

Couche Liaison de Données Méthodes d'accès

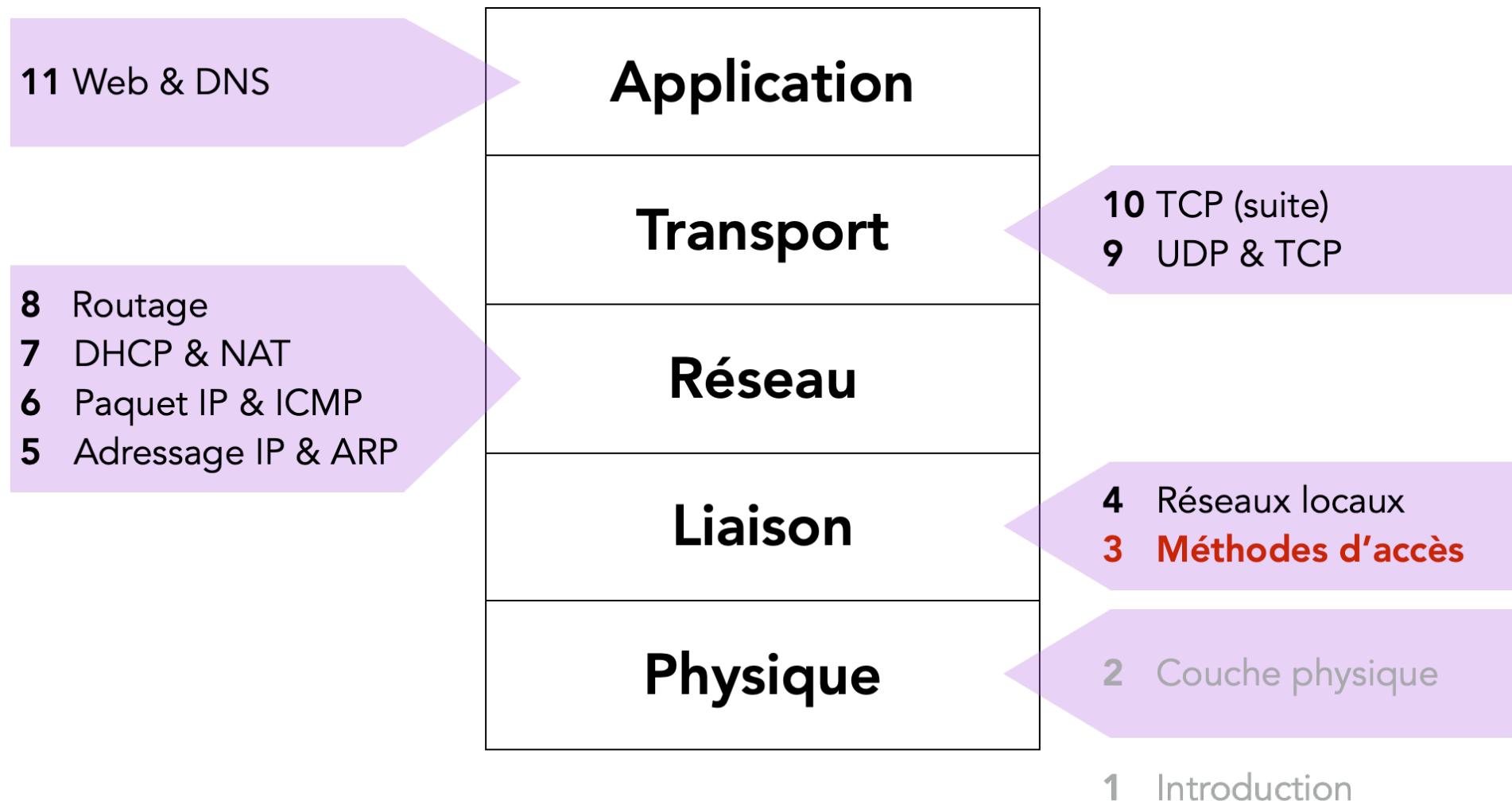
UE LU3IN033 Réseaux
2024-2025

Bruno Baynat

Bruno.Baynat@sorbonne-universite.fr



Programme de l'UE LU3IN033



Plan du cours

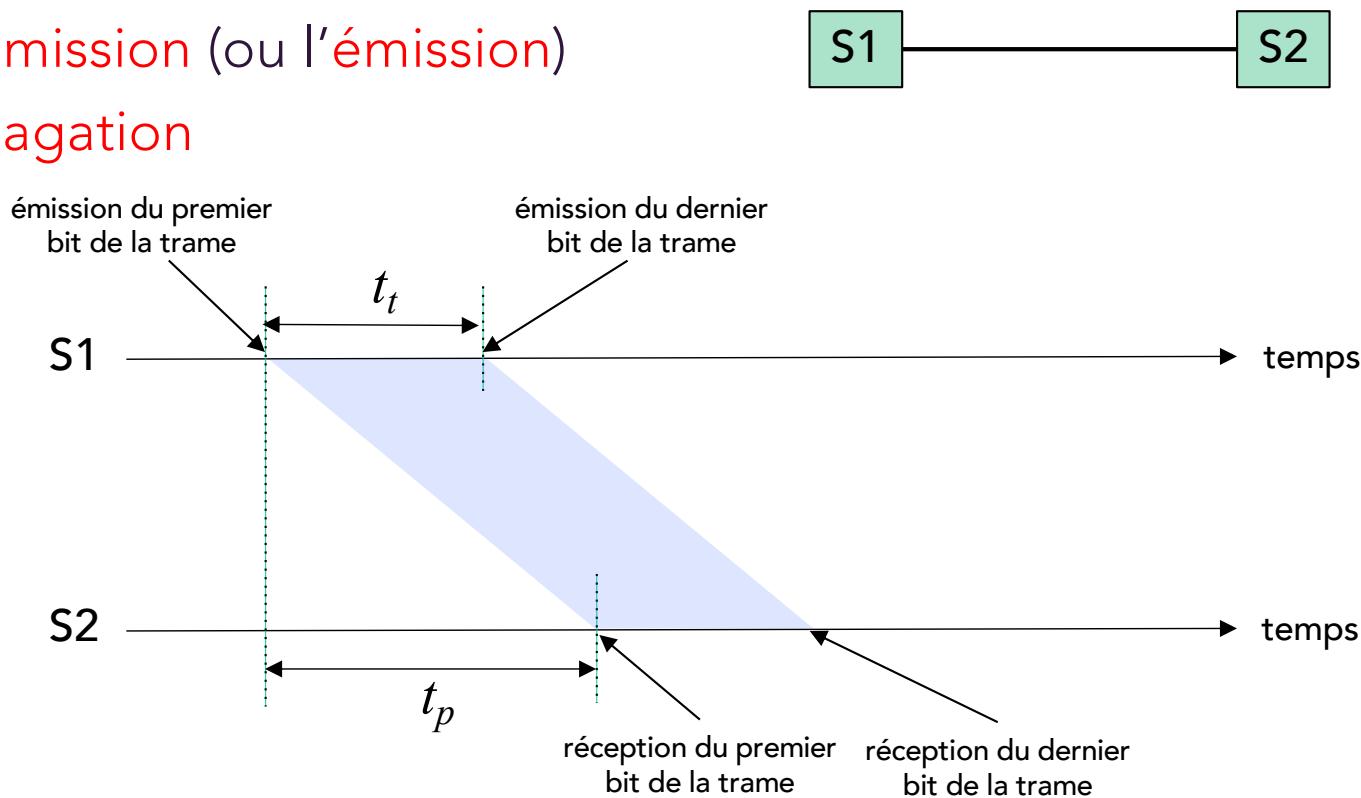
- Types de réseaux
 - point-à-point
 - à diffusion
- Topologie
 - physique
 - logique
- Méthodes d'accès
 - statiques
 - à répartition en fréquence
 - à répartition dans le temps
 - dynamiques
 - à allocation déterministe : polling, jeton
 - à allocation aléatoire : Aloha, CSMA/CD, CSMA/CA
- Normes IEEE 802
 - Ethernet (CSMA/CD) : 802.3
 - Wifi (CSMA/CA) : 802.11

Liaison de données



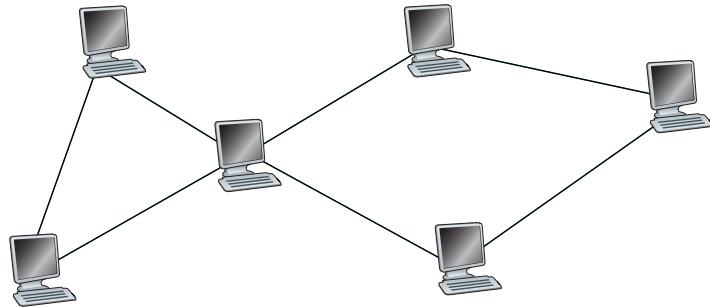
Transmission / Propagation

- Au niveau **liaison de données**, les informations échangées entre les machines sont structurées en **trames**
- L'**envoi d'une trame** est constitué de deux phénomènes qui se déroulent en parallèle
 - la **transmission** (ou l'**émission**)
 - la **propagation**

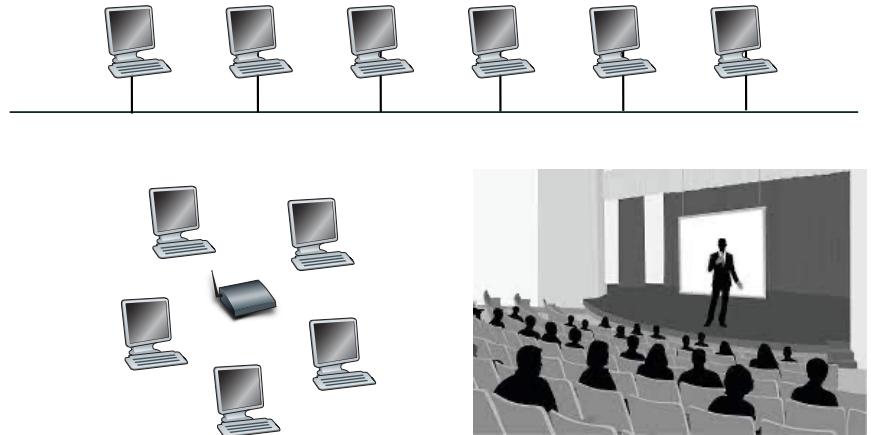


Types de réseaux

Réseaux point à point



Réseaux à diffusion naturelle

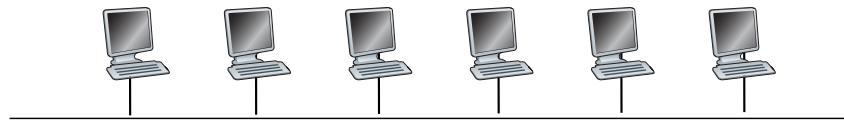


- Chaque lien connecte
 - deux stations
 - hôtes
 - routeurs
 - qui exécutent un protocole de liaison de données en mode point à point
 - EX : HDLC, PPP, ...
- Topologie adaptée aux réseaux longue distance (WAN)

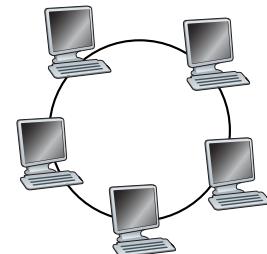
- Plusieurs stations partagent un même support de transmission
 - chaque trame émise par une station est susceptible d'être reçue par toutes les autres stations connectées au support
- Topologie adaptée aux réseaux locaux (LAN)
 - Ethernet, WiFi, Bluetooth, ...

