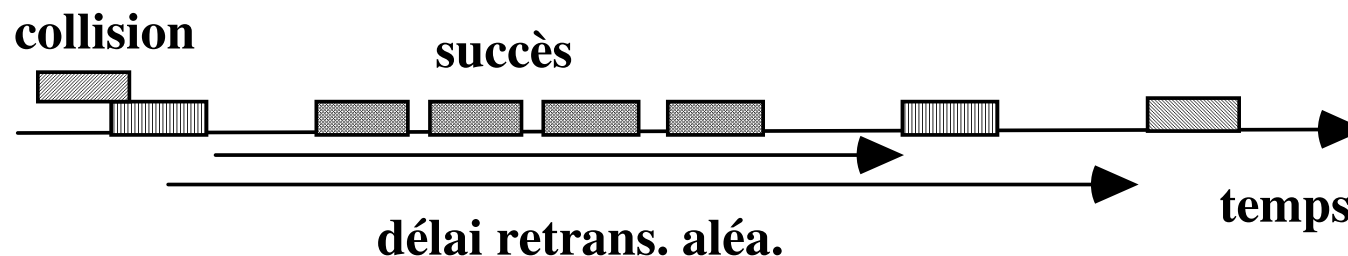
Scrutation

- En anglais : ***Polling***
- Principe
 - + Système composé d'un **maître** et des esclaves
 - + Le maître interroge les esclaves de manière cyclique et accorde le droit d'accès si besoin
- Accès déterministe (similaire à l'anneau à jeton)
 - + Anneau à jeton : système distribué
 - + Scrutation : système centralisé
- Mise en œuvre
 - + Désignation du maître
 - + Recensement de toutes les stations
- Applications :
 - + principalement les réseaux industriels



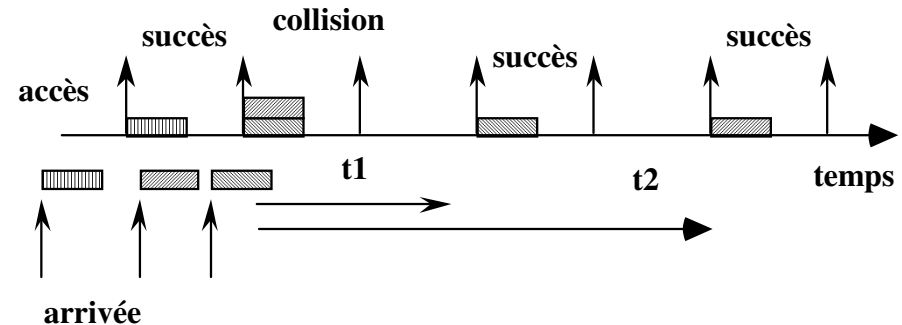
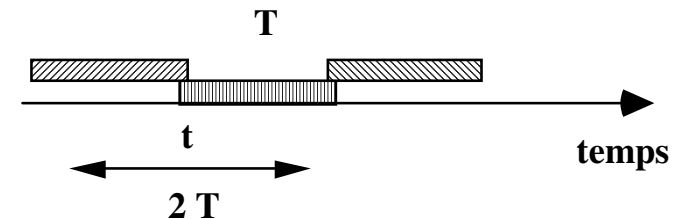
ALOHA (1/2)

- Méthode pionnière (et sans doute la plus simple)
- Principe
 - + Transmission (accès) immédiate (hors état de retrait)
 - + Détection de collision a posteriori
 - Collision = superposition de plusieurs transmissions
 - Les transmissions se comportent mutuellement comme du bruit
 - Détection de collision = détection des erreurs de transmission
 - (Environnement supposé : communication radio)
 - + Une période de retrait (*backoff*) de durée aléatoire pour chaque protagoniste



Aloha (2/2)

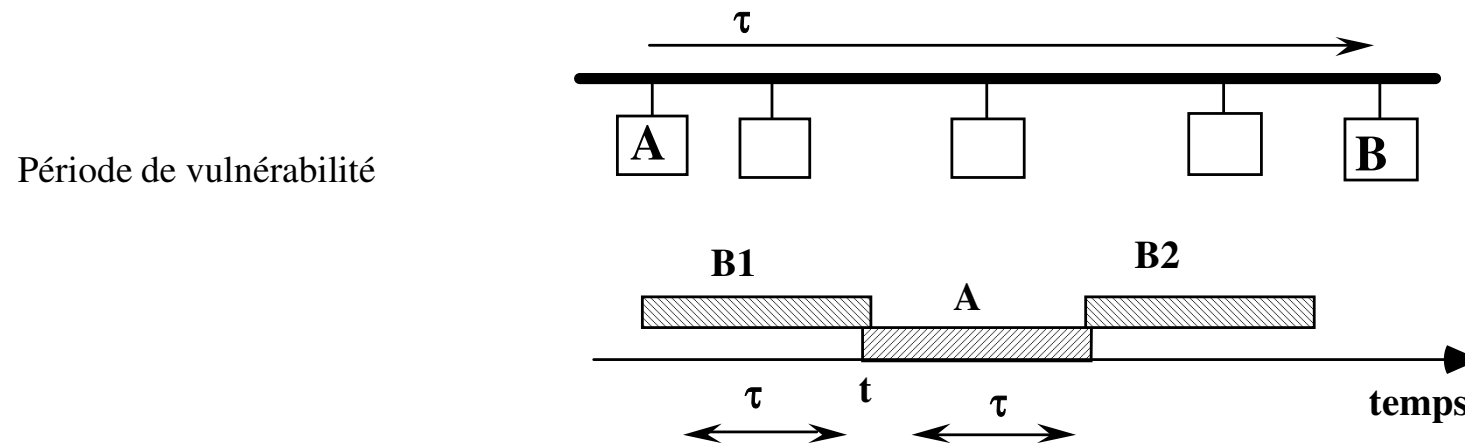
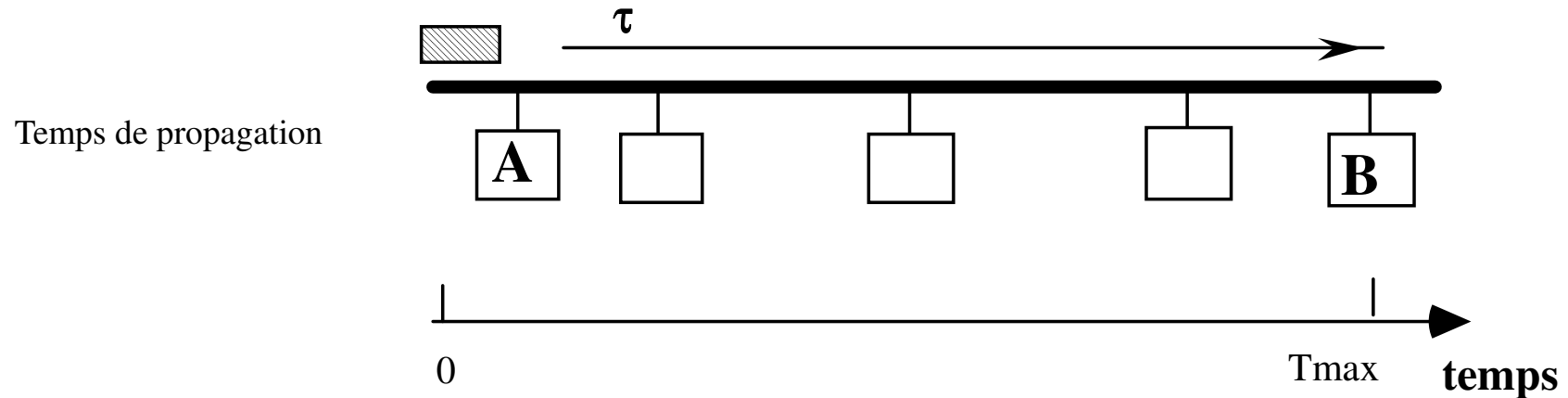
- + Simple à réaliser
- + Accès aléatoire : délai non borné
- + Efficacité médiocre
 - Très vulnérable
 - Modélisation \Rightarrow débit max = 18% de la capacité
 - Instabilité possible même avec un très faible débit
- + Amélioration : slotted-Aloha
 - Début de transmission synchronisé
 - Gain : débit utile doublé
 - Contrainte : synchronisation



CSMA

- Carrier Sense Multiple Accès
 - + Accès multiple avec détection de la porteuse
- Principe
 - + Avant de transmettre, vérifier si le médium est libre
 - + Variantes
 - 1-persistent : attendre jusqu'à la libération du canal
 - 0-persistent : revenir au bout d'une durée aléatoire
- Collision encore possible : **délai de propagation**
 - + Pire cas : les émettrices situant aux extrémités
 - + Fenêtre de vulnérabilité (risque de collision)
 - T = durée de propagation de bout-en-bout, t =début transmission
 - Fenêtre de vulnérabilité = $[t-T, t+T]$ (durée = $2*T$)
- Résolution de collision : retrait pour une durée aléatoire

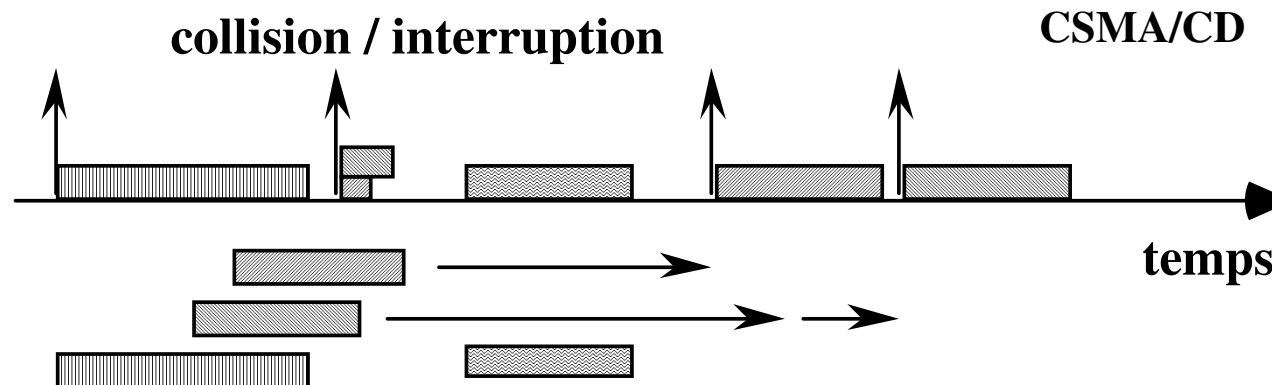
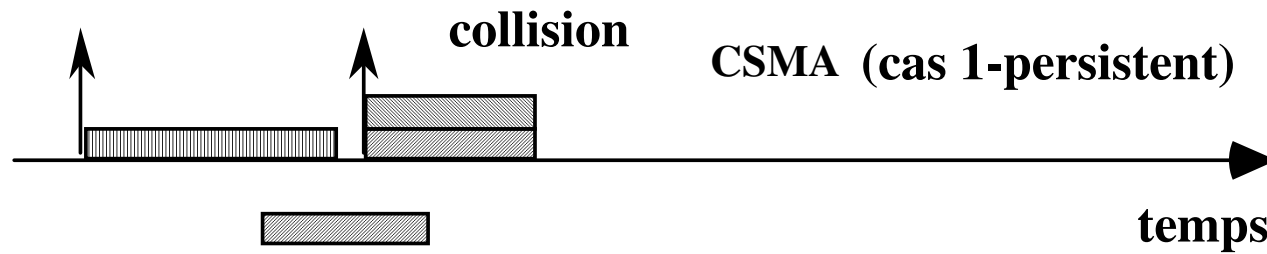
CSMA : schéma



CSMA/CD

- CSMA/Collision Detection
 - + CSMA avec détection de collision
- Principe
 - + CSMA avec surveillance du médium
 - + ARRÊT de transmission dès la détection de collision
- Période d'incertitude
 - + T = durée de propagation de bout-en-bout, t =début transmission
 - + Période d'incertitude : $[t, t+2T]$
 - $t+T$: dernier instant où une collision est possible
 - $(t+T)+T$: le délai le plus long que met la collision dans le pire des cas pour arriver jusqu'à l'émettrice
 - + Au-delà de $t+2T$, tout risque de collision est écarté

