



Haute école d'ingénierie et d'architecture Fribourg
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

Réseaux IP

150. Protocoles d'accès / MAC

Réseaux IP

150. Protocoles d'accès - MAC

Méthodes d'accès au médium, Sous-couche **MAC** (*Medium Access Control*), Classification, Protocoles basés sur la consultation (lignes de contrôle, scrutation, bus et boucle à jeton), Protocoles basés sur la compétition (ALOHA, CSMA, CSMA-CD, Wifi), Multiplexage

Références:

- Les Réseaux (Edition 2011, Pujolle)
- Computer Networks (5th Edition, Peterson, Davie)

Méthodes d'accès au médium

La **méthode d'accès au médium** (*Medium Access Control* - MAC) est une caractéristique fondamentale des réseaux locaux qui opèrent en **mode de diffusion**: mise à disposition d'un « canal » **unique, multipoint**, et **partagé** par tous les équipements. Le protocole MAC, partie intégrante de la sous-couche MAC, détermine la manière dont les stations utilisent le support de communication et permet, en particulier, de répondre aux questions suivantes:

- Qui peut émettre ?
- Qui doit recevoir ?
- Comment peut-on offrir un accès équitable à toutes les stations ?
- Que se passe-t-il si plusieurs stations veulent émettre ?
 1. Eviter les collisions ou
 2. Gérer les collisions (détecter et retransmettre)

Une analogie couramment employée est celle de la prise de la parole dans une réunion.

Beaucoup de méthodes d'accès ont été proposées. Certaines (p.ex. CSMA/CD d'Ethernet) ont connu un succès fulgurant. D'autres sont réservées à des applications particulières. Les méthodes d'accès les plus représentatives sont présentées ici.

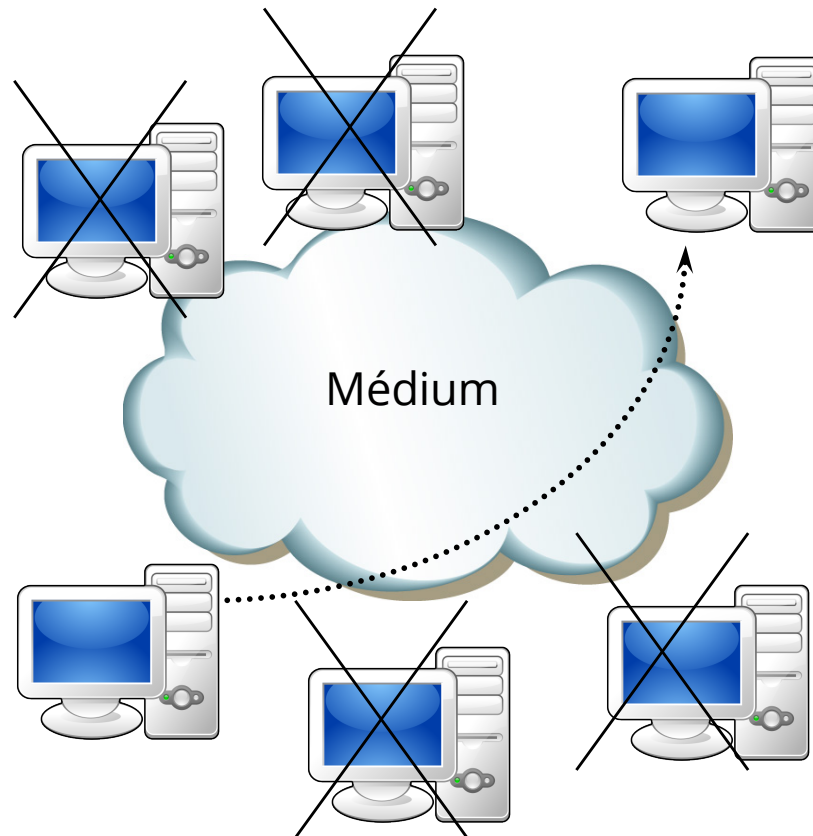
Principe des méthodes d'accès au médium

Les méthodes d'accès au médium dans les réseaux locaux se basent sur le principe de l'utilisation d'un support de transmission commun (*shared medium*).

Le support commun de transmission peut-être l'air (sans-fils), un câble coaxial (variante historique de l'Ethernet) ou très souvent maintenant un concentrateur (*Hub/Switch*).

A tout instant, il y a une seule communication possible dans le réseau au niveau des couches 1 et 2.

