

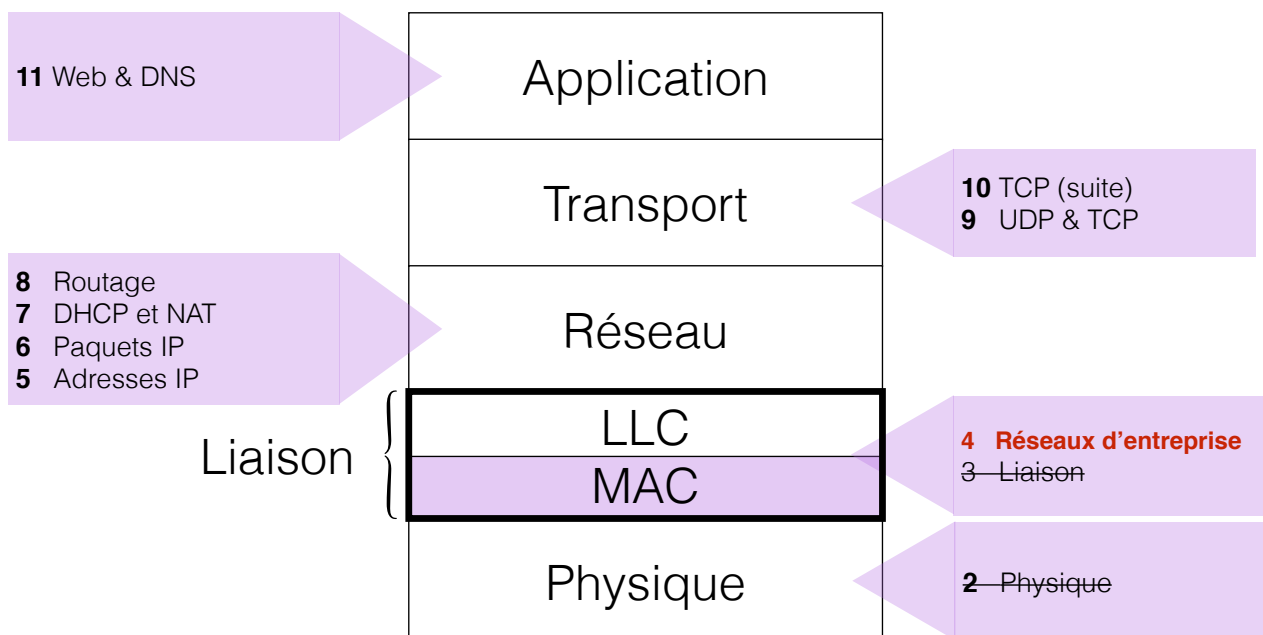
# Couche Liaison de données

## Réseaux locaux commutés

UE LU3IN033 Réseaux  
2020-2021

Prométhée Spathis  
[www-npa.lip6.fr/sp/](http://www-npa.lip6.fr/sp/)  
[promethee.spathis@sorbonne-universite.fr](mailto:promethee.spathis@sorbonne-universite.fr)

## Programme du cours



# Plan du cours

- Topologies des réseaux locaux
  - bus vs étoile
- Equipements d'interconnexion
  - bus : répéteurs (répéteurs) et ponts (bridges)
  - étoile : concentrateurs (hubs) et commutateurs (switches)
- Domaine de collision vs de diffusion
- Techniques et protocoles propres aux commutateurs
  - Accès dédiés et liaisons full-duplex
  - Cut-through switching
  - Auto-apprentissage
  - Arbre couvrant
  - VLAN