CSMA vs CSMA/CD

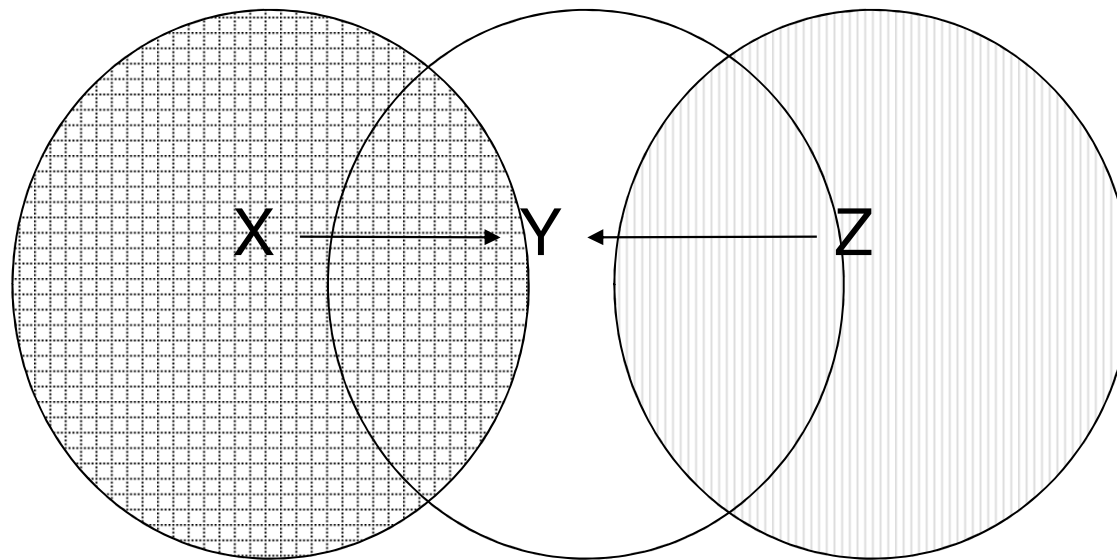


CSMA : filaire vs sans fil

- + En transmission sans fil, la puissance du signal décroît très vite
 - Ordre : distance au carré
- + CSMA/CD pose problème pour sans fil
- + CD : souvent impossible par l'émetteur
 - Collision se produit souvent loin de l'émetteur
 - Remède : le destinataire envoie un ACK
- + CS : pas toujours possible ni significatif
 - Station « cachée » : silence n'implique pas libre
 - Station « exposée » : activité n'interdit pas l'accès

Station « cachée »

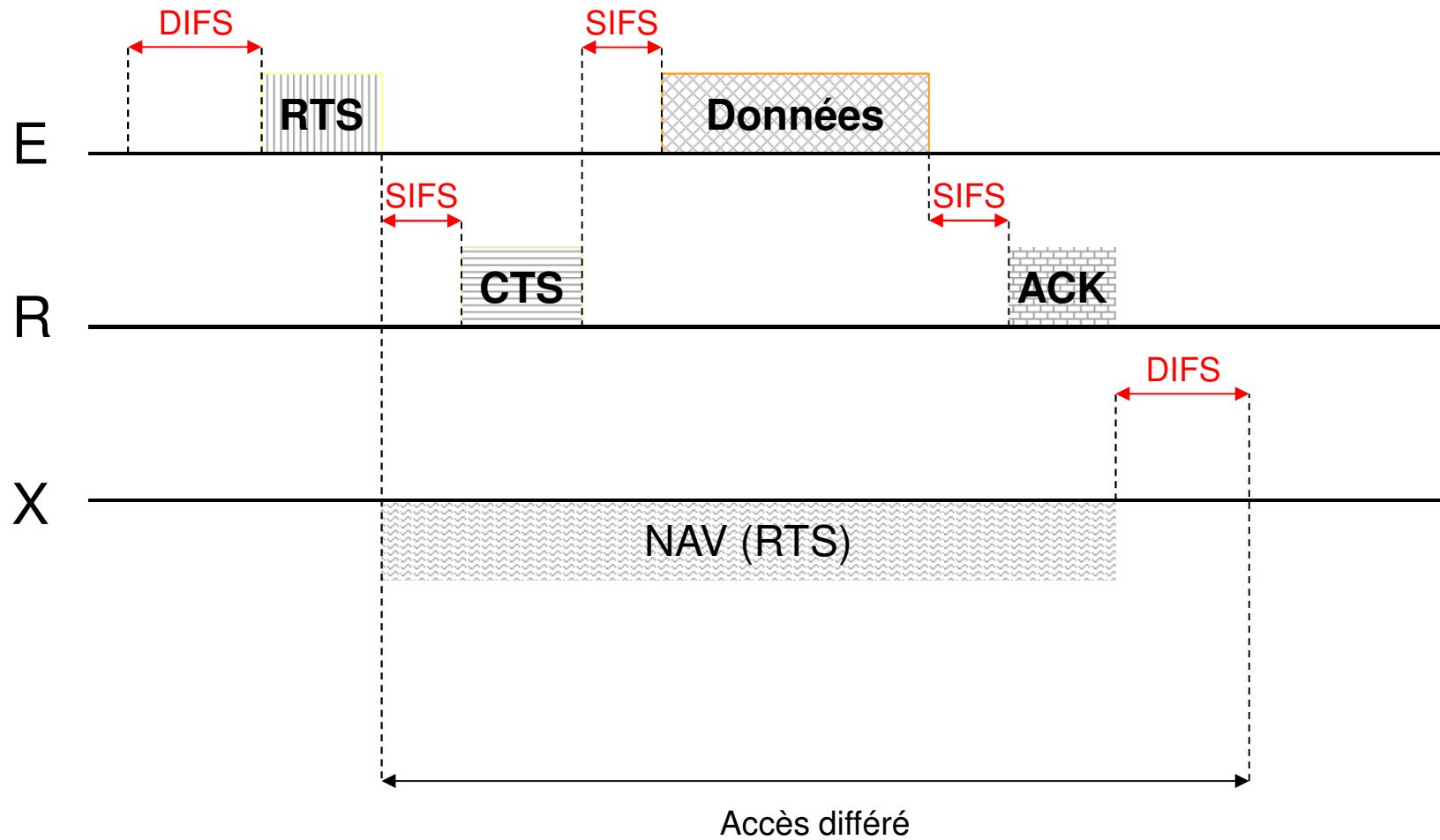
- + X et Z voient Y, MAIS ne se voient pas
- + Y inactif, X ET Z voient le canal libre
- + Collision des deux messages autour de Y
- + Remède : le couple « RTS, CTS »



CSMA/CA

- + CSMA/Collision Avoidance
- + Ecoute le canal pendant une certaine durée
 - IFS : Inter Frame Space
- + Toute trame (unicast) donne lieu à un ACK
- + Pour empêcher les stations « cachées », un couple de (courts) messages : RTS, CTS
 - RTS : Request To Send : envoyé par l'émetteur E
 - CTS : Clear to Send : envoyé par le récepteur R qui neutralise d'éventuels émetteurs X qui n'entendent pas E

CSMA/CA



X= autres stations, NAV = Durée de transmission réservée à E

Câblages et topologies

PHYSIQUE

+ Topologies

- Etoile/Arbre
- Anneau
- Bus

+ Câbles (cf. Ethernet)

- Désignation
- 10 BASE 5
- 10 BASE 2
- 10 BASE T
- 100 BASE TX
- 100 BASE FX
- ...

Etoile/Arbre (1/2)

- + Structure centralisée autour des noeuds
- + Arbre : association ordonnancées des noeuds
- + Deux types de noeuds : Hub vs commutateur
 - Aujourd'hui : les commutateur s'imposent
- + Hub (concentrateur) : dispositif électronique
 - amplification, remise en forme des signaux
 - virtuellement un seul médium
- + Commutateur : électronique + **traitement**
 - analyse de l'en-tête des trames puis traitement protocolaire
 - isolation des stations

Etoile/Arbre (2/2)

- + Intéressant pour câblage bureau
 - Prise téléphone + prise réseau (RJ45)
- + Convergence avec l'installation téléphonique
 - Noeud : assimilable à un répartiteur
 - Solution économique (installation, maintenance, etc.)
- + Protection (contre les intrusions) plus aisée
 - Noeud mis dans une armoire,
 - Prise réseau protégée par la porte (protection déjà existante)

Anneau

- + Stations devant être actives en permanence
 - Vulnérabilité
- + Gestion de Insertion/retrait des stations
- + Suppression des trames
- + Mesure contre les coupures
 - Double anneaux

Bus

- + Structure linéaire
 - salle de manip, chaîne de production
- + Insertion/retrait relativement facile
- + Installation de *terminateurs* aux extrémités
 - suppression d'écho

Quelques normes 802 (cadre réseaux filaires)

802.3 (Famille Ethernet)

802.1d/w (STP/RSTP), 802.1p/802.1Q (VLAN)

802.2 LLC

IEEE 802 (1/3)

- + IEEE 802 LMSC (LAN/MAN Standard Committee)
- + Principale organisation active sur la normalisation des réseaux locaux et métropolitain
 - www.ieee802.org
- + Collaboration avec ISO
- + Structure interne :
 - WG : 802.1, ..., 802.24 (*pas de 802.13*)

IEEE 802 (2/3)

+ Les WG actifs

- 802.1 : High level Interface (Bridging, VLAN, etc.)
- 802.3 : Ethernet
- 802.11 : WLAN (...WiFi)
- 802.15 : WPAN (Wireless PAN)
- 802.18 : Radio Regulatory TAG
- 802.19 : Wireless Coexistence Working Group
- 802.24: Vertical Application Tag (*old: Smart Grid* TAG)

+ Hibernating :

- 802.16 : BBWA (Broadband Wireless Access, ...WiMAX)
- 802.21 : Media Independent Handover Services Working Group
- 802.22 : Wireless Regional Area Networks

+ Disbanded : tout le reste (généralement abandon)

- Cas du 802.2: remplacée par ISO/IEC 8802-2 (stabilisée et en vigueur)

IEEE 802 (3/3)

802.2 LLC

802.1 Interface (VLAN, interconnexion, etc.)

DATA
LINK

802.3
MAC

...

802.5
MAC

DISBAND

...

802.11
WLAN

...

802.24
Vertical
Appli
Tag

802.3
PHY

802.5
PHY

PHYSICAL

La famille Ethernet

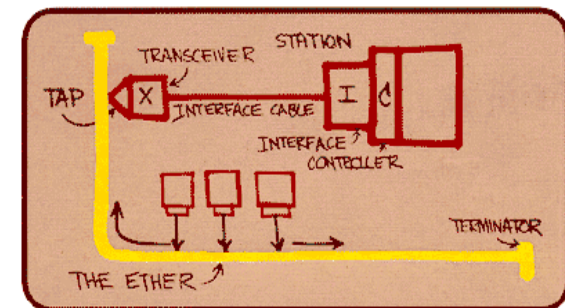
Ken CHEN

L2TI, institut Galilée, université Paris 13

Ken.chen@univ-paris13.fr

Ethernet : un *succes story*

- + Le réseau local le plus répandu
- + 1973 : Prototype Xerox (Dr. Robert Metcalfe), 3 Mbps
- + 1976 : Brevet
- + 1980 : Norme DIX (Digital Intel Xerox), 10 Mbps
- + 1985 : Norme IEEE (802.3)
- + 1990 : FastEthernet (**FE**, 802.3u) : 100 Mbps
 - Auto-négociation de débits
- + 1995 : Gigabit Ethernet
- + 2002 : 10 Gbps Ethernet (802.3ae)
- + ...



- + La solution actuelle est largement basée sur la **commutation**
- + C'est la seule technologie filaire (*sauf applications de niche*)
- + Le format Ethernet s'utilise aussi dans les WAN et MAN
- + *Ramifications attendues: Ethernet fournisseur d'énergie...etc.*

Clés du succès

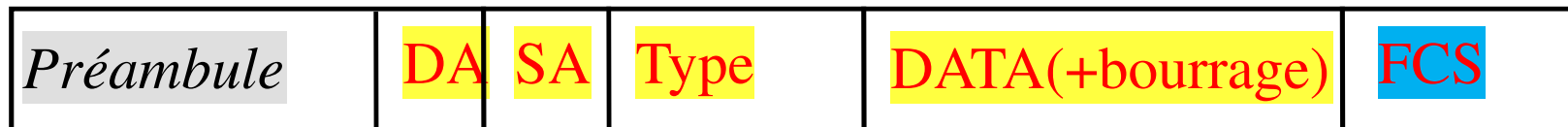
- + Simplicité d'installation et de maintenance
 - Câblage « classique »
 - + Bus ou hub, utilisation de paires torsadées
- + Faible coût
 - **Protocole d'accès simple**
 - + Implémentation plus facile (sous forme de circuit intégré) -> coût de fabrication
 - Implantation massif -> coût réduit -> cercle vertueux
- + Robustesse
 - Simplicité de protocole et de médium
 - Peu de points vulnérables

Ethernet (V2) : Format

+ Format :

- **Préambule** = 64 bit (dont les 2 derniers = **11** et le reste 1010...) : *portion « électronique » pour synchronisation*
- Adresses Destination/Source (**DA, SA**) = 2* 6 octets
- **Type** (2 octets)
- **Data** (46-1500) octets
- **FCS** = 4 octets (séquence de contrôle d'erreurs de transmission)
- (**inter-trame**)= 9,6 μ s

+ Taille trame (*hors préambule*) : [64, 1518] octets



Une trame Ethernet

No.	Time	Length	Source	Destination	Protocol	SrcPort	DestPort	SrcPortNb	DestPortNb	Info
4	0.91...	533	dialin-145-254-160-237...	65.208.22...	HTTP	tip2	http	33...	80	GET /dc
5	1.47...	54	65.208.228.223	dialin-14...	TCP	http	tip2	80	3372	http(80

>	Frame 4: 533 bytes on wire (4264 bits), 533 bytes captured (4264 bits)
>	Ethernet II, Src: Xerox_00:00:00 (00:00:01:00:00:00), Dst: fe:ff:20:00:01:00 (fe:ff:20:00:01:00)
>	Destination: fe:ff:20:00:01:00 (fe:ff:20:00:01:00)
	Address: fe:ff:20:00:01:00 (fe:ff:20:00:01:00)
1. = LG bit: Locally administered address (this is NOT
0 = IG bit: Individual address (unicast)
>	Source: Xerox_00:00:00 (00:00:01:00:00:00)
	Type: IPv4 (0x0800)
>	Internet Protocol Version 4, Src: dialin-145-254-160-237, ports anchor-in net (145.254.237.145),
<	
0000	fe ff 20 00 01 00 00 00 01 00 00 00 08 00 45 00 E .