Les protocoles MAC sont très liés à la **topologie du réseau**, au type de **support physique**, au **débit**, à la **dimension** du réseau, aux **performances** (délai, taux d'utilisation) et au **coût** des accès

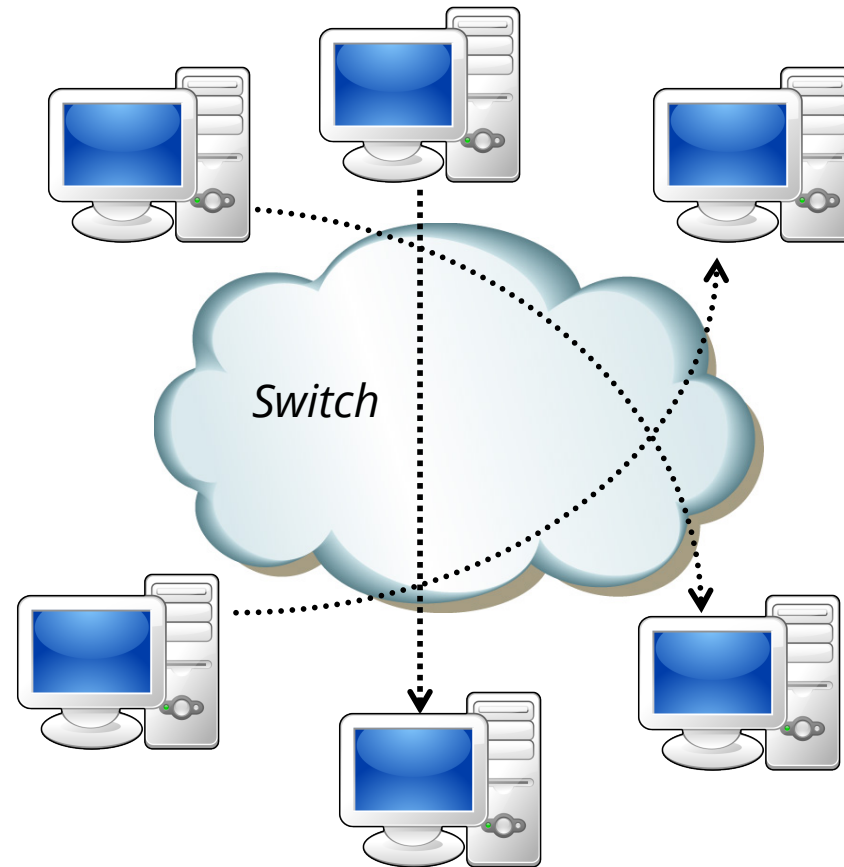


Switching

La commutation (*switching*) permet de lever certaines des limitations du *shared medium* en permettant des échanges simultanés. Le « medium » est remplacé par un commutateur actif, le **switch**.

Chaque utilisateur peut obtenir la capacité du réseau local sans empiéter sur celle des autres.

Par exemple dans un réseau Ethernet à 100Mbit/s il est théoriquement possible d'avoir $N \times 100\text{Mbit/s}$ de trafic à un instant donné si N est le nombre de ports du *switch* et on travaille en « *full-duplex* ».

