

# Chap 9 - Réseaux locaux commutés

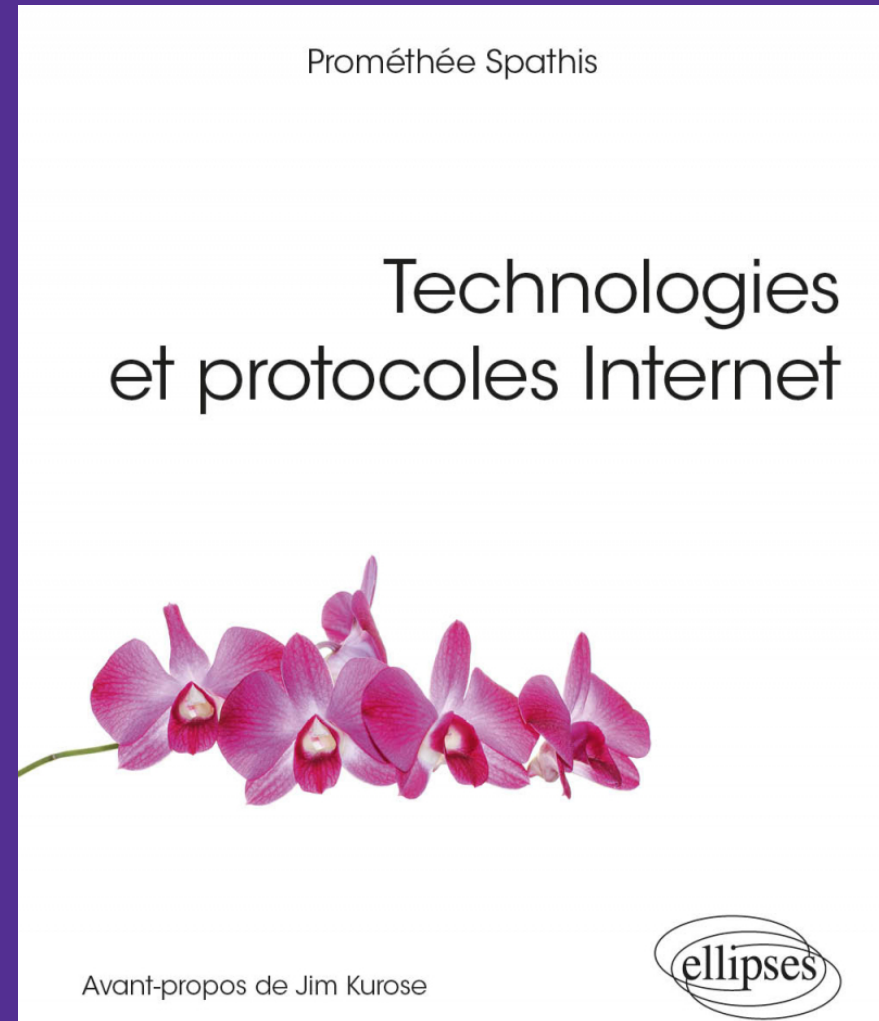
Ces transparents sont mis à disposition de tous (étudiants, enseignants, lecteurs).

En contrepartie, merci de bien vouloir :

- mentionner leur source,
- préciser la mention de copyright.

Merci et bon cours !

© 2020 - 2023 Promethee Spathis  
All Rights Reserved



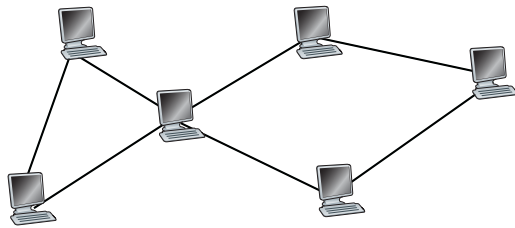
# Plan du cours

- Topologies des réseaux locaux
  - Point-à-point : réseaux partiellement ou entièrement maillés
  - Partagé (à diffusion naturelle) : bus, anneau, étoile
- Medium Access Control
  - Ethernet CSMA/CD
  - Wifi CSMA/CA
- 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

# Méthodes de contrôle d'accès

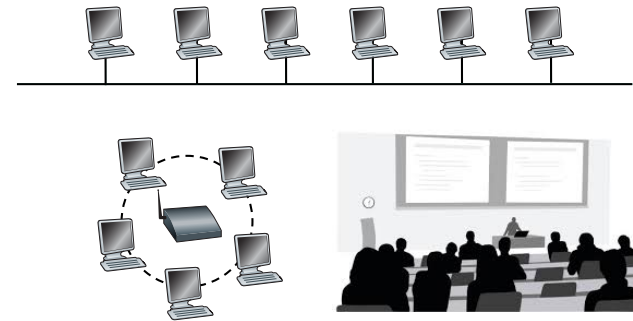
# Topologies des réseaux locaux

## Réseaux point à point



- Chaque lien connecte :
  - deux stations
  - ces stations peuvent être des routeurs
  - elles exécutent un protocole liaison de données en mode point à point :
    - HDLC, PPP
- Topologie adaptée aux réseaux longue distance

## Réseaux à diffusion naturelle

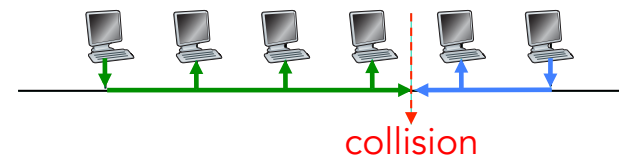
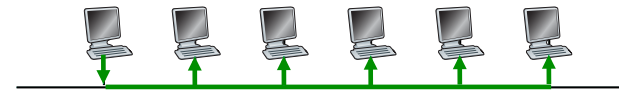


- Plusieurs stations partagent un même support de transmission
  - une trame est reçue par toutes les stations connectées au support
- Nécessitent des méthodes de contrôle d'accès au support
- Topologie adaptée aux réseaux locaux
  - Exemple : Ethernet, WiFi

# Méthodes de contrôle d'accès

- Support de transmission partagé

- Plusieurs stations sont connectées au même support
- Les transmissions sont reçues par l'ensemble des stations
  - Une copie suffit à une trame pour être reçue de tous
- Des transmissions simultanées entraînent des collisions
  - Les collisions brouillent les communications et les rendent inintelligibles



- Méthodes de contrôle d'accès

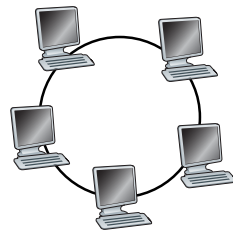
- Algorithmes distribués pour partager le support
- Ces algorithmes déterminent quelle station peut transmettre à un instant donné
- Contrôler l'accès revient à partager la bande passante parmi toutes les stations (équité)

# Topologies physiques courantes des réseaux locaux

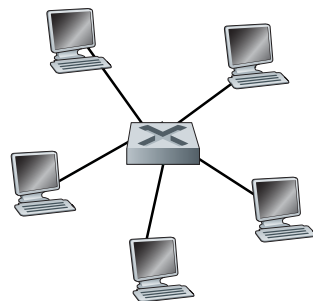
- Bus



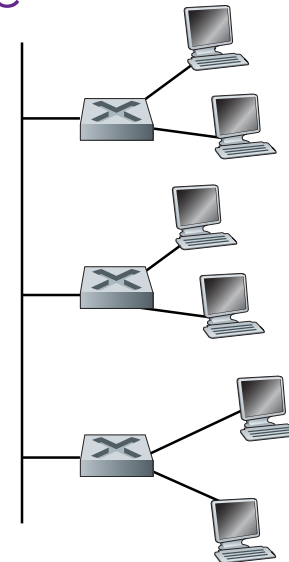
- Ring



- Star



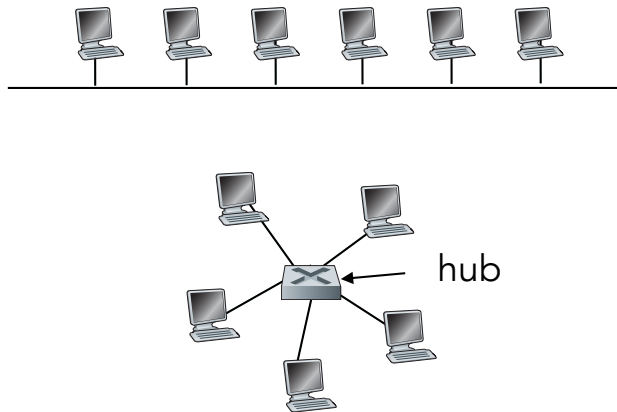
- Tree



Medium access control methods depend on the logical topology

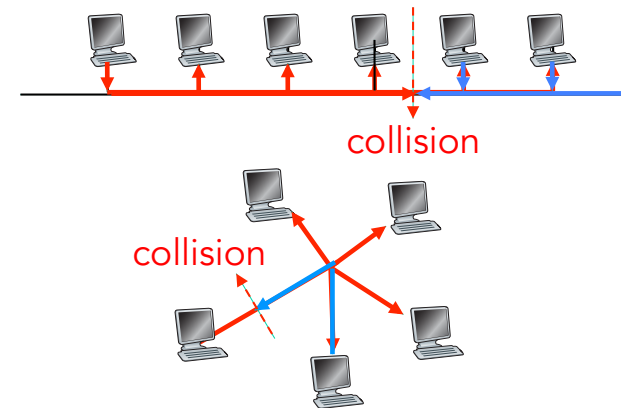
# Topologie physique vs logique

## Topologie physique



- La topologie physique décrit l'agencement des nœuds du réseau et les liens les reliant entre eux
  - Position des nœuds
  - Distance entre les nœuds
  - Connectivité

## Topologie logique



- La topologie logique décrit les nœuds et liens qu'emprunte une trame
- Exemple : étoile vs bus
  - Si le concentrateur diffuse les données sur toutes ces interfaces :
    - La topologie logique d'une étoile est identique à celle d'un bus

# Méthodes de contrôle d'accès

- Les méthodes de contrôle d'accès
  - Algorithmes distribués qui déterminent la (les) station(s) qui peut (peuvent) transmettre à un instant donné
  - Partage de la bande passante parmi toutes les stations du réseau
    - temps passé à transmettre vs temps passé à attendre son tour
    - problème d'équité
  - Elles prennent en compte la topologie logique (et non physique)
- Classification des méthodes de contrôle d'accès
  - accès statique
    - la bande passante est répartie de façon invariante dans le temps
  - accès dynamique
    - la bande passante est allouée à la demande

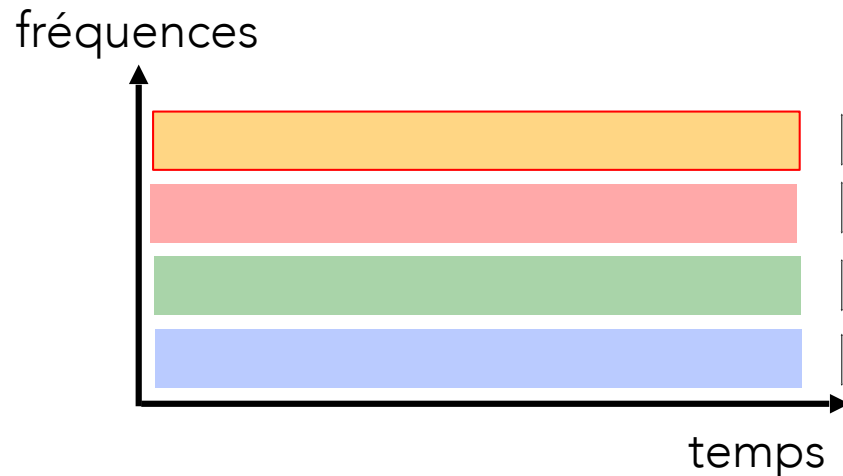


# Classification des méthodes de contrôle d'accès

- Accès statique
  - accès multiple à répartition en fréquence
  - accès multiple à répartition dans le temps
- Accès dynamique
  - méthodes d'accès dynamique à allocation déterministe
    - le polling
    - le jeton
      - \* non adressé
      - \* adressé
  - méthodes d'accès dynamique à allocation aléatoire
    - Aloha
    - Carrier Sense Multiple Access
      - \* persistant, non-persistant, p-persistant
      - \* collision detection : 802.3 Ethernet
      - \* collision avoidance : 802.11 Wifi

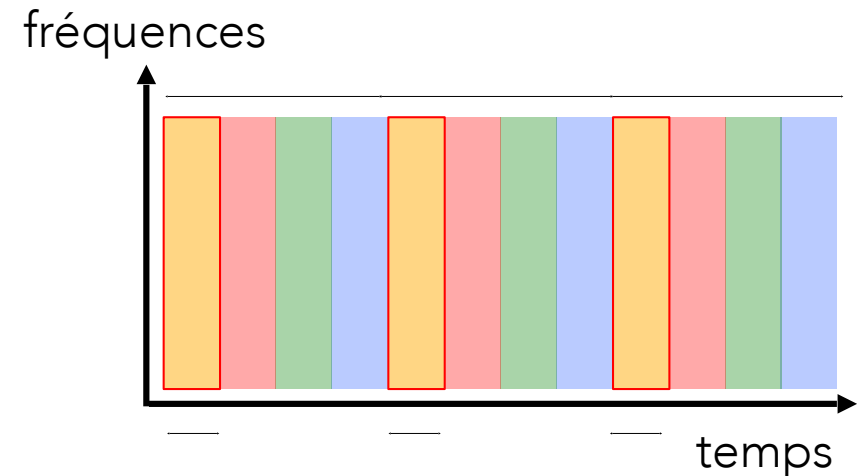
# Méthodes d'accès statique

## répartition en fréquence



- La bande passante est divisée en sous-bande
  - une sous-bande allouée par station
  - toutes les stations peuvent transmettre simultanément
- Méthode peu efficace si stations inactives
- Redécoupage de la BP si ajout ou retrait de stations

## répartition dans le temps



- Le temps est divisé en intervalles de temps (time slots)
  - les stations émettent à tour de rôle dans le même ordre
- Méthode peu efficace si stations inactives
- Redécoupage du temps si ajout ou retrait de stations

# Méthodes d'accès statique vs dynamique

- Les méthodes d'accès statique sont adaptées si :
  - le nombre de stations actives est :
    - réduit
    - fixe
    - connu à l'avance
  - les trafics sont prévisibles et à débits constants
- Les méthodes d'accès statique ne sont pas adaptées si :
  - le nombre de stations actives varie dans le temps
  - les stations génèrent un trafic sporadique
  - c'est le cas des réseaux informatiques (de données)
- Nécessité de méthodes qui permettent l'allocation dynamique de la bande passante
  - allocation en fonction des demandes immédiates

# Méthodes d'accès dynamique

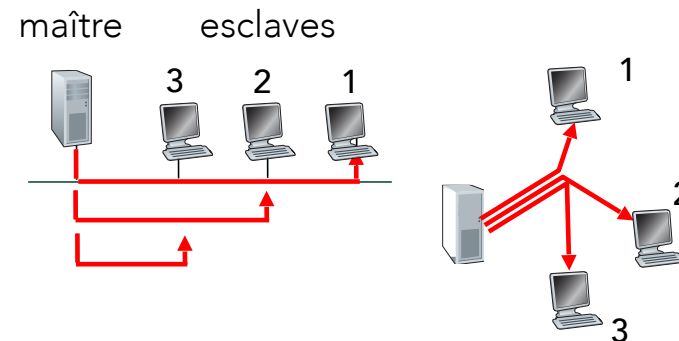
- Méthodes d'accès dynamique à allocation déterministe
  - le polling
  - le jeton
    - non adressé
    - adressé
- Méthodes d'accès dynamique à allocation aléatoire
  - Aloha
  - Carrier Sense Multiple Access

# Le polling (1)

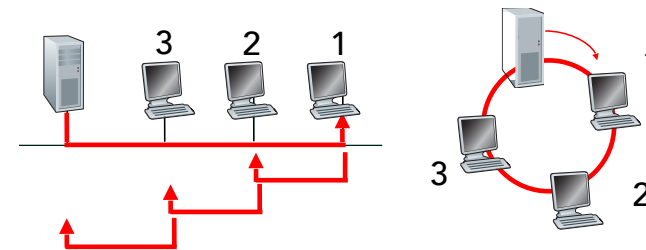
- Polling

- Méthode centralisée :
  - Station primaire : maître
  - Stations secondaires : esclaves
- Le maître interroge (poll) les esclaves à tour de rôle
- Les esclaves répondent :
  - positivement avec les données à transmettre le cas échéant
  - négativement sinon

## Roll-call Polling



## Hub polling

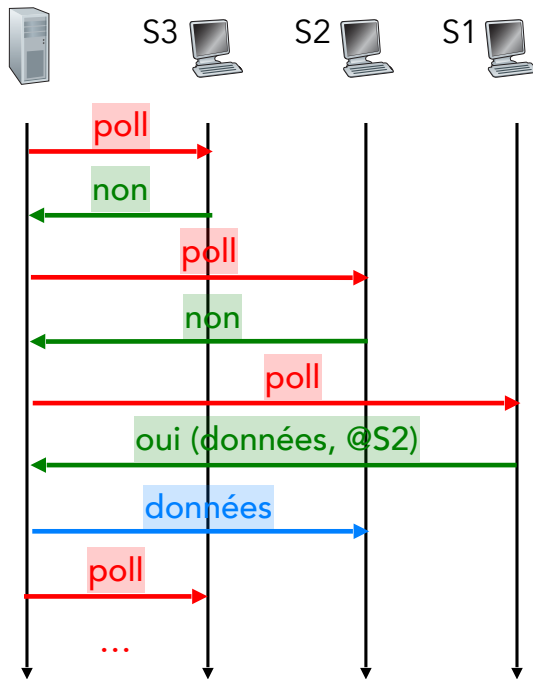


- Deux variantes du polling selon l'ordre du polling

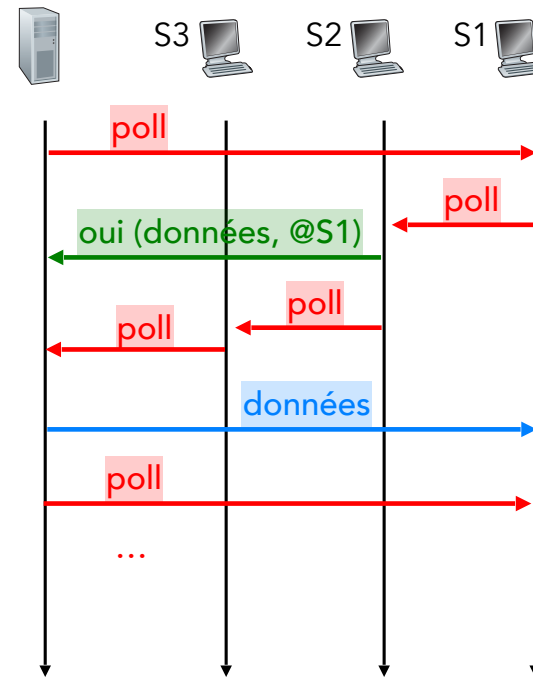
- Roll-call polling (Bluetooth)
  - topologie logique : étoile
- Hub polling
  - topologie logique : anneau