Ethernet version initiale

- + **Médium partagé**
 - conceptuellement un bus
 - Pratiquement en **hub** ou bus
 - **!!! Ethernet a évolué vers la version commuté**
- + Protocole d'accès : CSMA/CD
 - Délai d'accès NON borné
- + Débit nominal : 10 Mbps (***aujourd'hui 100 Mbps***)
 - Charge utile max. : env. **3 Mbps**
- + Étendue bout-en-bout : 2500 m
- + Données transportable par trame : max. **1500 oct.**
 - Trame entre **64 oct.** et 1518 oct.
 - Bourrage pour atteindre 64 oct. si donnée <46 oct.
- + Pas de grille de priorités (Best Effort)

Taille minimale: 64 octets:

- + Etendue de bout-en-bout fixée à 2500 m
- + Durée de la transmission pour couvrir deux fois l'étendue: **51, 2 micro sec.**
 - Chiffre issue de la Physique, plus une marge
- + Débit fixé à 10 Mbps
- + Quantité minimale d'information : 512 bit = **64 oct.**

- + **Evolution** vers 100 Mbps
- + Contrainte = format à respecter
 - donc la taille min. (64 oct.) à **conserver**
- + Conséquence : étendue sous 100 Mbps = (env.) **250 m**

802.3 (CSMA/CD) : Format

- + Presque identique
- + Le champ *type* -> **length**
- + Le champ donnée contient le PDU au format LLC
 - La délimitation du PDU est réalisée avec le champ **length**

Préambule	DA	SA	Length	PDU LLC (+bourrage)	FCS
-----------	----	----	--------	---------------------	-----

Le champ Type (Type/Length)

- + Initialement spécifique à Ethernet
 - ne s'applique pas à 802.3 (champ length)
- + Identificateur de protocole (pour les données transportées)
- + Convergence depuis la norme 1998 : **Length/Type**
 - Interprété comme **Type** si ≥ 1536 (x0600)
 - Vu comme Length sinon
- + Quelques « Type » bien connus
 - **x0800** = IP (IPv4), **x0806** = ARP
- + Remarques
 - Espace limité
 - SNAP (5 octets) = OUI + Protocol ID (2 octets)
- + *Remarque : on y reviendra plus en détail avec LLC*

Adresse

- + Sur 6 octets :
- + Le bit du plus faible poids (lsb) : I/G
 - I=0 : Individuelle
 - G=1 : Groupe (en particulier 1....1 (FFFFFF) = Diffusion)
- + Le 2nd bit : U/L
 - U=0 : adresse universelle gérée par IEEE
 - L=1 : adresse locale (gestion et validation locale)

bit	1	1	22	24
	I/G	0	OUI	OUI-dependent
		U/L	IEEE: world level unique	OUI: OUI level unique

Adresse universelle IEEE 802

- + Composition:
 - Les trois premiers octets (LSB) = OUI
 - + Le lsb = 0 (adresse individuelle) ou 1 (groupe)
 - + Le bit qui suit (U/L=0)
 - Les 3 octets restants (MSB, 16 Millions) = Gérés par l'entité référencée par son OUI
- + Notation= hexadécimale, par octet, souvent séparés par « : »
 - Exemple : AB:CD:48:00:12:00
- + OUI=*Organisationally Unique Identifier* (géré par IEEE)
 - OUI est utilisé ailleurs aussi (e.g.SNAP)
 - Exemples OUI
 - + 080009 (HP), 08005A (IBM), 080020 (SUN), 00000C (CISCO)
- + Adresse dite « plate » (*flat address*) : **sans** information de **localité**
 - OUI => fabricant, ne permet pas la localisation
- + Vocabulaires
 - + Adresse 802, adresse universelle, adresse MAC, adresse Physique (hard)

Zoom sur DA, SA

No.	Time	Length	Source	Destination	Protocol	SrcPort	DestPort	SrcPortNb	DestPortNb	Info
4	0.91...	533	dialin-145-254-160-237...	65.208.22...	HTTP	tip2	http	33...	80	GET /d
5	1.47...	54	65.208.228.223	dialin-14...	TCP	http	tip2	80	3372	http(80

~ Destination: fe:ff:20:00:01:00 (fe:ff:20:00:01:00)

Address: fe:ff:20:00:01:00 (fe:ff:20:00:01:00)

.... ..1. = LG bit: Locally administered address (this is NOT

.... ...0 = IG bit: Individual address (unicast)

~ Source: Xerox_00:00:00 (00:00:01:00:00:00)

Address: Xerox_00:00:00 (00:00:01:00:00:00)

.... ..0. = LG bit: Globally unique address (factory default)

.... ...0 = IG bit: Individual address (unicast)

Une autre frame avec Broadcast

- › Frame 6: 60 bytes on wire (480 bits), 60 bytes captured (480 bits)
- ✓ Ethernet II, Src: gw-ls.enst.fr (02:e0:52:70:78:1a), Dst: Broadcast
 - ✓ Destination: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
 - Address: Broadcast (ff:ff:ff:ff:ff:ff)
 -1. = LG bit: Locally administered address (unicast)
 -1 = IG bit: Group address (multicast)
 - ✓ Source: gw-ls.enst.fr (02:e0:52:70:78:1a)
 - Address: gw-ls.enst.fr (02:e0:52:70:78:1a)
 -1. = LG bit: Locally administered address (unicast)
 -0 = IG bit: Individual address (unicast)
 - Type: ARP (0x0806)
 - Padding: 00
- › Address Resolution Protocol (ARP Announcement)

Résolution de collision : BEB (1/2)

+ BEB = Binary Exponential Backoff

+ Objectif

- Fixer le délai **aléatoire** de retrait en cas de collision
- Compromis, tenant compte de la situation courante, entre
 - + un délai trop long (bande passante perdue) et
 - + une précipitation (nouvelle collision donc perte de la bande passante)

+ Algorithme

- Soit T un slot time (**tranche canal, 51,2 μ s.**)
- Soit n le nombre de collision
 - + Si $n=16$ **Abandon**, sinon continue
 - + $K=\min(10, n)$
- Durée du retrait (backoff) à la n-ième collision $D(n) = R * T$
 - + avec R=nombre aléatoire uniformément réparti sur $\{0, 2^k-1\}$

BEB (2/2)

- + Durée de retraitement augmente, en moyenne, de manière BE (Binary Exponentielle)
 - Exemples (D =délai d'attente)
 - + Après la première collision : $D=0$, ou $D=T$
 - + Après la deuxième collision : $D=0,1,2$ ou 3 fois T
 - Délai jugé assez long pour $n=10$ ($K=\min(10, n)$)
- + Abandon au bout de 16 collisions

Nombre collisions	Nombre de choix								
		0	1						
1	2								
		0	1	2	3				
2	4								
		0	1	2	3	4	5	6	7
3	8								

CSMA/CD : Performances

- + Débits utile < Débit nominal
 - Dépend des collisions (gaspillage B.P.)
 - + Dépend des requêtes d'accès
 - Autour de 3 Mbps si trames courtes (64 oct.)
 - Peut-être élevé si trames longues (1518 oct.)
- + Charge utile : sous les 3 Mbps
- + Délai :
 - Quasi nul si charge faible
 - Augmente exponentiellement si charge élevée
- + Auto-régulation en cas de surcharge (TCP/IP)
 - Collision => délai et/ou abandon => moins de trafic

Réseaux locaux (LAN) Commutés

Programme

- + Commutateur
- + 802.1D/1W (STP/RSTP)
- + 802.1p/1Q (VLAN)

Commutateur

Un commutateur

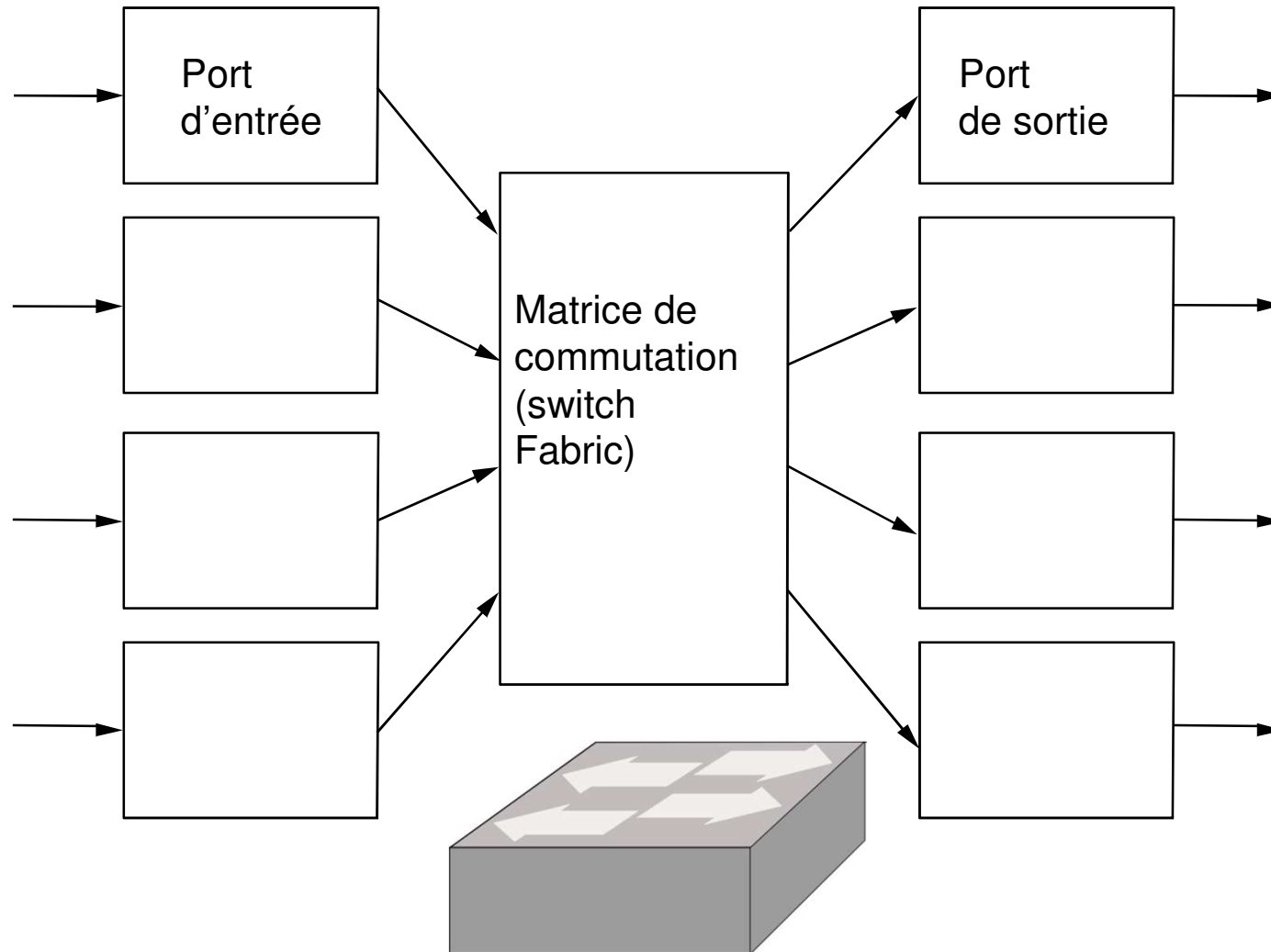
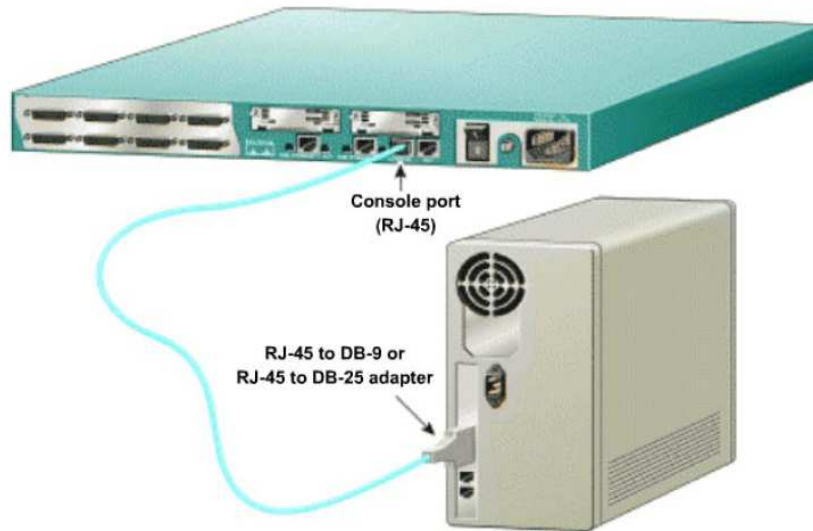