Topologie des LANs

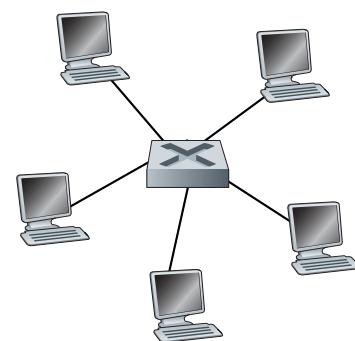
- Bus



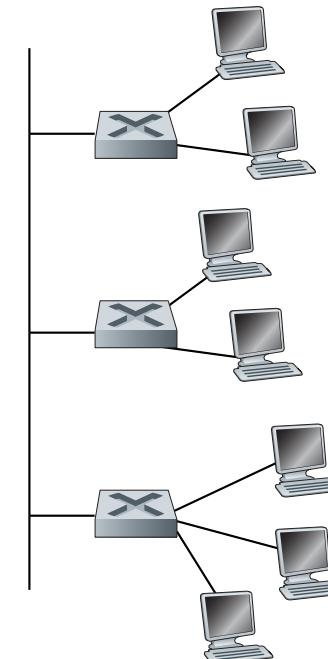
- Anneau



- Etoile



- Hybride

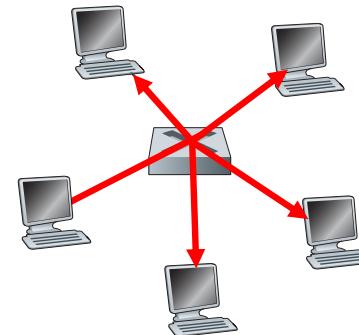
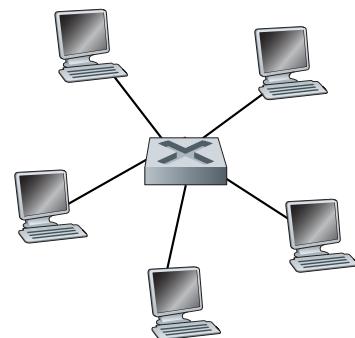
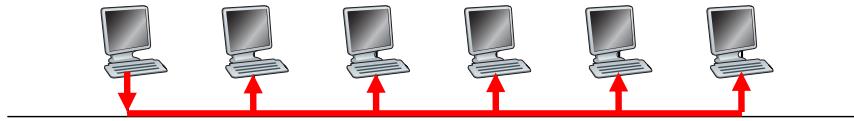


Topologie physique vs logique

Topologie physique



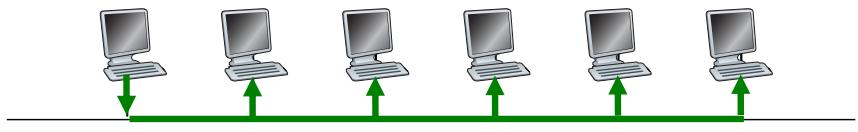
Topologie logique



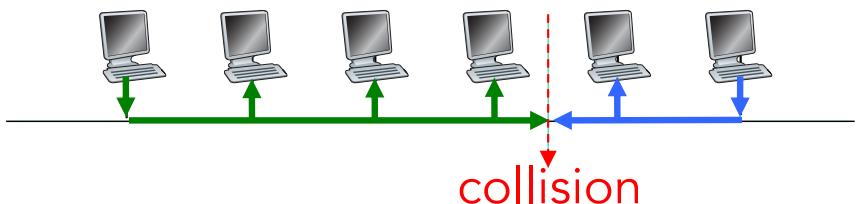
- La topologie physique décrit la façon dont les stations sont physiquement connectées les unes aux autres
- La topologie logique décrit la façon dont l'information circule entre les stations
- Exemple d'un concentrateur (hub) : bus logique sur une étoile physique

Partage du support de transmission

- Support de transmission partagé
 - Plusieurs stations sont connectées au même support
 - Les transmissions sont reçues par l'ensemble des stations
 - Des transmissions simultanées entraînent des **collisions**
 - Les collisions brouillent les communications et les rendent inintelligibles
 - Nécessité d'un **arbitrage**



- Méthodes de contrôle d'accès
 - Ensemble de règles régissant le partage du support
 - en déterminant qui peut transmettre à un instant donné
 - en évitant au maximum les collisions
 - en étant le plus équitable possible



Méthodes d'accès

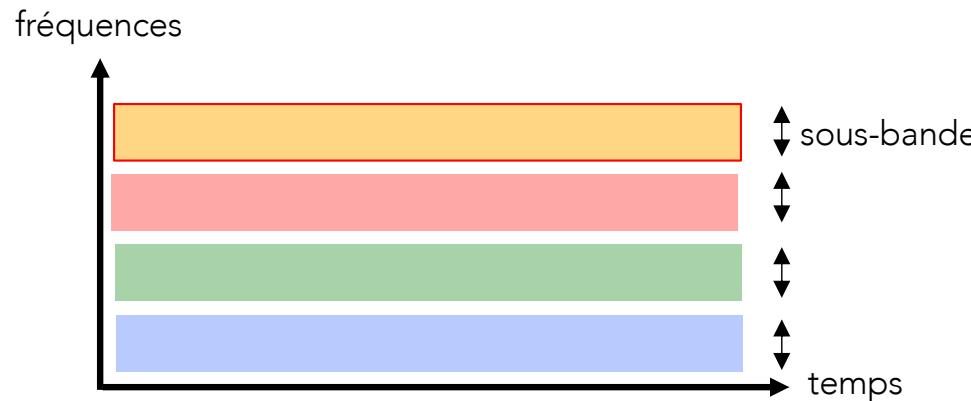


Méthodes d'accès

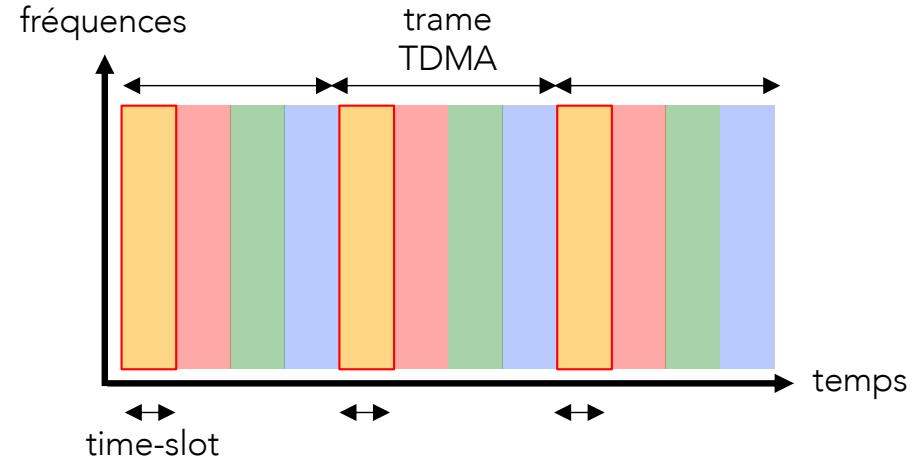
- Méthodes de contrôle d'accès
 - Algorithmes (centralisés/distribués) qui définissent quelle(s) est (sont) la (les) station(s) qui peut (peuvent) transmettre à un instant donné
 - Prennent en compte la topologie logique du réseau
 - Permettent un partage équitable de la « bande passante » entre
 - toutes les stations du réseau
 - toutes les stations souhaitant émettre
- Classification
 - Méthodes d'**accès statique**
 - le partage s'effectue de façon invariante dans le temps
 - Méthodes d'**accès dynamique**
 - les ressources de communication sont allouées en fonction des besoins

Méthodes d'accès statique

AMRF : Accès Multiple à Répartition en Fréquence



AMRT : Accès Multiple à Répartition dans le Temps



- FDMA : *Frequency-Division Multiple Access*
- La bande passante est divisée en sous-bandes de fréquences
 - 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
- TDMA : *Time-Division Multiple Access*
- Le temps est divisé en intervalles de temps (time-slots)
 - un time-slot alloué par station à tour de rôle
 - les stations utilisent toute la bande passante pendant leur time-slot
- Méthode peu efficace si stations inactives
- Redécoupage du cycle si ajout ou retrait de stations

Méthodes statiques et LANs

- Les méthodes d'accès statique sont efficaces si
 - le nombre de stations actives est invariable dans le temps
 - chaque communication a un débit constant
- Les méthodes d'accès statique ne sont donc **pas adaptées aux LANs** dans lesquels
 - le nombre de stations actives varie constamment dans le temps
 - les stations génèrent un trafic sporadique
- Pour les LANs : nécessité de mettre en place des **méthodes d'accès dynamiques**
 - allocation des ressources variable dans le temps
 - aux machines qui en ont besoin

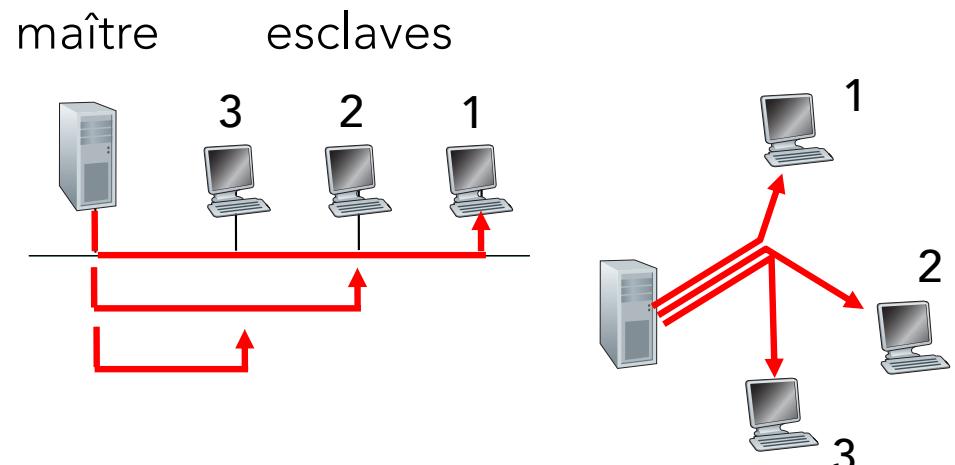
Méthodes d'accès dynamiques

- Méthodes d'accès dynamique
 - à allocation déterministe
 - Le polling : Bluetooth
 - Le jeton
 - non adressé
 - adressé
 - à allocation aléatoire
 - Aloha
 - Carrier Sense Multiple Access (CSMA)
 - persistant, non-persistant, p-persistant
 - with Collision Detection (CSMA/CD) : [Ethernet](#) (802.3)
 - with Collision Avoidance (CSMA/CA) : [Wifi](#) (802.11)