# Le polling (2)

Roll-call Polling



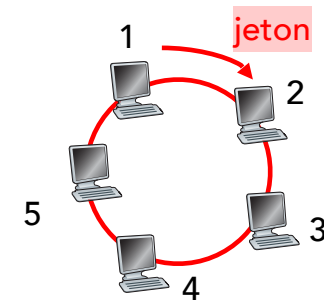
Hub polling



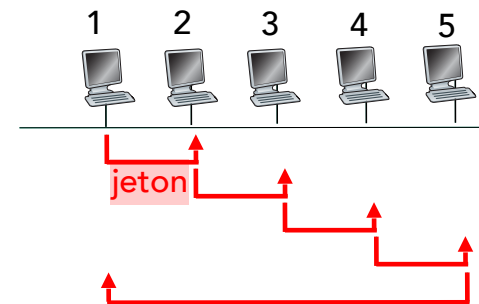
# Le jeton

- Méthode distribuée
  - Pas de station maître (primaire)
- Le jeton est une trame spéciale
  - une seule copie sur le réseau
  - deux états possibles :
    - libre
    - occupé
- Topologies logiques concernées :
  - Anneau : jeton non adressé
    - sens de circulation naturel
  - Bus : jeton adressé
    - chaque station connaît
      - son prédécesseur
      - son successeur
  - le jeton est passé de successeur en successeur

Jeton non adressé

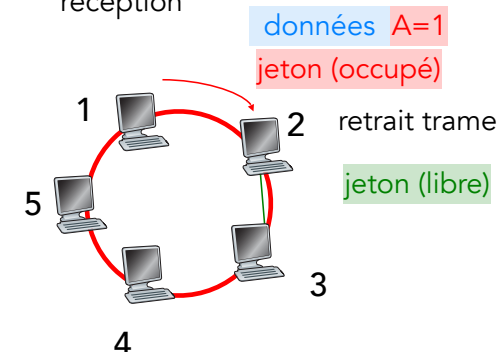
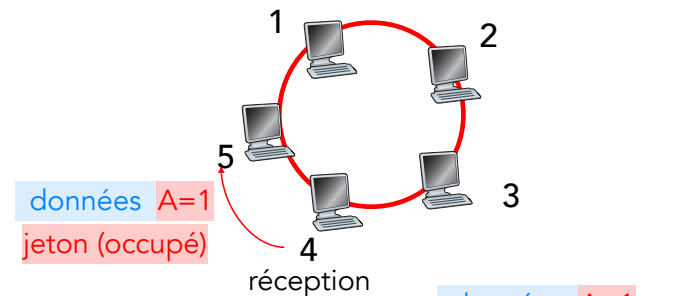
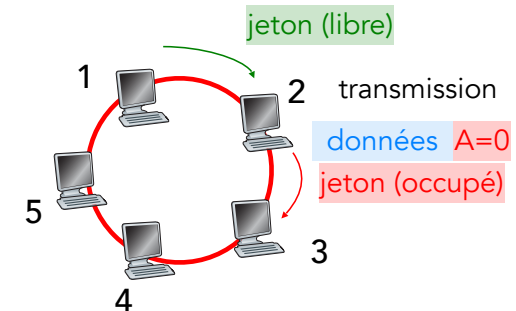


Jeton adressé



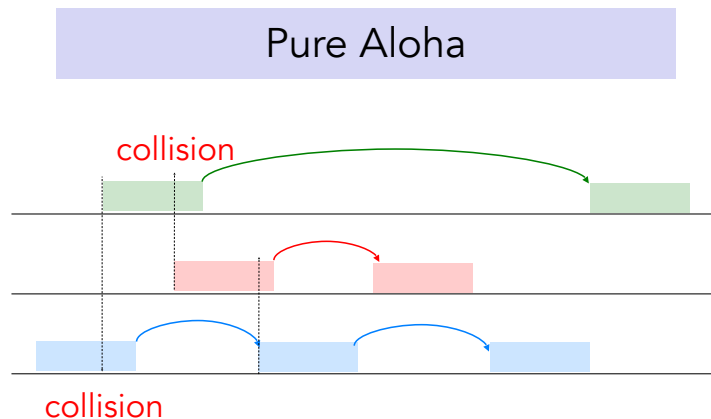
# Le jeton non adressé

- Une station qui désire transmettre
  - attend de recevoir le jeton à l'état libre (bit positionné)
  - change l'état du jeton à l'état occupé (bit non positionné)
  - accole le jeton à sa trame de données
  - les trames de données contiennent :
    - l'adresse de la source
    - l'adresse de la destination
    - un bit d'acquittement initialement non positionné
- Les stations inspectent l'état du jeton :
  - si l'état du jeton est occupé :
    - si l'adresse destination est la sienne :
      - \* elle prélève une copie de la trame
      - \* elle change le bit d'acquittement
      - \* elle passe la trame initiale au voisin suivant
    - si l'adresse source est la sienne :
      - \* elle retire la trame et libère le jeton état libre
  - si libre :
    - elle transmet si elle le désire





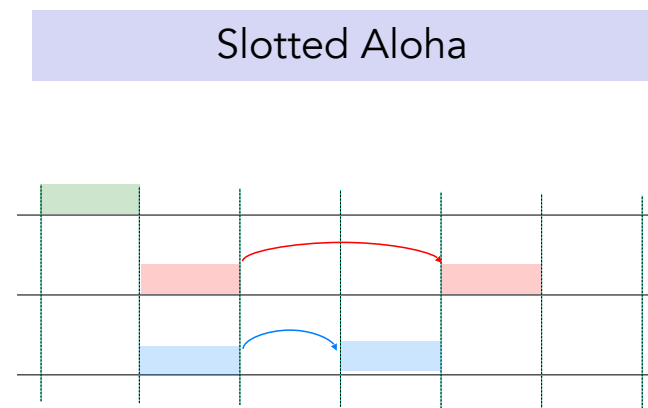
# Méthodes d'accès dynamique à allocation aléatoire (1)



- une station émet dès lors qu'elle le souhaite
- en cas de collision, la station réémettra sa trame au terme d'un délai aléatoire
- au bout de N collisions successives, la station abandonne

- Efficacité : 18%

- rapport = nombre de transmissions en succès / nombre total de transmissions



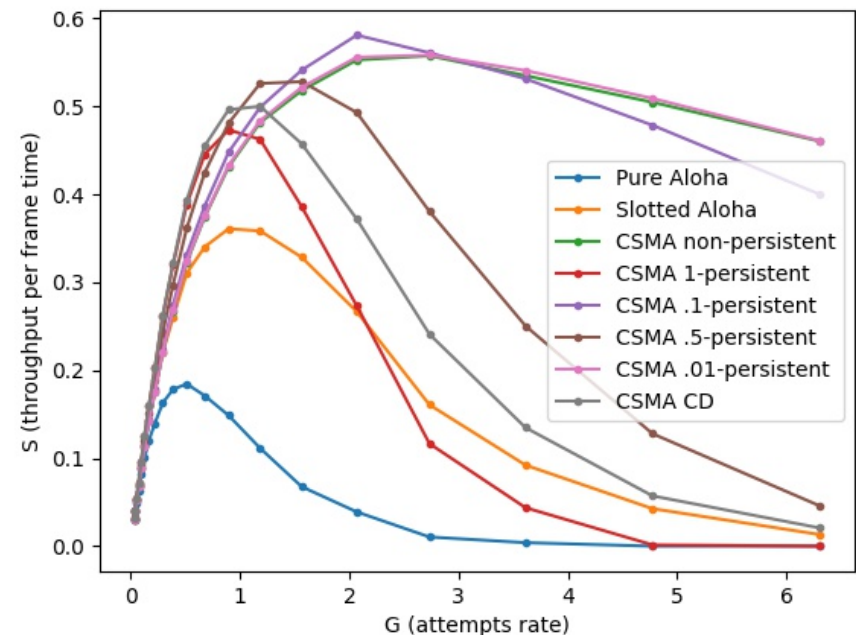
- le temps est découpé en intervalles temps
- durée de transmission d'une trame
- les stations ne peuvent émettre qu'en début d'intervalle

- Efficacité : 36%

# Méthodes d'accès dynamique à allocation aléatoire (2)

## Carrier Sense Multiple Access

- CSMA reprend le Pure Aloha
  - avec une "écoute" du canal avant d'émettre : la station n'émet que si le canal est libre
- Plusieurs variantes selon la décision prise par la station émettrice si le canal occupé :
  - CSMA persistant
    - écoute persistante du canal
    - dès qu'il devient libre, émettre
  - CSMA non persistant
    - faire une nouvelle tentative au bout d'un temps aléatoire
  - CSMA  $p$ -persistant
    - écoute persistante du canal
    - dès qu'il devient libre,
      - \* avec une probabilité  $p$ , émettre
      - \* avec une probabilité  $(1-p)$ , attendre un délai et aller en 1

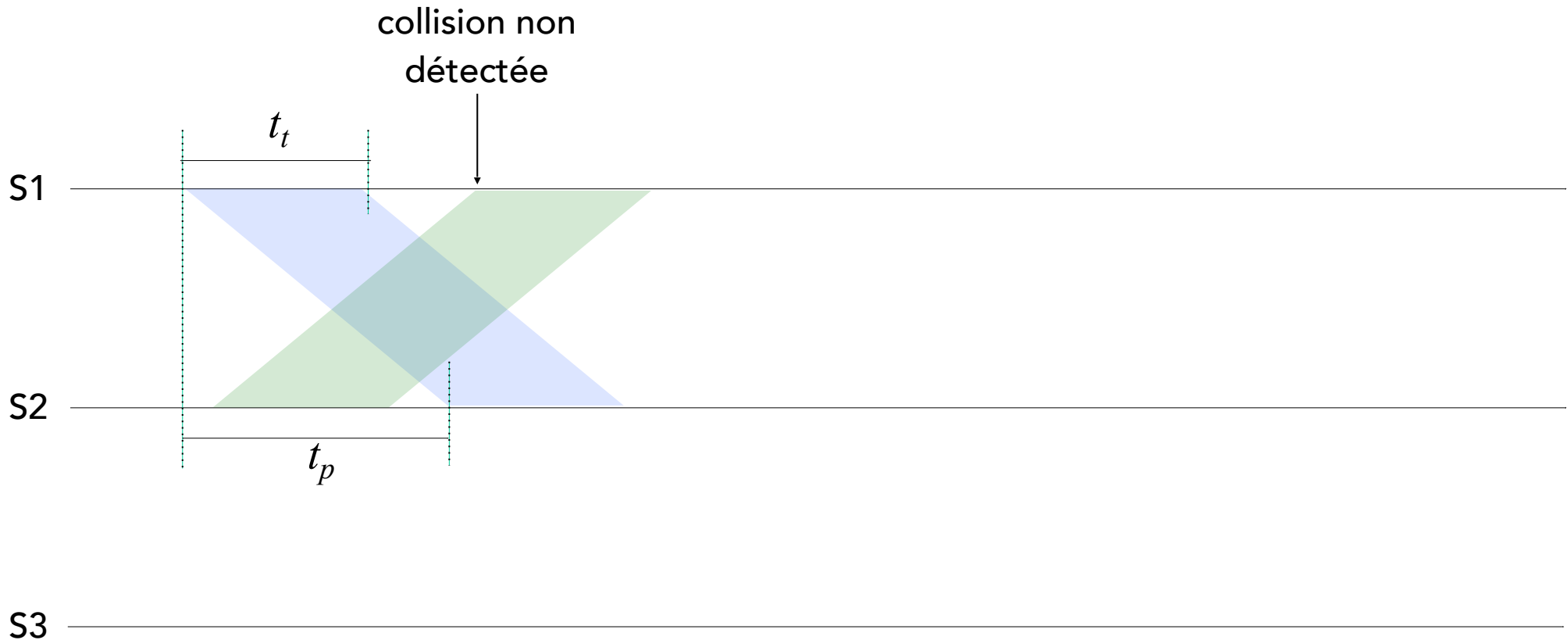


# Méthodes d'accès dynamique à allocation aléatoire (3)

## Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection

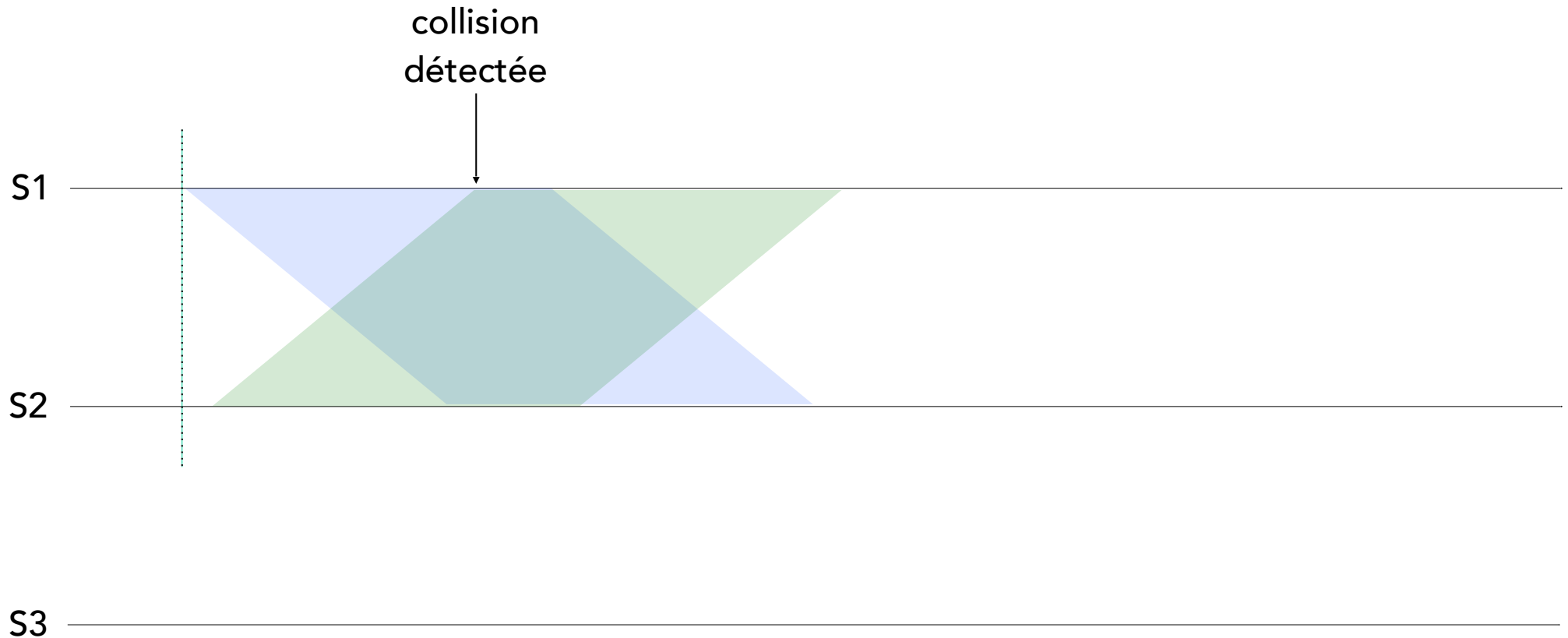
- CSMA/CD est
  - la méthode utilisée par Ethernet
  - standardisée par la norme IEEE 802.3
- CSMA/CD reprend les principes du CSMA
  - une station qui émet, continue à écouter le canal pendant sa transmission
  - elle détecte les collisions en comparant le signal émis à celui qu'elle reçoit
    - utilisation d'un transceiver : transmitter-receiver
  - en cas de collision, chaque station impliquée déroule un algorithme de reprise
  - utilisation de temps d'attente aléatoire pour réduire les risques de nouvelles collisions