Schéma de principe distinguant l'entrée de la sortie. Sur un commutateur physique, le port d'entrée et le port de sortie passent par la même interface de connexion

Commutateurs

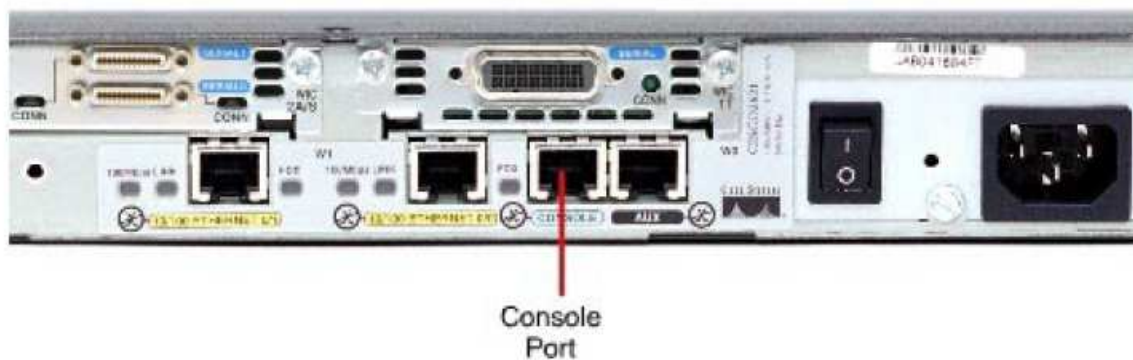
Un commutateur et son console de commande (PC)



Empilement des commutateurs CISCO

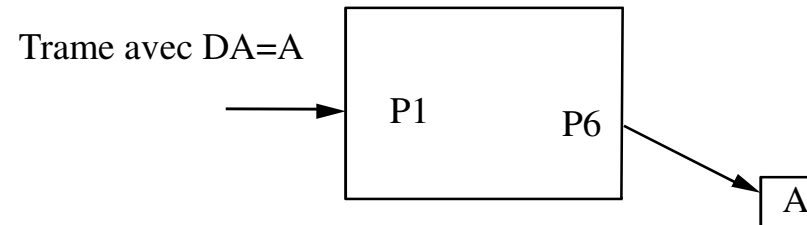


Dos d'un commutateur



Images CISCO

Principe de fonctionnement



+ Principe

- Connaître l'**identité** de la **destination** (A)
- **Repérer** le port (p6) derrière lequel se trouve A
- **Transférer** la trame de P1 vers P6

+ Procédé et questions

- Connaître A: pas de problème (DA=A)
- Repérer le port de sortie: **problème critique**
 - + *Annuaire* <adresse MAC, numéro de port> à établir
 - + *Adresse flat, nombreux potentiellement élevé, dynamique*
- Transfert :
 - + À faire **rapidement**
 - + Doit supporter aussi la **diffusion**

Commutateur vs Hub

- + Nœud : fondamental dans un réseau local (filaire)
- + Tous les terminaux se rattachent à un nœud
- + Deux variante :
 - Hub (Médium partagé) vs Commutateur
- + Médium partagé : une seule communication à la fois
 - Capacité brute divisée par le nombre de terminaux
 - Pas de full duplex, pas d'isolation de flux
 - Basés sur des **protocoles** MAC
- + Commutateur :
 - Approche radicalement différente
 - Efficacité accrues, Nouvelles fonctionnalités
 - Solution propriétaires

Apport des commutateurs (1)

- + Isolation de flux :
- + **Efficacité** en délai d'accès
 - En médium partagé : délai augmente en fonction de trafic à cause du MAC (collision, etc.)
 - Avec commutateur : quasi absence d'influence mutuelle
- + **Résistance** accrue aux pannes
 - Un terminal pourra troubler les autres sur un Hub
 - + débit mal configuré, trop de diffusion, pannes, etc
- + **Extension** plus facile
 - Avec commutateur : Rajout de port
 - Avec Hub : le débit *supplémentaire* pourrait conduire à revoir toute architecture du réseaux (redécoupage).

Apport des commutateurs (2)

- + Capacité d'analyse et traitement
- + Hub : dispositif passif
- + Commutateur : Intelligence
 - Analyse de l'entête
 - Traitement informatique
- + **Aiguillage** intelligent :
 - Interconnexion,
 - Réseaux virtuels (VLAN)
- + **Filtrage**
- + Interaction avec la couche 3

Commutateur (cas Ethernet)

- + Aucun rapport avec CSMA/CD
- + Garantie de la B.P.
- + Isolation des ports
 - communications en parallèle possible
- + Compatibilité Ethernet
- + Opération (Filtrage/relais) réalisées en matériel
 - ASIC, matrice de commutation
- + Full-duplex, multi-débits (10 Mbps...10 Gbps)
- + « Cut-through » ou « Store-and-forward »

Fonctionnalités

- + Full-duplex
 - isolation naturelle des flux
- + Contrôle de flux
- + Gestion de priorités
 - Politique de gestion de tampon (files d 'attente)
- + Gestion de VLAN (cf. VLAN, virtual LAN)
 - Gestion d 'association logique
- + Fonction du « pontage » (Bridge)
 - Isolation (Segmentation)
 - Répartition de charges

Architecture

- + Matrice de commutation (**switch fabric**)
 - capacité élevée ($n \times 10$ Gbps,)
- + Ports (line card) : entrée et sorties
 - Avec Tampon
 - + *Tampon à l'entrée (avant commutation)*
 - + Tampon à la sortie (après commutation)
 - + Tampon commun
 - Raison d'être : blocage possible
 - + plusieurs trames vers la même destination
- + Table de commutation
- + Processeur
 - Commutation
 - Diverses fonctions (protocoles (STP, VLAN), QoS)

Les ports

- + Les ports d'entrées et de sortie
 - Gérer les fonctions niveau 2
 - Classifier le paquet le cas échéant (QoS)
 - sont regroupés au sein d'une carte qui dispose d'un processeur éventuellement
- + Les ports d'entrées
 - Analyser chaque paquet et effectuer le routage
 - Gérer l'accès à la commutation
 - Premier niveau de tampon
- + Les ports de sorties
 - Dernier niveau de tampon
 - Mécanismes de gestion de QoS poussés (gestion de conflit)

Matrice de commutation

+ Bus

- Tous les ports y sont connectés
- Bus = goulot d'étranglement
- Facilite la diffusion

+ Mémoire partagé

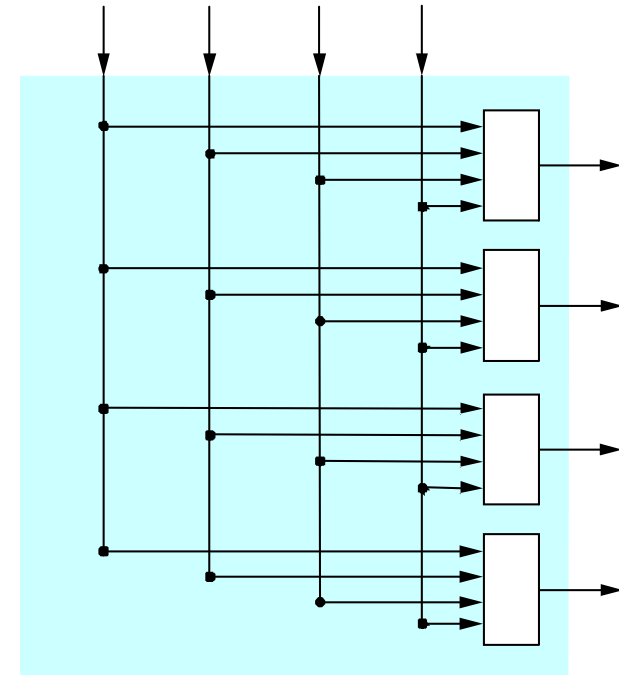
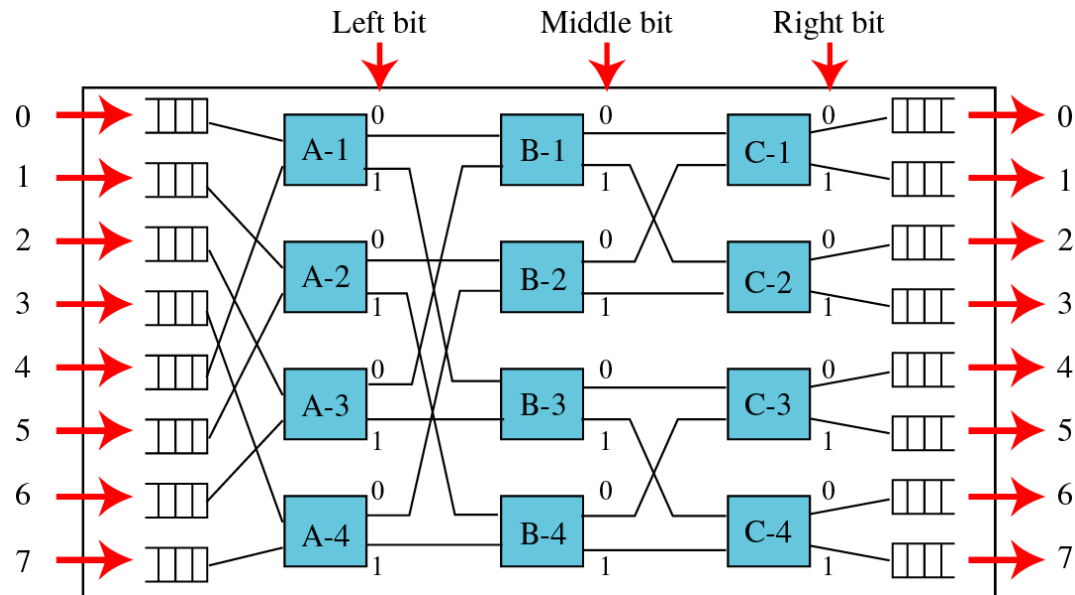
- Les paquets sont stockés dans un « pool » commun
- Gestion centralisée par le processeur de commutation (gestion QoS possible)

+ Crossbar

- Matrice NxN commandée par un processeur (ASIC)
- Vitesse élevée

+ Structures plus complexe (Banyan, etc..)