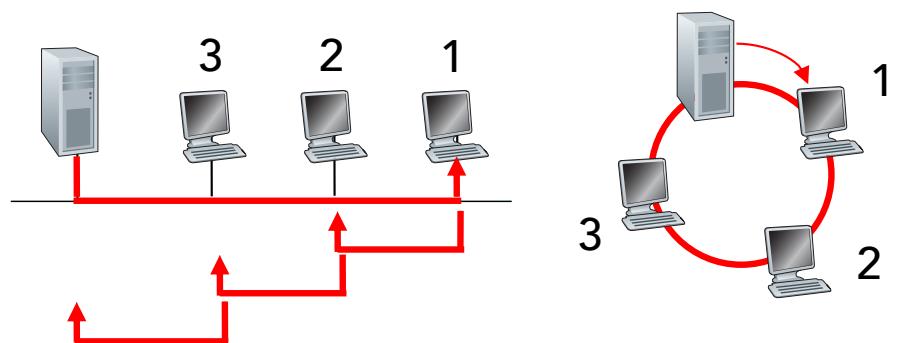
Le polling

- Polling
 - Méthode centralisée
 - station primaire : **maître**
 - stations secondaires : **esclaves**
 - Le maître interroge les esclaves à tour de rôle : **poll**
 - Les esclaves répondent
 - positivement avec les données à transmettre le cas échéant
 - négativement sinon
- Deux variantes du polling selon l'ordre du polling
 - Roll-call polling (Bluetooth)
 - topologie logique : étoile
 - Hub polling
 - topologie logique : anneau

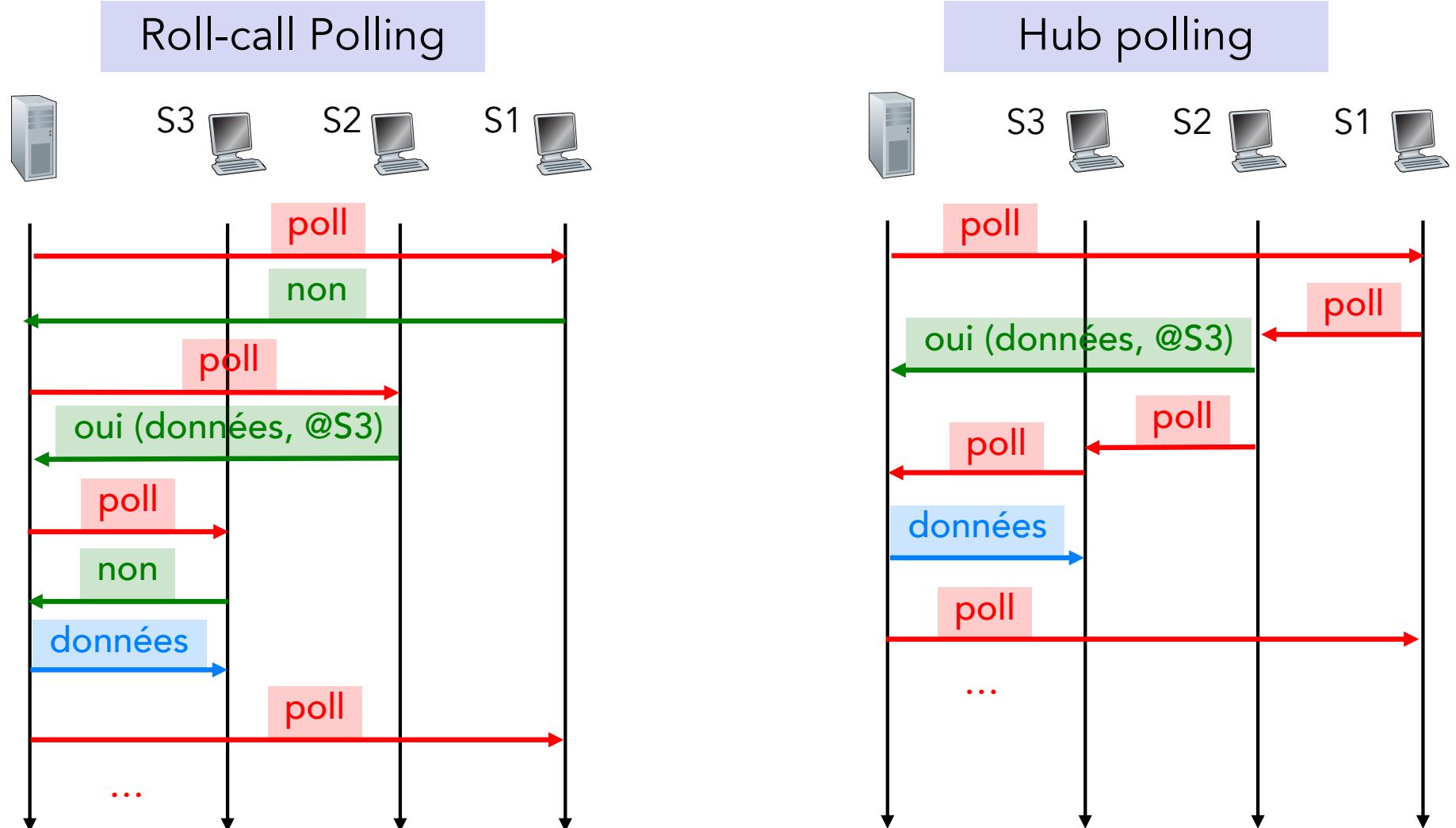
Roll-call Polling



Hub polling



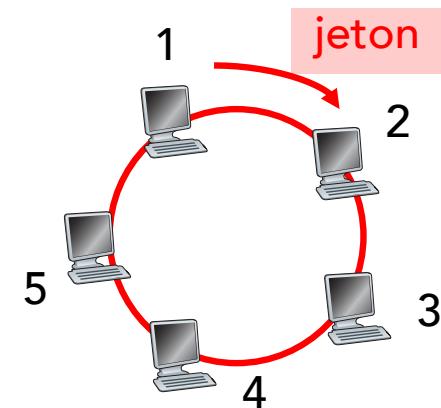
Le polling



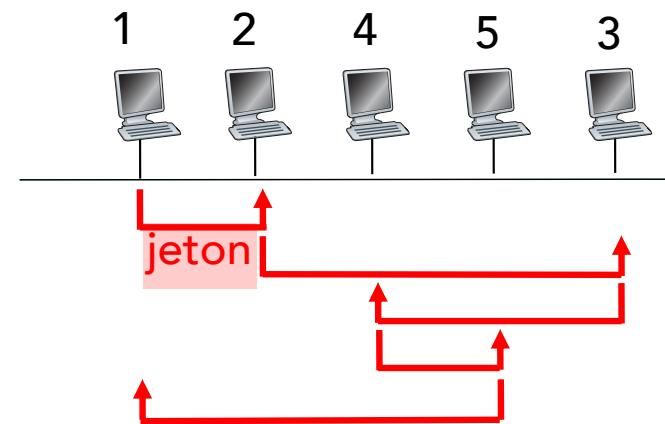
Le jeton

- Méthode distribuée
 - Pas de station primaire ou secondaire
- Un jeton circule sur l'anneau (logique)
 - une seule copie sur le réseau
 - deux états possibles
 - libre
 - occupé
- Topologies physiques concernées
 - Anneau : jeton non adressé
 - circule selon l'anneau (dans un sens)
 - Bus : jeton adressé
 - chaque station connaît
 - son prédécesseur sur l'anneau virtuel
 - son successeur sur l'anneau virtuel
 - le jeton est « adressé » d'une station à la suivante