# Détection des collisions



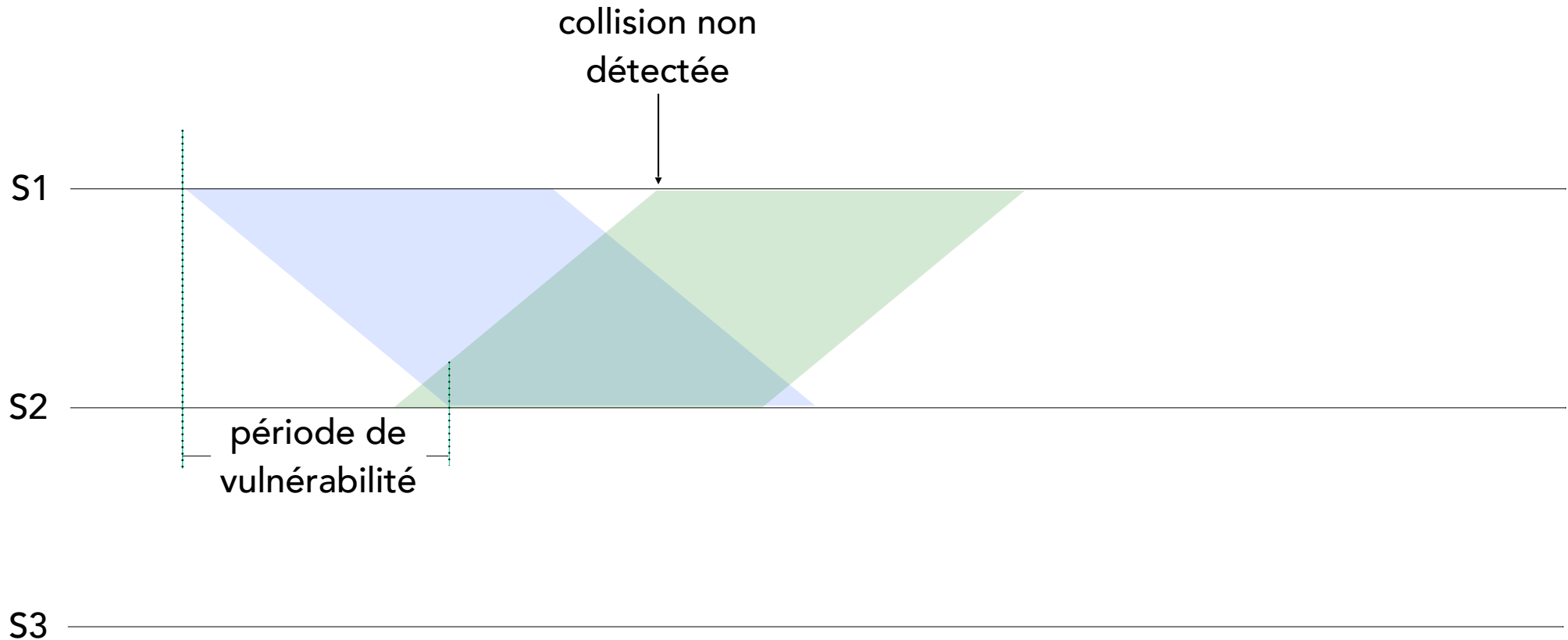
- Une collision est détectée en comparant le signal émis et le signal reçu
  - S1 et S2 terminent leur transmission avant de recevoir le signal brouillé
  - Collision non détectée

# Détection des collisions



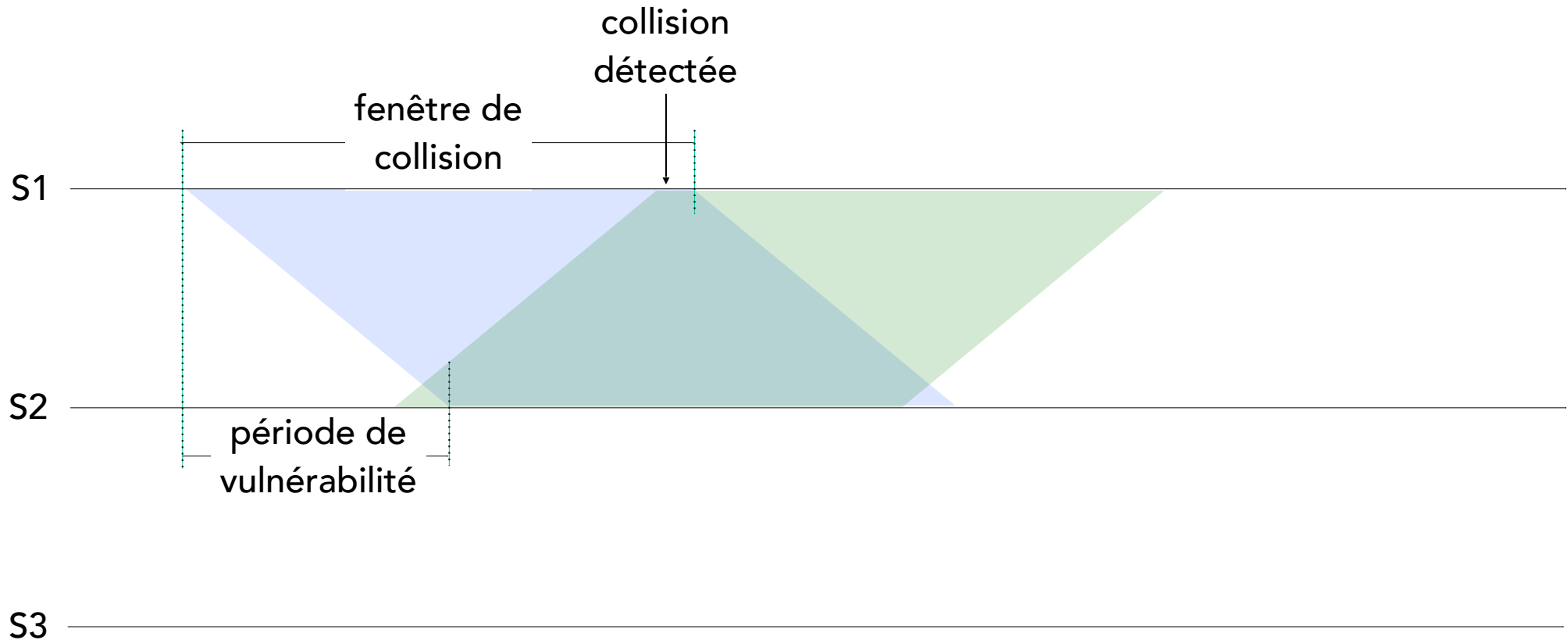
- Une collision est détectée en comparant le signal émis et le signal reçu
  - S1 et S2 doivent transmettre suffisamment longtemps pour recevoir le signal brouillé en cas de collision

# Détection des collisions



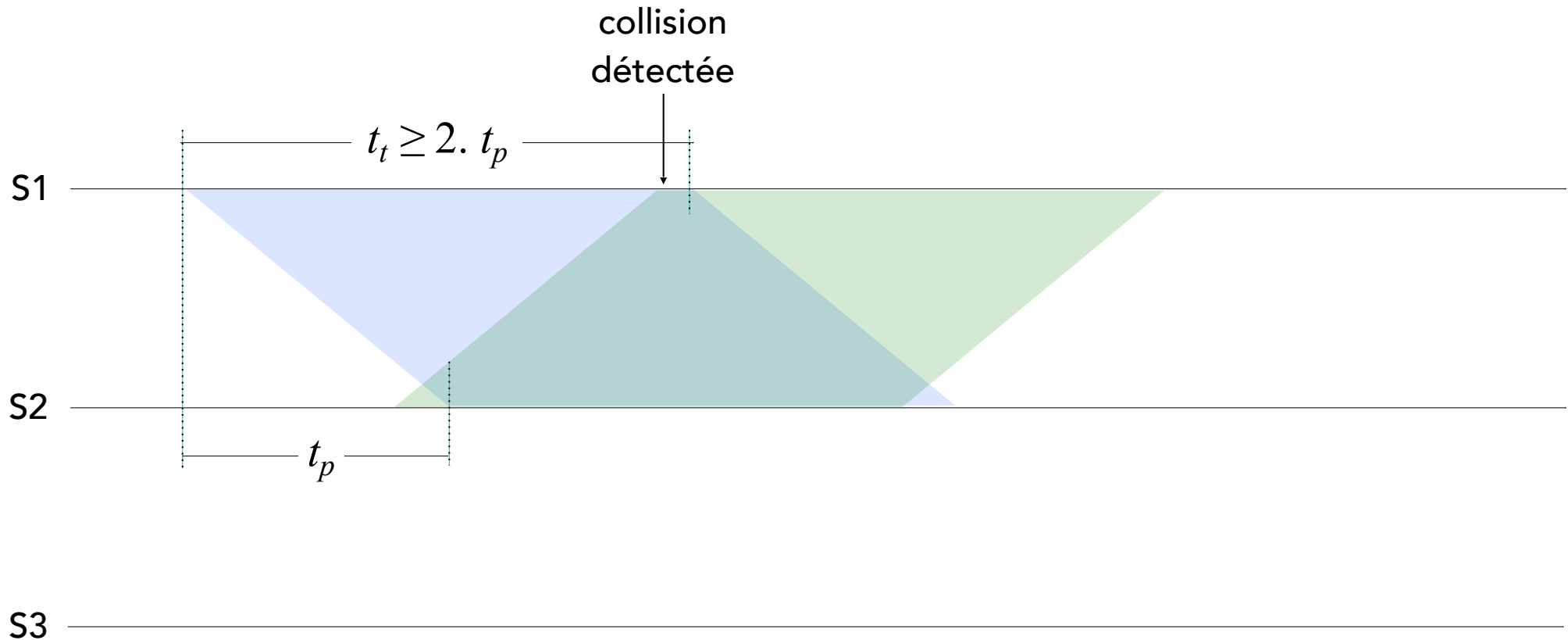
- Une collision est détectée en comparant le signal émis et le signal reçu
  - S1 et S2 doivent transmettre suffisamment longtemps pour recevoir le signal brouillé en cas de collision
  - Quelle est la durée min de transmission idéale ?

# Détection des collisions



- Période de vulnérabilité ( $t_p$ )
  - Durée qui s'écoule après le début d'une transmission et durant laquelle une autre transmission entraînera une collision
  - Échec des deux transmissions

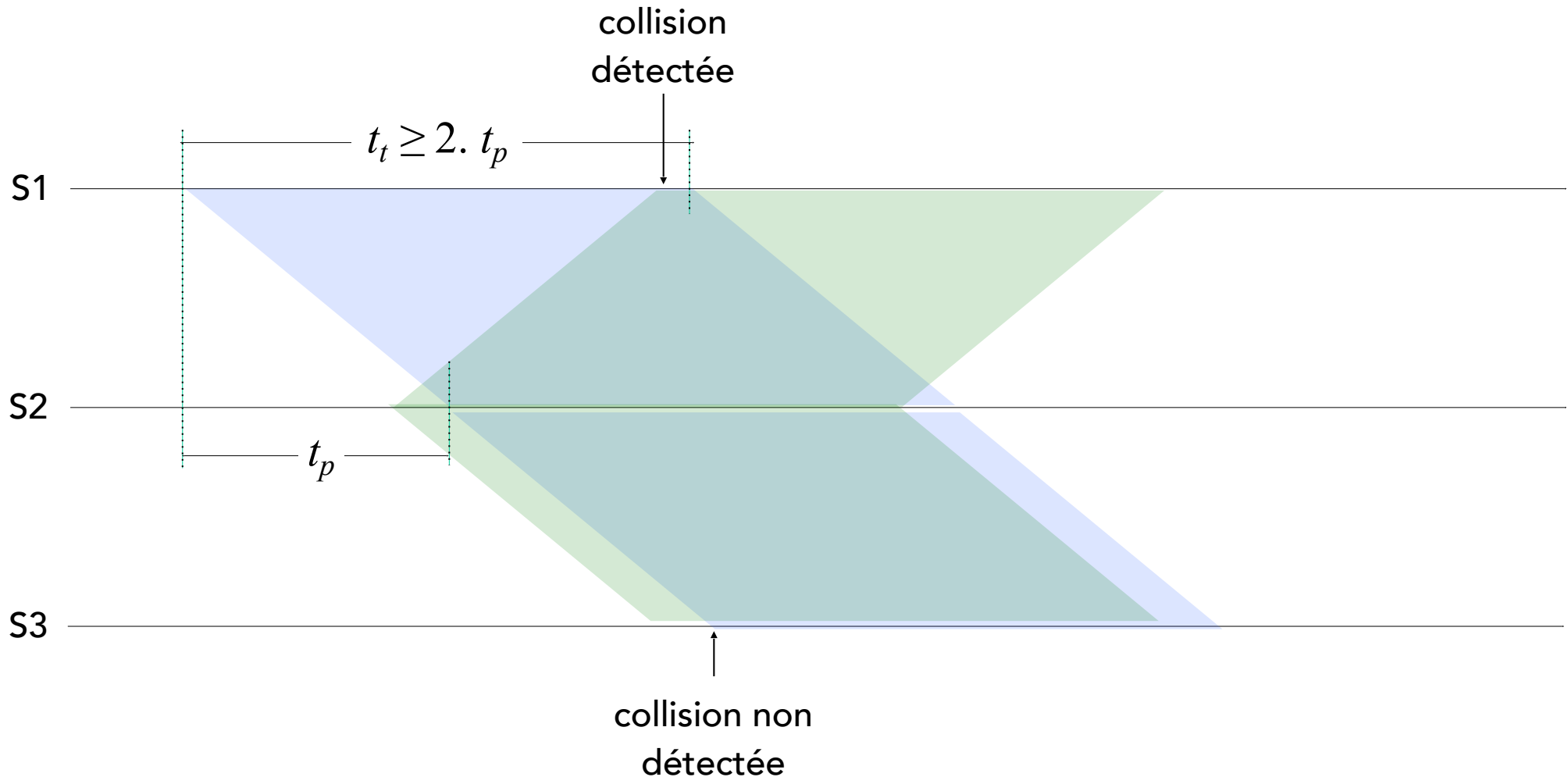
# Détection des collisions



- Fenêtre de collision ( $t_t \geq 2 \times t_p$ )
  - Durée qui s'écoule entre le début d'une transmission et l'instant au delà duquel une transmission sera en succès

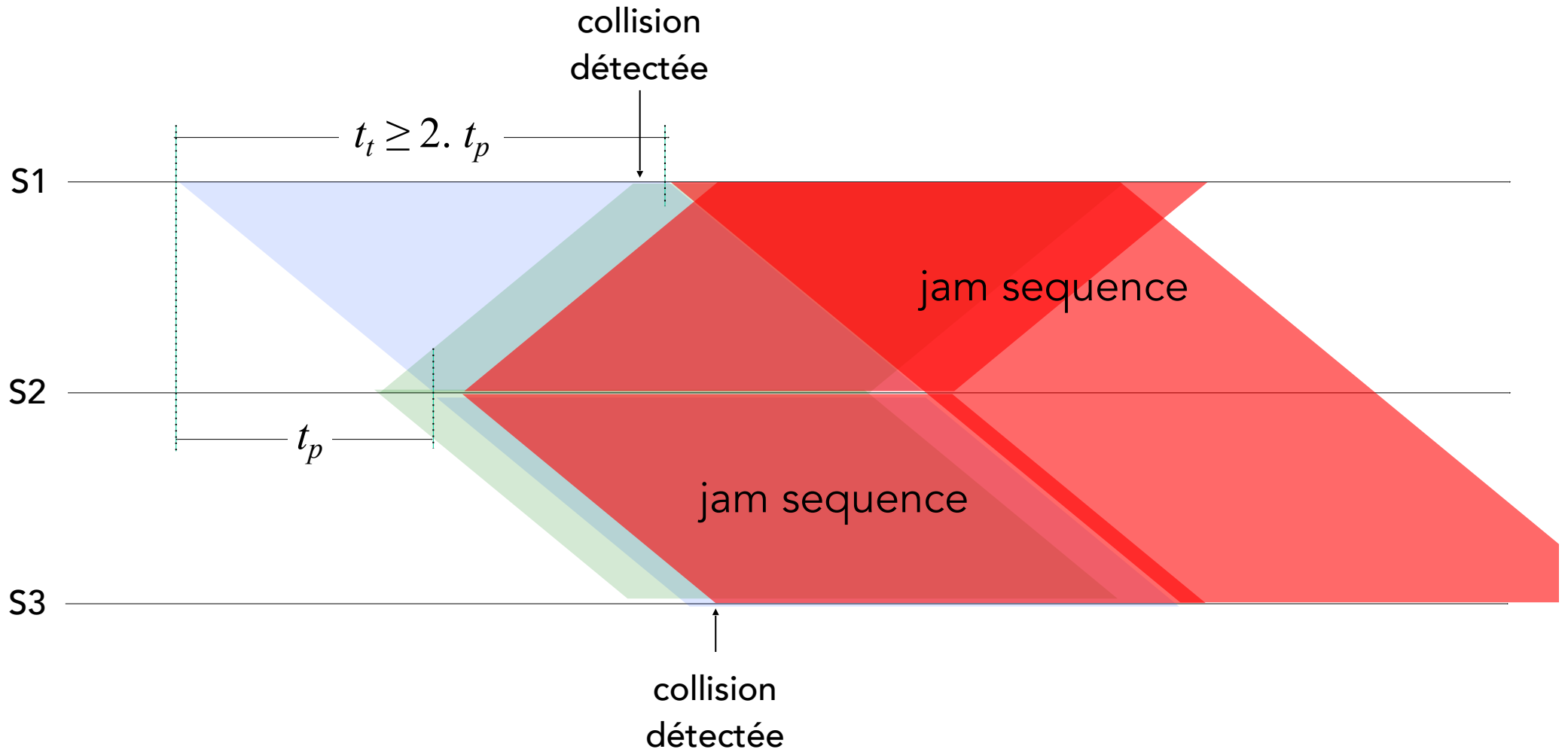


# Détection des collisions



- Une collision est détectée en comparant le signal émis et le signal reçu
  - S3 ne transmet pas et ne peut donc interpréter le signal reçu comme résultant d'une collision

# Détection des collisions



- Jam sequence

- Signal émis afin d'informer toutes les stations (y compris celles qui n'étaient pas en transmission) d'une collision

# CSMA/CD : définitions

- Période de vulnérabilité
  - intervalle de temps pendant lequel une station éloignée peut détecter (à tort) le canal libre et transmettre
  - égale au maximum au temps de propagation entre les 2 stations les plus éloignées sur le support
- Fenêtre de collision (time-slot)
  - délai maximum qui s'écoule avant qu'une station en cours de transmission détecte une collision
  - délai au bout duquel une station est certaine d'avoir réussi sa transmission
  - égale à deux fois le temps de propagation d'un signal sur le support
- Séquence de brouillage (jam sequence)
  - séquence de brouillage envoyée par une station dès qu'elle détecte une collision, afin d'en informer toutes les stations du réseau
- Délai inter-trame (interframe gap)
  - silence minimum entre 2 trames successives
  - permet à toutes les autres stations de transmettre à leur tour
  - partage équitable de la bande passante