Banyan et Crossbar



Store-and-forward vs Cut-through

+ Deux procédés internes

- Store-and-forward, cut-through (variante : fragment-free)

+ Store-and-forward

- Réception complète d'une trame avant son aiguillage
- Problème : Délai et mémoires tampons

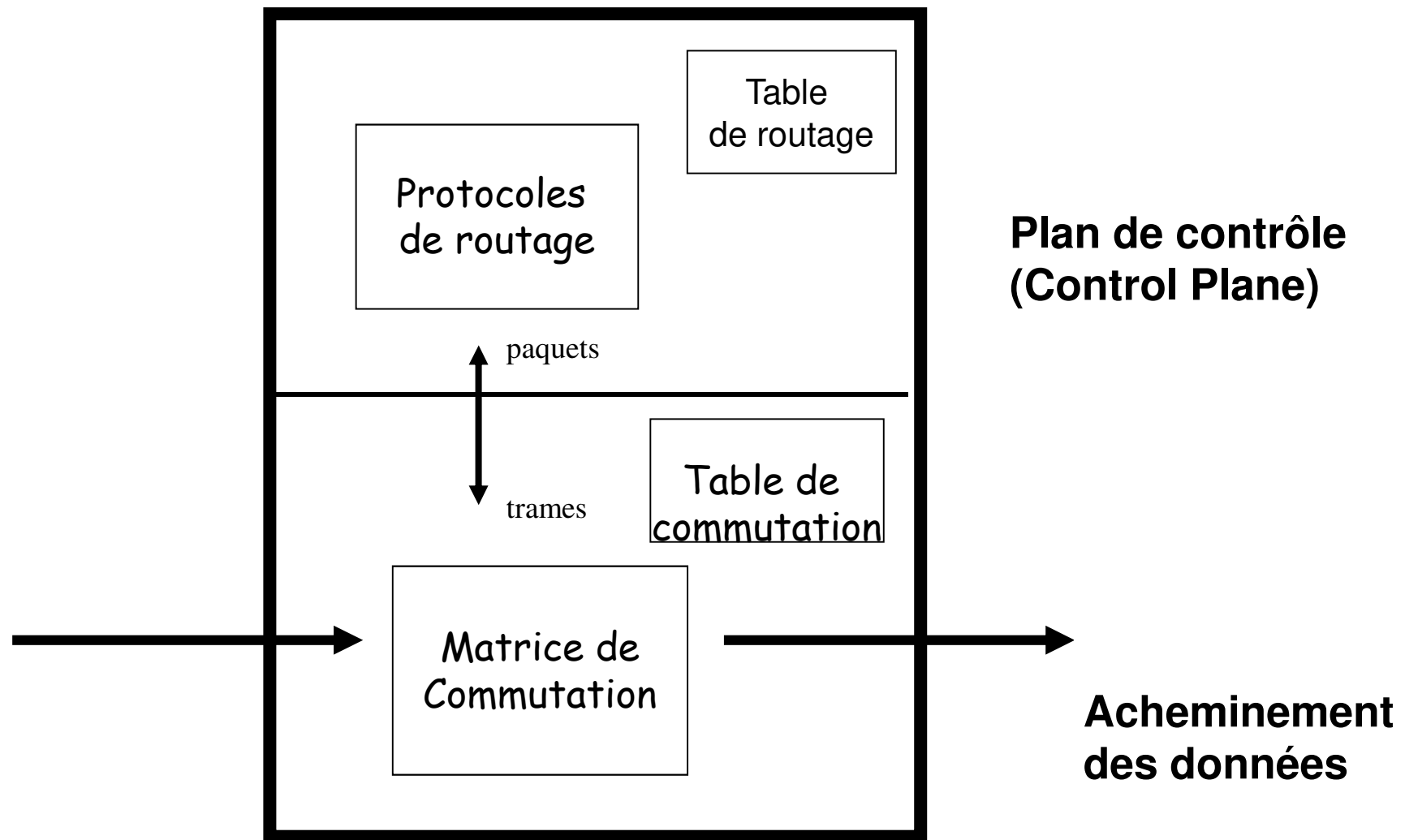
+ Cut-Through (fast-forward)

- Aiguillage « au vol » (Délai: repérage de la (des) sortie(s))
- Délai de commutation courte
- problèmes de trames mal reçues (collision par exemple)
- Variante : Fragment-free
 - + Attend les 64 premiers octets (il n'y aura plus de collision)

Table

- + Constitution : une liste des <adresse MAC, # port>
- + Stratégique pour la performance de la commutation
- + Equipement haut niveau : utilisation de CAM :
- + CAM = Content Addressable Memory
 - Recherche réalisée en matériel
 - Obtention sans délai de la correspondance <adresse, port>
- + TCAM : Ternary CAM
 - CAM = valeur exacte
 - TCAM : valeur ternaire (0, 1, X=don't care)
 - Prise en compte du groupe (joker...)

Routeur basé sur un commutateur



Commutateur vs routeur

- + Commutateur = équipement niveau 2 (L2)
 - Correspondance <entrée, sortie> en fonction de l'adresse MAC
 - Utilisation de table de localisation et du circuit spécifique
 - Nombre d'adresse relativement restreint
- + Routeur = équipement niveau 3 (L3)
 - Correspondance <entrée, sortie> en fonction de l'adresse de la couche 3 (e.g. adresse IP)
 - Classiquement réalisée en logiciels (protocole de rotage, etc)
 - Nombre d'adresse (réseaux) potentiellement élevé
- + Point commun
 - Etablir un lien entre une entrée et une sortie
- + **Layer 3 switch**: plus rapide qu'un routeur classique
 - Décision prise sur adresse IP
 - Acheminement niveau 2 à l'aide des circuits de commutation

Commutateur

fonctionnement

Du Pont au Commutateur

+ Pont

- Un point d'accès (carte réseau) par segment LAN
- L'intelligence de commutation

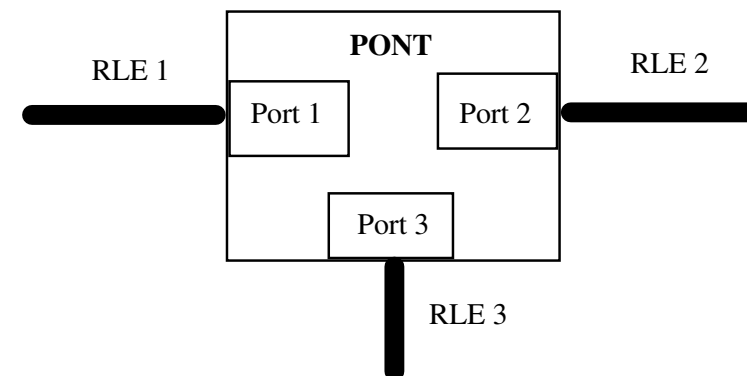
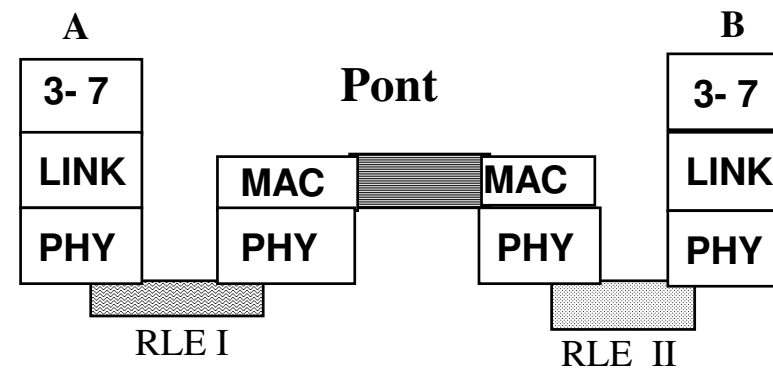
+ Commutateurs

- Mêmes dispositifs
- Reliant des stations et/ou des segments
- « Pont » avec plus de ports et fonctionnalités (VLAN, etc.)

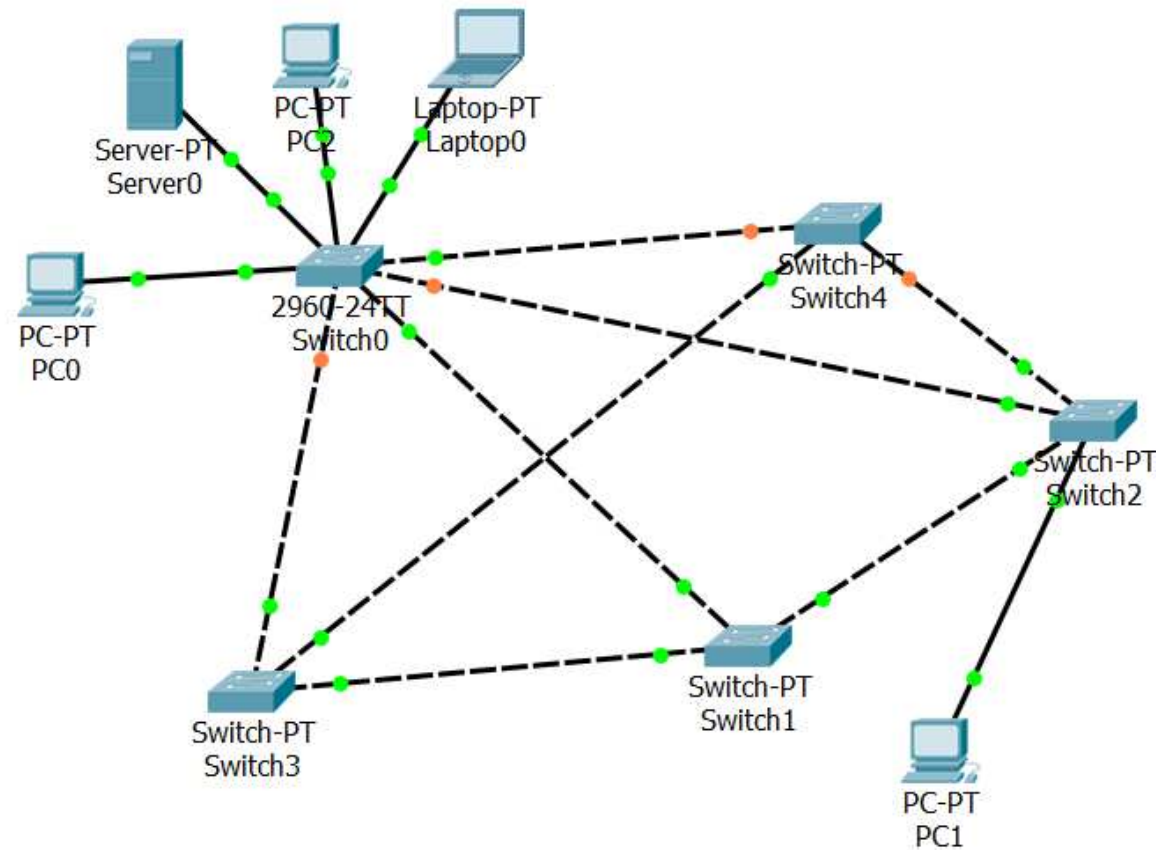
+ « Pont » = **vocabulaire historique**

- Subsiste dans des normes

+ *Dans cet exposé les 2 vocabulaires sont utilisés*

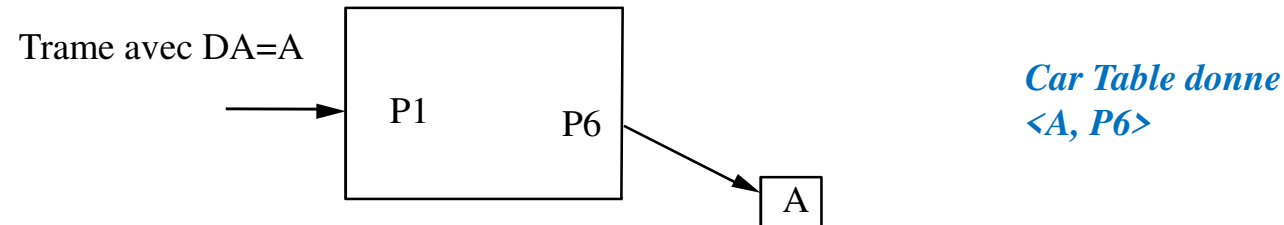


Un LAN avec 5 commutateurs



- + Un commutateur peut prendre un nombre important de stations
- + Derrière chaque port, une seule station ou un groupe de stations

Rappel : fonctionnement



+ Principe

- Connaitre l'**identité** de la **destination** (A)
- **Repérer** le port (p6) derrière lequel se trouve A
- **Transférer** la trame de P1 vers P6

+ Point de départ

- Connaissance DA et le port de provenance (P1)

+ **Prise de décision**

- + Aiguillage, filtrage, inconnu (diffusion)
- + Basé sur la table de commutation (annuaire)

+ **Table de commutation: localisation des stations**

Décision d'aiguillage

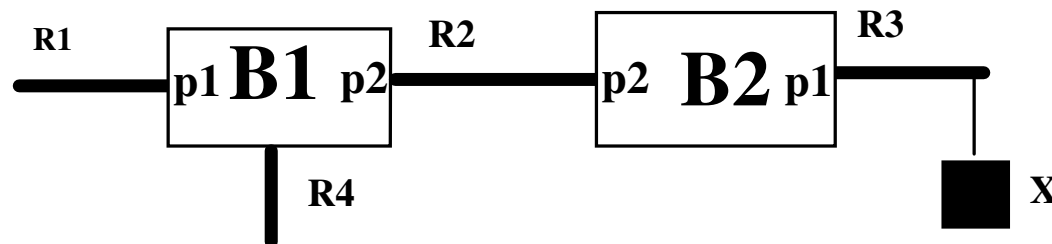
- + Problème : Décision de aiguillage (routage)
 - Environnement : interfaces (ports) multiples
 - + Notation : $p(a)$: le port associé à l'adresse a
 - Input : une trame provenant de $p(s)$ et ayant pour destination d
- + **Condition** :
 - Connaissance de la localisation de d : $\langle d, p(d) \rangle$
- + Décision (**3 cas**)
 - **Filtrage** si $p(d)=p(s)$ (destination se trouve **du même côté**)
 - **Aiguillage** si **$p(d)$ différent de $p(s)$**
 - **Inondation** sauf vers $p(s)$ (sa provenance) si $p(d)$ **inconnu**
- + Point clé : LOCALISATION
 - Difficile car l'adresse MAC est « plate » (*flat address*)