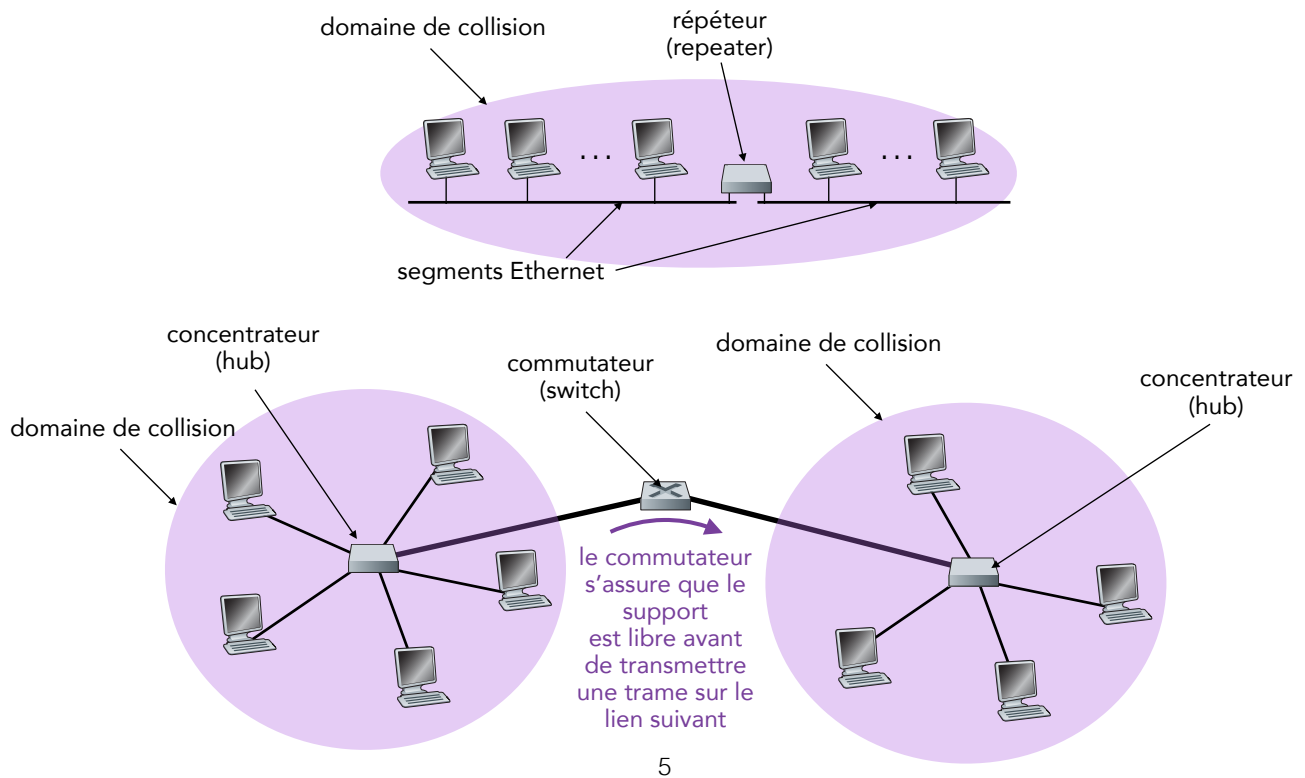
3

## Domaine de collision vs diffusion

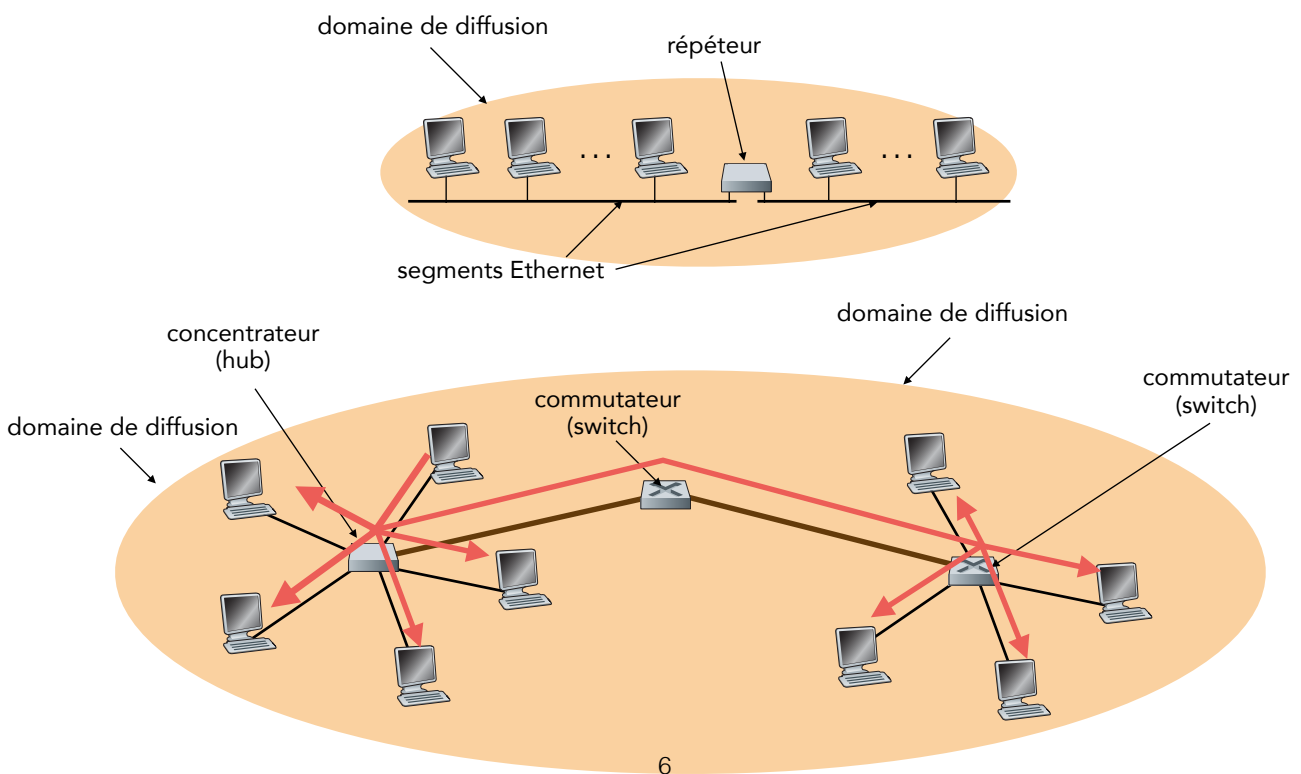
- Domaine de collision
  - Zone logique au sein de laquelle les transmissions simultanées se télescopent : collisions
    - Bus : segments Ethernet interconnectés par des répéteurs
    - Etoile : stations connectées par des concentrateurs (hubs)
  - Les commutateurs (switches) et routeurs divisent un réseau en plusieurs domaines de collision
- Domaine de diffusion
  - Zone logique au sein de laquelle une même trame peut être diffusée (broadcastée) à toutes les stations de la zone
    - Les routeurs divisent un réseau en plusieurs domaines de diffusion
    - Les commutateurs configurés avec des VLANs

4

# Domaine de collision



# Domaine de diffusion



# Interconnection des LAN

- Concentrateurs (hubs) : couche physique (pas de CSMA/CD)
  - boostent le signal
  - étendent le domaine de collision
- Facteur d'échelle :
  - nombre de stations connectées et portée du réseau
  - la bande passante est partagée par toutes les stations
- Délai et retard :
  - les collisions augmentent avec le nombre de stations
  - les collisions successives retardent les transmissions (exponential backoff)
- Pannes
  - une station défailante affecte tout le réseau