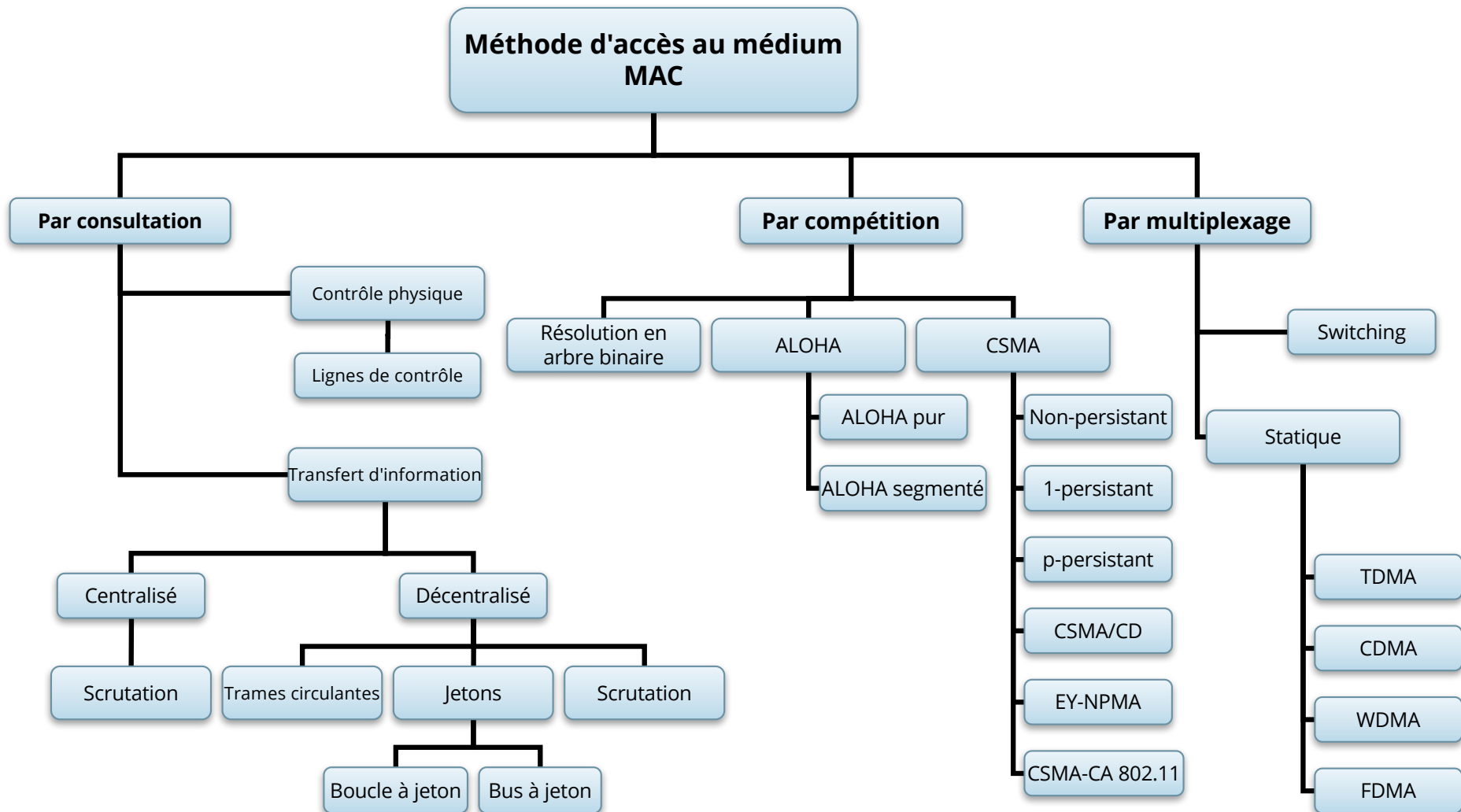


Classification des protocoles MAC (1)

On peut grouper les protocoles MAC en trois classes:

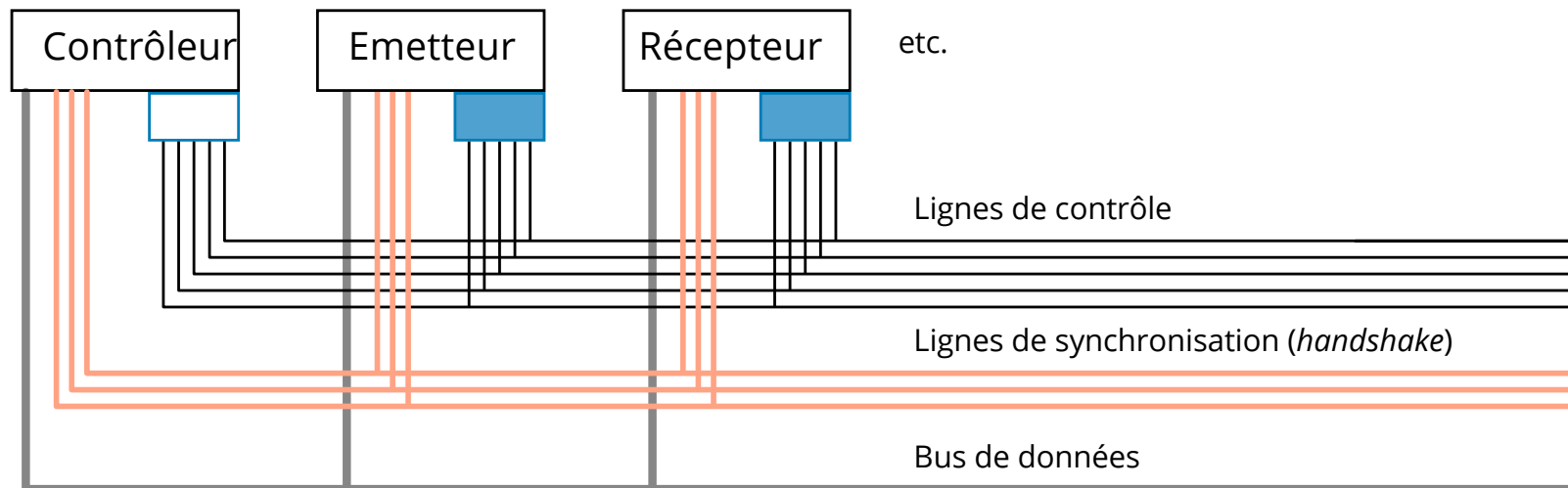
1. **Accès par consultation.** Les stations se “consultent” pour désigner celle qui aura le droit d’émettre ses données (une ou plusieurs trames). Une station ne peut accéder au support que si elle a été (implicitement ou explicitement) autorisée à le faire. L’autorisation d’accès peut être obtenue
 - ⇒ Par **utilisation d’éléments physiques** (lignes de contrôle)
 - ⇒ Par **échange d’informations**: les stations se passent des trames qui donnent l’autorisation de transmettre. Cet échange peut être géré par une station particulière (solution centralisée) ou par toutes les stations (solution distribuée)
2. **Accès par compétition.** Les stations utilisent l’état du support et leur propre état pour décider d’émettre. Elles doivent être en mesure de gérer des collisions.
3. **Accès par multiplexage.** Un canal est attribué à chaque station (émission ou réception). On utilise par exemple le Multiplexage temporel (TDMA), par codage (spectre étalé, CDMA), en longueur d’onde optique (WDMA), ou en fréquence (FDMA). Peut être statique ou dynamique.

Classification des protocoles MAC (2)



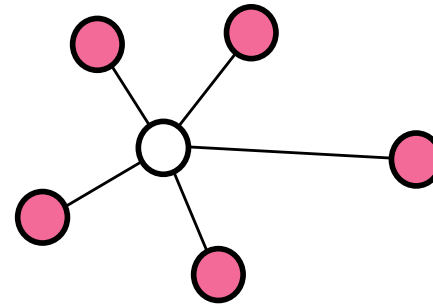
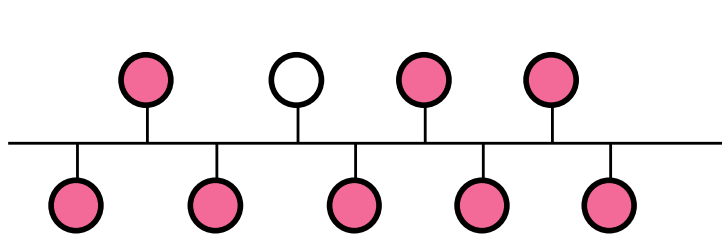
Méthode des lignes de contrôle

La méthode des lignes de contrôle a beaucoup de ressemblance avec celle des bus d'ordinateurs. Dans le principe de base, il y a un contrôleur et plusieurs émetteurs/récepteurs, un bus de données et une série de lignes spécifiques pour transmettre les informations de contrôle.



La méthode des lignes de contrôle convient lorsque le nombre d'équipements à raccorder est faible et lorsque les distances sont courtes, cas typique des bus de terrain. Le bus de mesure IEEE 488 (GP-IB, HP-IB) est un bus de type lignes de contrôle. Il utilise un bus de 8 lignes de données (données ou commandes), un bus de 3 lignes de synchronisation (validation, rejet, pas prêt, ...) et un bus de 5 lignes de contrôle (initialisation, identification, requêtes, sélection données/commandes, *reset*, ...) avec un total de 16 lignes. Le système est limité à 20m de distance, 250kB/s-1MB/s et 15 stations dans la version standard.

Méthodes de scrutation (polling)



La panne de la station
primaire est en général
fatale au réseau

On introduit dans ce cas une structure hiérarchique en donnant à une station, la **station primaire** (maître), la responsabilité de gérer l'accès au médium. Cette station primaire interroge (scrute) une par une toutes les stations secondaires (esclaves). On évite ainsi les collisions.