Localisation

- + Adresse MAC est « plate » (sans info. de localité)
 - Nécessité d'un recensement **explicite**
- + Inscription des stations recensés dans une LISTE
- + Matérialisation: une liste type **<adresse MAC, #port>**
- + Problèmes/précautions
 - Cette liste doit être de **taille limitée**
 - + Temps de recherche $O(\log(\text{Longueur liste}))$
 - Cette liste doit être constituée **dynamiquement**
 - + Liste limitée en longueur
 - + Toutes les stations ne peuvent être automatiquement présentes
 - + Les stations sont elles mêmes **mobiles**
- + Gestion dynamique de la liste
 - Présence statique possible de certaines adresse

Constitution de la liste

- + **Algorithme de Baran** (apprentissage *a posteriori*)
 - l'arrivée d'une trame dévoile sa localisation
 - + Pour B1, X se trouve derrière (*en direction de*) p2
 - + Pour B2, X se trouve derrière p1
 - Opération réalisée en même temps que le filtrage/aiguillage
- + Evolution dynamique de la liste
- + Critère d'exclusion basé sur le temps d'activité
 - Le temps de la dernière activité de chaque station est mémorisé



Résumé : opérations

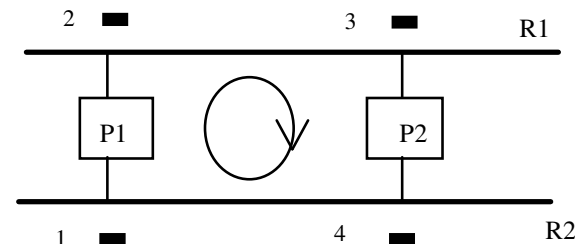
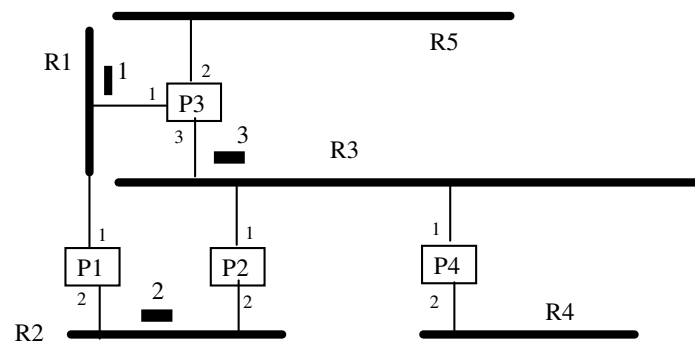
- + A l'arrivée de **CHAQUE** trame:
 - Obtenir DA, SA, port de provenance
 - **Apprentissage** (avec SA) et **Commutation** (avec DA)
- + **Apprentissage**
 - Si SA déjà existante: mise à jour (avec *timestamp*)
 - Si nouvelle adresse : Création d'une entrée dans la table
- + **Commutation** (Relais, Filtrage, inondation)
 - Décision basée sur DA et sur la table de commutation
 - Commande de la matrice de commutation (transfert de la trame)
- + **Episodiquement : Nettoyage** de la table
 - Examen et suppression des stations inactives (« dormantes »)

Double balayage: DA et SA

[illegible]

Risque de boucle (1/2)

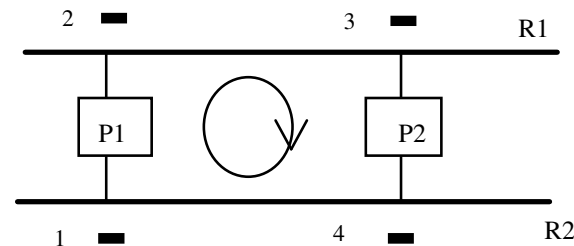
- + Besoin de sécuriser une interconnexion
 - Mise en place de deux ponts en parallèle
- + Plus généralement : interconnexion de segments multiples
 - Possibilité d'un **circuit fermé**
- + Risque de boucle si une destination n'est pas recensée
 - Raison de l'absence : DA erronée, station n'ayant plus d'existence, etc.



Risque de boucle (2/2)

+ Processus d'apparition d'une boucle

- Le pont P1 examine la trame sur R2 et l'envoie sur R1 (sens de transmission : 1->2);
- La trame arrive devant P2 (2->3)
- P2 envoie la trame vers R2 après examen (3->4)
- La trame repasse devant P1
- On recommence les mêmes étapes.



STP (Spanning Tree Protocol)

Principe
Application
Procédé

Spanning Tree Protocol

- + Norme 802.1d
 - *Transparent bridge* (vision fonctionnelle)
 - Spanning tree protocol (**STP**) (base technique)
- + Transparence : Principe de « *branche et ça marche* »
- + Absence de boucle
 - par la mise en veille des ponts de secours
- + Basculement automatique en cas de défaillance
- + Assurance d'un **chemin unique**
- + Remarque
 - Avec l'**interconnexion**, on peu **agrandir** le réseau, mais on a un réseau maillé, avec tous ses avantages et problèmes
 - Réseau local : **rétablir un espace commun** (sans maillage)

Diagram illustrating a two-stage system structure:

- Top Stage (RLE):** A thick horizontal line is connected to a thick vertical line on the left. A box labeled "PT" is connected to the vertical line and the horizontal line.
- Bottom Stage:** A thick horizontal line is connected to four boxes labeled "PT". The first and last "PT" boxes are shaded gray, while the middle two are white. These "PT" boxes are connected to a thick horizontal line at the bottom.

PT

PT

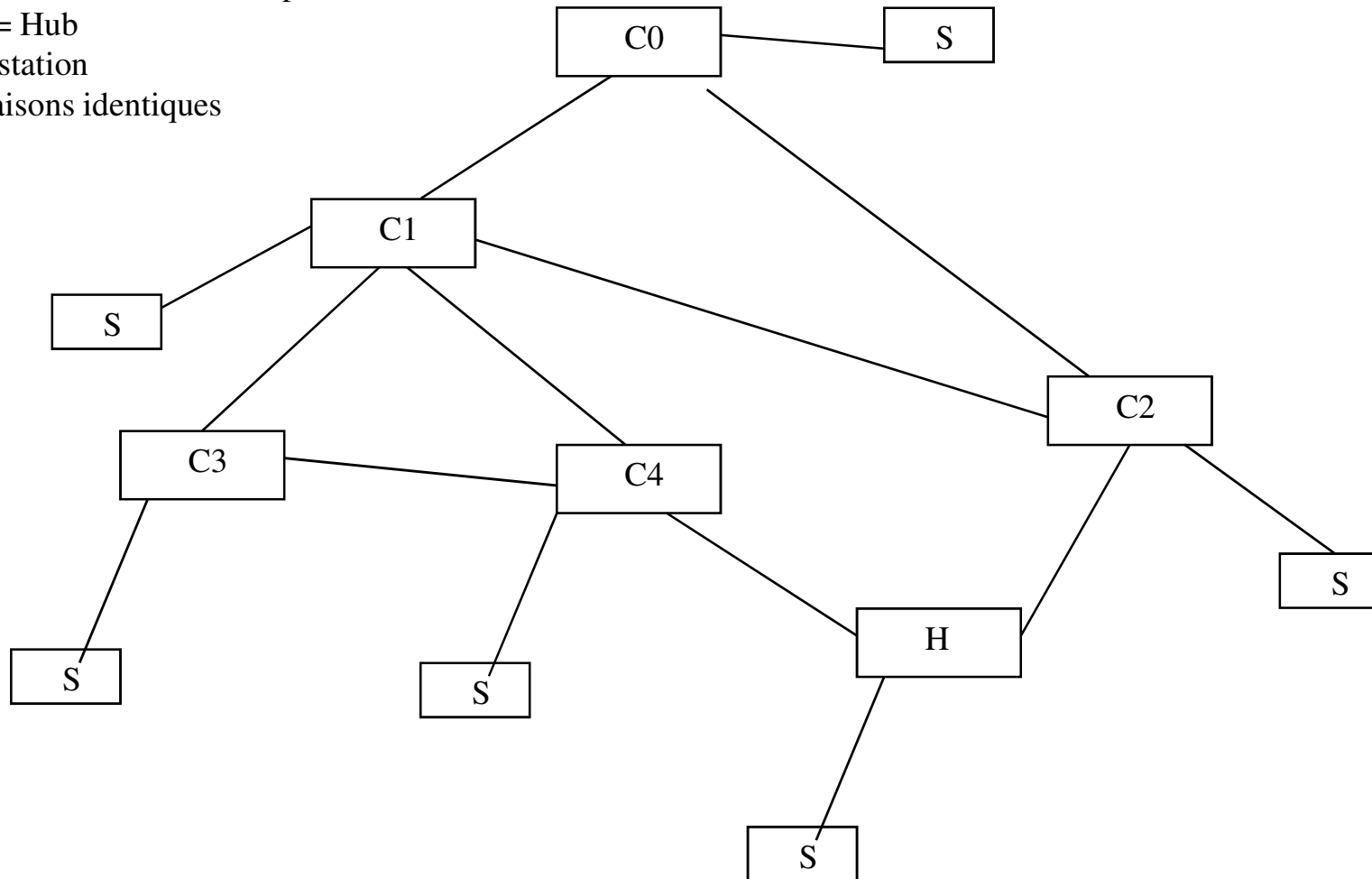
STP : un autre exemple

Cx=Commutateur avec priorité x

H = Hub

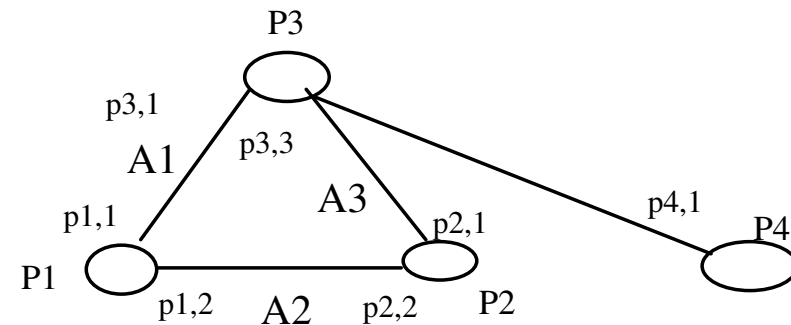
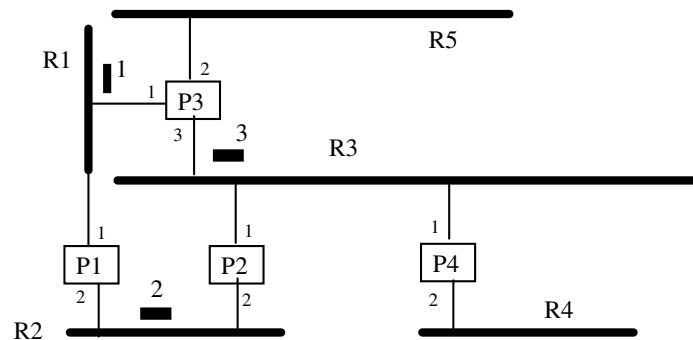
S=station

Liaisons identiques



Principe : arbre couvrant

- + Modélisation du réseau par un graphe
 - Pont = sommet
 - Liaison entre deux ponts = arc
- + Arbre couvrant
 - Tous les ponts (et les stations associées) sont reliés
 - Pas de boucle (arbre)
- + Questions : comment « couper » ? quelle branche ?



Algorithme

- + **Algorithme distribué** par échanges de messages
 - Contexte = **système distribué**
 - Messages = **BPDU** (Bridge PDU)
 - + Véhiculé avec LSAP=42(x)
 - Diffusion (**Multicast**) au **groupe STP**
 - + avec une adresse de multicast MAC spécifique (**01:80:C2:00:00:00**)
- + **Arbre = structure hiérarchique**
 - Le « rang » de chaque pont et de chacun de ses ports sont définis
- + **Racine** = pont se retrouvant à la racine de l'arbre
- + **Pont désigné** pour un segment
 - Le pont qui est chargé d'assurer son interconnexion avec le reste
- + **Port racine**
 - Le port par lequel un pont communique avec le pont racine

Paramétrage

- + Un BID (Bridge ID) sur 8 octets par commutateur
 - 2 octets (MSB) déterminant la priorité (rang),
 - 6 restant = format MAC
 - Règle : prioritaire = BID à **valeur numérique** faible
- + Un Port Id (16 bits) pour chaque port
 - 6 bits (MSb) : priorités
 - 10 bits restants : numéro de port
- + Un **coût** (path cost) est attribué à chaque port
 - Libre assignation par l'administrateur
 - Suggestion 802.1d : Coût [C(débit en Mbps)]
 - + $C(4)=250$, $C(10)=100$, $C(100)=19$, $C(155)=14$, $C(622)=6$,
 $C(1000)=4$, $C(10000)=2$
 - + (Historiquement $C(x) = 1\text{Gbps} / x$)

Les messages (BPDU)

- + Les échanges se font à travers des messages BPDU
 - Ensemble des info. retenue par l'émetteur du BPDU
 - Sa vision actuelle de l'arbre
- + Contenu d'un BPDU pour construction de l'arbre :
 - **Root BID** : Racine actuellement reconnue
 - **Coût** vers la racine
 - **Sender BID** : identité de l'émetteur
 - Port Id du port d'où part ce BPDU
- + Autres champs :
 - Valeurs de divers temporisateurs
 - Drapeaux, etc.