# CSMA/CD : procédures

## 1. Transmission d'une trame pour la première fois :

- le support est occupée
  - attendre qu'il le devienne
- le support est libre
  - commencer à transmettre en continuant à écouter le support
- si collision détectée : procédure de résolution de collision (2)
- pas de collision : remettre à 0 le compteur de retransmissions et terminer la transmission

## 2. Résolution de collision :

- transmission d'une signal de brouillage (jam signal)
- incrémenter le compteur de retransmission
- si le nombre maximal de retransmission est atteint
  - abandon de la transmission
- sinon
  - calculer la durée du retrait aléatoire en fonction du nombre de collisions
  - attendre pour cette durée avant d'aller à la procédure de transmission (1)

# Retrait exponentiel

- Algorithme de calcul du délai aléatoire d'attente
  - détermine  $D$ , l'instant de retransmission d'une trame qui a subi une ou plusieurs collisions
- Calcul de l'intervalle dans lequel la valeur de  $D$  est tirée aléatoirement
  - l'intervalle croît avec  $n$  le nombre de collisions subies
  - des collisions successives indiquent que le réseau est chargé
  - éviter de mettre de l'huile sur le feu
- Lorsque  $n$  atteint 16, il y a abandon de la transmission

```
Backoff (D);  
n : nombre total de collisions  
déjà subies par la trame  
k = min(n, 10)  
tirage d'une variable  
aléatoire M telle que  
0 <= M < 2^k  
D = M * time-slot  
return (D)
```

# Normalisation IEEE des LAN

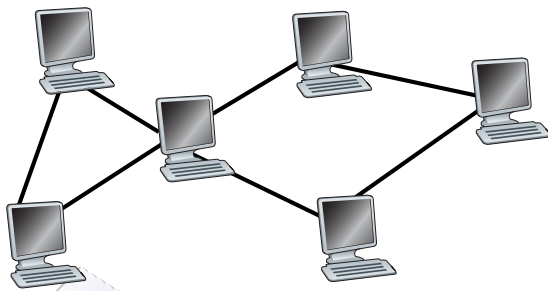
# Définition IEEE d'un LAN

« A datacomm system allowing a number of independent devices to communicate directly with each other, within a moderately sized geographic area over a physical communications channel of moderate data rates »

# OSI vs IEEE

OSI

réseau point à point



IEEE

réseau à diffusion naturelle



Transfert fiable et efficace de trames

Liaison de données

Physique

Contrôle d'accès au support

LLC

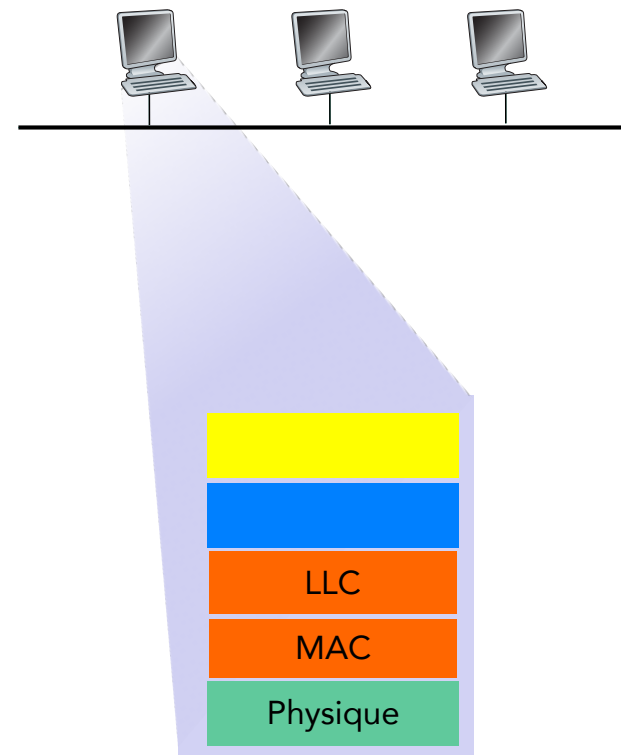
MAC

Physique

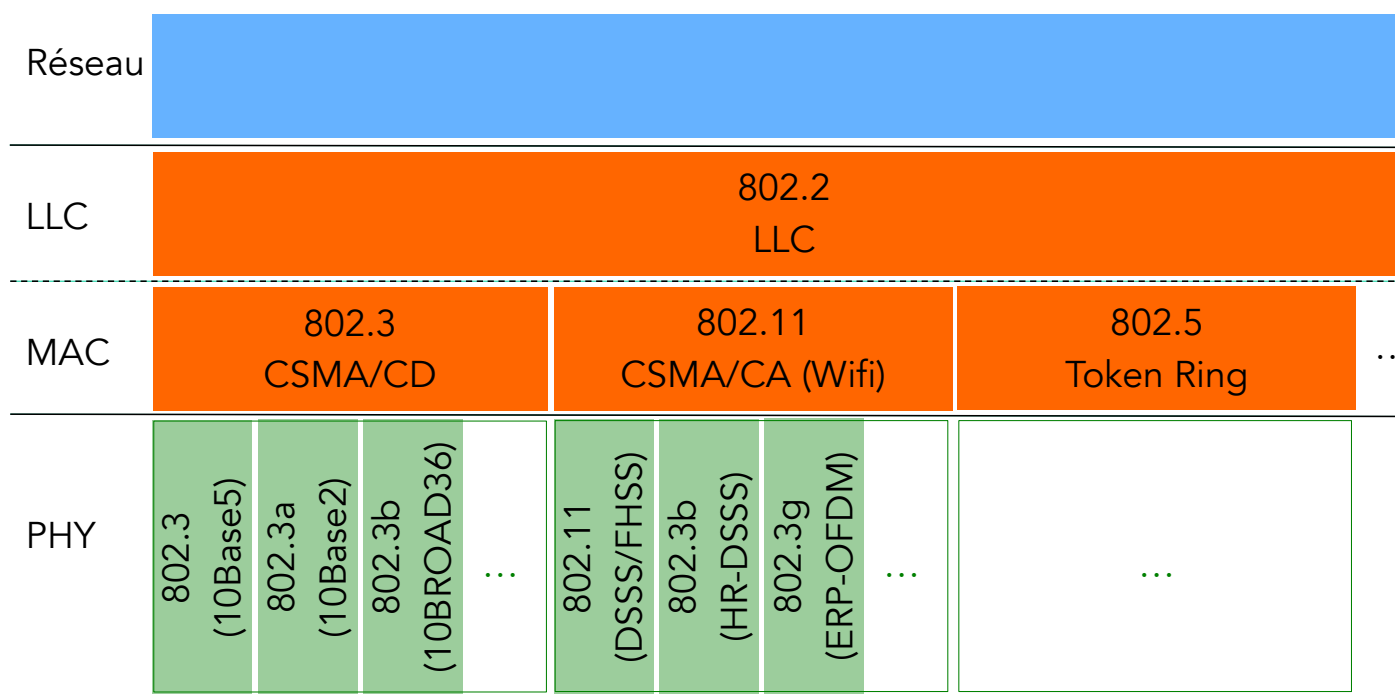


# La couche liaison de données selon l'IEEE

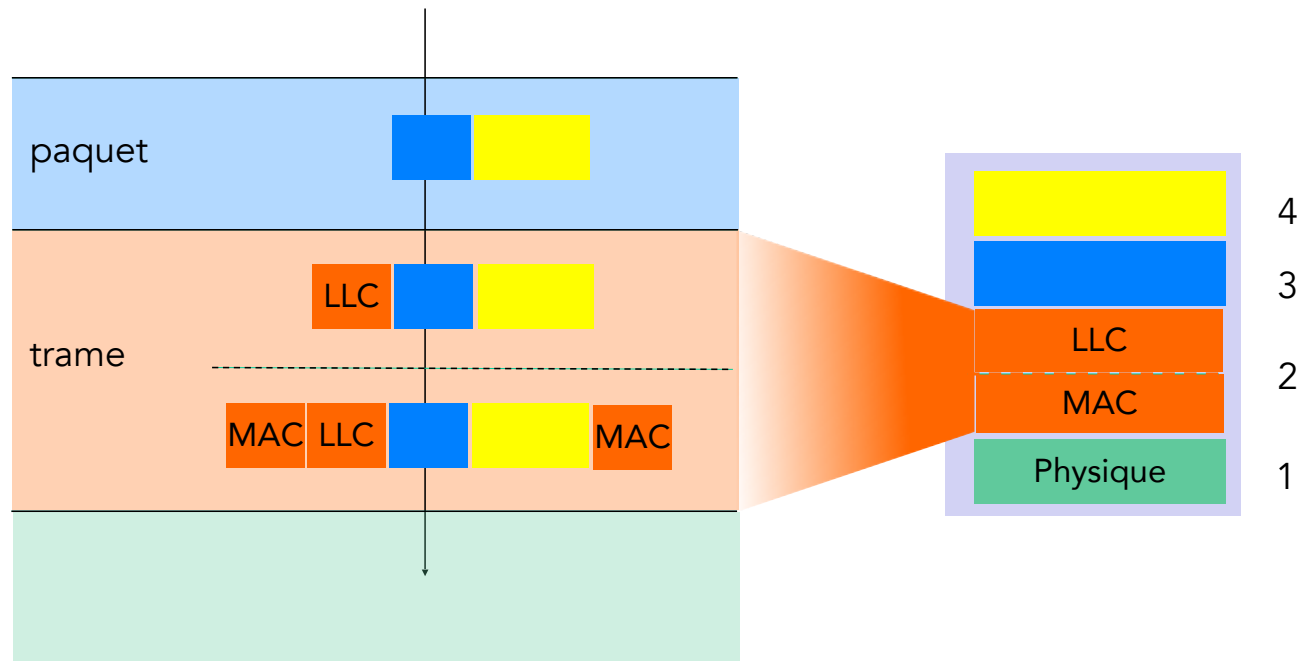
- 2 sous-couches
  - LLC Logical link control
  - MAC Medium access control
- Logical Link Control
  - fournit la plupart des fonctions de la couche liaison de données
  - contrôles d'erreur et de flux
- Medium Access Control
  - définit la méthode de contrôle d'accès au support
  - évite les collisions
  - partage équitablement la BP



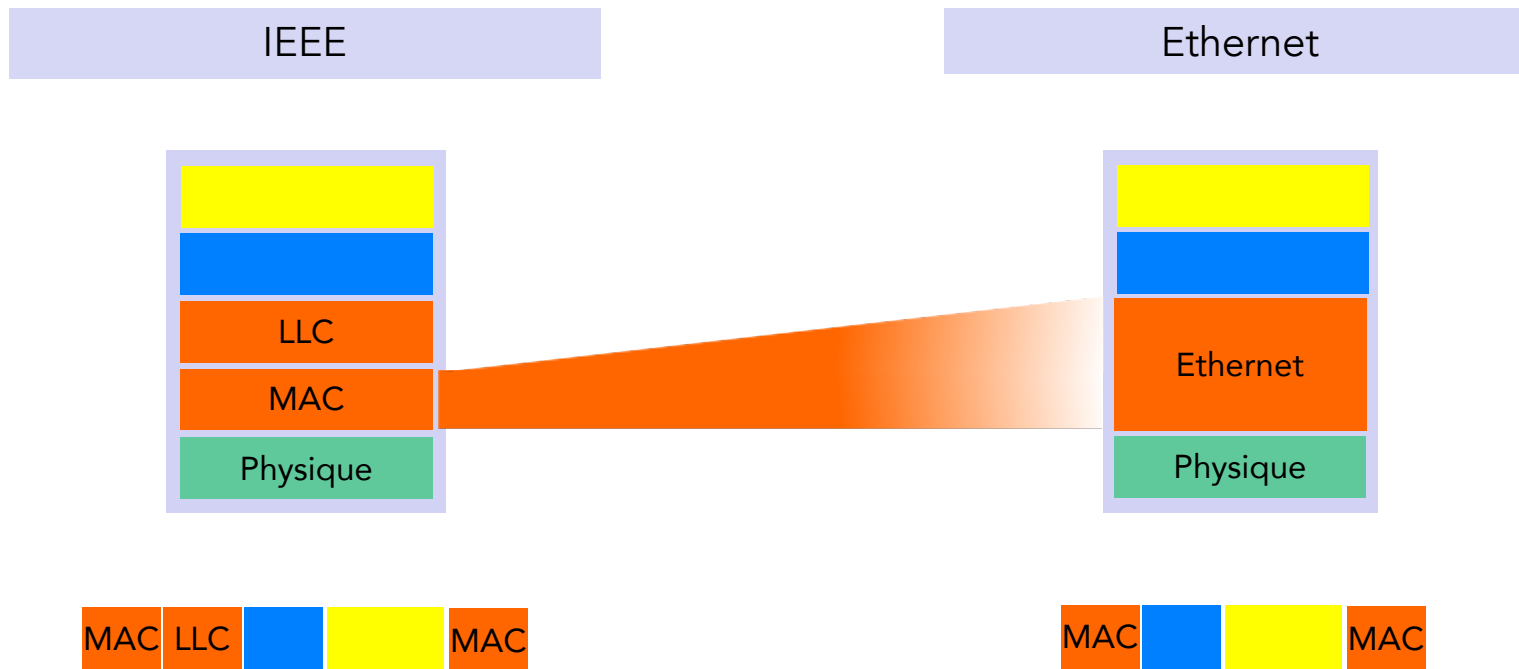
# Les normes IEEE 802.\*



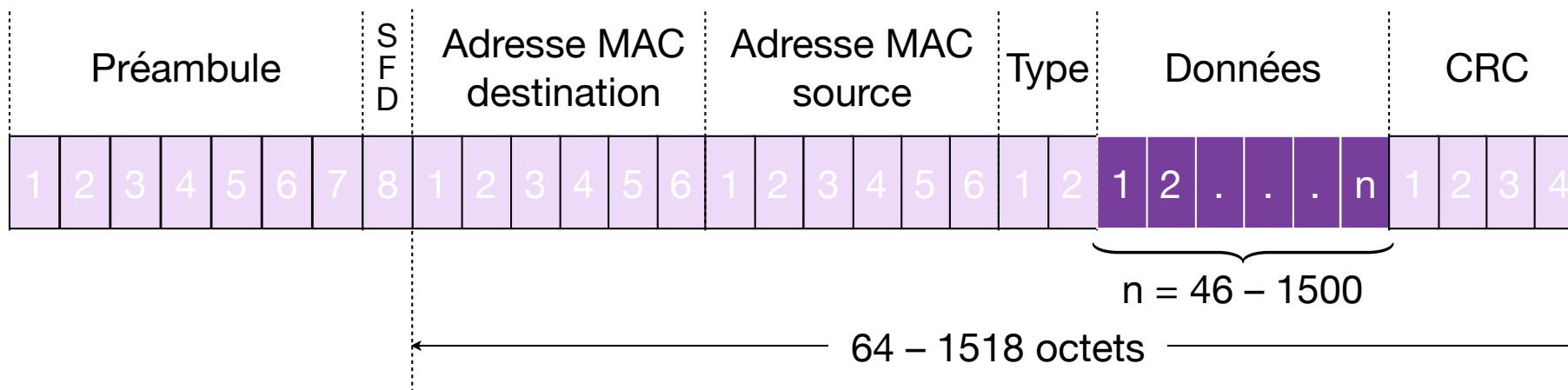
# Encapsulation IEEE



# 802.3 vs Ethernet

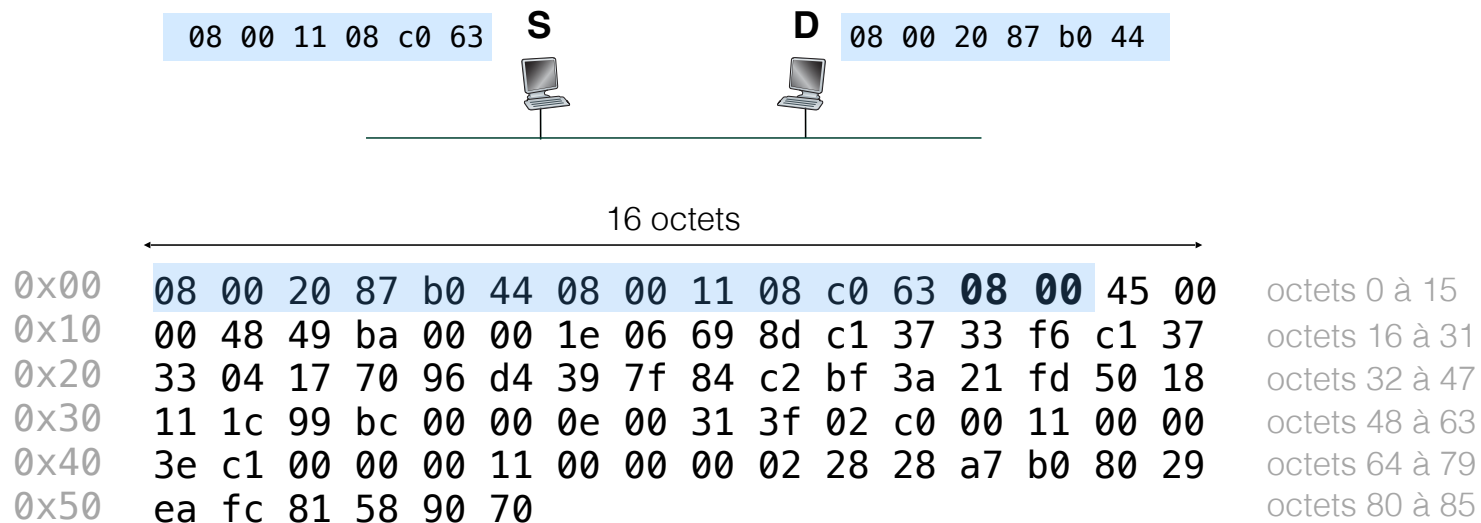


# Trame Ethernet



- Champ Préambule (7) : 0xAAAAAAAAAAAAAA
- Octet SFD (1) : 0xAB
- Champs Adresse source et destination
  - adresse MAC codée sur 48 bits (6 octets)
  - notation hexadécimale : F0:18:98:59:AE:32
  - les 3 premiers octets indiquent quel est le constructeur (F0:18:98 : Apple)
- Champ Type
  - paquet IPv4 : 0x0800, paquet IPv6 : 0x86DD, message ARP : 0x0806, ...
- Champ Données
  - la taille des données est comprise entre 46 et 1500 octets
  - utilisation de bits de bourrage pour compléter les données si nécessaire
- Champ CRC (Cyclic redundancy check)
  - Code générateur :
  - $X^{32} + X^{26} + X^{23} + X^{22} + X^{16} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + X^2 + X + 1$