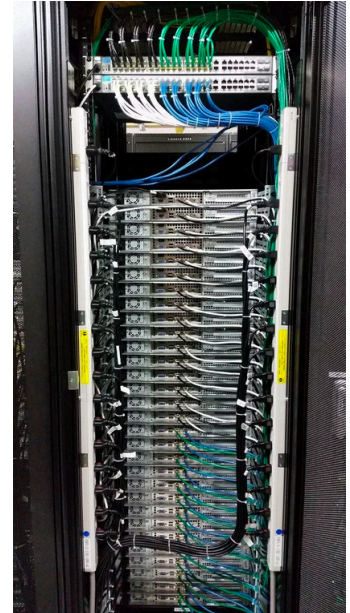
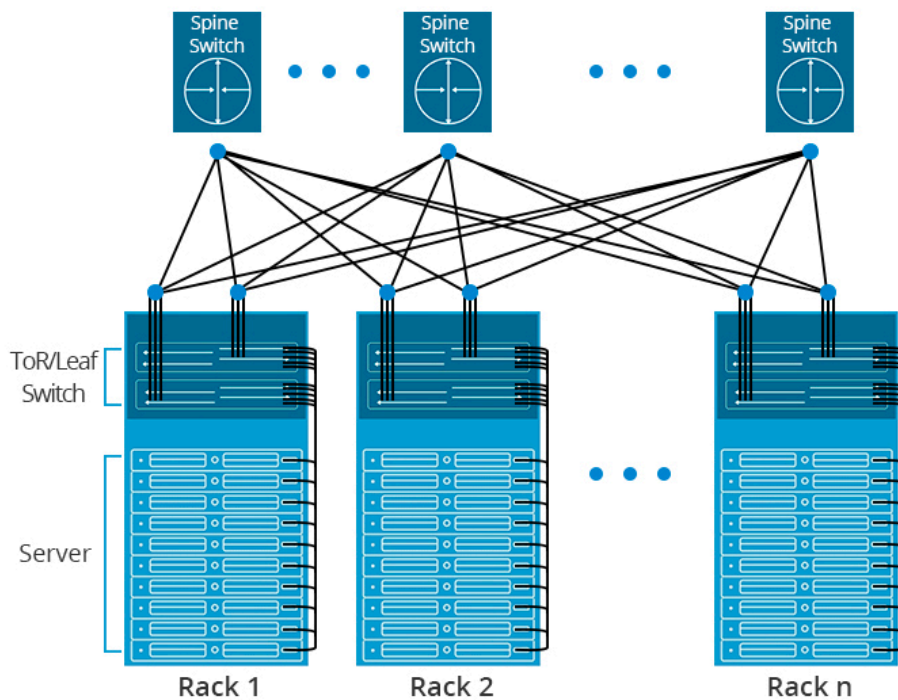
7

# Interconnection des LAN

- Commutateurs (switchs) : couche liaison
  - CSMA/CD
  - 'store & forward' ou cut-through switching
  - auto-apprentissage (filtrage du trafic)
  - arbres recouvrants (STP spanning tree protocol)
- Transparents
  - les stations n'ont pas connaissance de leur existence
- Plug and play
  - ne nécessitent aucune configuration
- Les ponts (bridges) connectent des bus

8

# Data Centers

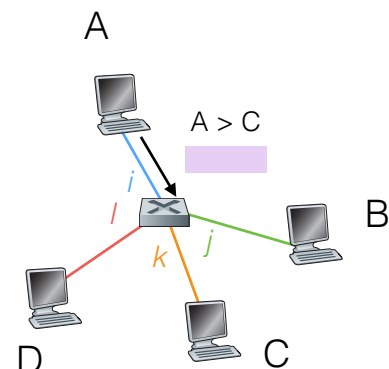


9

## Auto-apprentissage

### Peuplement de la table CAM

- Lorsqu'un trame arrive :
  - inspecter l'adresse MAC source
  - associer cette adresse au port d'entrée de la trame
  - créer une entrée dans la table CAM
  - associer un TTL (âge) à cette entrée
    - état mou
- Le TTL permet
  - de maintenir la taille de la table CAM petite
  - de prendre en compte
    - les changements de topologie
    - les stations qui bougent ou qui deviennent inactives

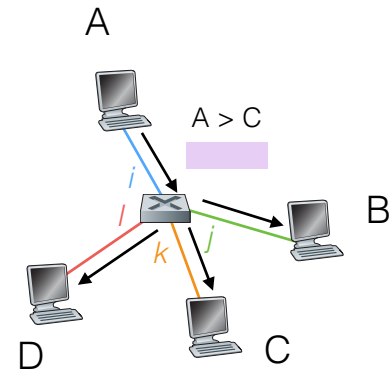


A	i

# Auto-apprentissage

## Destinations inconnues

- Si la destination n'est pas connue :
  - envoyer la trame sur tous les ports à l'exception du port d'entrée
  - inonder permet de découvrir où sont situés (comment joindre) les stations du réseau
  - Rappel : les commutateurs ne limitent pas systématiquement le domaine de diffusion



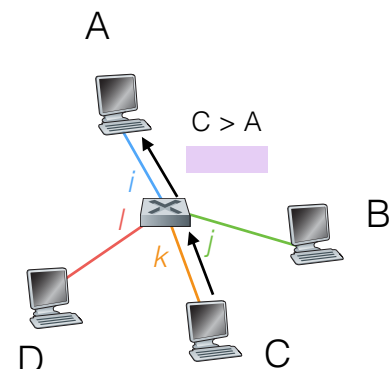
A	i

11

# Auto-apprentissage

## Destination connue

- Si la destination est connue :
  - envoyer la trame sur le port indiqué pour cette destination par la table CAM si différent du port d'entrée de la trame
  - pour éviter les boucles d'acheminement



A	i
C	k

12

# Auto-apprentissage

## Acheminement/Filtrage

- Sur réception d'une trame :

chercher l'adresse destination dans la table CAM

si une entrée est trouvée alors

si le port indiqué par l'entrée est identique au port d'entrée de la trame alors  
supprimer la trame

sinon

envoyer la trame sur le port indiqué par l'entrée de la table CAM

sinon

inonder

13

# Commutateurs vs Concentrateurs

## Avantages

- Facteur d'échelle
  - réduction des collisions :
  - augmentation de la portée du réseau
- Filtrage du trafic
  - réduction de la quantité de trafic inutile
  - préservation de la bande passante
- Confidentialité
  - amélioration (non systématique)