Message BPDU

- + Encapsulé dans une PDU LLC
- + SSAP=DSAP=42, Ctrl=03 (UI)
- + Identifiant = 0 (2 octets)
- + Version (1 oct), Type (1 oct), Flag (1 oct)
- + Identifiant Racine (8 oct)
- + Coût vers la racine (4 oct)
- + Identifiant du pont émetteur (8 oct)
- + Identifiant du port émetteur (2 oct)
- + Age message (2 oct), Age Max (2 oct)
- + Hello Time (2 oct), Forward delay (2 oct)

Message BPDU

Un message BPDU dans la version CISCO de STP: PVST

- › Logical-Link Control
- ✓ Spanning Tree Protocol
 - Protocol Identifier: Spanning Tree Protocol (0x0000)
 - Protocol Version Identifier: Spanning Tree (0)
 - BPDU Type: Configuration (0x00)
 - › BPDU flags: 0x00
 - › Root Identifier: 32768 / 0 / 00:1b:ed:86:25:80
 - Root Path Cost: 0
 - › Bridge Identifier: 32768 / 0 / 00:1b:ed:86:25:80
 - Port identifier: 0x8041
 - Message Age: 0
 - Max Age: 20
 - Hello Time: 2
 - Forward Delay: 15
 - › Originating VLAN (PVID): 5

Rôle et vocabulaires

+ **Pont Racine :**

- Le plus prioritaire des ponts (BID le plus petit).

+ **Port Racine**

- Chaque pont doit identifier un port (celui donnant le plus faible coût) via lequel il peut atteindre la racine. Un port racine est en **forwarding mode**.

+ **Pont désigné** relatif à un segment donné

- Le pont qui a gagné le contrôle du segment, il doit assurer la connexité du segment avec le reste du réseau. Le port en question est un **port désigné**, il est en **forwarding mode**
- Les autres ponts se coupent virtuellement de ce segment, les ports concernés sont **blocking (discarding) mode**.

+ Un seul pont et port désigné par segment : **pas de boucle**

Rôle et vocabulaires

+ Pont (*commutateur*)

- Pont Racine : le pont ayant la plus haute priorité
- Pont désigné : le chemin le plus court vers la racine, à défaut, la priorité la plus élevée

+ Port

- Actif (Forwarding)
- Bloqué (Blocking)
- Deux statuts intermédiaires : listening, learning.

+ Chaque pont

- Identifie son port racine (forwarding)
 - + L port ayant le plus faible coût vers la racine
- Identifie pour chaque port restant : Forwarding vs Blocking

Déroutement (1)

- + Initialement, chaque pont se croire être la racine.
- + Tâches à réaliser pour chaque pont
 - Reconnaître la **racine**
 - Identifier son **port racine**
 - Déterminer le **statut du reste de ses ports**
 - + Forwarding, Blocking
- + Etat mémorisé
 - Racine, port racine, coût vers la racine
- + Procédé : chaque pont émet sur **chaque** port des BPDU jusqu'à son blocage, avec
 - **L'état actuel** qu'il connaît
 - Ses propres info (identité, priorité)

Déroutement (2)

- + **Pont Racine** = pont ayant le BID le plus faible
- + **Port racine** = port par lequel on reçoit un BPDU avec le plus faible coût vers la racine
- + Un port par lequel on reçoit un BPDU (émis par un autre) avec un coût vers la racine plus faible devient **BLOCKING**
 - En cas d'égalité de coût, c'est BID la plus petite qui gagne
 - Ce port/pont se retire => **COUPURE** d'une branche
 - Coupure **logique** et non physique : Possibilité de basculement
- + Sinon (non bloqué, le port ayant le plus faible coût parmi tous les ponts sur le même segment), il devient implicitement le port **désigné**

Evolution de l'arbre

+ Maintien de la structure

- La racine émet périodiquement (4 sec. par défaut, 2 chez CISCO) un BPDU « Hello »
 - + Procédé classique de « battement de cœur », *heartbeat*
- Message reçu par tous les ponts via leurs ports racines
- Message (*devant être*) relayé par tous les ponts désignés

+ Basculement du port racine

- Si Hello non reçu au bout de « MaxAge » sur « port racine », basculement sur le port ayant le plus faible coût comme nouveau « port racine »

+ Ré-activation d'un pont « dormant » versus **un port**

- Non réception de Hello au bout de « MaxAge » sur **le port**

Evolution de l'arbre

- + Basculement de pont désigné :
 - Les ponts mis en veille surveille l'apparition du message relayé (délai = MaxAge)
 - Absence de ce message suppose la défaillance du pont désigné
- + Nouveau cycle de prise de contrôle
 - Ponts « dormants » *multiples* possibles
- + Le pont qui redevient actif
 - Délai d'apprentissage (listening, learning) avant activation
- + Problème : Lenteur du basculement (60-100 sec.)
- + Solution : RSTP (Rapid STP, 802.1w) : Apprentissage même pour un « dormant »

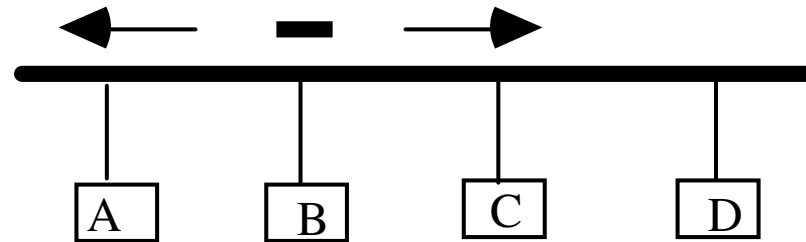
Evolution

- + Arbre couvrant : objectif = pas de boucle
- + Chemin pas toujours optimal
- + Concentration de trafics sur certains liens/nœuds et surtout sur la racine
- + Trajet rallongé pour des nœuds « voisins » séparés par le STP dans des branches différentes après coupure de lien
- + Remède :
 - Arbres multiples (MSTI : Multiple ST instance)
 - Un arbre par VLAN (MSTP, 802.1s)
- + SPB (shortest path bridge, 802.1aq, 2012)
 - Inclut 802.1d/802.1w/802.1s

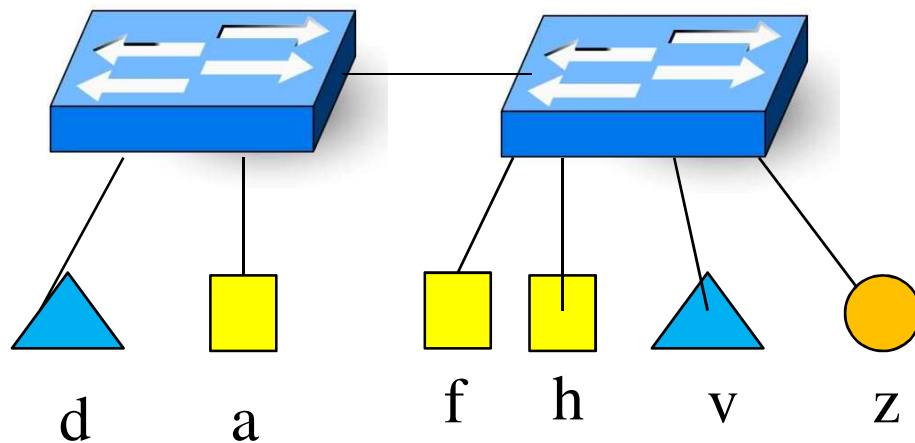
VLAN : Virtual LAN

Principe
Application
Procédé

VLAN



- Séparer hermétiquement des stations raccordées à un même commutateur dans des segments (LAN) différents
- Répandre un LAN sur plusieurs commutateurs



VLAN 1: d, v
VLAN 2: a, f, h
VLAN 3: z

Principe (1/2)

- + Rappel : réseau local classique = segment à diffusion
- + Motivation initiale
 - Avènement de la mobilité : dispersion géographique
 - un portable peut être accordé à des hubs différents
- + Réseau local virtuel
 - **association logique** des stations partageant une même périmètre de **diffusion**
 - Mise en place d'un LAN (segment) virtuel
 - les stations peuvent se situer physiquement sur un même segment (isolation par rapport aux autres) ou dans des segments physiques différents (relais)

Principe (2/2)

- + Condition de réalisation : commutateurs
 - Réalisation d 'association logique
 - (LAN/HUB classique : diffusion sur segment physique)
- + Contexte d 'utilisation (optimale)
 - infrastructure de taille large
- + Extension
 - Association commutateur-routeur
 - segmentation (segment virtuel) du réseau
 - meilleure isolation de flux
 - procédé pour l 'organisation d 'un grand réseau

Apports

- + Architecture réseau correspond mieux à l'organisation fonctionnelle
- + Reconfiguration dynamique selon besoins (groupement ad-hoc par projet, etc.)
- + Sécurité accrue (limitation en diffusion)
- + Performances accrues (moins de perturbation par diffusion)

Procédé

+ Objectif

- Réalisation d 'association logique
- Identification d 'appartenance logique

+ VLAN 1ère génération

- **identification par port**
- *identification par adresse MAC*

+ VLAN 2nd génération

- *identification par protocole*

+ Procédé : examen des en-têtes

VLAN par port (1/2)

+ Principe

- un VLAN = une liste des ports

+ Réalisation (usuelle)

- Association statique <port , numéro VLAN>
- un seul VLAN par port (**Access Port**)
- Une seule table par commutateur pour tous les VLANs
- Solution **SFD** (Single Forwarding Database)

+ Reconnaissance de l'appartenance

- Par le numéro du port d'où sort la trame

+ VLAN répandant sur plusieurs commutateur

- Liaison entre commutateur = TRUNK
- **TRUNK port** : tagger la trame avec son identifiant VLAN

VLAN par port (2/2)

+ Exemple

- un réseau avec trois commutateurs S1, S2, S3 (8 ports)
- Création de plusieurs VLAN :
 - + VLAN 1 = (S1/1, S2/1-5, S2/7, S3/2)
 - + VLAN 3 = (S1/5, S2/8, S3/7)

+ Intérêts

- Simplicité
- Facilité de réalisation et d 'administration

+ Inconvénients :

- association statique
- un seul VLAN par port

Identification d'appartenance

- + VLAN = structure virtuelle bâtie sur un ou plusieurs commutateur(s) physique(s)
- + Problème d'identification d'appartenance
 - *Critère auto-contenu dans la trame*
 - + *VLAN par adresse MAC*
 - + *VLAN par protocole*
 - Critère absente dans la trame : **VLAN par Port**
 - + **Nécessité** d'identifier le VLAN **dans** les trames (**marquage**)
- + Nécessité de la normalisation du marquage
 - (historique : solutions propriétaires (cisco...))
 - Normalisation nécessaire pour que les VLAN puissent être supportés par tous les commutateurs (de constructeurs divers)

IEEE802.1Q

- + Normalisation du format de marquage des VLAN
- + Travaux en commun avec **802.1p**
- + **802.1p** : extension de 802.1d
 - introduction des **8 niveaux de priorités**
 - extension aux VLAN du procédé « pont transparent »
 - + Un arbre couvrant par VLAN (MSTP, 802.1s)
- + Transparence aux terminaux:
 - Marquage (tag) rajouté par le commutateur source
 - Marquage (tag) retiré par le commutateur destinataire

802.1Q/802.1p : Format

- + Insertion derrière le champ SA
- + 4 octets = **TAG** = TPID + TCI (Tag Control Id.)
- + TPID (2 octets) = Tag Protocol Id
 - Valeur : 0x8100
- + TCI (2 octets) = PCP + DEI + VID
 - PCP (3bits) = Priority code point (**champ 802.1p**)
 - + 8 niveaux priorité
 - DEI (1 bit) = Drop Eligible Indicator
 - + *Historiquement CFI: pour Source Routing (Token-Ring)*
 - VID (12 bits) = VLAN Id : jusqu 'à **4095** VLAN
- + Amendement 802.3
 - Une trame 802.3 peut atteindre **1522 octets** (1518+4)