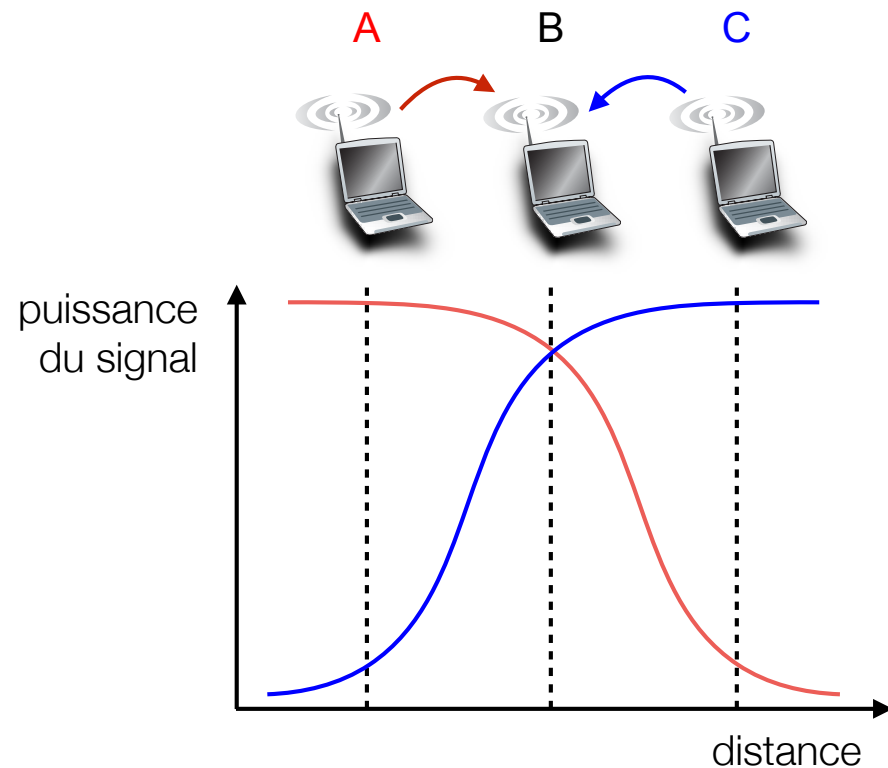
# Exemple de trace



- Trame Ethernet donnée sans préambule ni CRC
- Adresse MAC destination : 08:00:20:87:B0:44
- Adresse MAC source : 08:00:11:08:C0:63
- Type : 0x0800 → entête encapsulé suivante : paquet IPv4

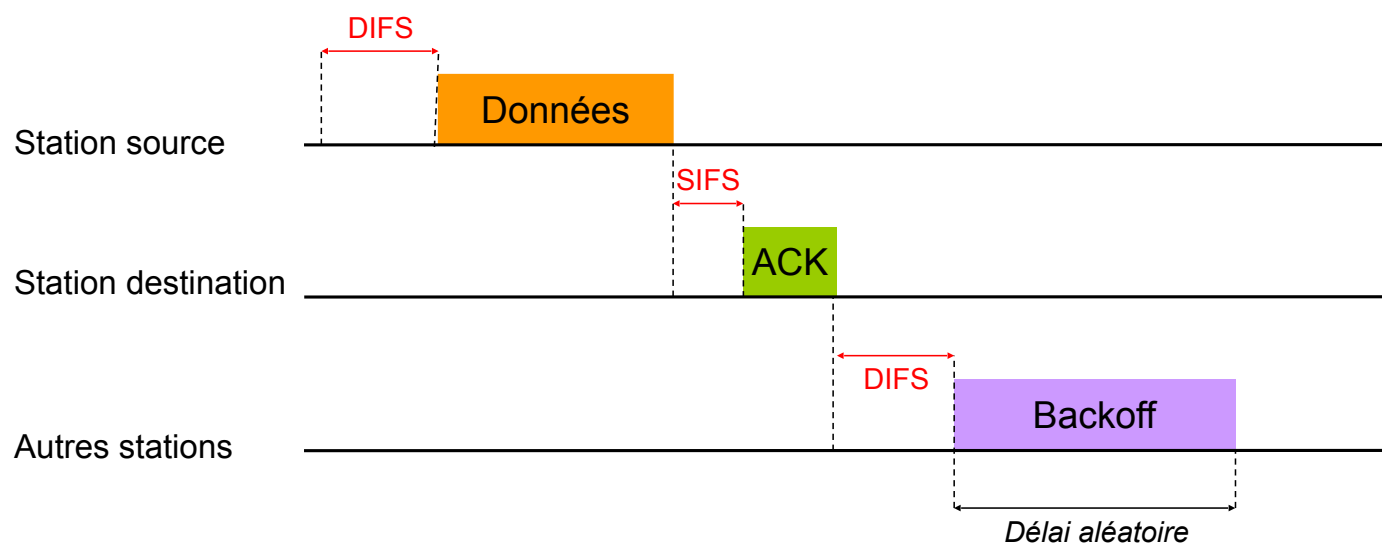
# IEEE 802.11 Wireless LANs (Wi-Fi)

- 802.11 : CSMA/CA
  - CSMA : écoute du support
  - CA: évitement de collisions
- Ecouter le support :
  - pour ne pas empiéter sur une transmission en cours
- Eviter les collisions :
  - la détection des collisions est difficile voir impossible en sans fil :
    - affaiblissement du signal (fading)
    - problème du terminal caché
  - utilisation des ACK
  - détection et retransmissions des trames en collision



# Temporisateurs et priorités

- SIFS (Short Inter Frame Spacing)
  - La plus haute priorité : ACK
- DIFS (DCF, Distributed Coordination Function IFS)
  - La plus basse priorité : données





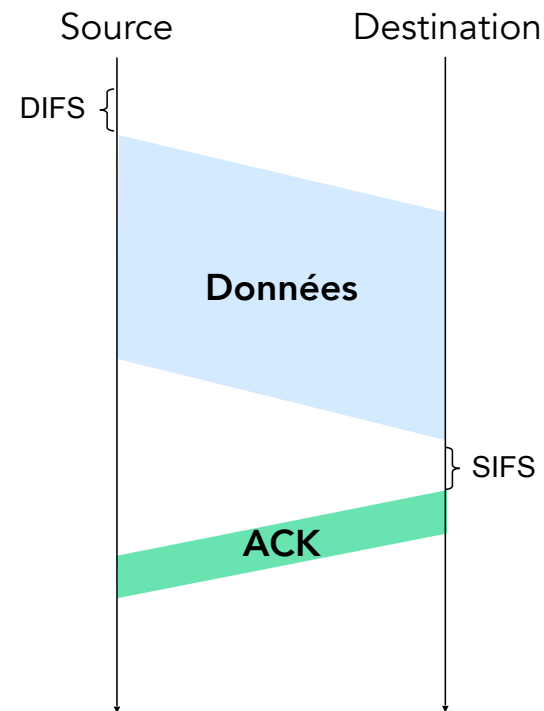
# CSMA/CA

- Source 802.11

- Si le support est libre :
  - attendre un DIFS
  - envoyer la trame
- Si le support est ou devient occupé:
  - attendre que le support soit libre
  - démarrer un temporisateur (random backoff timer)
  - décrémenter le temporisateur uniquement lorsque le support est libre (mis en pause sinon)
  - transmettre à expiration du temporisateur
- Si pas d'ACK,
  - augmenter l'intervalle de tirage des valeurs du temporisateur

- Récepteur 802.11

- Si la trame est reçue sans erreur :
  - attendre un SIFS
  - envoyer un ACK

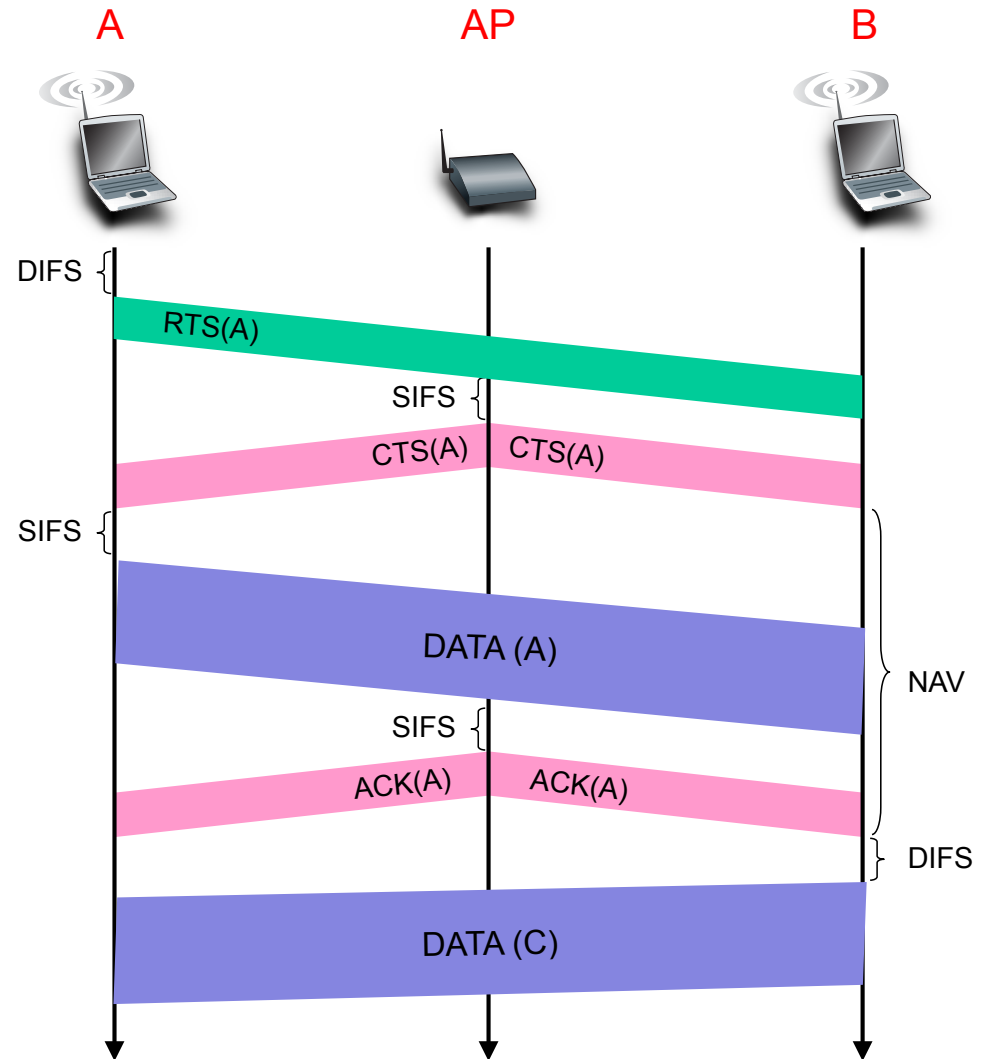


# Algorithme de backoff exponentiel

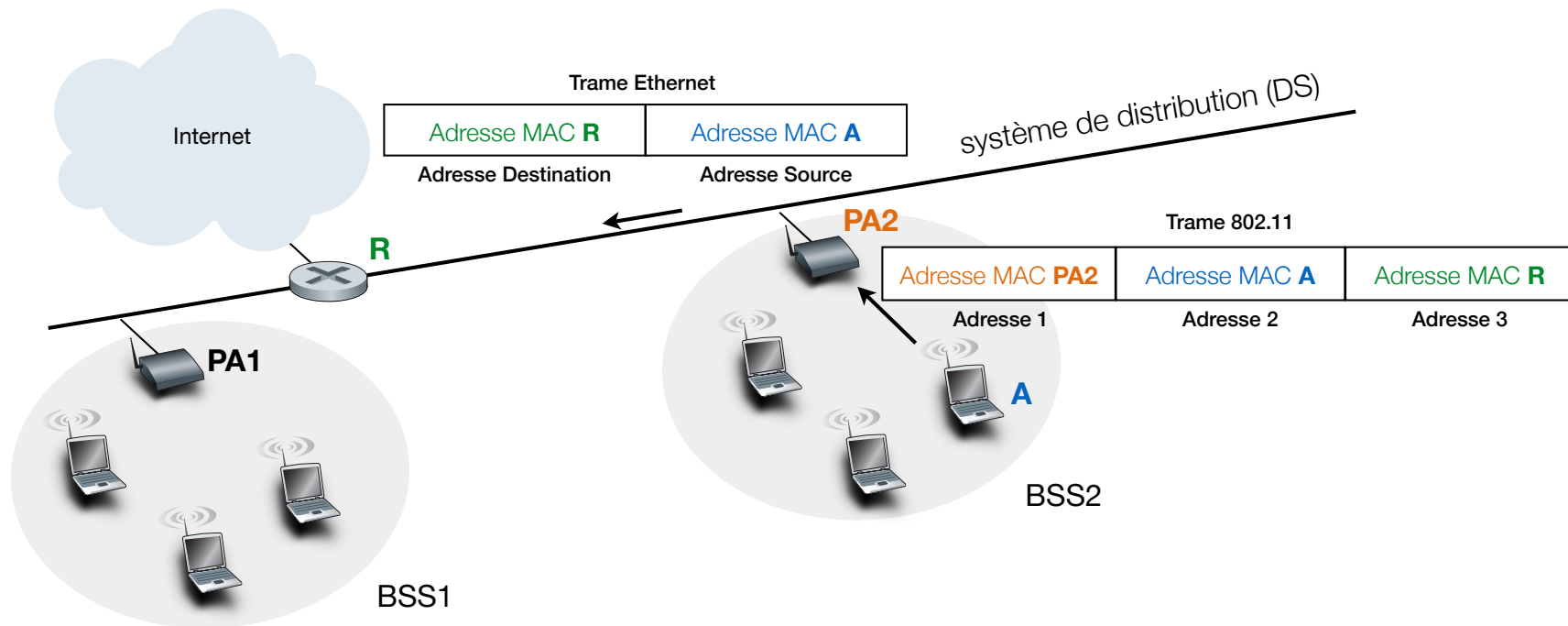
- Durée d'attente aléatoire  $DAA = CW * \text{random}(0, CW) * \text{SlotTime}$ 
  - $\text{random}(0, CW)$  est une variable aléatoire uniforme comprise entre 0 et  $CW-1$
  - $CW$  est la taille de la fenêtre de contention,
  - $CW = [CW_{\min}, CW_{\max}]$
- Lors de la première tentative de transmission :
  - $CW = CW_{\min}$
- En cas de collision :
  - $CW$  est doublée jusqu'à ce que  $CW$  atteigne  $CW_{\max}$
- Exemple wifi :
  - $\text{SlotTime} = 20 \mu\text{s}$
  - $CW_{\min} = 31$
  - $CW_{\max} = 1023$

# Trames de réservation RTS/CTS

- Une source qui désire émettre des données :
  - envoie un RTS au point d'accès indiquant la durée nécessaire (NAV) pour transmettre ses données et l'ACK
- Le point d'accès répond :
  - après un SIFS, en broadcastant un CTS
- Après réception du CTS :
  - la source transmet ses données
  - les autres stations diffèrent leur transmission pour la durée du NAV indiquée par le CTS