Jeton non adressé

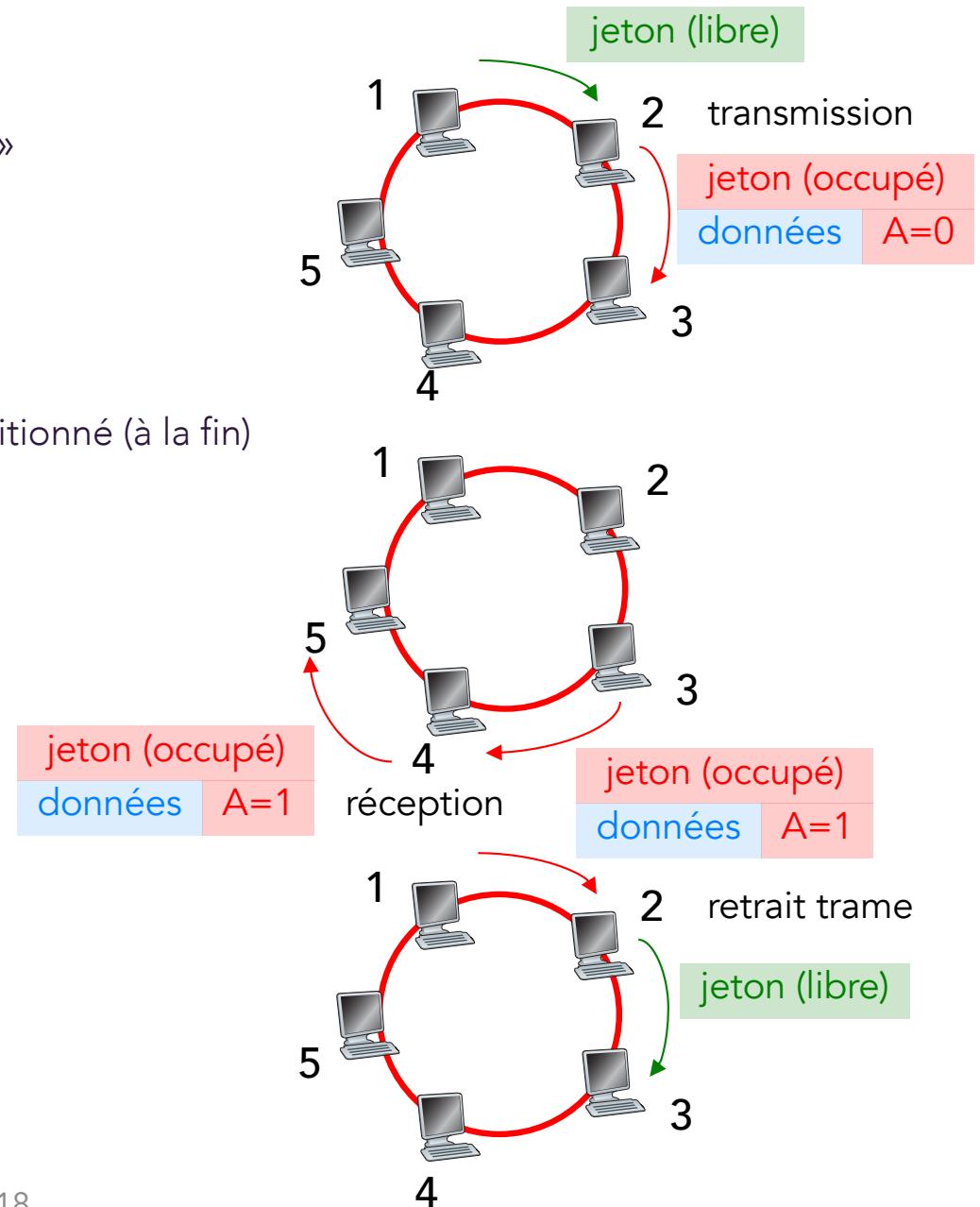


Jeton adressé



Le jeton non adressé

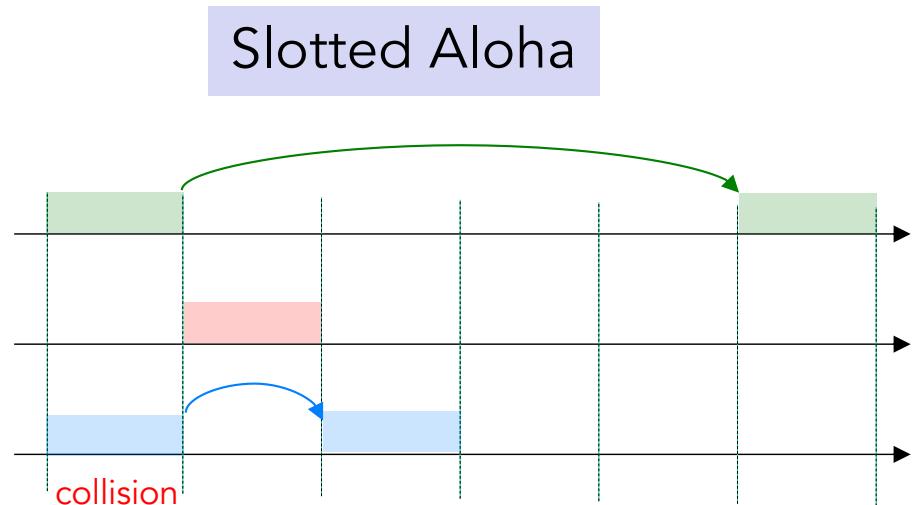
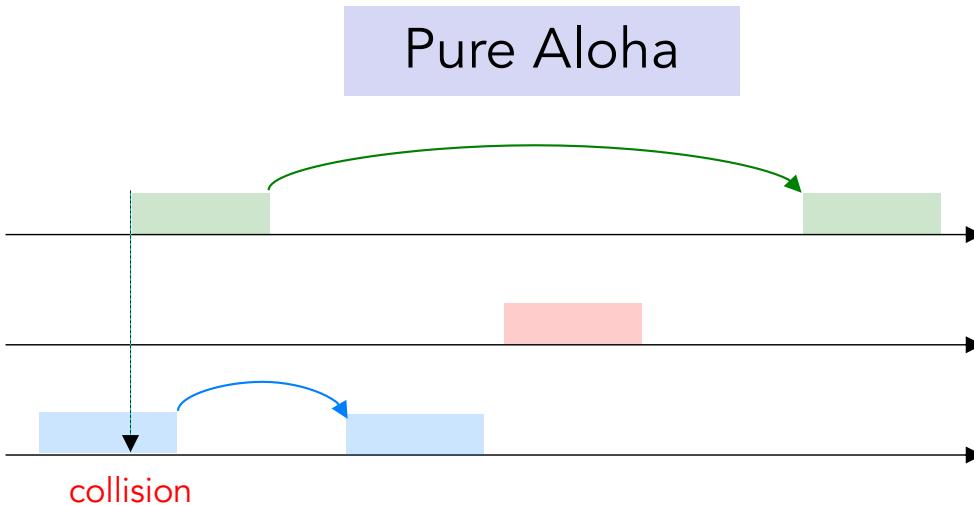
- Une station qui désire transmettre
 - attend de recevoir le jeton à l'état « libre »
 - change l'état du jeton à l'état « occupé »
 - inclut ses données dans le jeton ainsi que
 - l'adresse de la destination (au début)
 - l'adresse de la source (au début)
 - un bit d'acquittement initialement non positionné (à la fin)
- Chaque station qui voit passer le jeton
 - inspecte l'état du jeton
 - si occupé
 - si l'adresse destination est la sienne
 » elle prélève une copie de la trame
 - » elle change le bit d'acquittement
 - » et passe le jeton au nœud suivant
 - si l'adresse source est la sienne
 » elle retire la trame de l'anneau
 - » et libère le jeton à l'état libre
 - si libre
 - elle transmet si elle le désire



Méthodes d'accès dynamique à allocation aléatoire

- Les méthodes d'accès à allocation déterministe assurent qu'une machine qui possède le droit d'émettre (le poll ou le jeton) est la seule à pouvoir émettre
 - pas de collisions possibles
- Lorsque l'accès est à allocation aléatoire, deux stations peuvent se retrouver à émettre en même temps
 - collisions possibles : les trames émises par les deux stations qui sont rentrées en collision sont corrompues
- Comment détecter les collisions ?
- Comment réagir ?

Méthodes d'accès dynamique à allocation aléatoire



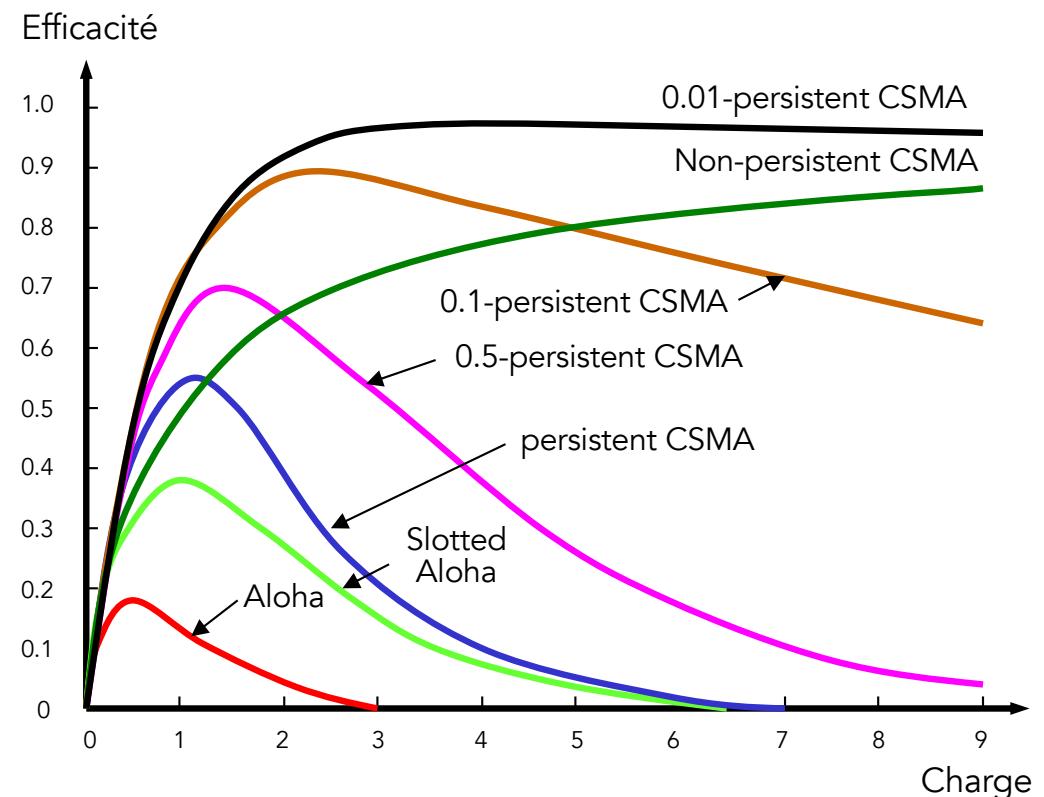
- Une station peut émettre dès qu'elle le souhaite sans aucune précaution
- Après transmission, la station attend le retour d'un acquittement
- En cas d'échec, la station réémettra sa trame au terme d'un **délai aléatoire**
- Au bout de N retransmissions successives, la station abandonne
- Efficacité : 18%

- Même principe sauf que
 - le temps est découpé en intervalles temps (correspondant à la 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

Carrier Sense Multiple Access

- CSMA reprend la méthode Pure Aloha avec une écoute préalable du canal
 - La station n'émet que si le canal est libre
- Plusieurs variantes selon la décision prise par la station souhaitant émettre quand le canal est occupé
 - CSMA persistant
 - écoute persistante du canal
 - dès qu'il devient libre, émettre
 - 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 aléatoire et se remettre en écoute
 - CSMA non persistant
 - si canal occupé, faire une nouvelle tentative au bout d'un temps aléatoire