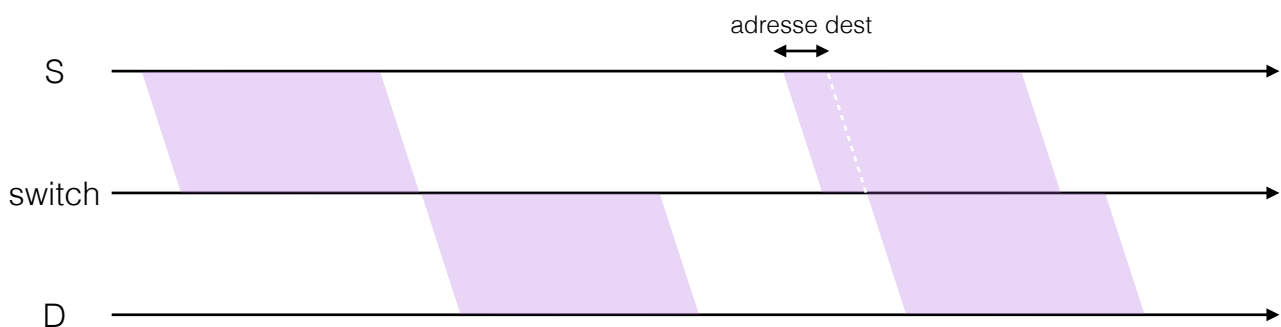
## Inconvénients

- CSMA/CD
  - mémoires pour stocker les trames
  - solution : liens full duplex
- Détection des trames erronées
  - retard dans le traitement des trames
  - solution : cut-through switching
- Construction des tables CAM
  - auto-apprentissage
  - solution : états mous pour limiter leur taille
- Coût

14

# Cut-Through Switching

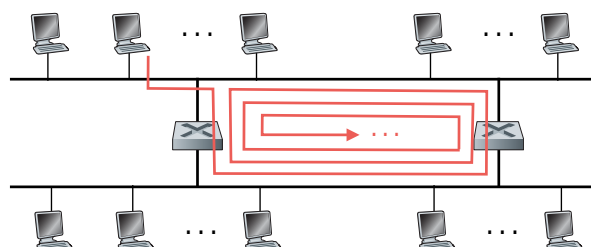
- Bufferisation des trames
  - coûteux en termes de temps et de mémoire
- Transmettre la trame aussitôt que possible
  - inspecter la table CAM dès que l'adresse destination reçue
  - transmettre la trame sur le port de sortie (si le support est libre) sans attendre d'avoir reçu le reste de la trame
  - inconvénient : propagation des erreurs



15

# Inondation et boucles

- Les commutateurs ont parfois besoin d'inonder
  - les trames à destination d'adresses inconnues
  - les trames à destination de l'adresse FF:FF:FF:FF:FF:FF
- L'inondation des trames peut entraîner des tempêtes de broadcast
  - le réseau peut contenir des boucles
    - volontaires : redondance pour résister aux pannes
    - involontaires : erreurs de câblage
  - l'entête des trames Ethernet ne contient pas de champ TTL

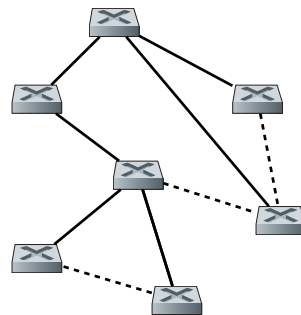
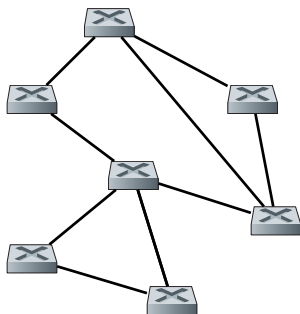


16



# Arbre recouvrant

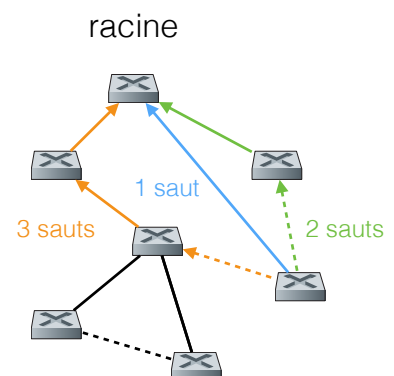
- Limiter la circulation du trafic
  - en évitant certains liens pour rompre les boucles
  - sans rendre des destinations injoignables
- Construire une arbre
  - qui couvre tous les commutateurs
  - mais ne contenant pas tous les liens du réseau



17

## Construction de l'arbre couvrant

- Election de la racine
  - commutateur avec l'identifiant le plus petit
    - adresse mac
- Identification du port racine
  - chaque commutateur identifie le port qui lui permet de joindre la racine le long du plus court chemin
  - les autres ports sont désactivés
    - peuvent être réactivés si la racine ou le port racine change
- Messages périodiquement échangés : (Y, d, X)
  - X envoie ce message à ses voisins directs
  - X pense que Y est la racine
  - d est la distance qui sépare X de la racine



18

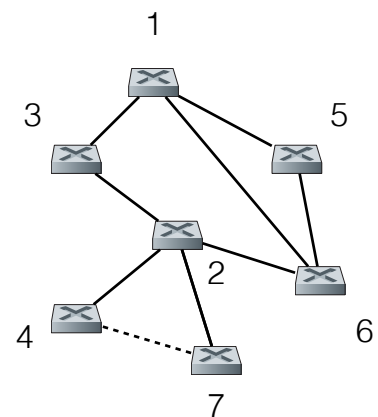
# Etapes de construction de l'arbre couvrant

- Initialement :
  - les commutateurs s'annoncent tous comme étant la racine
  - exemple : le commutateur X envoie à ses voisins (X, 0, X)
- Les commutateurs reconsidèrent leur vue concernant la racine
  - si un voisin annonce une racine avec un identifiant plus petit...
  - ...le commutateur met à jour sa connaissance de la racine
- Les commutateurs calculent la distance qui les séparent de la racine
  - incrémenter la distance annoncée par leurs voisins
  - identifier le port qui permet de joindre la racine selon le plus court chemin
    - en cas d'égalité, choisir le chemin passant par le voisin avec le plus petit identifiant
    - les autres ports sont temporairement bloqués
  - l'état des ports doit être rafraîchi régulièrement
    - supprimé si non rafraîchi pour la durée d'un TTL (état mou)