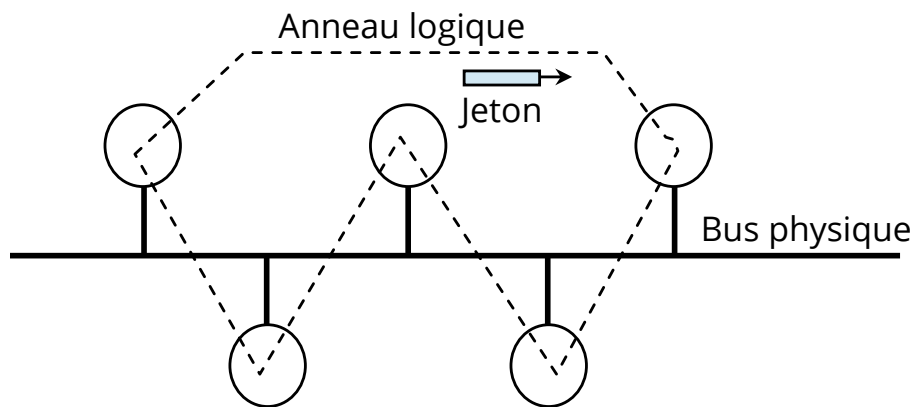
Si une station secondaire a des données à émettre, elle les mets à la suite du message de scrutation et termine son message avec une indication de “fin”. Si la station secondaire n’a rien à émettre, elle émet le message de “fin” directement.

Durant un **cycle de scrutation**, la station primaire interroge toutes les stations secondaires. La scrutation peut être périodique, aléatoire, ou définie selon d’autres critères comme la priorité des stations.

Quand la station primaire désire émettre, elle sélectionne la station de destination par une trame spéciale pour lui demander si elle est prête à recevoir des données.

Les méthodes de scrutation utilisent en général des topologies en étoile ou des topologies en bus. Elles sont très utilisées dans les réseaux de terrain.

Méthode du bus à jeton



Dans la méthode du bus à jeton (*Token bus*), les stations sont organisées logiquement sous la forme d'un anneau virtuel (topologie physique en bus et topologie logique en boucle).

Une fois que l'anneau a été configuré et que chaque station connaît son successeur logique, les stations ne peuvent émettre que si elles reçoivent une trame spéciale, le **jeton**, en provenance de la station qui est en amont sur l'anneau logique.

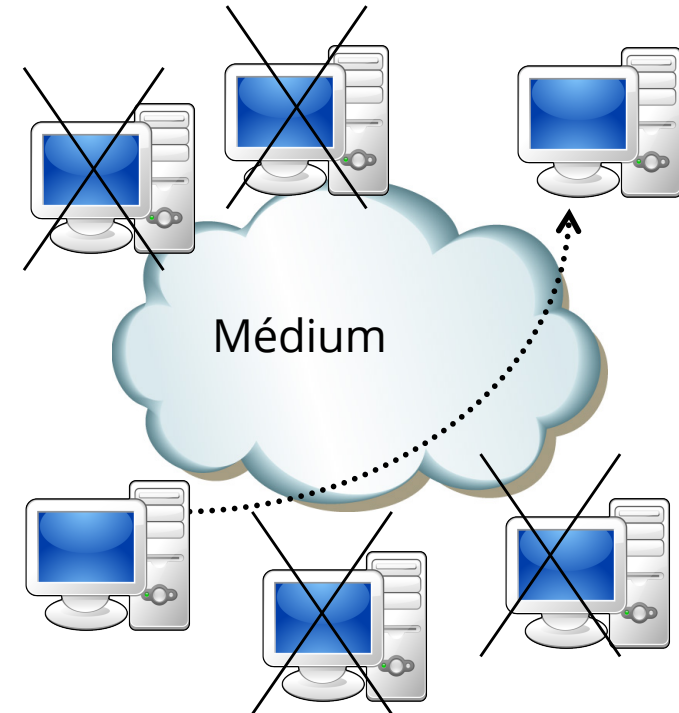
Le **temps de rétention** du jeton est borné.

Méthode d'accès par compétition

Les stations utilisent **uniquement** l'état du support et leur propre état pour décider d'émettre. Elles doivent être en mesure de gérer des collisions car deux ou plusieurs stations peuvent décider d'envoyer une trame exactement en même temps.