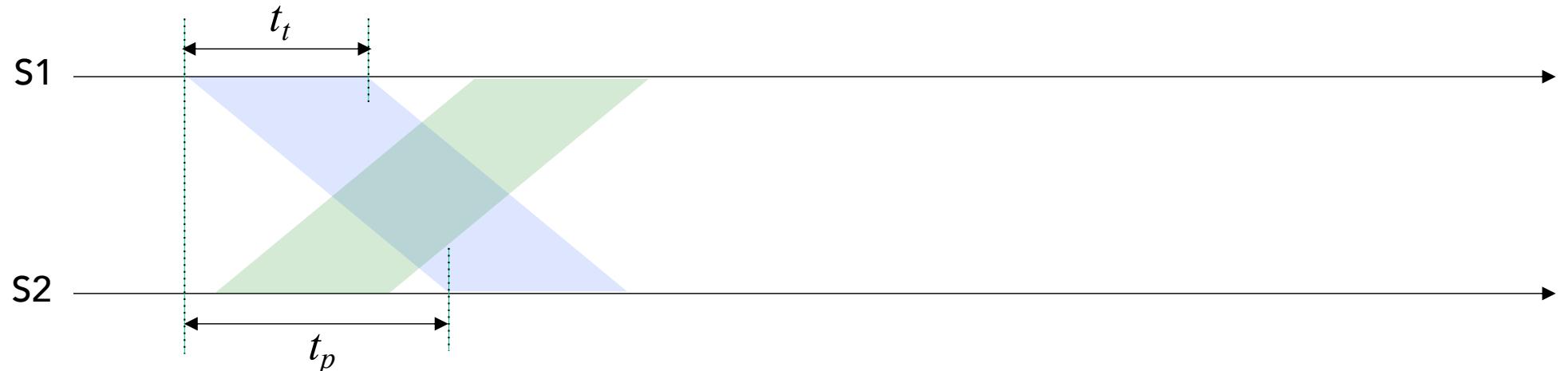


CSMA/CD

Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection

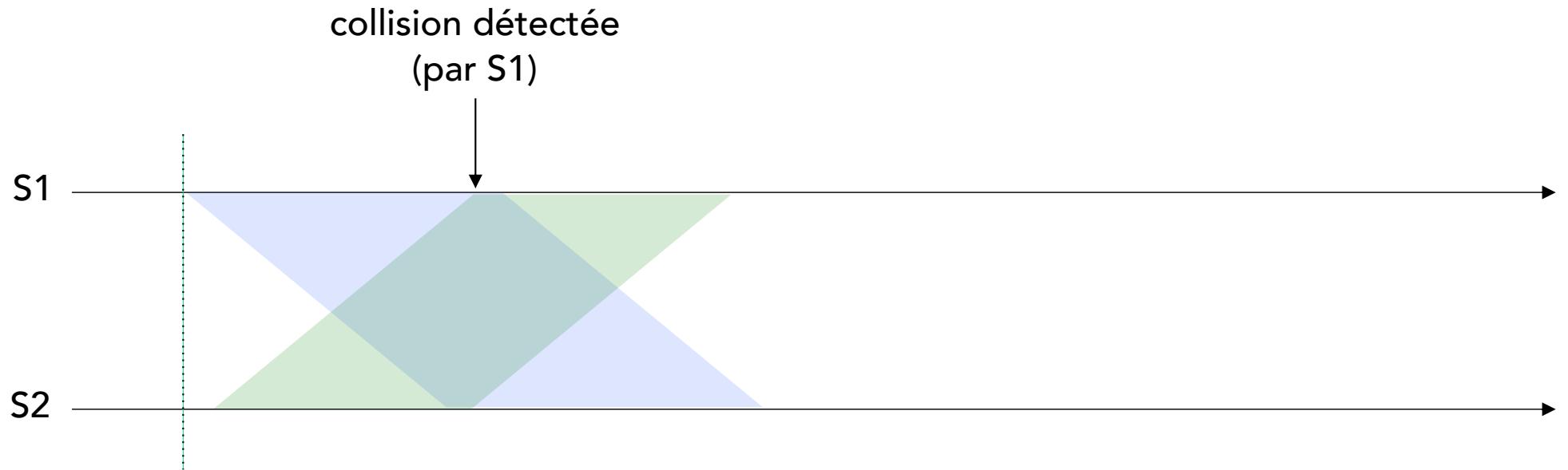
- CSMA/CD est
 - la méthode utilisée par Ethernet
 - standardisée par la norme IEEE 802.3
- CSMA/CD
 - reprend les principes du CSMA (persistant) : écoute préalable avant émission
 - en y ajoutant la détection de collision (CD)
 - une station qui émet, continue à écouter le canal pendant sa transmission
 - elle détecte les collisions en comparant le signal émis à celui qu'elle reçoit
 - si le signal reçu correspond au signal émis → pas de collision
 - si le signal reçu est différent du signal émis → collision
 - en cas de détection de collision
 - la station arrête d'émettre
 - attend un délai aléatoire avant de retenter une transmission

Détection des collisions



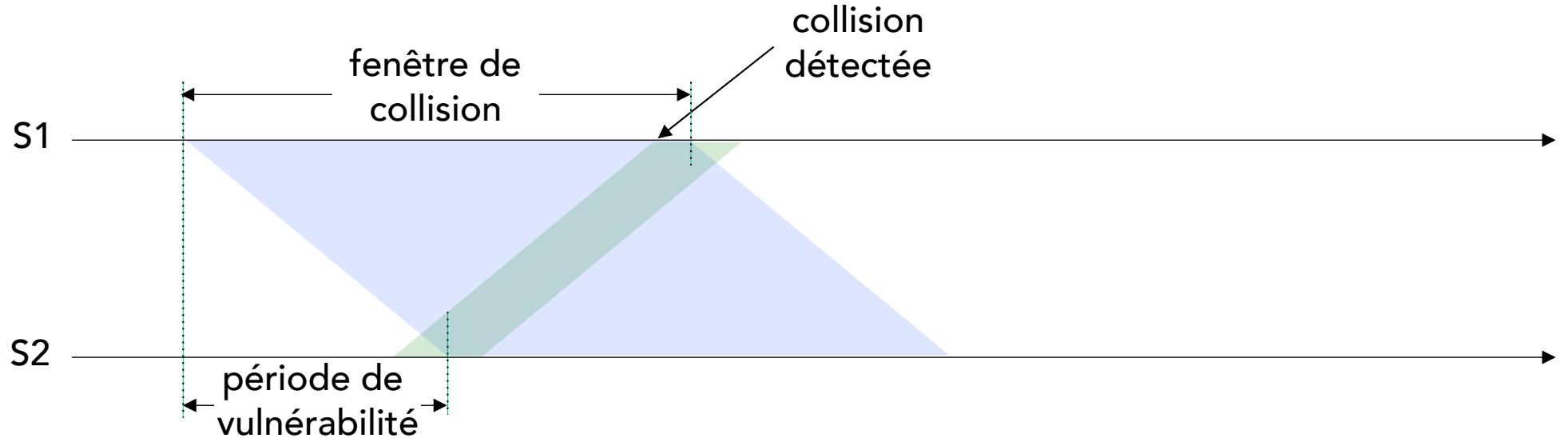
- On note
 - t_t le temps de transmission d'une trame de S1
 - t_p le temps de propagation entre S1 et S2
- Si le temps de transmission est trop court
 - le signal de S2 parvient à S1 alors qu'elle a cessé d'émettre
 - collision non détectée

Détection des collisions



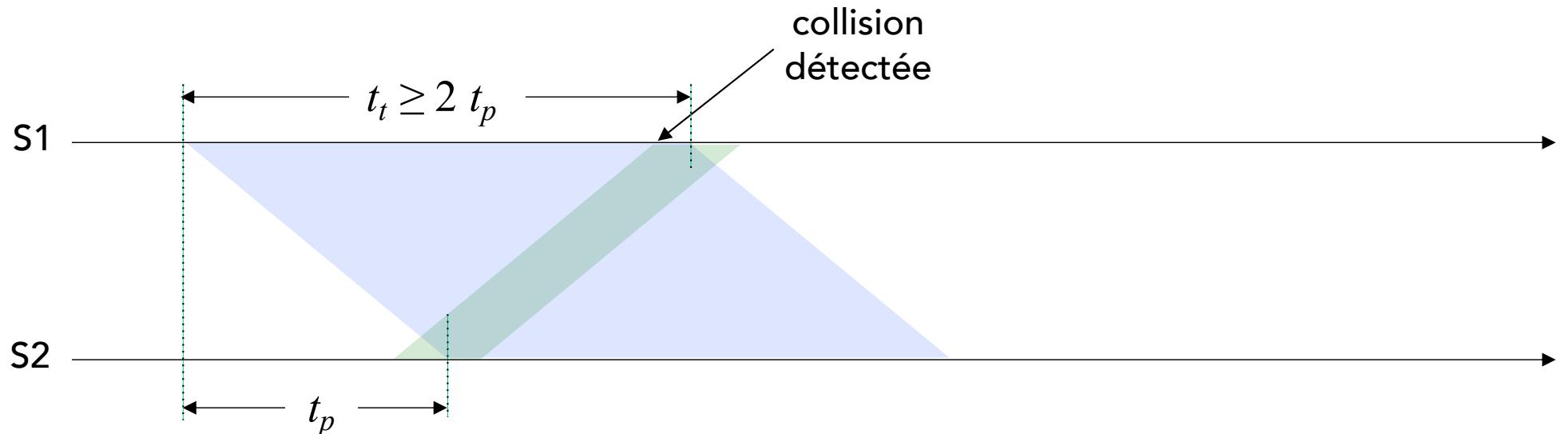
- Une station doit émettre suffisamment longtemps afin d'être toujours en train d'émettre lorsque le signal émis par une autre station (en même temps qu'elle) lui parvient...
- ... mais combien de temps ?

Détection des collisions



- Période de vulnérabilité
 - durée pendant laquelle une trame émise pourra subir une collision avec une autre trame
 - égale au **temps de propagation maximum sur le support**
- Fenêtre de collision
 - temps au bout duquel une station est sûre que la trame qu'elle est en train d'émettre ne subira pas de collision
 - égale à **2 fois le temps de propagation maximum sur le support**

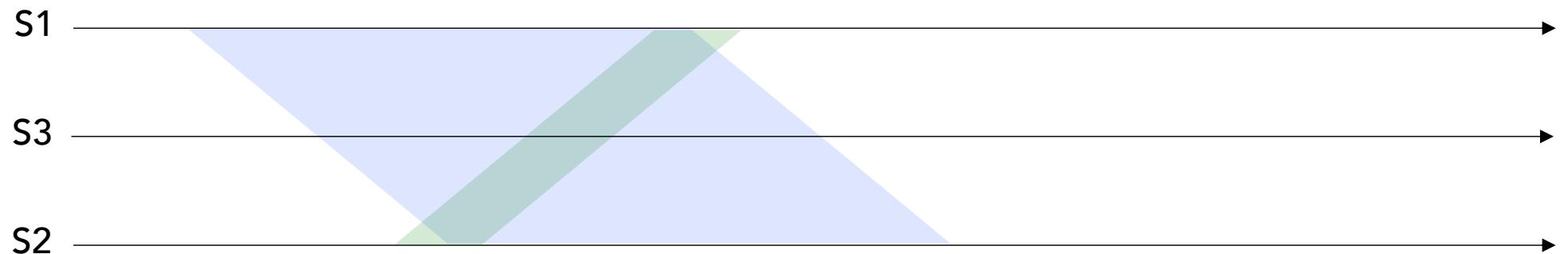
Détection des collisions



- Pour qu'une collision soit détectée à coup sûr une station doit donc émettre pendant une durée au moins égale à celle de la fenêtre de collision