# Trames 802.11



# Conclusion

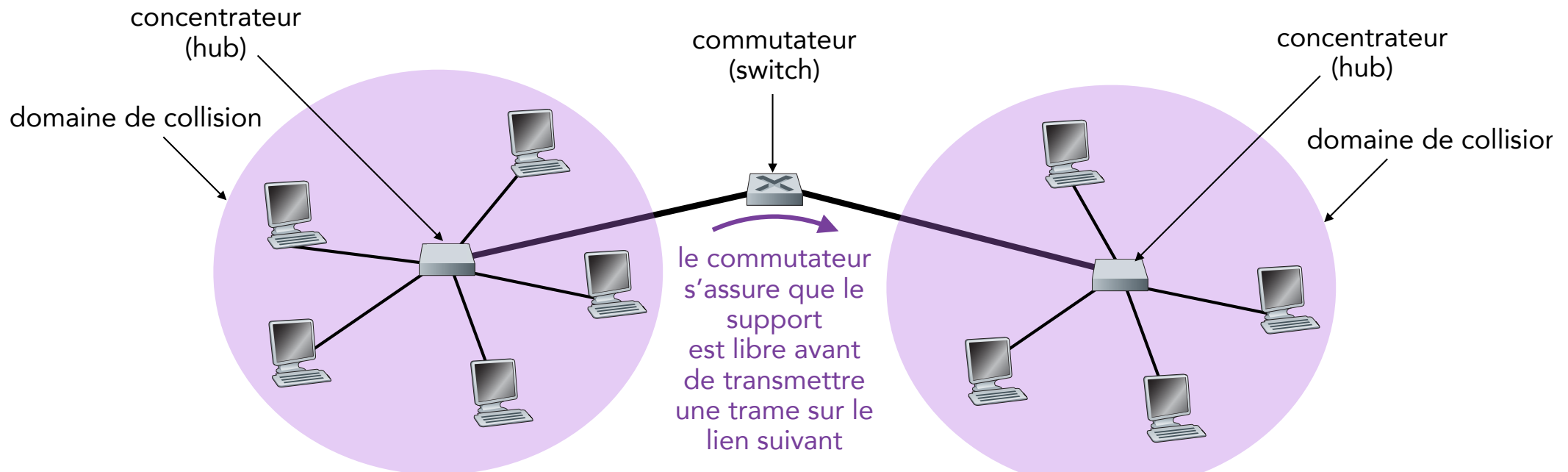
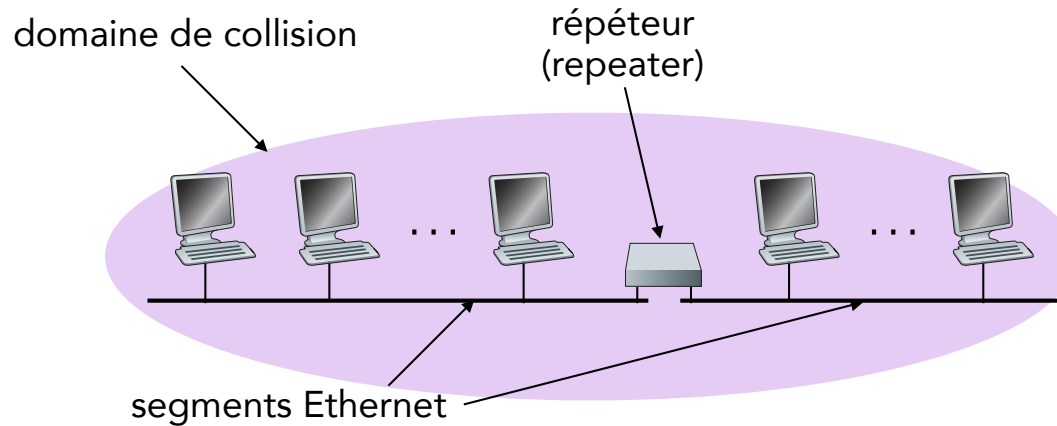
- Les réseaux locaux utilisent des supports à diffusion naturelle
  - Toutes les stations sont connectées au même support
  - Une copie suffit pour qu'une trame soit reçue par toutes les stations
- Nécessité de contrôler l'accès au support
  - Pour éviter les collisions (contentions d'accès)
  - Pour partager la bande passante équitablement
- Les politiques d'accès dépendent de la topologie logique
  - Bus : CSMA/CD
  - Anneau : jeton non adressé, ...
  - Wifi : CSMA/CA
- Les normes IEEE 802 ont introduit la sous-couche MAC
  - MAC Medium access control : contrôle d'accès
  - LLC Logical link control : contrôles d'erreur et de flux
- La norme 802.3 standardise le CSMA/CD et le format des trames
  - Ethernet est la version commerciale apparue avant sa normalisation par l'IEEE
  - La norme 802.11 standardise le CSMA/CA utilisé par le Wifi

# Réseaux locaux commutés

# Domaine de collision vs diffusion

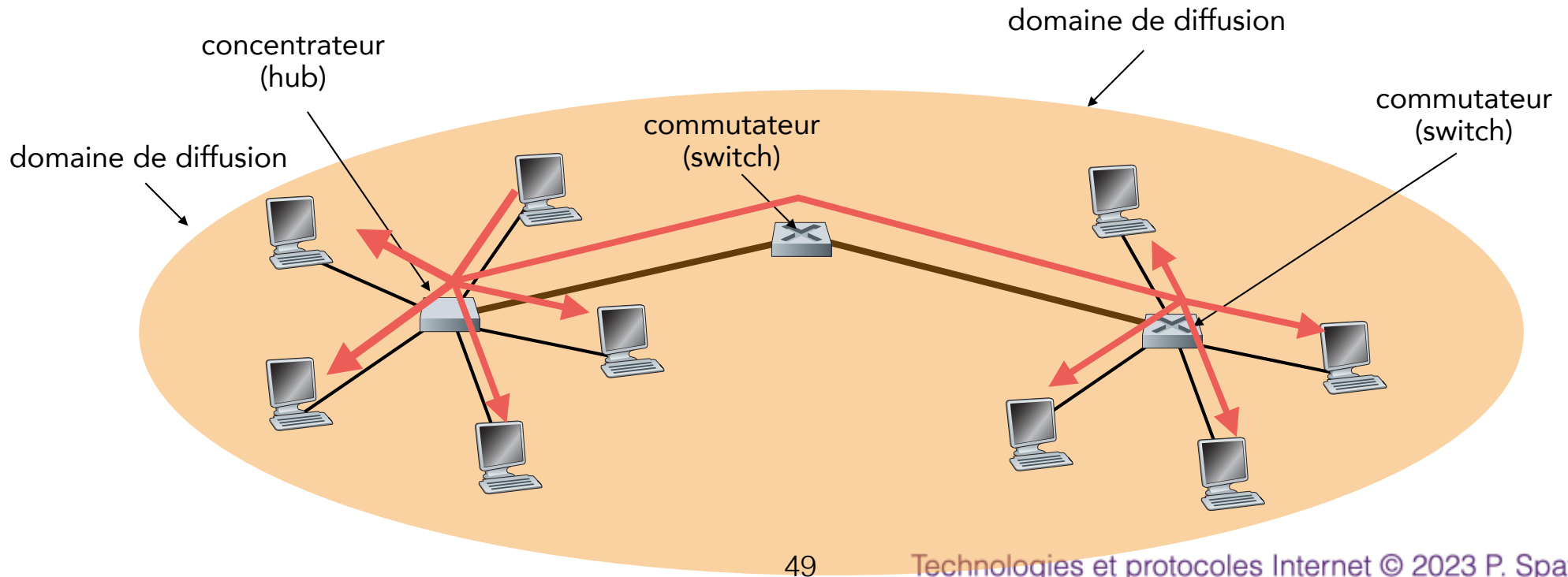
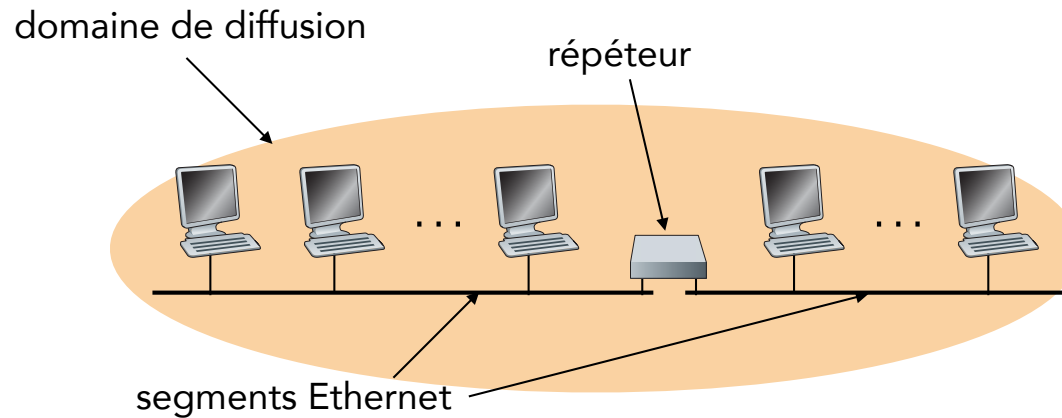
- **Domaine de collision**
  - Zone logique au sein de laquelle les transmissions simultanées se télescopent : collisions
    - Bus : segments Ethernet interconnectés par des répéteurs
    - Etoile : stations connectées par des concentrateurs (hubs)
  - Les commutateurs (switches) et routeurs divisent 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

# Domaine de collision





# Domaine de diffusion



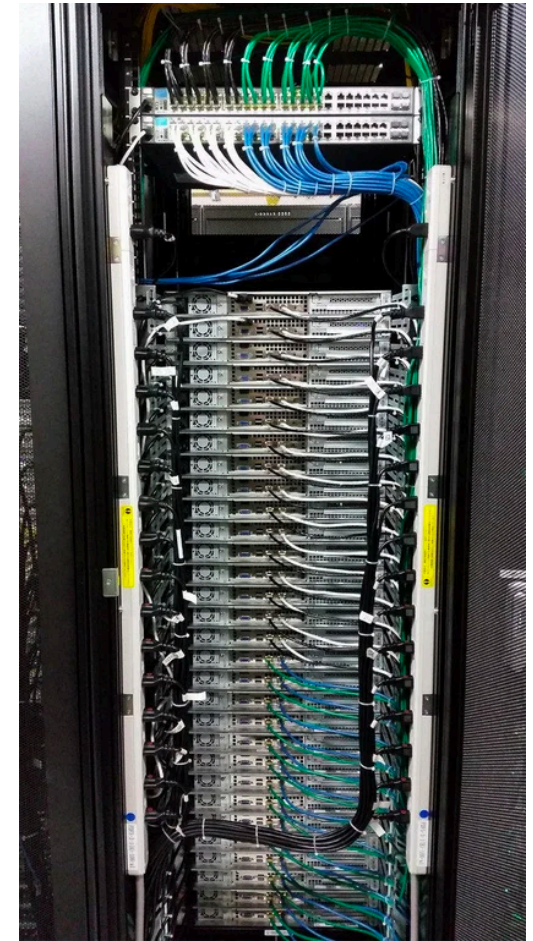
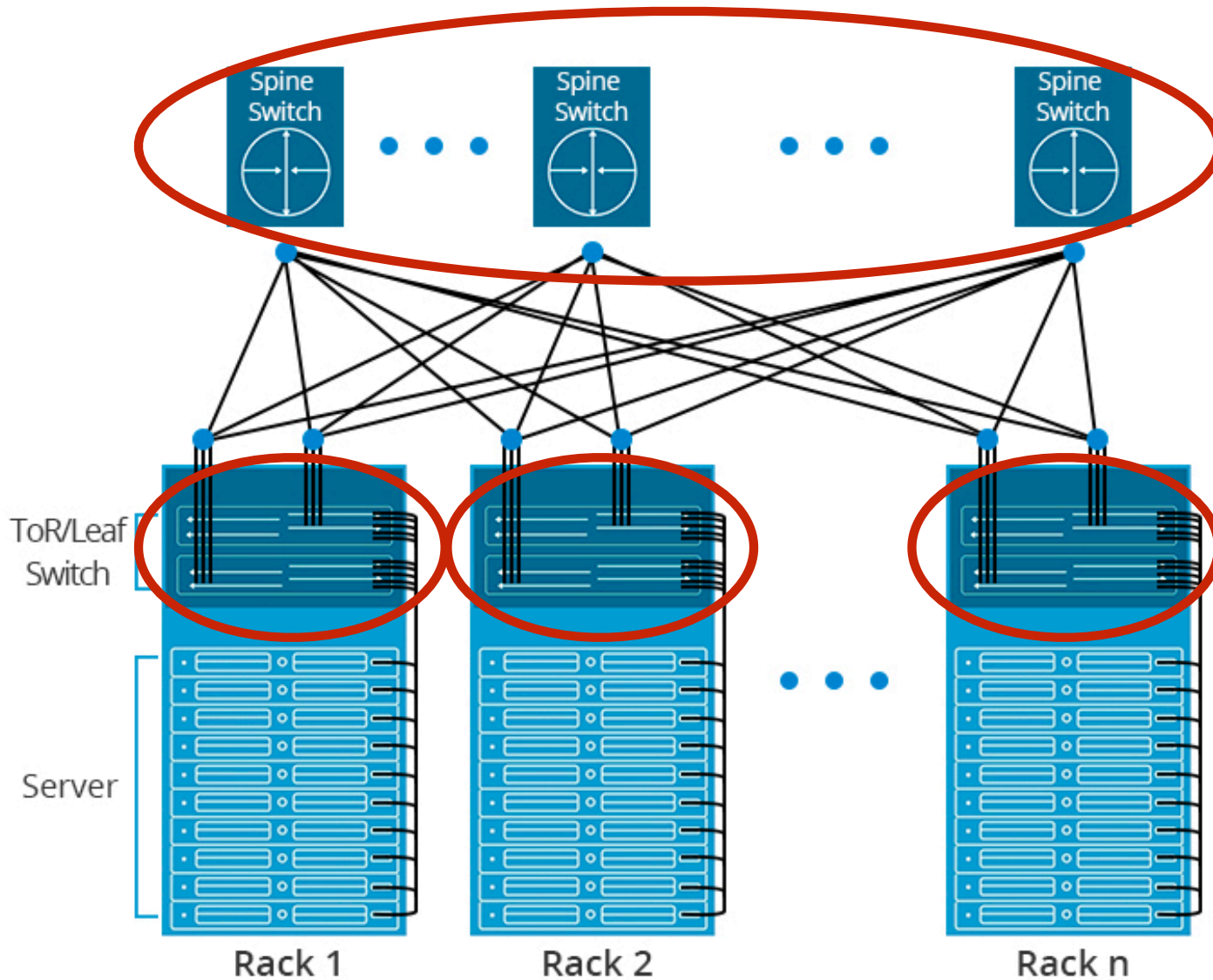
# Interconnexion des LAN

- 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 défectueuse affecte tout le réseau

# Interconnexion des LAN

- Commutateurs (switches) : 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

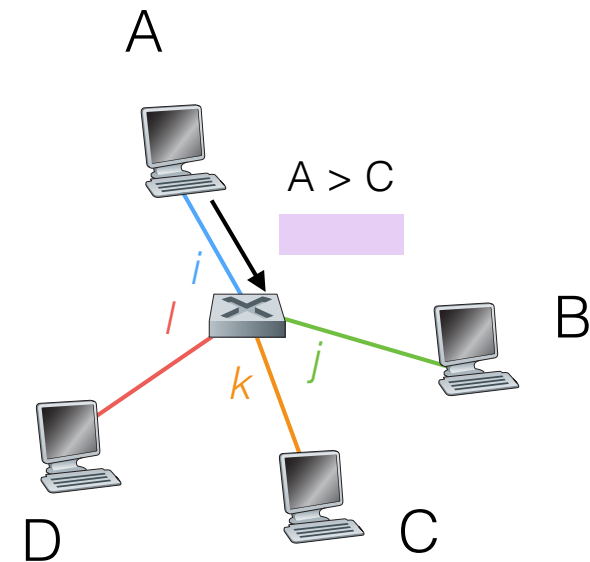
# Data Centers



# 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

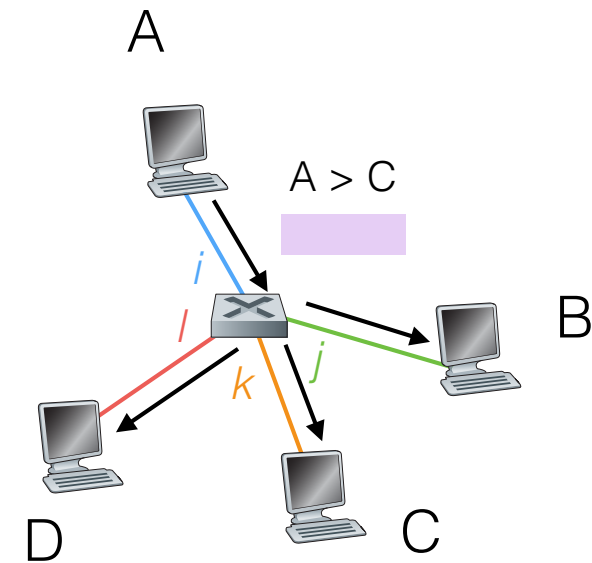


A	i

# 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 situées (comment joindre) les stations du réseau
  - Rappel : les commutateurs ne limitent pas systématiquement le domaine de diffusion

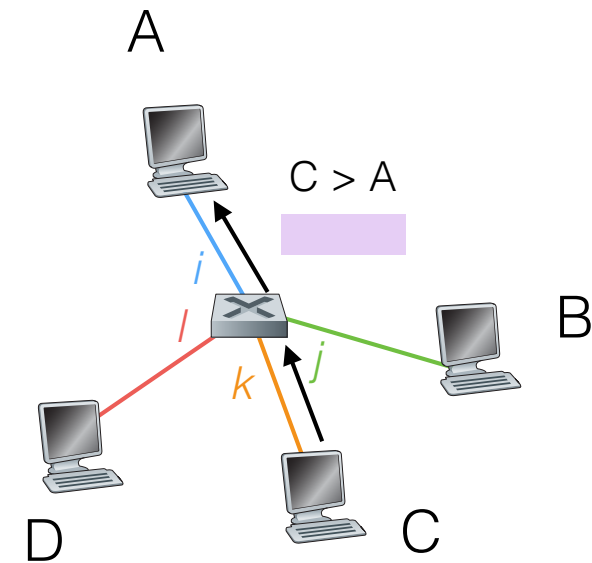


A	<i>i</i>

# 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	$k$

# 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



# Commutateurs vs Concentrateurs

## Avantages

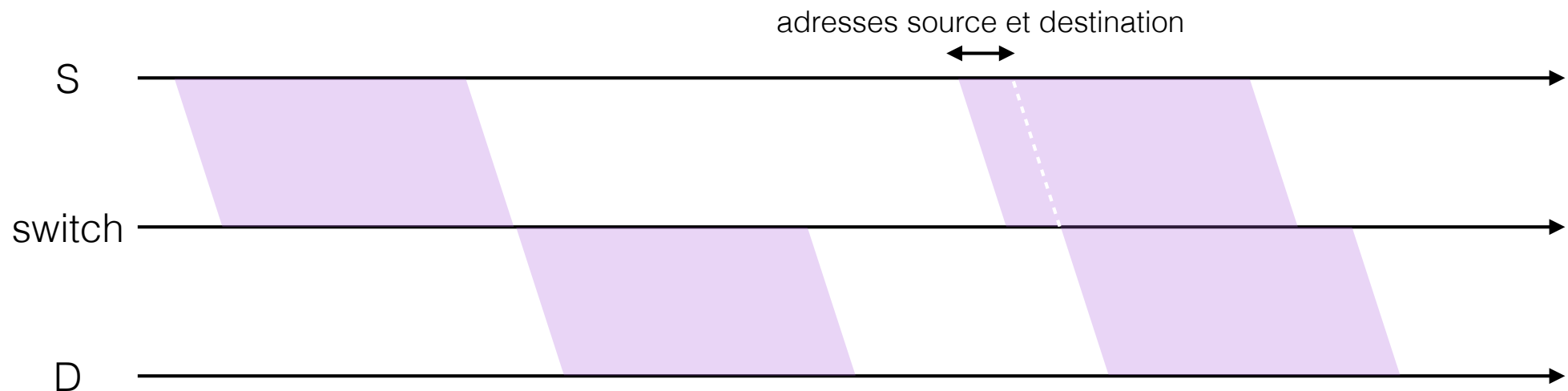
- Facteur d'échelle
  - réduction des collisions :
  - augmentation de la portée du réseau
- Filtrage du trafic
  - réduction de la quantité de trafic inutile
  - préservation de la bande passante
- Confidentialité
  - amélioration (non systématique)