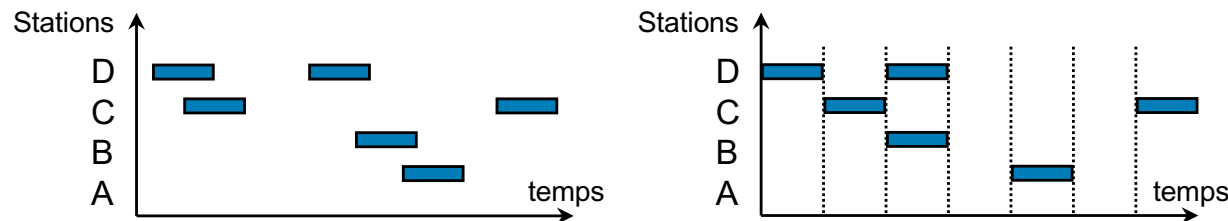
Caractéristiques

- Méthode décentralisée (non déterministe)
- Méthode simple
- Pas de garantie de temps de transmission (en général)
- Nombreuses variantes existantes
- L'exemple typique est CSMA/CD utilisée par le réseau Ethernet, dérivée d'ALOHA



Variantes de l'accès par compétition

- Deux variantes par rapport au **temps**:
 - **Temps continu**: les transmissions débutent n'importe quand. Il n'y a pas d'horloge de référence.
 - **Temps segmenté**: une horloge centrale rythme les transmissions. Le temps est divisé en intervalles (*slots*). La transmission des trames débute toujours au début d'un intervalle. Cette méthode requiert une synchronisation.



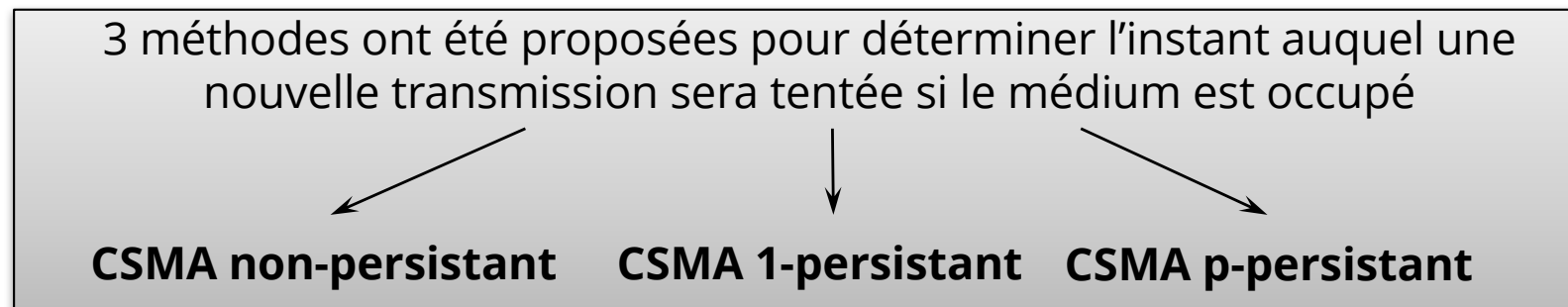
- Deux variantes **d'écoute du médium** (*Carrier sense*):
 - **Sans écoute du médium**: les stations émettent des trames sans se préoccuper de savoir si le médium est occupé ou non.
 - **Avec écoute du médium**: les stations observent le bus pour savoir si une transmission est en cours. S'il est occupé, elles ne transmettent pas.
- Deux variantes de réaction en cas de **collision** (*Collision detection*):
 - **Sans réaction immédiate**: les stations émettent les trames jusqu'à la fin.
 - **Avec réaction immédiate**: les stations arrêtent la transmission en cours et émettent un signal de brouillage pour être sûr que les autres stations impliquées enregistrent qu'il y a eu une collision.

Méthodes CSMA

Accès multiple avec écoute de la porteuse, en anglais **CSMA** (*Carrier Sense Multiple Access*)

Le rendement du protocole ALOHA est relativement faible à cause des collisions. Pour améliorer ses performances dans les réseaux où le temps de propagation est court par rapport à la durée de la trame, le protocole a été modifié de la façon suivante:

- ⇒ La station qui doit émettre une trame observe le médium avant d'émettre sa trame. Si le médium est **libre**, elle envoie la trame. Si le médium est **occupé**, elle reporte la transmission à « plus tard »



- ⇒ La station qui émet écoute le médium pendant l'émission pour détecter une éventuelle collision. Si il y a une collision, une nouvelle tentative de transmission est effectuée après un temps « aléatoire »