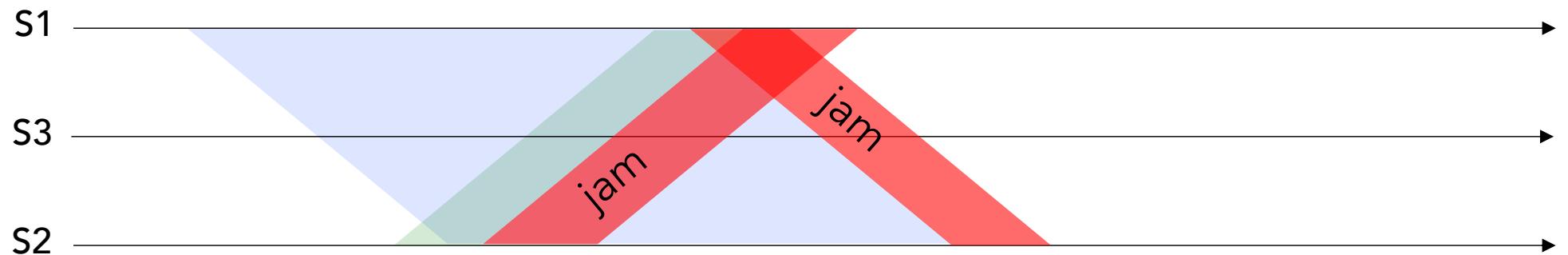
$$t_t \geq 2 t_{p \max}$$

Détection des collisions



- S3 ne transmet pas et ne peut donc interpréter le signal reçu comme résultant d'une collision

Détection des collisions



- Séquence de brouillage : *jam sequence*
 - Signal émis afin d'informer toutes les stations d'une collision (y compris celles qui n'étaient pas en transmission)

CSMA/CD : définitions

- Période de vulnérabilité
 - durée pendant laquelle une trame en cours de transmission peut entrer en collision
 - égale au temps de propagation entre les 2 stations les plus éloignées sur le support
- Fenêtre de collision (*slot-time*)
 - 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 maximum sur le support
- Séquence de brouillage (*jam sequence*)
 - signal indécodable envoyé 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 un partage équitable de la bande passante

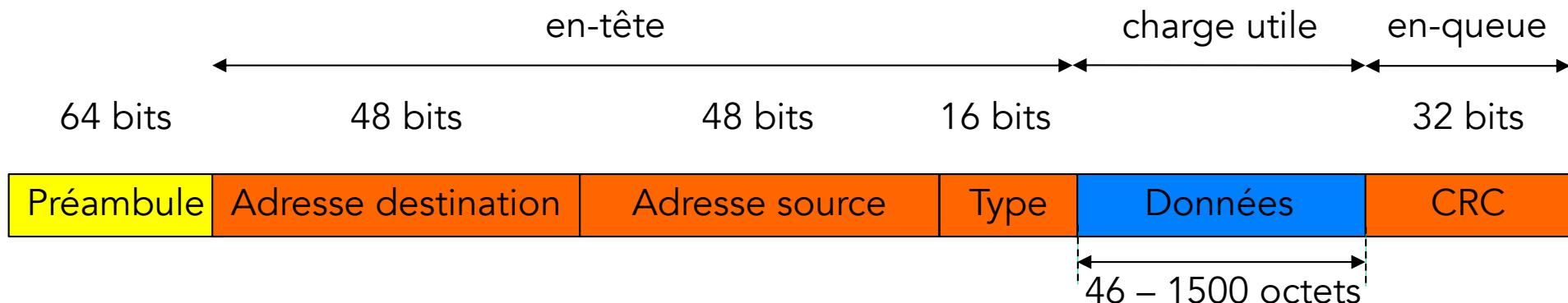
CSMA/CD : procédures

1. Initialisation du compteur de retransmissions à 0
2. Transmission d'une trame
 - si le support est occupé
 - attendre qu'il devienne libre
 - dès que le support est libre
 - commencer à transmettre (pendant une durée au moins égale à $2t_{pmax}$) en continuant à écouter le support pendant toute la durée de la transmission
 - si collision détectée
 - arrêt immédiat de la transmission
 - aller à la procédure de résolution de collision (3)
 - si aucune collision détectée pendant toute la durée de la transmission
 - remettre à zéro le compteur de retransmissions
3. Résolution de collision
 - transmission d'un signal de brouillage (*jam sequence*)
 - incrémenter le compteur de retransmissions
 - si le nombre maximal de retransmission (16) est atteint
 - abandon de la transmission
 - sinon
 - calculer la durée du retrait exponentiel (*exponential backoff*)
 - attendre cette durée avant de retourner à la procédure de transmission (2)

Algorithme du retrait exponentiel

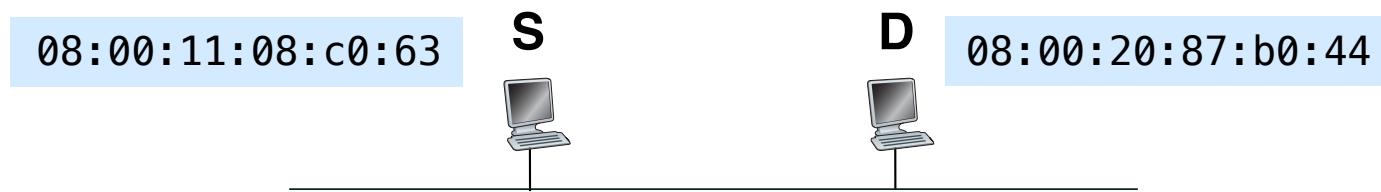
- *Exponential Backoff*
- Calcul du délai d'attente aléatoire avant retransmission
 - après la 1^{ère} collision : délai aléatoire égal à 0 ou 1 ($= 2^1 - 1$) unité de temps (*slot-time*)
 - après la 2^{ème} collision : délai aléatoire compris entre 0 et 3 ($= 2^2 - 1$) unités de temps (*slot-time*)
 - après la 3^{ème} collision : délai aléatoire compris entre 0 et 7 ($= 2^3 - 1$) unités de temps (*slot-time*)
 - après i collisions ($i < 16$) : délai aléatoire compris entre 0 et $2^{\min(i, 10)} - 1$ unités de temps (*slot-time*)
 - après 16 collisions : abandon de la transmission
- Objectifs
 - lorsqu'une collision est détectée, l'intervalle de tirage du délai aléatoire est doublé de façon à réduire (de moitié) la probabilité qu'une nouvelle collision se produise...
 - ... jusqu'à une certaine limite pour éviter de surcharger le réseau

Trame Ethernet



- Champ Préambule
 - indique le début effectif de la trame
 - 64 bits : 1010101010101010...10101011
 - Champs Adresse source et Adresse destination
 - adresse MAC codée sur 48 bits (6 octects)
 - notation hexadécimale (Ex : F0:18:98:59:AE:32)
 - les 3 premiers octets identifient le constructeur (Ex : F0:18:98 → Apple)
 - Champ Type
 - indique ce que la trame encapsule (Ex : 0x0800 → paquet IPv4)
 - Champ Données
 - taille comprise entre 46 et 1500 octets
 - Champ CRC (Cyclic Redundancy Check) aussi appelé FCS (Frame Check Sequence)
 - Polynôme générateur

Exemple de trace

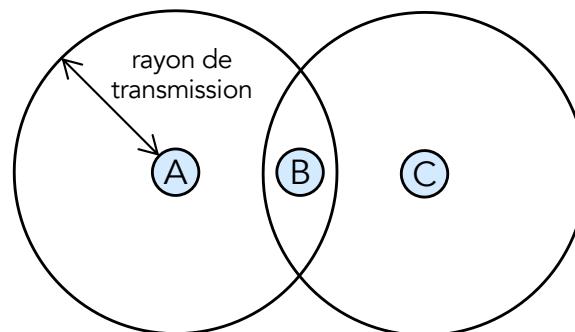


	16 octets																
0x00	08	00	20	87	b0	44	08	00	11	08	c0	63	08	00	45	00	octets 0 à 15
0x10	00	48	49	ba	00	00	1e	06	69	8d	c1	37	33	f6	c1	37	octets 16 à 31
0x20	33	04	17	70	96	d4	39	7f	84	c2	bf	3a	21	fd	50	18	octets 32 à 47
0x30	11	1c	99	bc	00	00	0e	00	31	3f	02	c0	00	11	00	00	octets 48 à 63
0x40	3e	c1	00	00	00	11	00	00	00	02	28	28	a7	b0	80	29	octets 64 à 79
0x50	ea	fc	81	58	90	70											octets 80 à 85

- 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 → la trame encapsule un paquet IPv4

CSMA/CD : les limites

- CSMA/CD nécessite que chaque station
 - puisse savoir si la trame qu'elle a émise a subi ou non une collision
 - de façon à la retransmettre en cas de collision
 - pour au final être « sûre » qu'elle est arrivée à destination
- Le mécanisme de détection de collision (par écoute pendant la transmission) **ne fonctionne que si une trame émise est reçue par toutes les stations du réseau**
- CSMA/CD n'est donc pas adapté aux réseaux sans fil



Méthodes d'accès dans les réseaux sans fil

- Puisqu'on ne peut pas détecter les collisions dans les réseaux sans fil, le mieux que l'on puisse faire est d'essayer de les éviter
 - CD (*Collision Detection*) est remplacé par **CA** (*Collision Avoidance*)
- Une écoute préalable évite toujours des collisions inutiles
 - **CSMA** est utilisé
- Puisque les collisions ne peuvent être détectées, une station qui émet une trame ne peut savoir si elle a correctement été reçue par la destination
 - Les trames de données doivent être acquittées