19

## Point de vue du commutateur 4

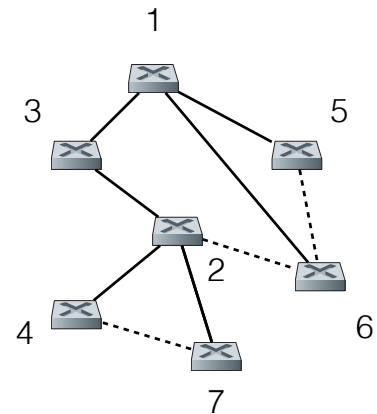
- Le commutateur C4 pense être la racine
  - envoie (4, 0, 4) aux commutateurs 2 et 7
- C4 reçoit le message (2, 0, 2) du commutateur C2
  - commence à considérer C2 comme étant la racine
  - calcule la distance du chemin vers C2 :  $d = 1$
  - envoie le message (2, 1, 4) à 2 et 7
- C4 reçoit de C7 le message (2, 1, 7)
  - calcule la distance du chemin vers C2 passant par C7 :  $d = 2$
  - le chemin direct étant plus court...
  - ... C4 désactive le port passant par C7



20

# Point de vue du commutateur 4

- C2 reçoit (1, 1, 3) et (1, 1, 6)
  - C2 sélectionne C1 comme étant la racine
  - C2 choisit le chemin passant par C3 pour atteindre C1 (identifiant de C3 < à celui de C6)
  - C2 envoie (1, 2, 2) à ses voisins
- C4 reçoit le message (2, 0, 2)
  - C4 sélectionne C1 comme étant la racine
  - C4 calcule la distance du chemin vers C1 :  $d = 3$
  - C4 envoie le message (1, 3, 4) à C2 et C7
- C4 reçoit de C7 le message (1, 3, 7)
  - calcule la distance du chemin vers C1 passant par C7 :  $d = 4$
  - le chemin passant par C2 étant plus court...
  - ... C4 désactive le port passant par C7



21

## Algorithme STP

- L'algorithme doit réagir aux pannes
  - panne du commutateur racine
    - élection d'une nouvelle racine : commutateur suivant avec l'identifiant le plus petit
  - panne des autres commutateurs et des liens
    - recalcul de l'arbre recouvrant
- Les commutateurs envoient périodiquement leurs messages STP
  - la racine continue à s'annoncer comme étant la racine : (1, 0, 1)
  - les autres commutateurs continuent
    - à calculer la distance qui les séparent de la racine
    - à envoyer leur messages à leurs voisins directs
- Détection des pannes sur expiration de TTL
  - les ports restent désactivés tant que le port racine est rafraîchi
    - réception de messages périodiques indiquant la distance la plus courte vers la racine
  - l'absence de messages provoquent l'expiration de l'état des ports

22

# VLAN : LAN Virtuels

- Les commutateurs Ethernet
  - divisent le réseau en sous-domaines de collision
  - ne divisent pas le réseau en sous-domaine de diffusion
    - un seul domaine de diffusion : une trame inondée est reçue de tous
- Sécurité
  - Les stations du réseau local appartiennent toutes au même domaine de diffusion
    - mode promiscuité des cartes Ethernet
    - tous les trames que voit passer une carte sont passées au CPU
  - Isoler les trafics permet d'améliorer la confidentialité
- Charge
  - Certaines portions du réseau peuvent être plus chargées que d'autres
  - Préserver la bande passante
    - en exploitant la localité spatiale des trafics
- Découpage du réseau en sous-domaines de diffusion
  - Isoler les trafics au sein de chaque sous-domaine de diffusion