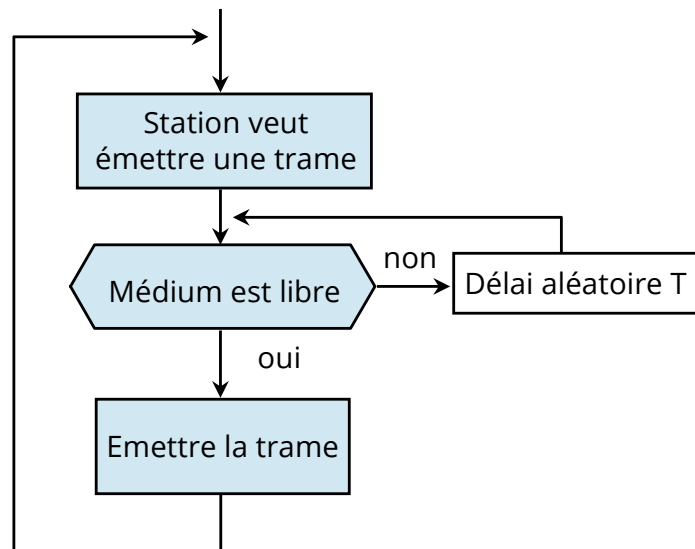
CSMA non-persistant

Idée: si le médium est occupé, retarder l'essai de transmission d'un temps aléatoire

Protocole: Une station qui veut émettre observe l'activité sur le médium

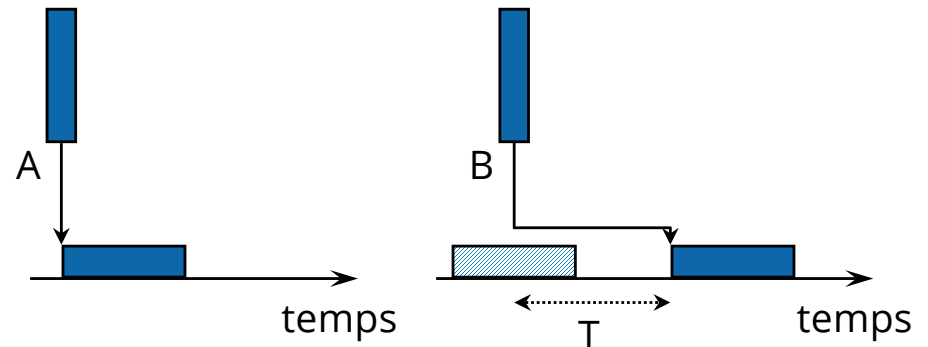
A: si le médium est libre elle transmet la trame

B: si le médium est occupé, elle refait une tentative un temps aléatoire T plus tard