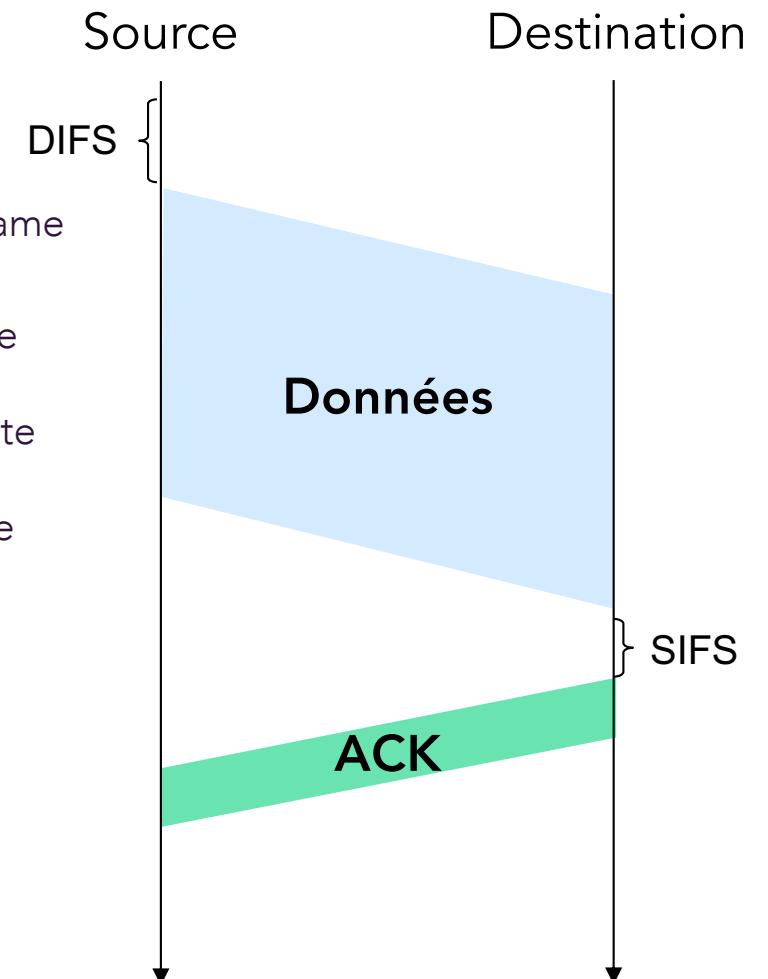
CSMA/CA

- Source

1. Si le canal est libre
 - attendre un temps DIFS (*Data Inter-Frame Spacing*)
 - si pendant ce temps le canal reste libre, transmettre la trame
2. Si le canal est ou devient occupé
 - attendre que le canal redevienne libre pendant une durée DIFS
 - démarrer un temporisateur (*backoff*) et se placer en écoute du canal
 - décrémenter le temporisateur tant que le canal reste libre
 - dès que le canal est occupé, mettre le temporisateur en pause et ne le relancer que lorsque le canal devient libre pendant une durée égale à DIFS
 - transmettre à l'expiration du temporisateur
3. Attendre le retour d'un ACK (un certain temps)
 - si ACK reçu, transmission réussie
 - si pas d'ACK reçu, augmenter l'intervalle de tirage des valeurs du temporisateur et retransmettre la trame

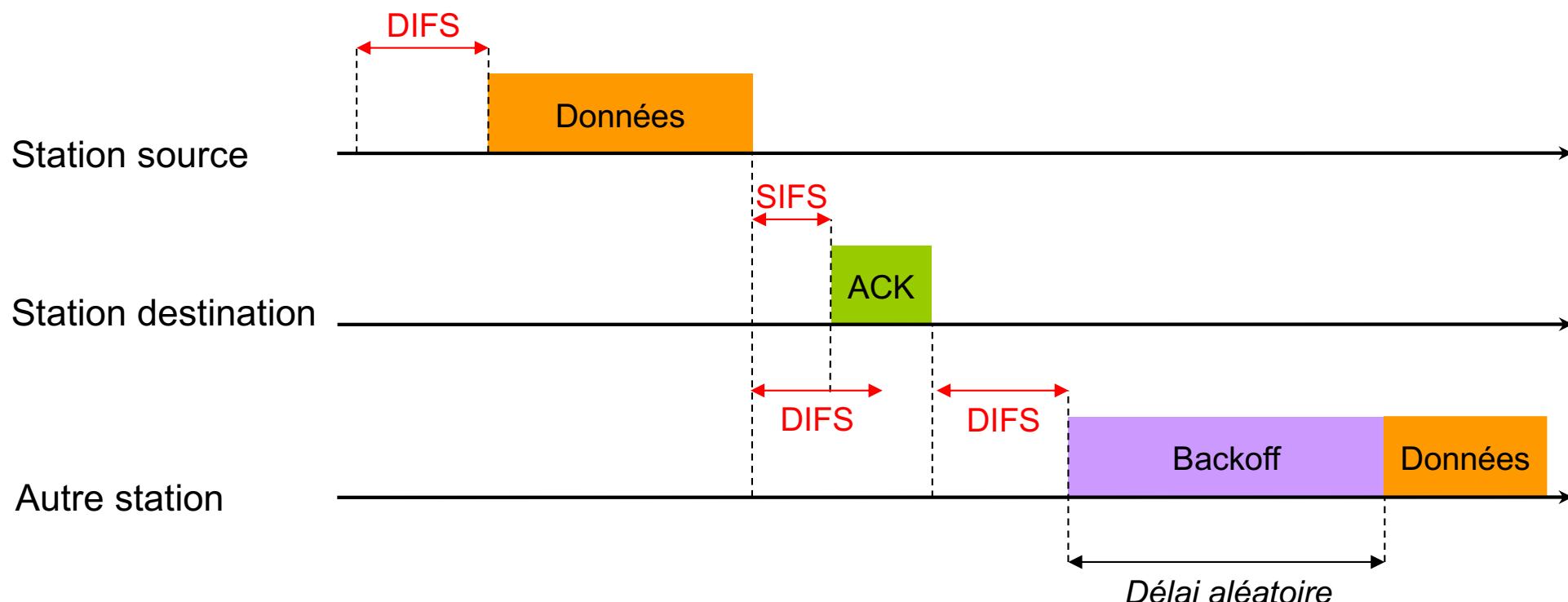
- Récepteur

- Si la trame est reçue sans erreur
 - attendre un temps SIFS (*Short Inter-Frame Spacing*)
 - envoyer un ACK



Temporiseurs et priorités

- La durée d'un SIFS est inférieure à la durée d'un DIFS de façon à donner la priorité aux acquittements
 - Exemple du wifi (802.11b) : SIFS = 10 µs < DIFS = 50 µs



Algorithme du retrait exponentiel

- *Backoff timer*
- Délai aléatoire d'attente = $\text{random}(0, CW) * SlotTime$
 - CW est la taille de la fenêtre de contention
 - $CW \in [CW_{min}, CW_{max}]$
 - $\text{random}(0, CW)$ est une variable aléatoire uniforme comprise entre 0 et $CW-1$
- Lors de la première tentative de transmission
 - $CW = CW_{min}$
- En cas d'échec
 - CW est doublée jusqu'à ce que CW atteigne CW_{max}
- Exemple du wifi (802.11b)
 - $SlotTime = 20 \mu s$
 - $CW_{min} = 32$
 - $CW_{max} = 1024$