23

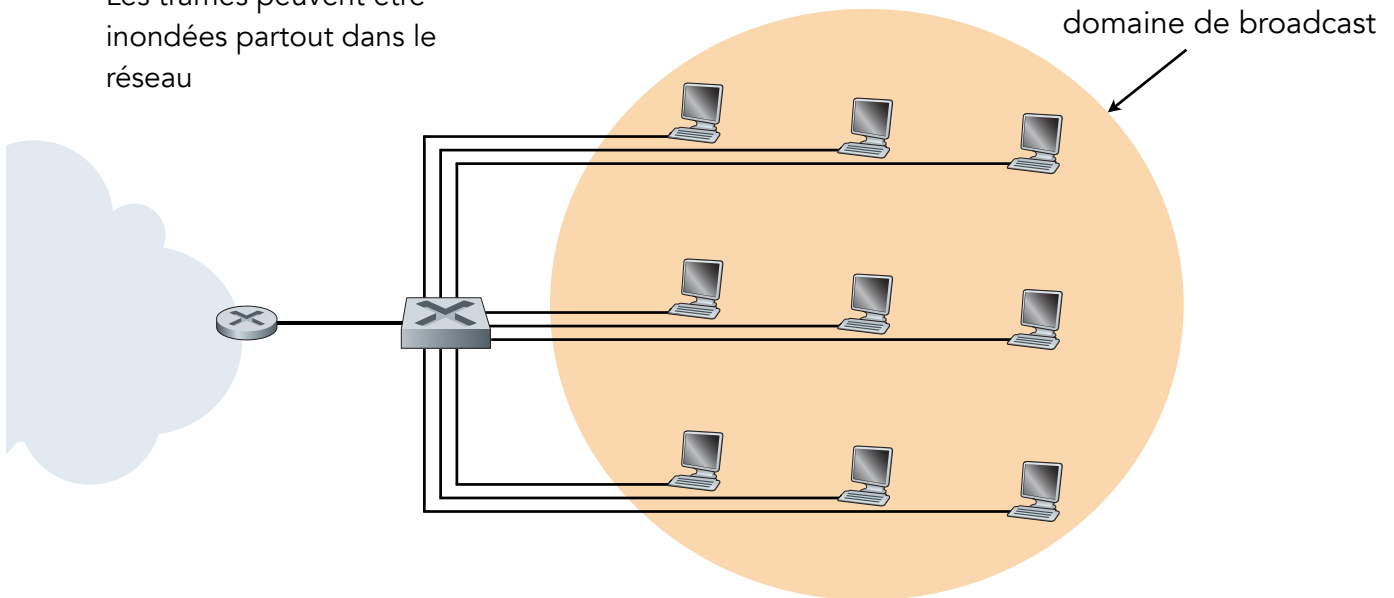
## (Ré-)Organisation logique du réseau

- Decoupage du réseau en sous-domaines de diffusion
  - réduire de la taille des tables CAM
  - limiter la complexité du STP
  - limiter la portée des trames inondées
    - sécurisation par isolement des trafics
    - préservation de la bande passante
- Réorganisation logique des stations (utilisateurs)
  - en tenant compte des relations organisationnelles/fonctionnelles des utilisateurs au sein de l'entreprise
    - regroupement des stations selon leur appartenance au même service/département
    - indépendamment de leur position physique
  - pour améliorer la confidentialité et l'isolation du trafic
    - sans recâblage

24

# Domaine de broadcast

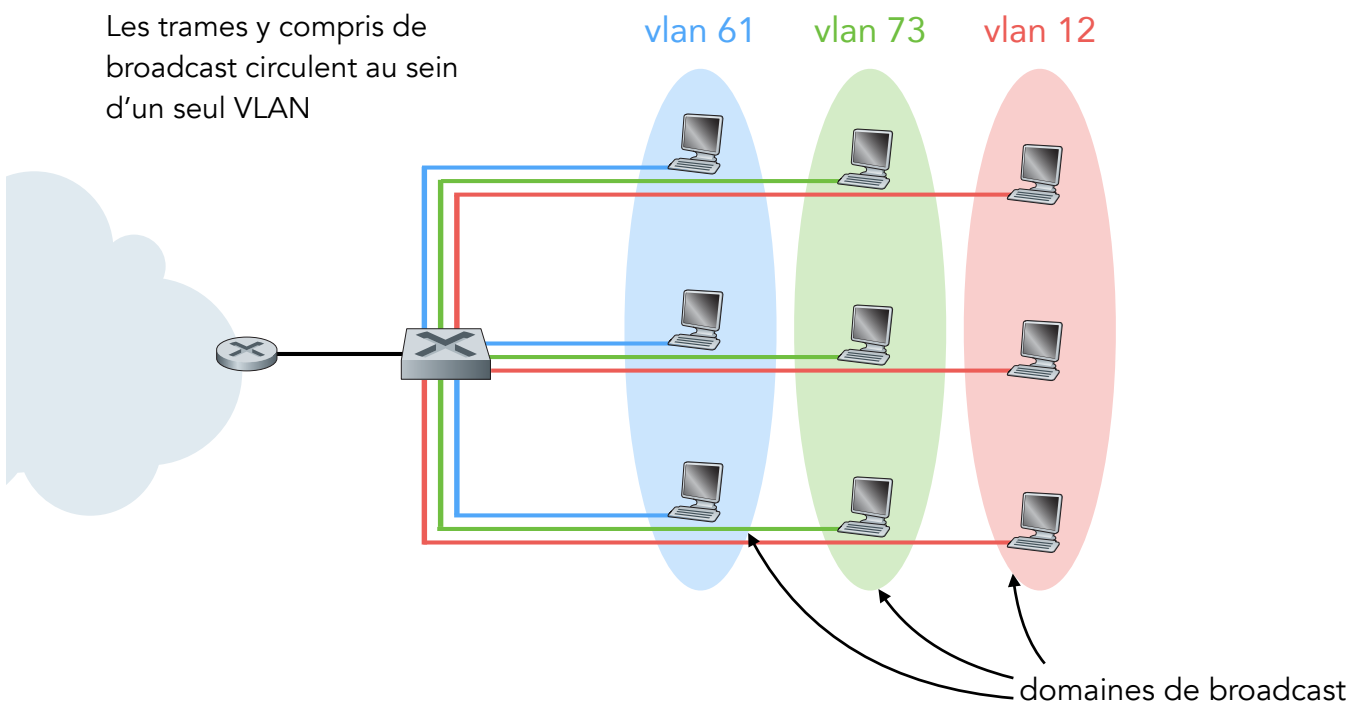
Les trames peuvent être inondées partout dans le réseau