## 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

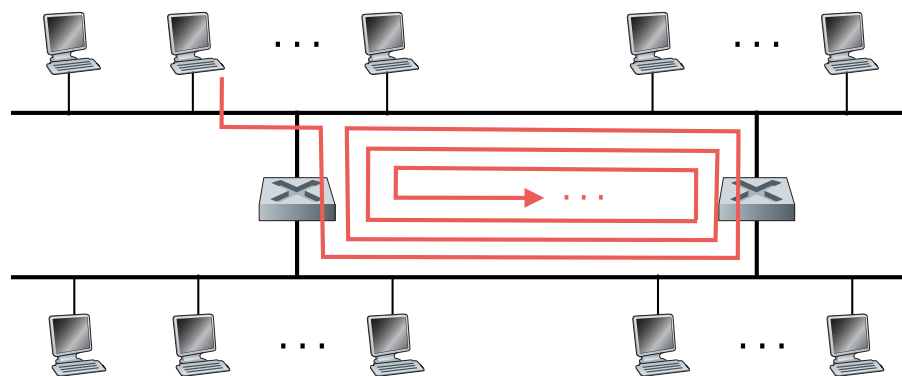
# Cut-Through Switching

- Bufferisation des trames
  - coûteux en termes de temps et de mémoire
- Transmettre la trame aussitôt que possible
  - inspecter la table CAM dès 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



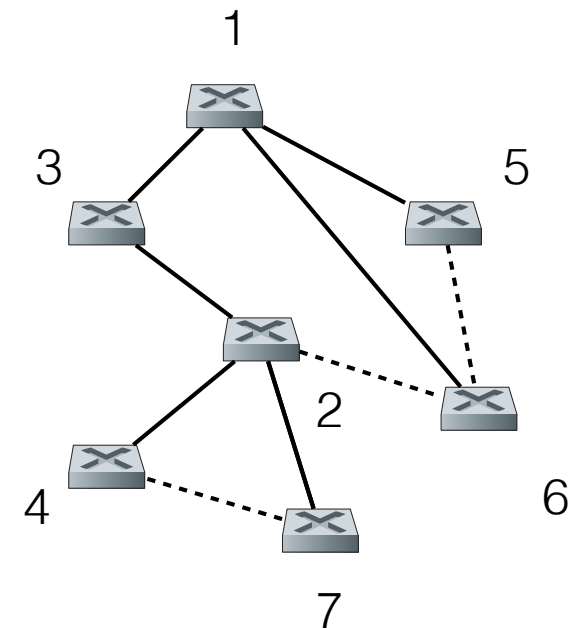
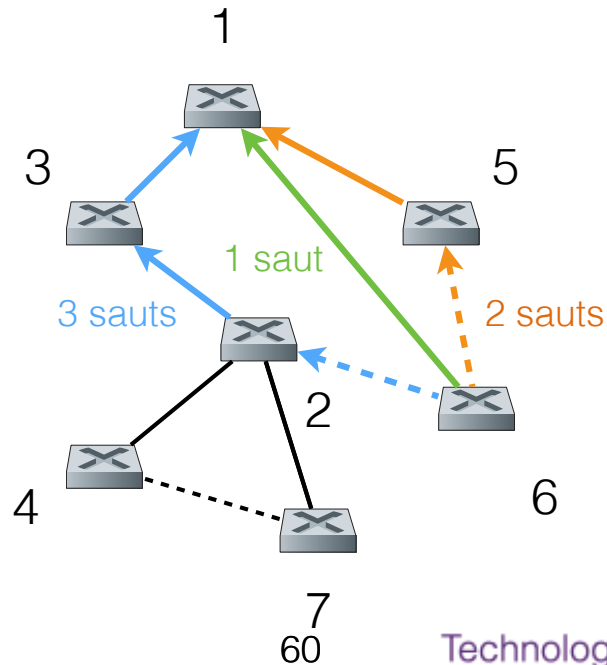
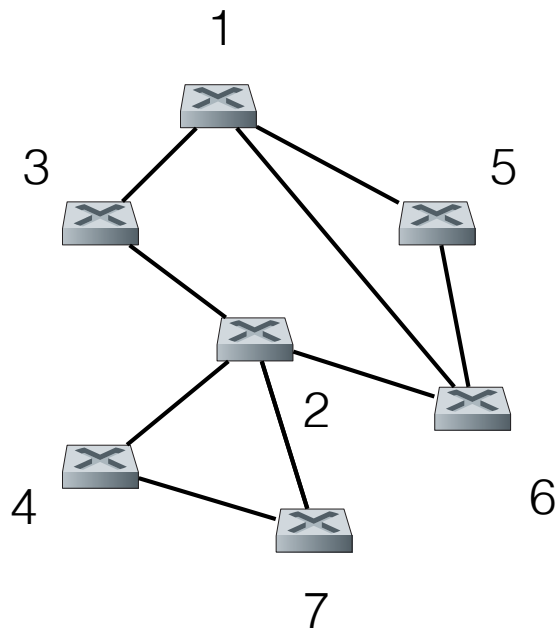
# Inondation et boucles

- 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



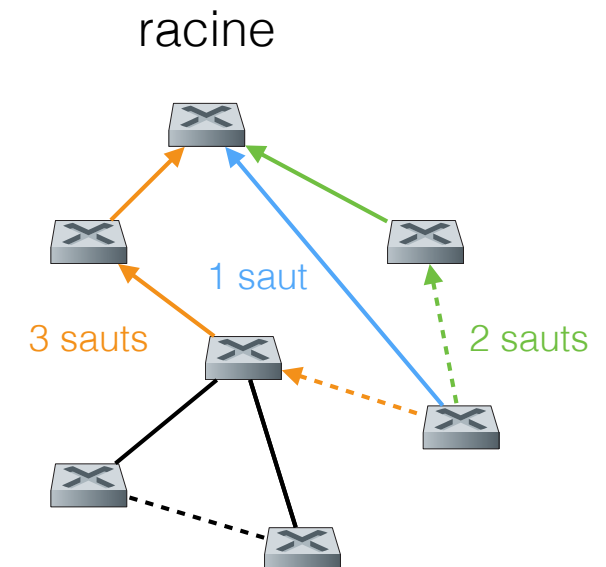
# Arbre recouvrant

- 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



# 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

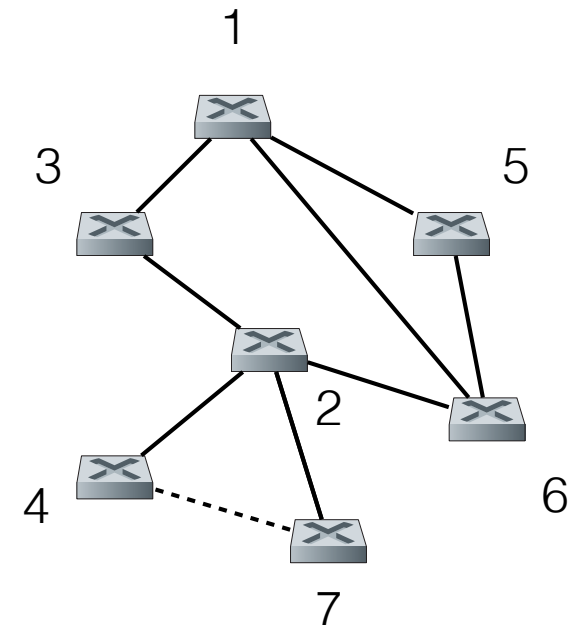


# Etales de construction de l'arbre couvrant

- 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)

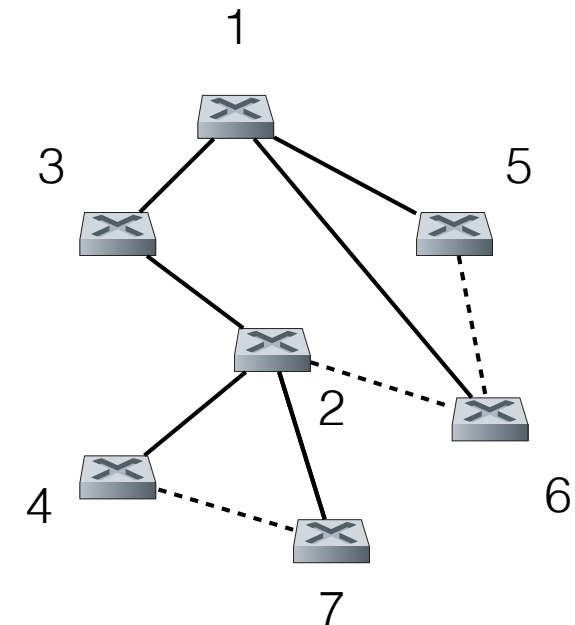
# Point de vue du commutateur 4

- 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



# 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





# 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 leurs 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 provoque l'expiration de l'état des ports

# VLAN : LAN Virtuels

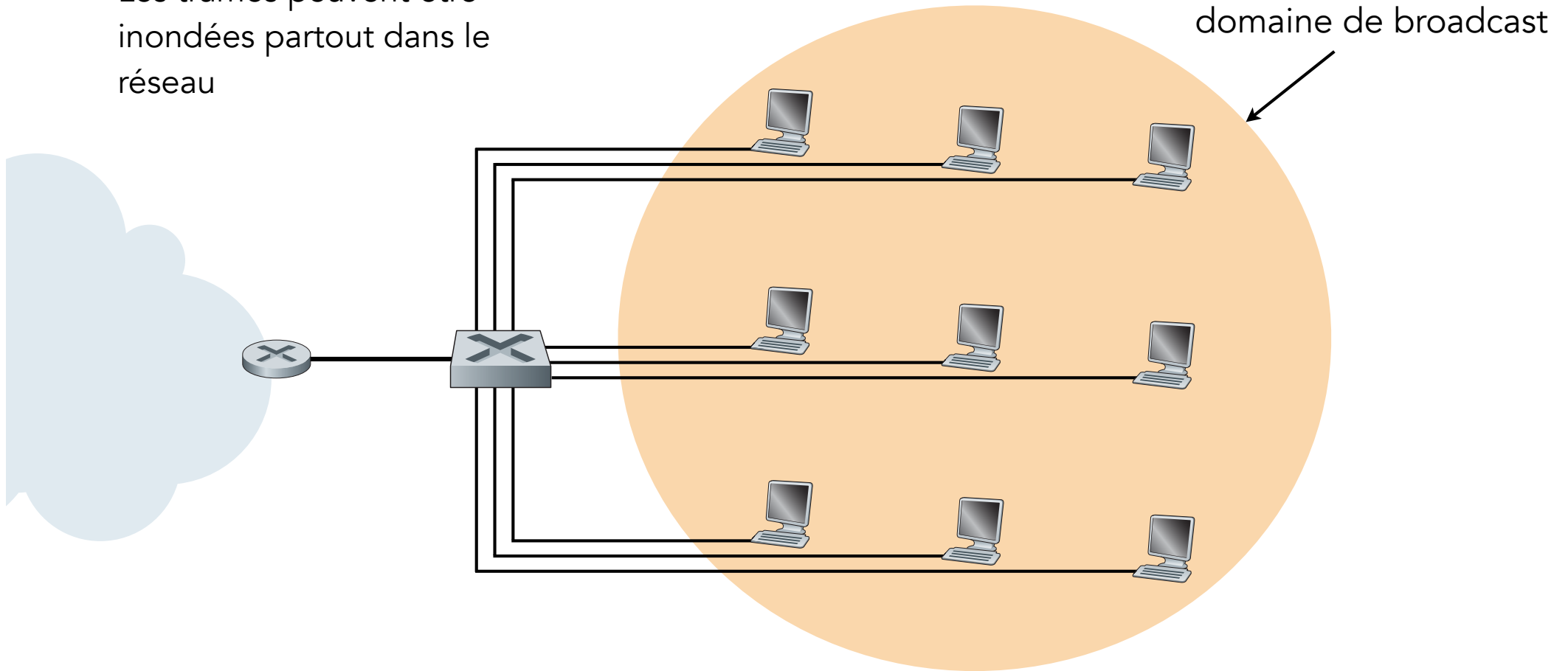
- Les commutateurs Ethernet
  - divisent le réseau en sous-domaines de collision
  - ne divisent pas le réseau en sous-domaine de diffusion
    - un seul domaine de diffusion : une trame inondée est reçue de tous
- Sécurité
  - Les stations du réseau local appartiennent toutes au même domaine de diffusion
    - 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

# (Ré-)Organisation logique du réseau

- Decoupage du réseau en sous-domaines de diffusion
  - réduire 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