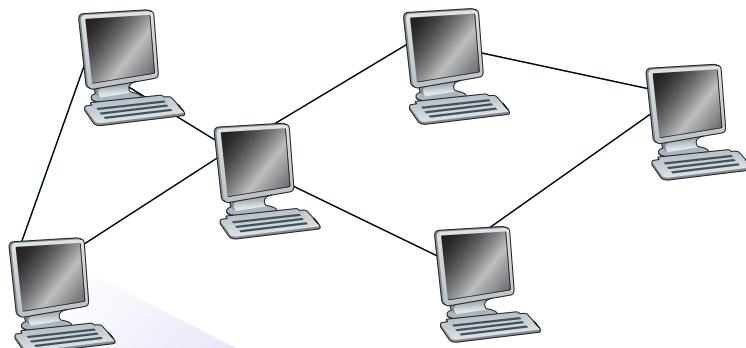
Normes IEEE



OSI vs IEEE

OSI

réseau point à point



Transfert fiable et efficace de trames



IEEE

réseau à diffusion naturelle

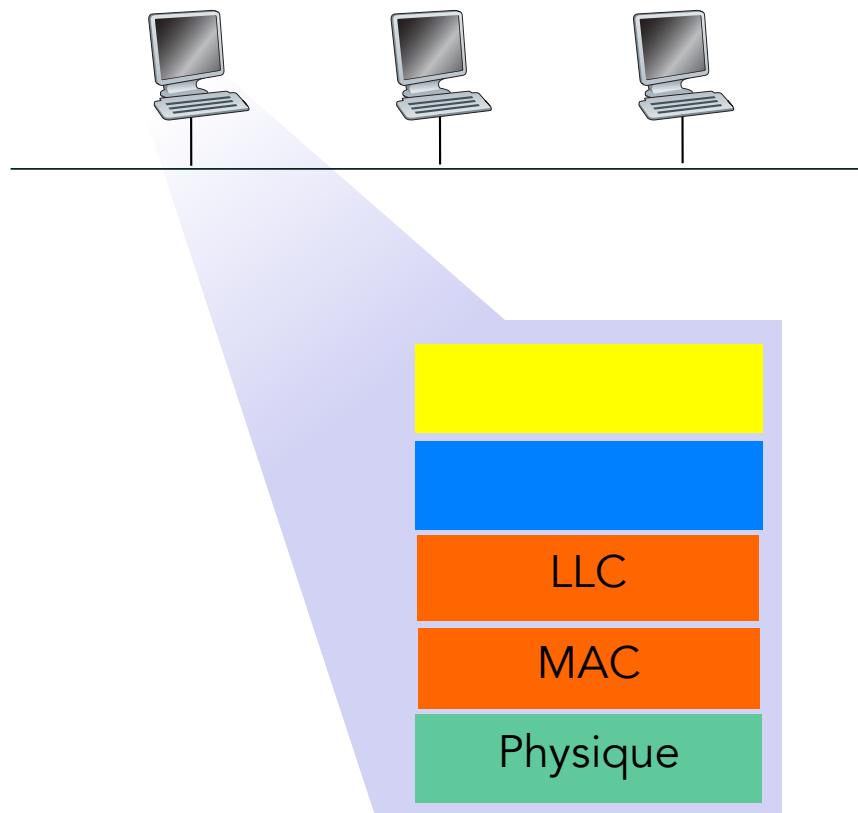


Contrôle d'accès au support

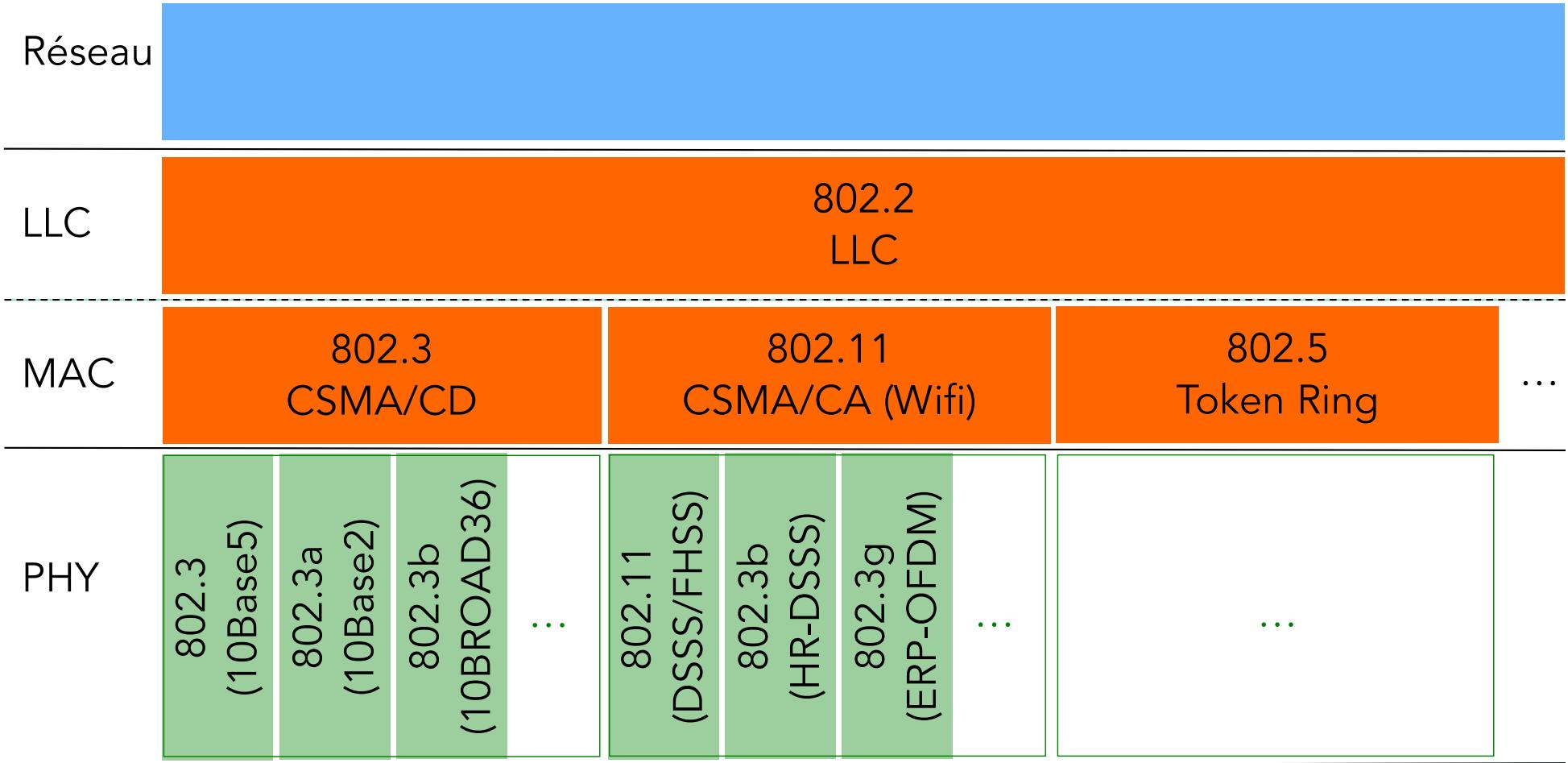


La couche liaison de données selon l'IEEE

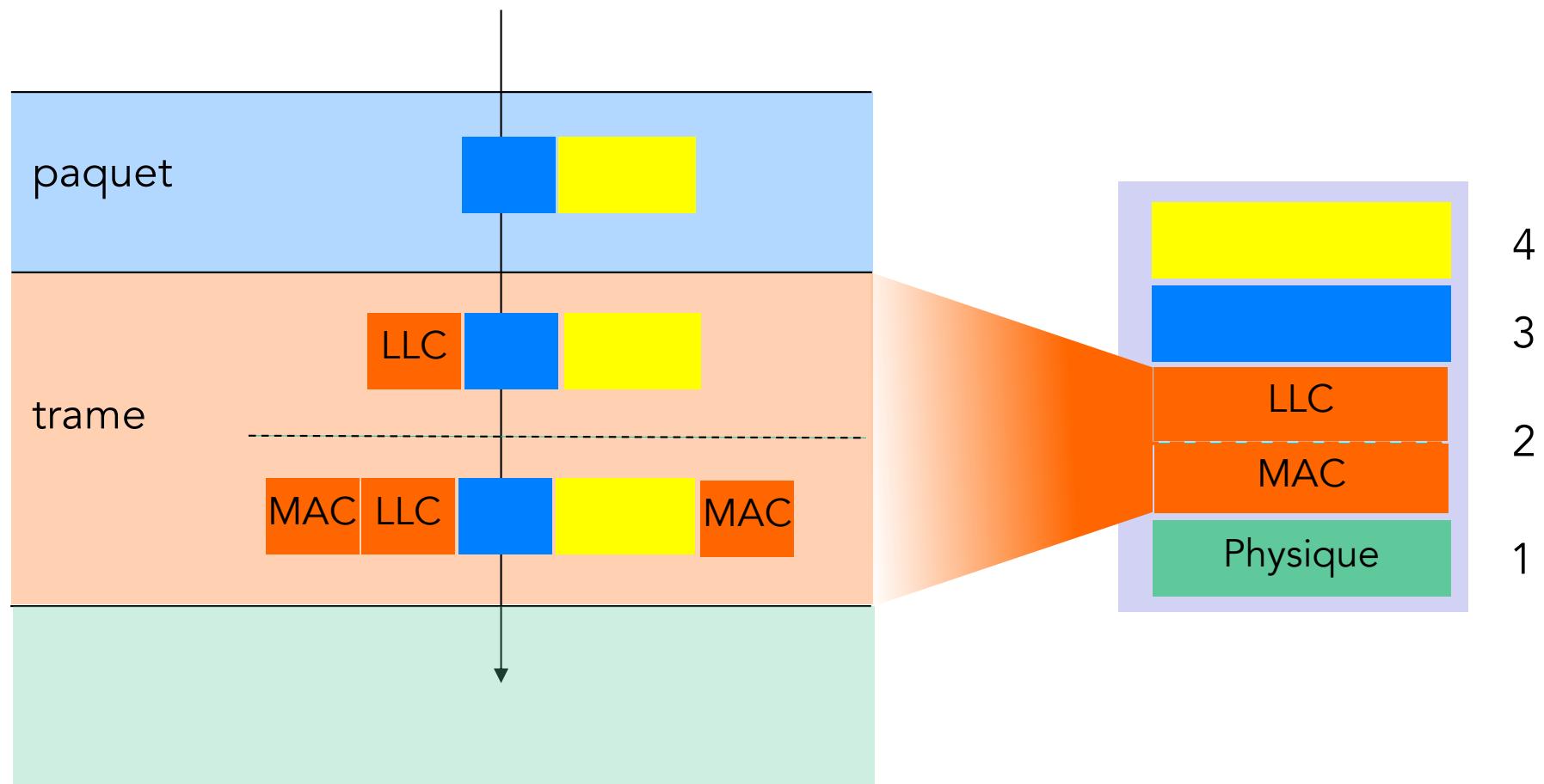
- 2 sous-couches
 - **LLC** : *Logical Link Control*
 - **MAC** : *Medium Access Control*
- Sous-couche MAC
 - définit la méthode de contrôle d'accès au support
 - gestion des collisions
 - partage équitable de la BP
- Sous-couche LLC
 - gère le contrôle logique de la liaison
 - contrôle d'erreur
 - contrôle de flux



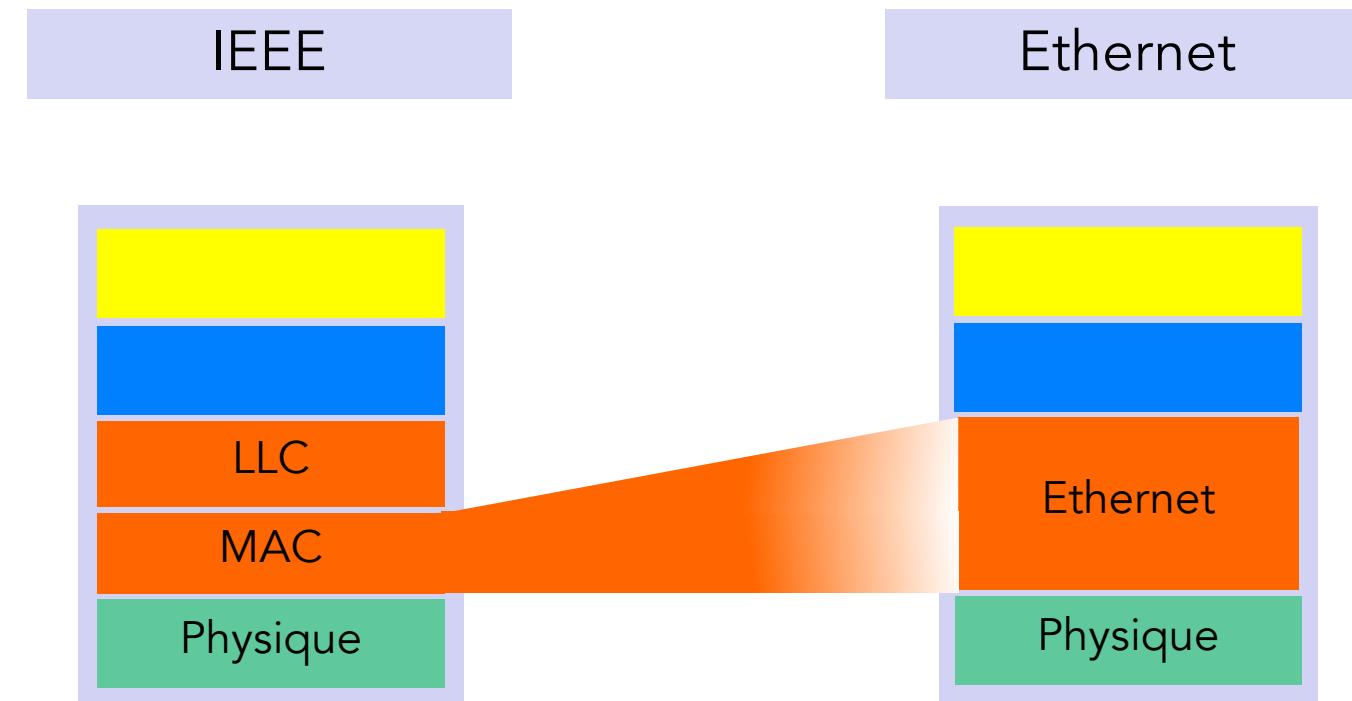
Les normes IEEE 802.*



Encapsulation IEEE



802.3 vs Ethernet



Conclusion

- Les réseaux locaux utilisent des supports à diffusion naturelle
 - Toutes les stations sont connectées au même support
 - Une trame émise par une station est susceptible d'être reçue par toutes les autres
 - Si deux stations émettent en même temps une collision se produit
- Les méthodes d'accès définissent des règles de façon
 - à partager équitablement les ressources de communication
 - à définir qui a le droit d'émettre à un instant donné afin d'éviter au maximum les collisions
- Les méthodes d'accès dans les réseaux locaux doivent s'adapter aux besoins très variables des utilisateurs et doivent donc être dynamiques
- Elles peuvent être à allocation déterministes (Ex : Bluetooth) ou à allocation aléatoire (Ex : Ethernet et Wifi)
- La norme IEEE 802.3 standardise le CSMA/CD utilisé par l'Ethernet
- La norme IEEE 802.11 standardise le CSMA/CA utilisé par le Wifi

A faire

- Cours 3
 - à relire attentivement
- Devoir 3 sur Moodle
 - date de rendu : dimanche 22 septembre