25

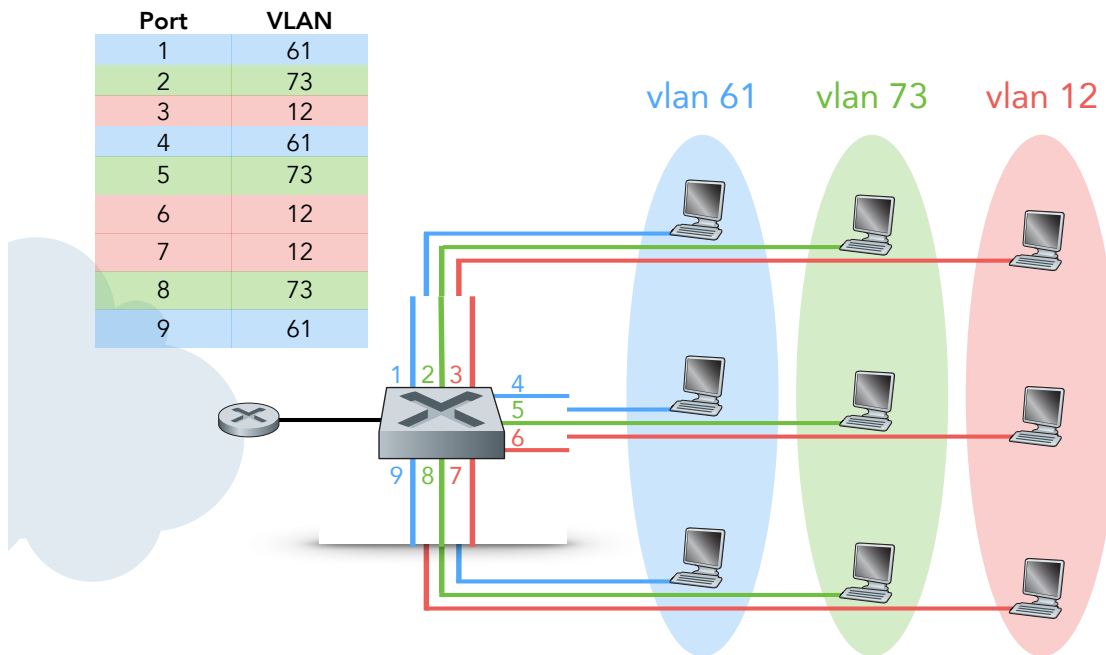
# Virtual LANs

Les trames y compris de broadcast circulent au sein d'un seul VLAN



26

# Virtual LANs



Les trames reçues sur le port 1 sont transmises uniquement sur les ports 4 et 9

27

## Appartenance aux VLANS

- Les commutateurs sont configurés avec une table de VLAN
  - indiquant à quel VLAN appartient une trame
- Appartenance des trames aux VLAN
  - Statique
    - définie par le port du commutateur
  - Dynamique
    - **définie par l'adresse MAC source des trames**
    - définie par le champ Type des trames
    - définie par l'adresse IP source du paquet encapsulé
    - définie par l'application véhiculée dans le paquet encapsulé

28

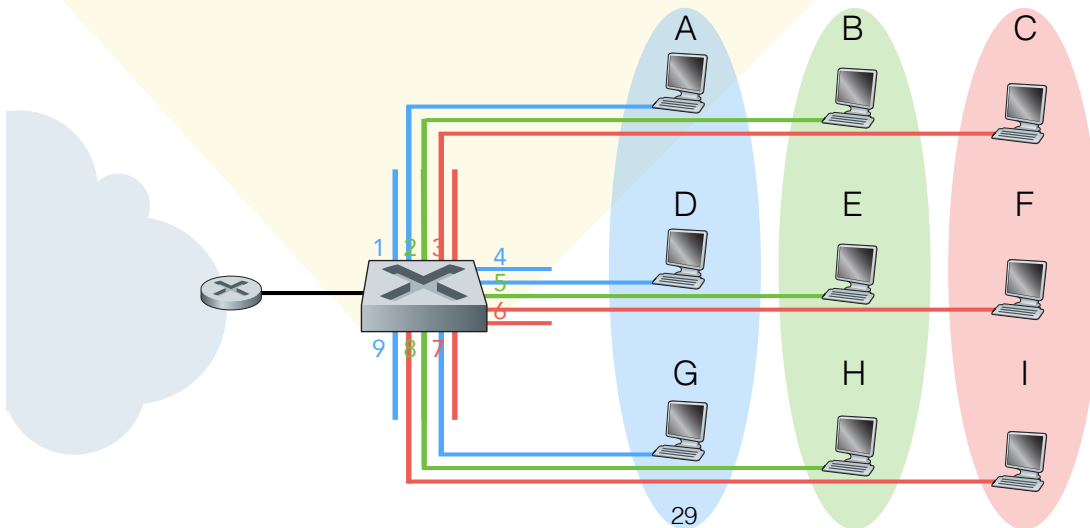
table statique construite  
manuellement par l'administrateur

VLAN 61	VLAN 73	VLAN 12
MAC A	MAC B	MAC C
MAC D	MAC E	MAC F
MAC G	MAC H	MAC I

table dynamique construite  
par le commutateur

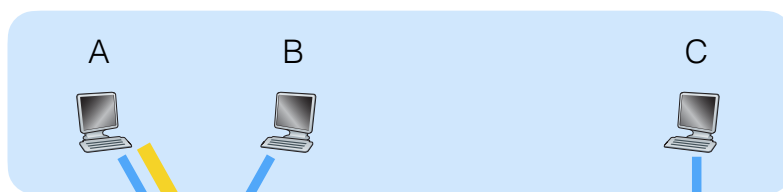
Port	VLAN
1	61
2	73
3	12
4	61
5	73
6	12
7	12
8	73
9	61

L'association des ports  
aux VLAN se fait sur  
réception des  
premières trames



## Interconnexion de commutateurs

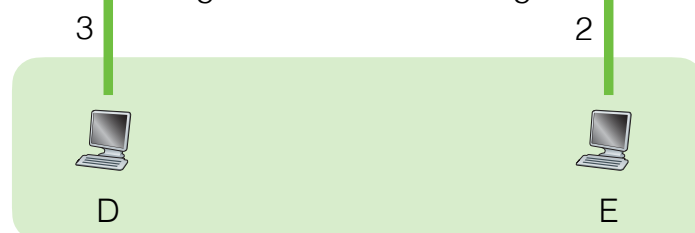
VLAN 1



Port	VLAN
1	1
2	2
5	1, 2

Port	VLAN
1	1
2	1
3	2
5	1, 2

VLAN 2



Comment C2 peut-il  
savoir sur quel port  
transmettre la trame  
envoyée par A à C ?  
(le port 5 de C2 est  
associé aux deux VLAN)

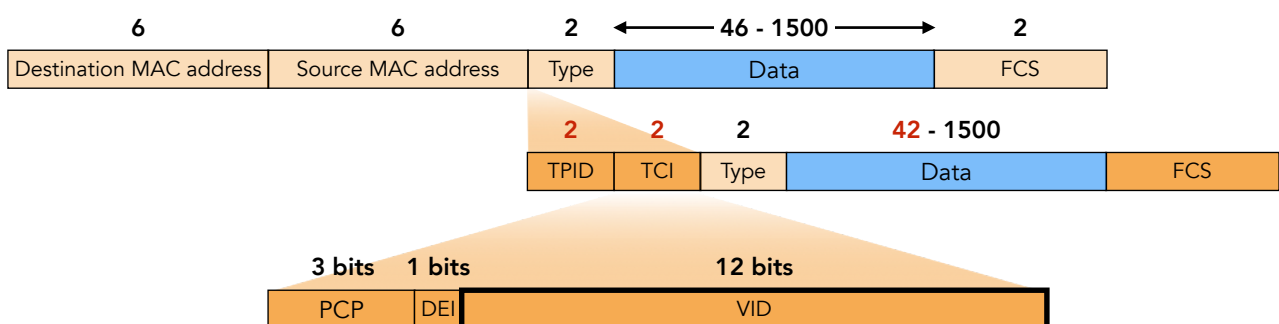
Etiquetage des trames !