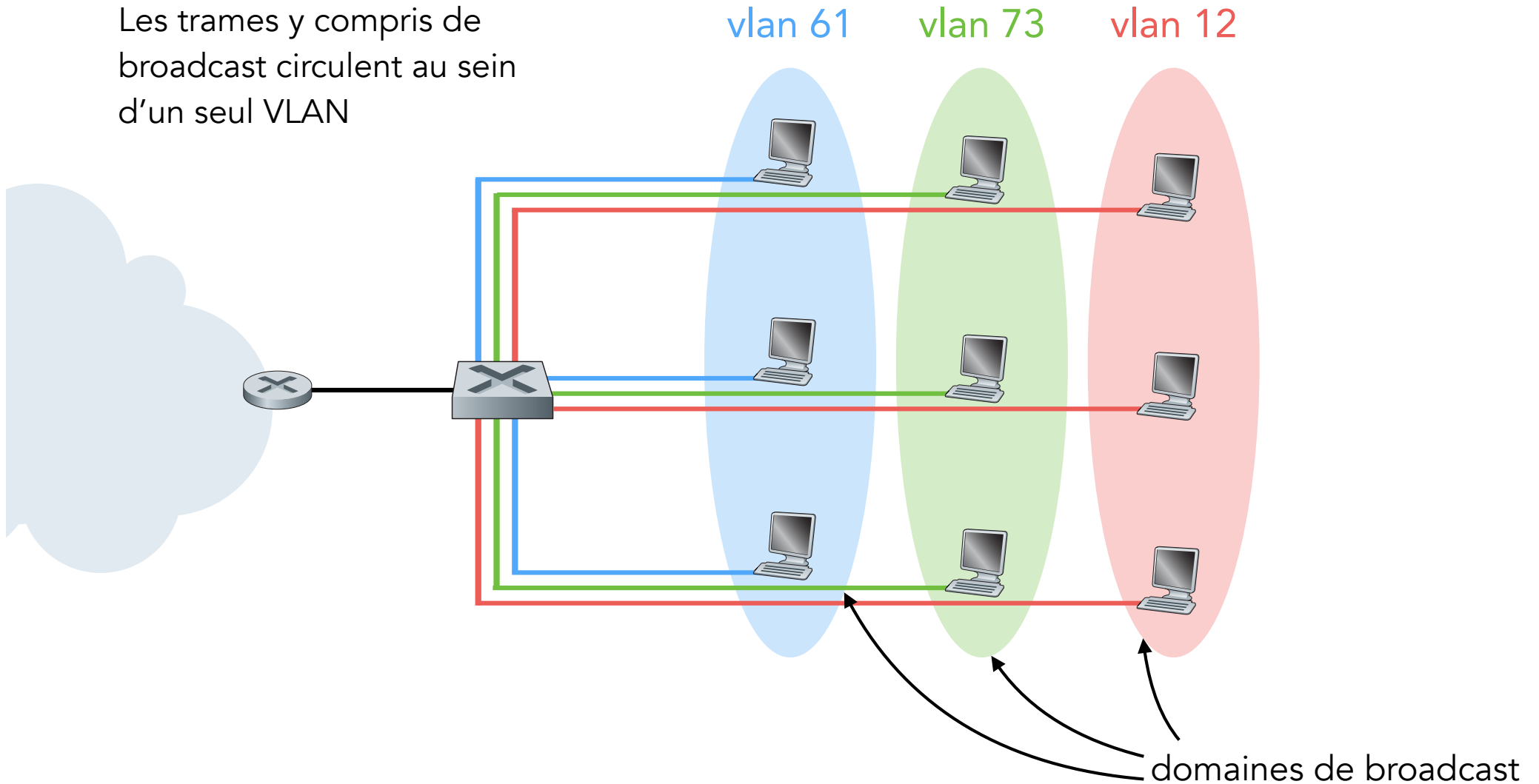
# Domaine de broadcast

Les trames peuvent être inondées partout dans le réseau



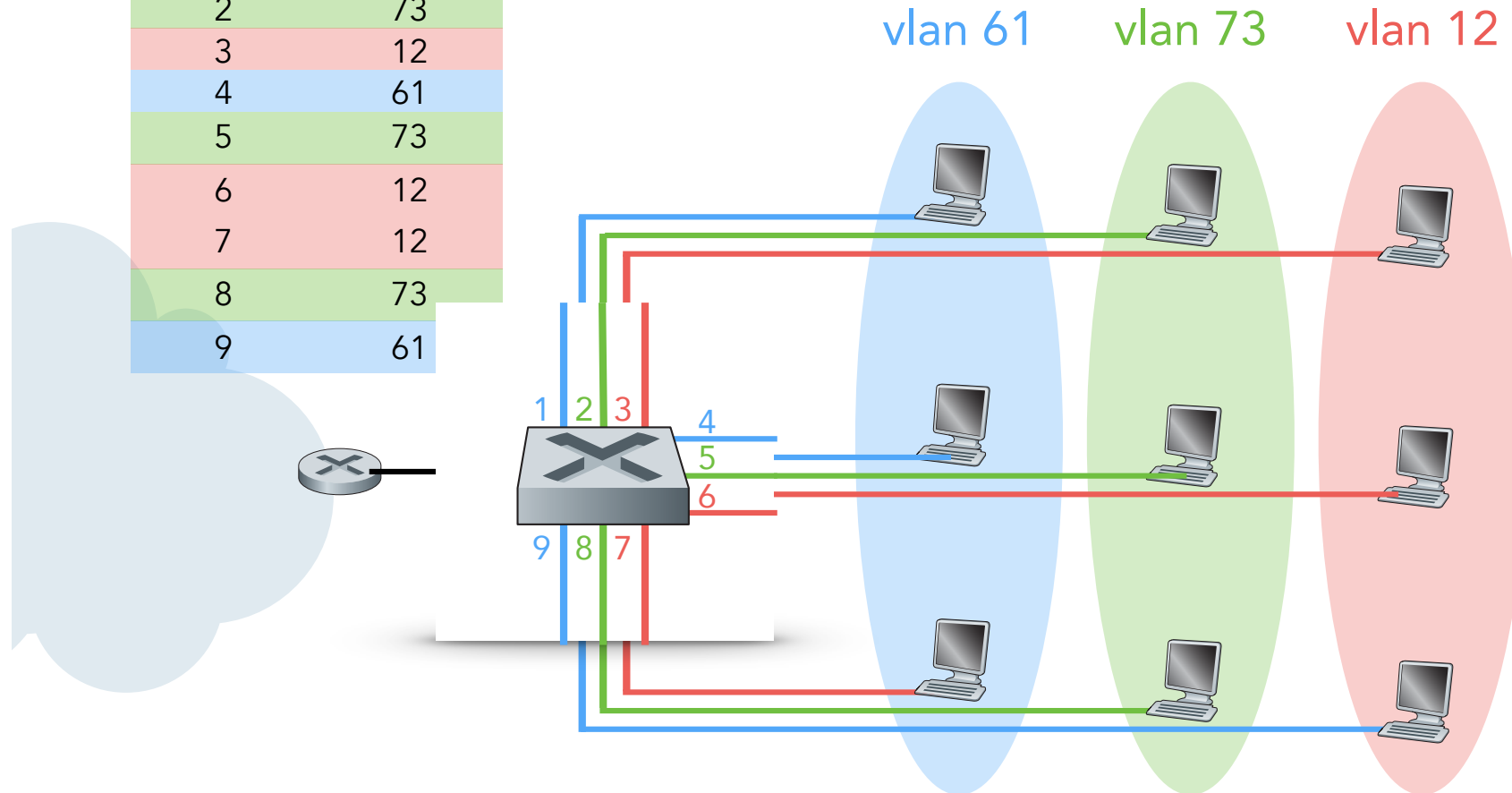
# Virtual LANs

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



# Virtual LANs

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



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

# 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

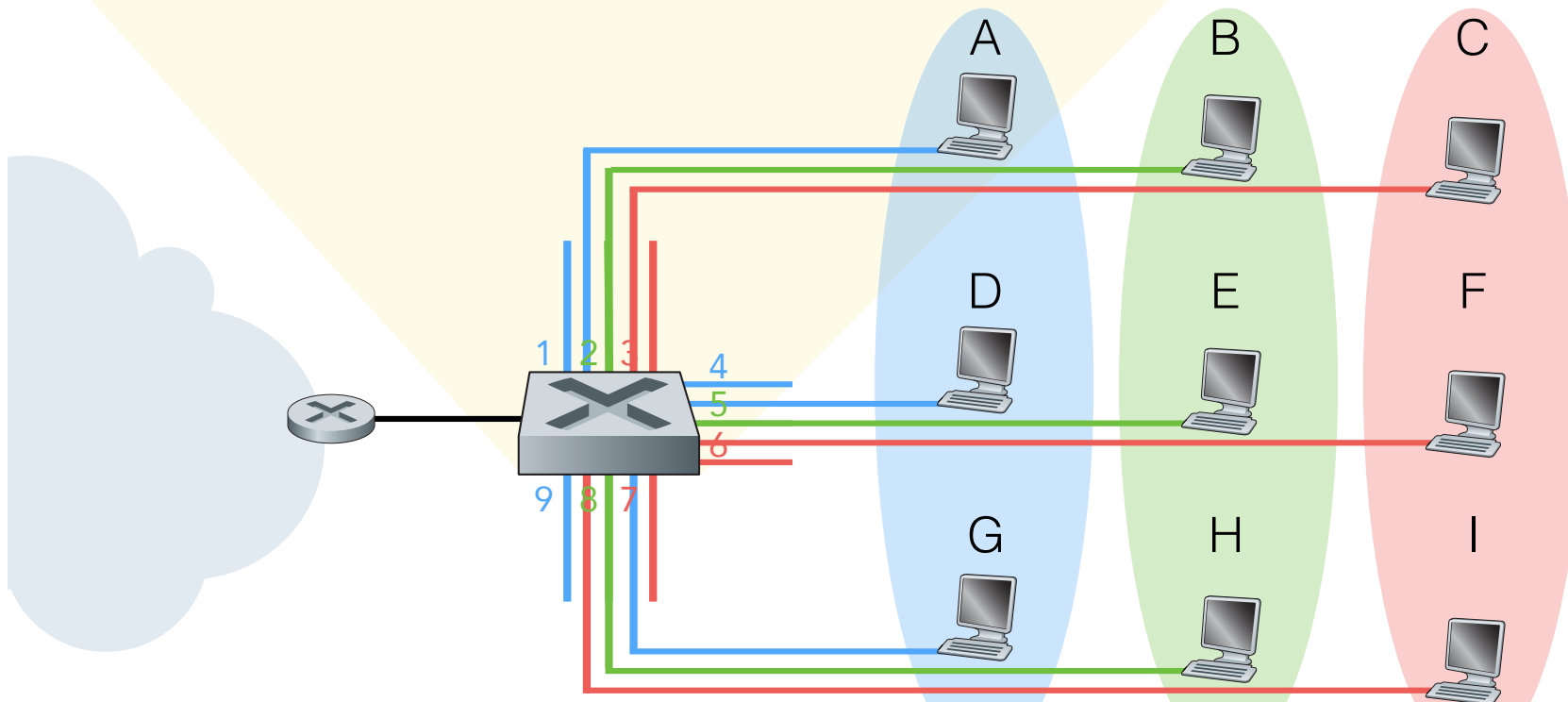
table statique construite  
manuellement par l'administrateur

VLAN 61	VLAN 73	VLAN12
MAC A	MAC B	MAC C
MAC D	MAC E	MAC F
MAC G	MAC H	MAC I

table dynamique construite  
par le commutateur

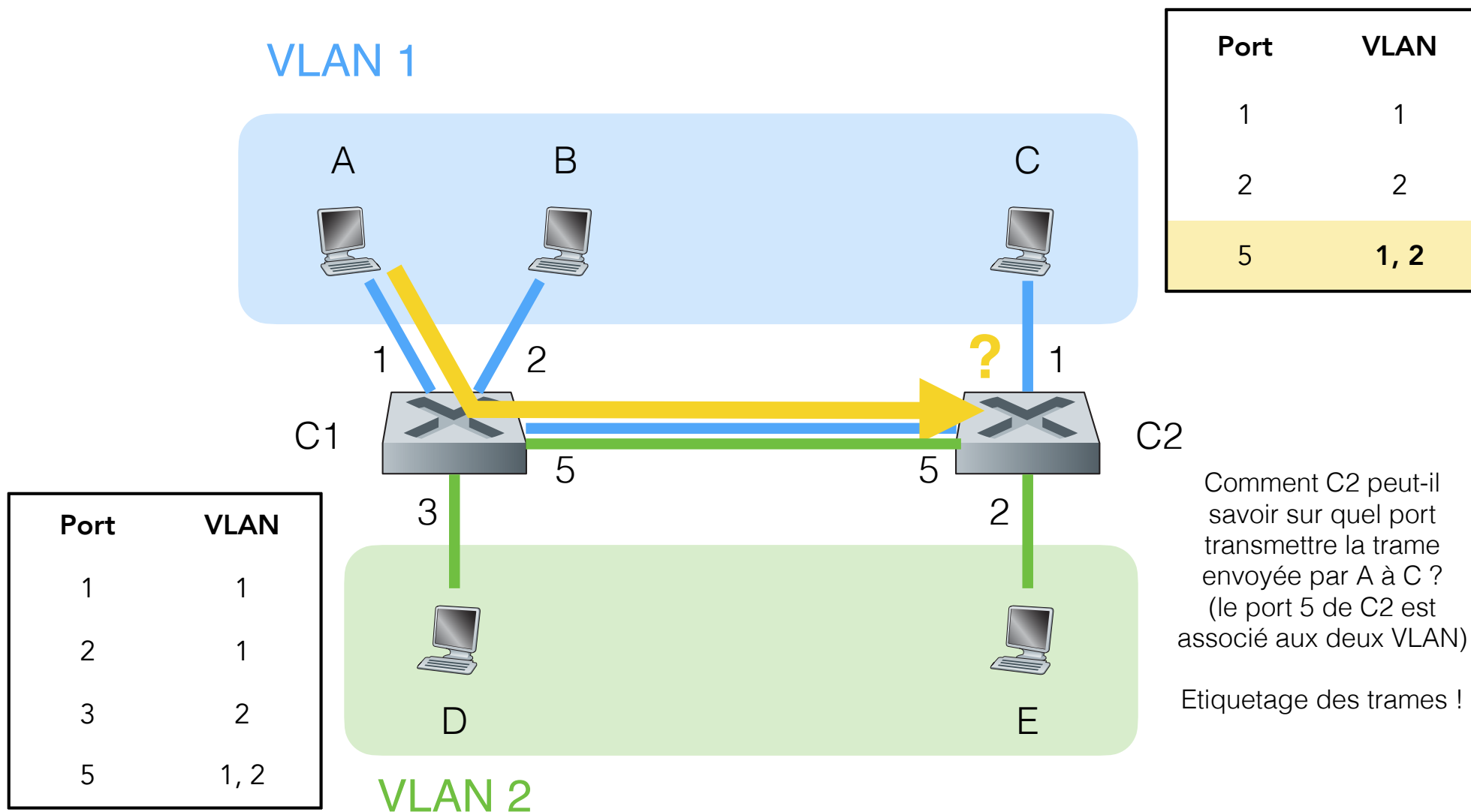
Port	VLAN
1	61
2	73
3	12
4	61
5	73
6	12
7	12
8	73
9	61

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





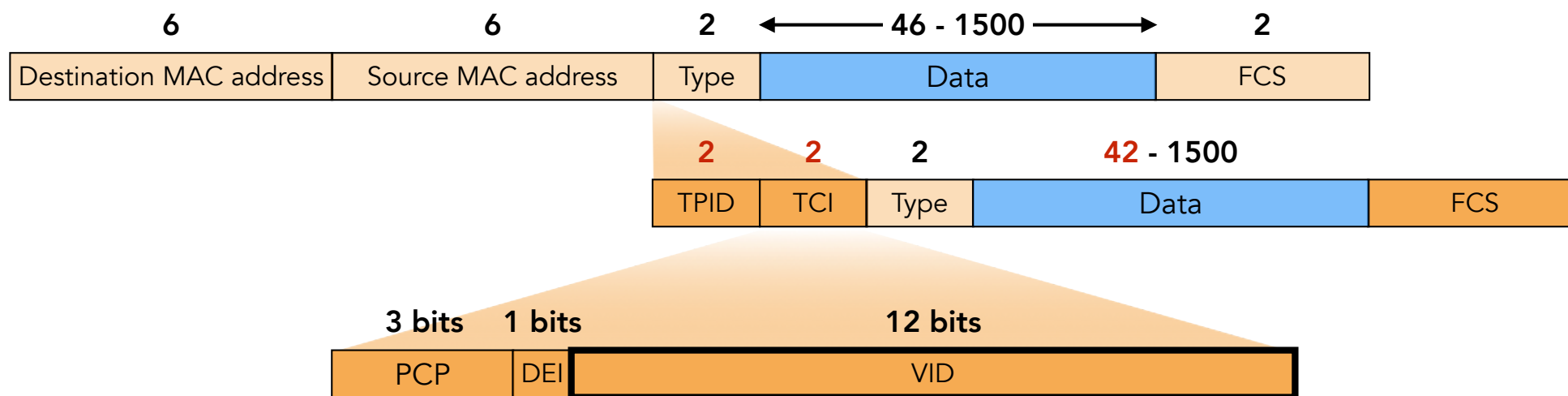
# Interconnexion de commutateurs



# Transfert des trames entre deux commutateurs

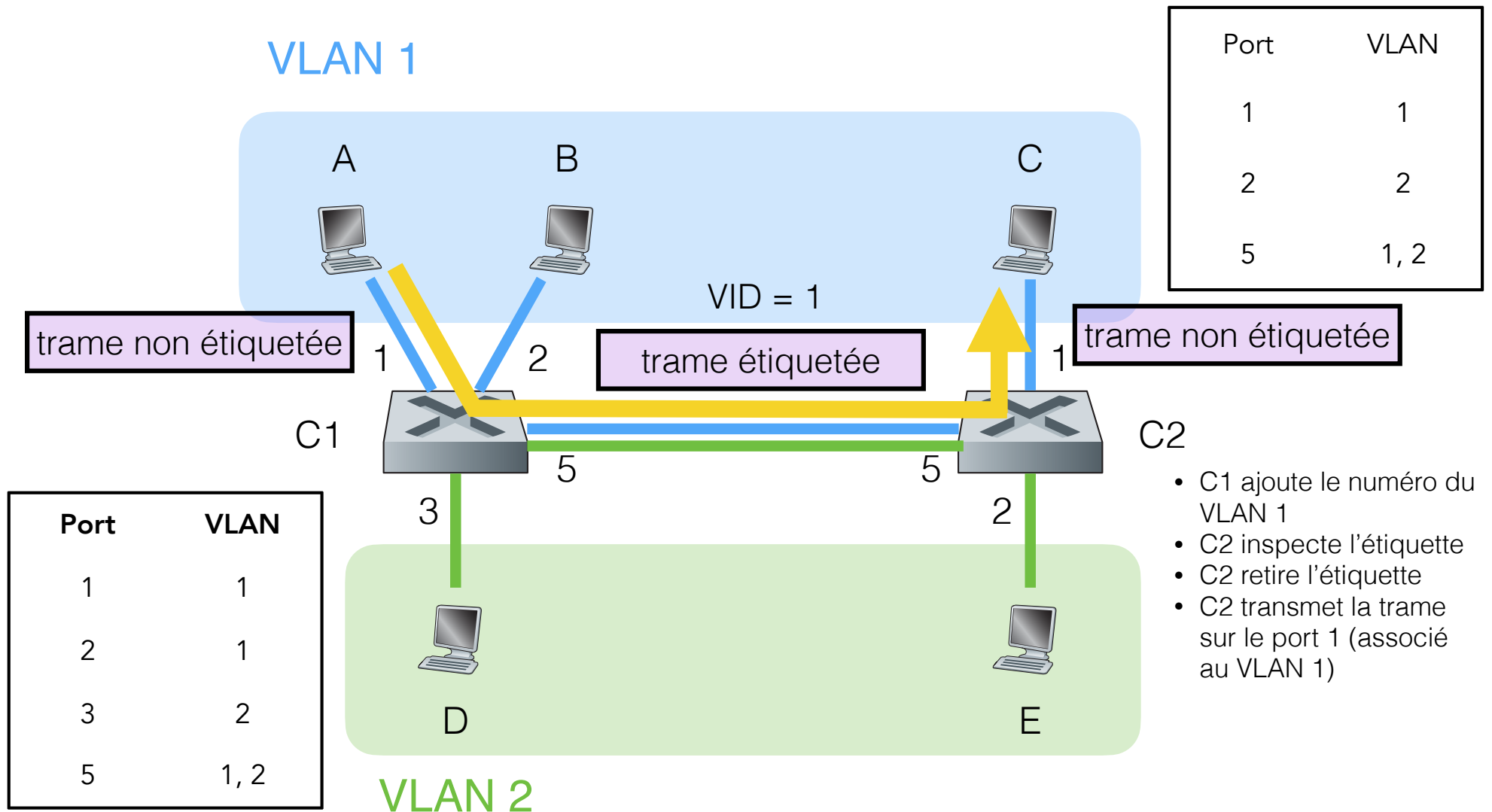
- Ajouter l'association (Adresse MAC, VLAN) dans les commutateurs
  - le commutateur 2 peut ainsi savoir à quel VLAN transmettre une trame à l'aide de l'adresse MAC source de la trame
  - association VLAN/Ports et VLAN/Adresse MAC sur tous les commutateurs
    - configuration laborieuse et fastidieuse
- 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
  - 802.3Q : format des trames VLAN-"étiquetées" (tagged)

# Trames 802.1Q



- 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

# Interconnexion de commutateurs



# 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)