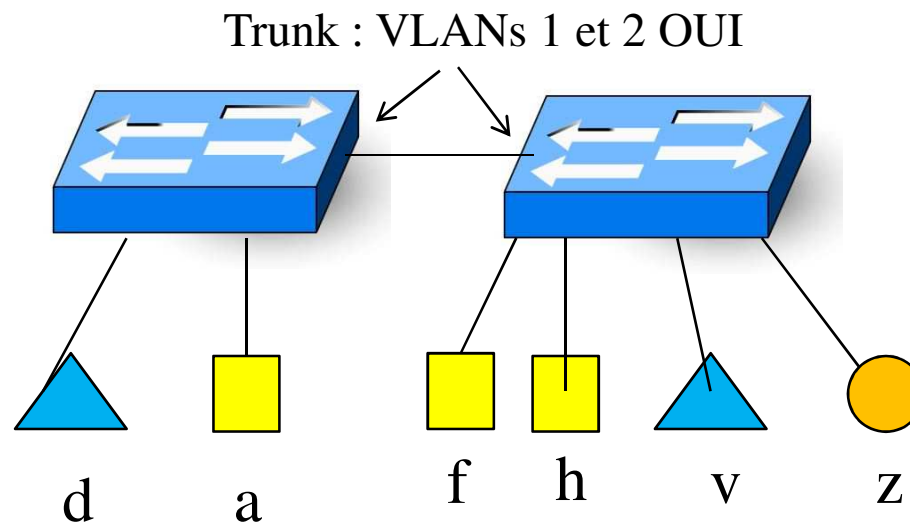
802.1Q

Trame native

DA	SA	EtherType	Data	FCS
----	----	-----------	------	-----

Tagged

DA	SA	TPID (0x8100)	TCI	EtherType	Data	FCS
----	----	------------------	-----	-----------	------	-----



VLAN 1: d, v
VLAN 2: a, f, h
VLAN 3: z

LLC

Principe

Format

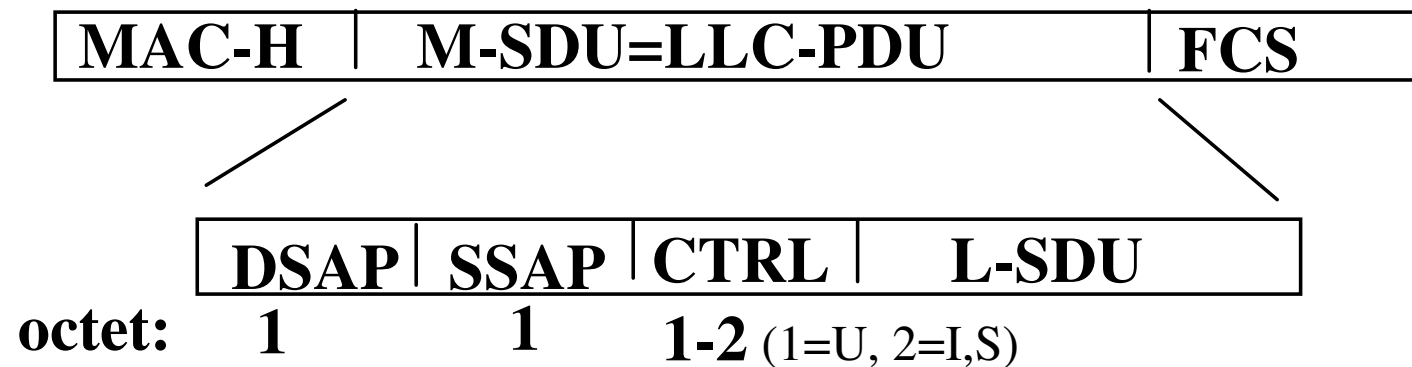
Les trois modes

LLC (802.2)

- + Devenu en 2010: ISO/IEC 8802-2
- + Gestion de liaisons virtuelles
 - Communications « point-à-point » entre les stations rendues possibles par la sous-couche MAC
- + Entité commune à tous les MAC 802
- + Trois modes de communications
- + LLC 1 : Sans connexion (Datagramme)
- + LLC 2 : Orienté connexion (*à la* HDLC)
- + LLC 3 : Datagramme avec ACK individuel

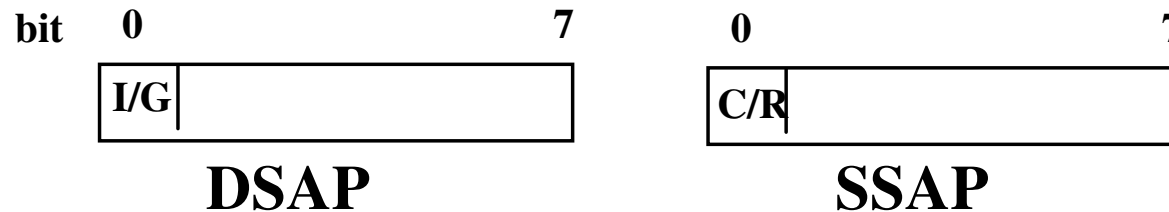
LLC : Format

- + PDU LLC = SDU MAC
- + SAP = Service Access Point
 - Désignation du protocole associé aux données transportées (L-SDU)



L-SAP (1/2)

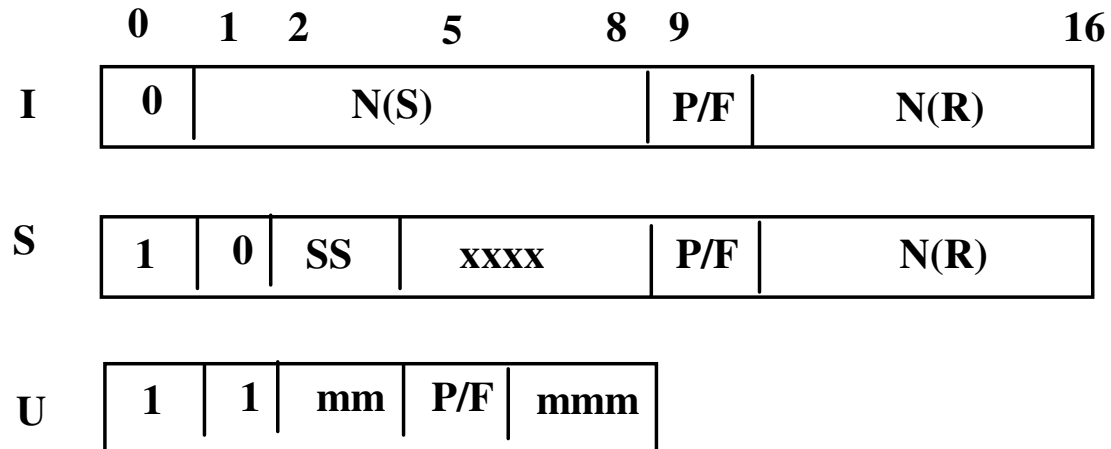
- + SAP = notion ISO générique
 - Désignation du protocole
 - Repère dans la pile protoolaire (« adresse » logicielle)
- + L-SAP : SAP niveau Liaison
- + Lsb du DSAP : Individuel(0) vs Groupe (1)
- + Lsb du SSAP : Commande (0) vs Réponse (1)



L-SAP (2/2)

- + Géré par l'IEEE
 - (obtention sous 10 jours et avec 1000 USD au 29/06/2001)
- + Quelques SAP
 - 0 = NULL, AA (x)=SNAP, F0(x)=NetBios (IBM)
- + SAP : nombre limité
- + SNAP : extension de SAP sur 5 octets
 - OUI (3 octets) + Protocol Id (2 octets)

Le champ control (1/3)



+ Type de la trame

- **I** (Information numérotée);
- **S** (Supervision) et
- **U** (Unnumbered = Non numérotée).

Le champ control (2/3)

- + $N(S)$ = Numéro de la trame
- + $N(R)$ = numéro de la prochaine trame attendue
- + P/F = **drapeau** pour Commande/Réponse
 - Commande (Pull) si Commande ($C/R=0$) **et** $P/F=1$
 - Réponse (Final) si Commande ($C/R=1$) **et** $P/F=1$
- + Les 2 bits $ss \Rightarrow$ **3** fonctions (+ celle de ACK)
 - $RR(00)$ = Prêt à recevoir
 - + Reprise de flux, action neutre, etc.
 - $RNR(01)$ = Non prêt (contrôle de flux)
 - $REJ(10)$ = Rejet
- + Les 5 bits $mm\ mmm$

Le champ control (3/3)

+ Les 5 bits mm mmm donne

- **UA:** [Réponse] Acquittement non numéroté
- **SABME:** Connexion,
- **DISC :** Disjonction,
- **DM :** [Réponse] La liaison est déconnectée.
- **FRMR :** Rejet du LPDU avec cause et diagnostic,
- **XID :** Echange d'identité entre deux entités LLC,
- **TEST:** Utilisé pour tester une liaison,
- **UI:** Information Non numérotée. Les LPDU **UI** sont, par définition, porteurs des données.

LLC1

- + Service sans connexion
- + Types de trames
 - UI : transmission de la L-SDU
 - Test : pour tester si la liaison fonctionne
 - Xid : échanger l'identité et certains paramètres de liaison
- + Primitives
 - Data.Request(SA, DA, L-SDU, classe de service)
 - Data.Indication(SA, DA, L-SDU, classe de service)
- + Commentaires
 - Service minimum (pas de suivie)
 - Classe : certains LAN (eg 802.5) offrent un système de priorité

LLC2 (1/2)

- + Service orienté connexion
- + Fonctionnement similaire à celui de HDLC
 - (si besoin, cf rappel à la fin)
- + Seul mode supporté : ABM
 - ABM=Asynch. Balanced Mode (Full Duplex Asynchrone)
- + Types de trame
 - Presque toutes, sauf UI
- + Communications : trois phases
 - Établissement de connexion
 - Transfert de données
 - + (éventuellement un Reset sans re-demander la connexion)
 - Libération

LLC2 (2/2)

+ Commentaires

- Communication fiabilisée
- Exigence en ressources
 - + Maintien de l'état de la connexion (N(S), N(R) , Tampon)
 - + CPU, RAM
- Utile en cas s'il y a réellement flux de données
- Pas nécessaire par exemple pour récupérer une mesure périodique

LLC 3

- + Service de datagramme avec ACK individuel
- + Types de trames
 - UI, UA, XID, TEST, FRMJ
- + Applications visées : contrôle industriel
 - Beaucoup de connexions potentielles
 - Pas vraiment des flux
 - + une mesure/commande rend l'ancienne caduque
 - Équipements à ressources limitées et sous contraintes temps-réel
 - LLC 1 : pas de garantie de livraison
 - LLC 2 : lourd
 - D'où LLC 3

Ethernet vs 802.3

- + Ethernet : défini avant IEEE et OSI
 - Support DIRECT des protocoles de la couche supérieure
 - + Notamment ceux de la famille IP
 - Contraintes sur les protocoles de la couche supérieure
 - + Identificateur sur **2 octets** (TYPE=2 octets)
 - + Se charger de récupérer ses **Data effectives**
 - Pas de délimitation de données (pas d'indicateur Length)
- + 802.3 : dans le cadre **normalisé**
 - Couche supérieure = LLC : support **générique** de la couche 3
 - + Encapsulation de PDU LLC
 - + Besoin de sa délimitation (champ **Length**)
 - Pas besoin d'identification de protocole (~~TYPE~~)
 - + Rôle dévolu à la sous-couche LLC (**LSAP**)
- + 802.3 + LLC : plus ouvert en théorie
- + Ethernet : **plus efficace en pratique** (domination de IP)

Vision architecturale

Modèle OSI			
		Protocoles avec identifiants sur 2 octets	Toutes les familles de protocoles
Couche sup		IP (type=x0800), ARP (Type=x0806) MPLS unicast (0x8847), etc	STP (LSAP=x42), IBM NetBios (LSAP=xF0) Extension avec SNAP (LSAP=xAA)
LLC		< <i>inexistante</i> >	802.2 (LLC)
MAC		Ethernet	802.3 (MAC)

Rappel pour le champ *Type/Length*

- Au-delà de 1536 (x600) : Type (Ethernet)
- Jusqu'à 1500 : Length (802.3)

Cas STP avec LLC/802.3

- › Frame 297: 64 bytes on wire (512 bits), 64 bytes captured (512 bits)
- ▼ IEEE 802.3 Ethernet
 - › Destination: PVST+ (01:00:0c:cc:cc:cd)
 - › Source: BrocadeC_86:25:b0 (00:1b:ed:86:25:b0)
 - Length: 50
- ▼ Logical-Link Control
 - › DSAP: SNAP (0xaa)
 - › SSAP: SNAP (0xaa)
 - › Control field: U, func=UI (0x03)
 - Organization Code: 00:00:0c (Cisco Systems, Inc)
 - PID: PVSTP+ (0x010b)
- › Spanning Tree Protocol

Un des (rares) cas d'utilisation de LLC/802.3

- *Remarque : ici STP est dans sa version Cisco PVST*