# Transfert des trames entre deux commutateurs

- Ajouter l'association (Adresse MAC, VLAN) dans les commutateurs
  - le commutateur 2 peut ainsi savoir à quel VLAN transmettre une trame à l'aide de l'adresse MAC source de la trame
  - association VLAN/Ports et VLAN/Adresse MAC sur tous les commutateurs
    - configuration laborieuse et fastidieuse
- Ajouter deux liaisons physiques entre les deux commutateurs
  - une liaison par VLAN : les deux ports d'extrémité associé au même VLAN
    - coûteux
- Ajouter le numéro de VLAN dans l'entête des trames
  - 802.1Q : format des trames VLAN-"étiquetées" (tagged)

31

## Trames 802.3Q

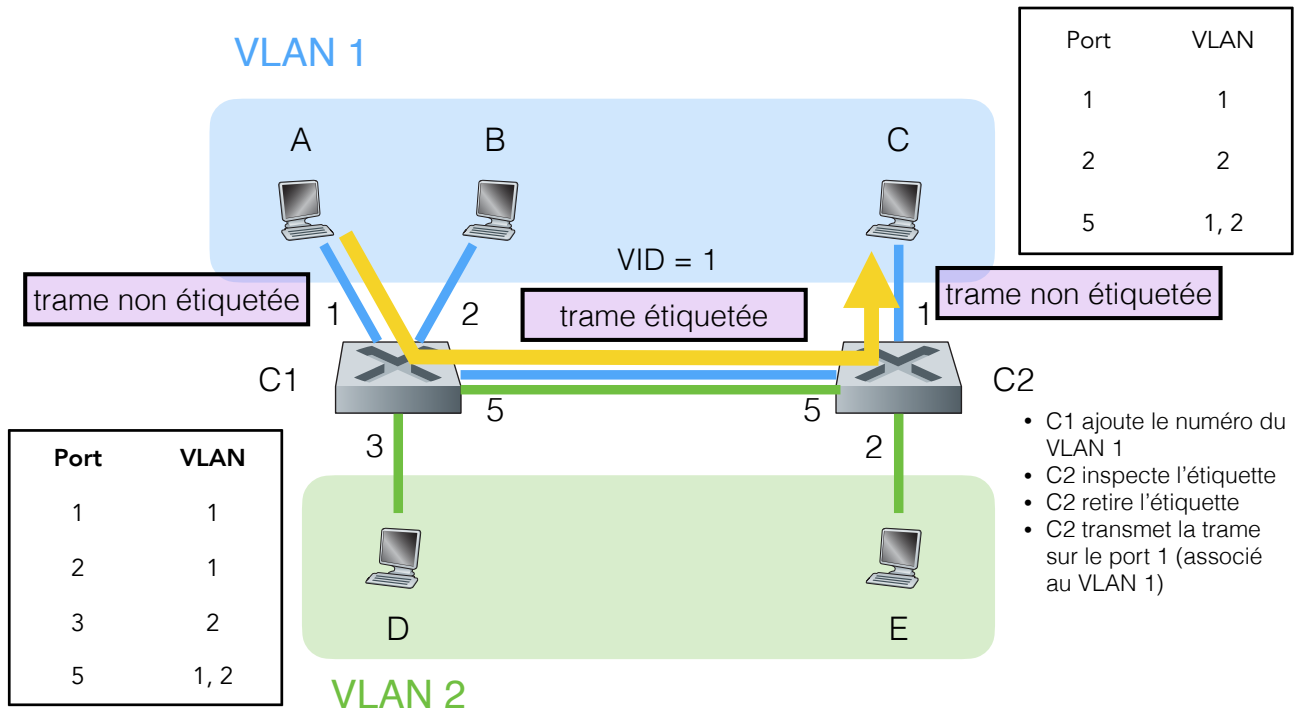


- Tag protocol identifier (TPID)
  - 0x8100 pour les trames IEEE 802.1Q
- Tag control information (TCO)
  - Priority code point (PCP)
    - IEEE 802.1p class of service
  - Drop eligible indicator (DEI)
    - indiquent des trames qu'il est possible de supprimer en cas de congestion
  - VLAN identifier (VID)
    - indique le numéro de VLAN auquel la trame appartient

32



# Interconnexion de commutateurs



33

# Commutateurs

## Avantages

- Plug-and-play
  - configuration automatique
- Domaines de collision
  - accès efficace et rapide au support
- Acheminement rapide
  - filtrage des trames
- Parcours des tables CAM
  - comparaison des 48 bits de l'adresse MAC destination

## Inconvénients

- La typologie se restreint à un arbre recouvrant
  - plus court chemin à la racine
- Taille des tables CAM et ARP
  - longues pour les réseaux de grande taille
- Tempêtes de broadcast
  - effondrement du réseau

# Conclusions

- Interconnecter des segments Ethernet
  - Répéteurs (bus) /concentrateurs (étoile) (repeaters/hubs)
  - Ponts (bus) /commutateurs (étoile) (bridges/switches)
- Concepts propres aux commutateurs
  - 'Cut-through switching'
  - Auto-apprentissage (table CAM)
  - Arbres couvrants (protocole STP)
  - LAN virtuels (VLAN)
- Cours prochains : Couche Réseau dans Internet