Trames en attente

Trames sur le médium



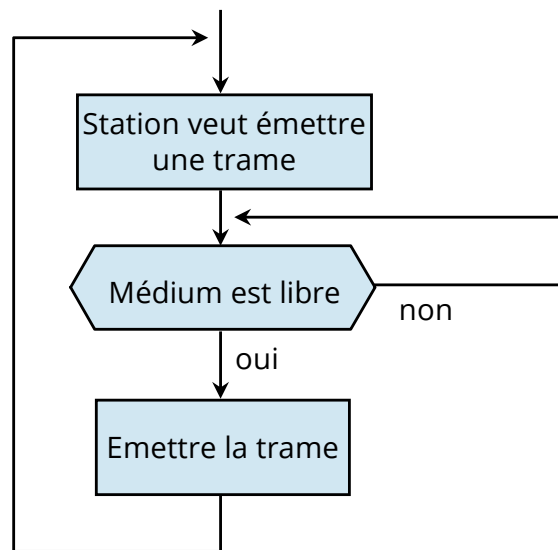
CSMA 1-persistant

Idée: ne jamais laisser le médium inoccupé si une station peut émettre une trame

Protocole: Une station qui veut émettre observe l'activité sur le médium

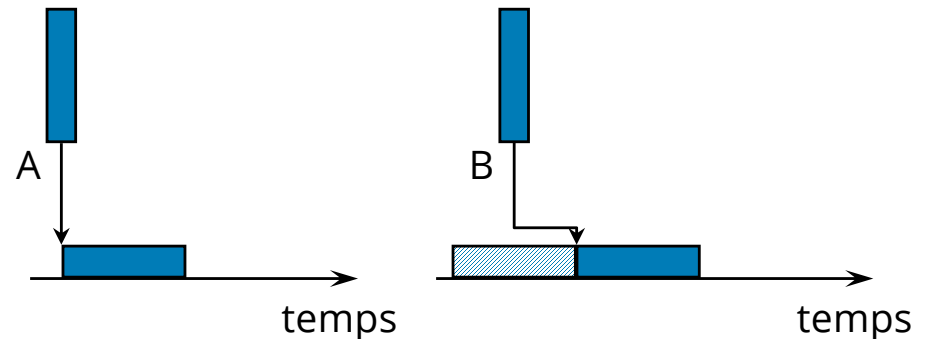
A: si le médium est libre elle transmet la trame (avec une probabilité $p=1$)

B: si le médium est occupé, elle attend (persiste) et transmet dès qu'il devient libre



Trames en attente

Trames sur le médium

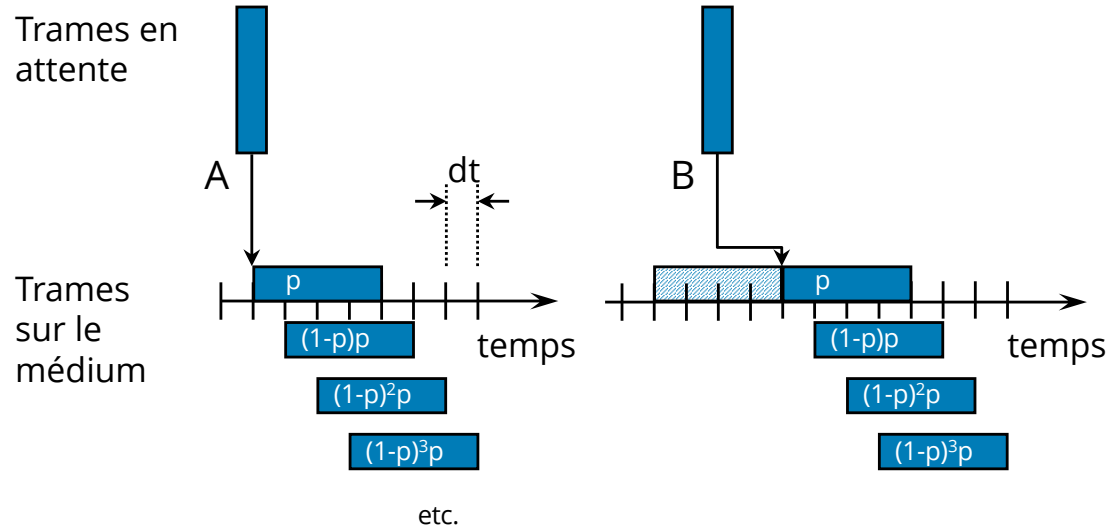
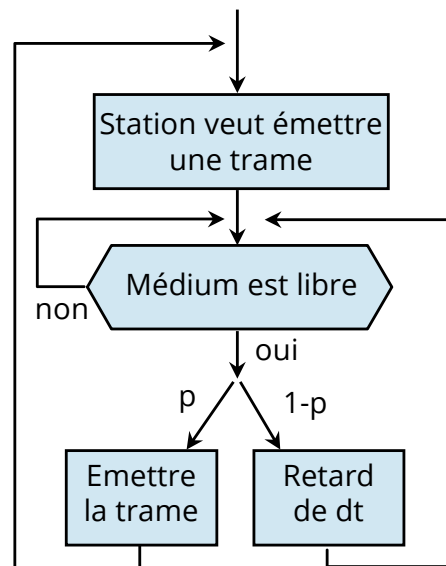


CSMA p-persistent

Idée: Dans le cas 1-persistent, si deux stations veulent envoyer une trame pendant que le médium est occupé, il y aura à coup sûr une collision. Le CSMA p-persistent diminue ce risque de collision en ne transmettant qu'avec une probabilité p si le médium est libre. Le temps est discrétisé en petits intervalles dt (typiquement temps de propagation maximal sur le réseau)

Protocole: Une station qui veut émettre observe l'activité sur le médium

- A: si le médium est libre elle transmet la trame avec une probabilité p et la retarde de dt avec une probabilité $1-p$. Elle répète ensuite l'algorithme dans l'intervalle suivant
- B: si le médium est occupé, elle attend (persiste) et répète le point A dès qu'il devient libre

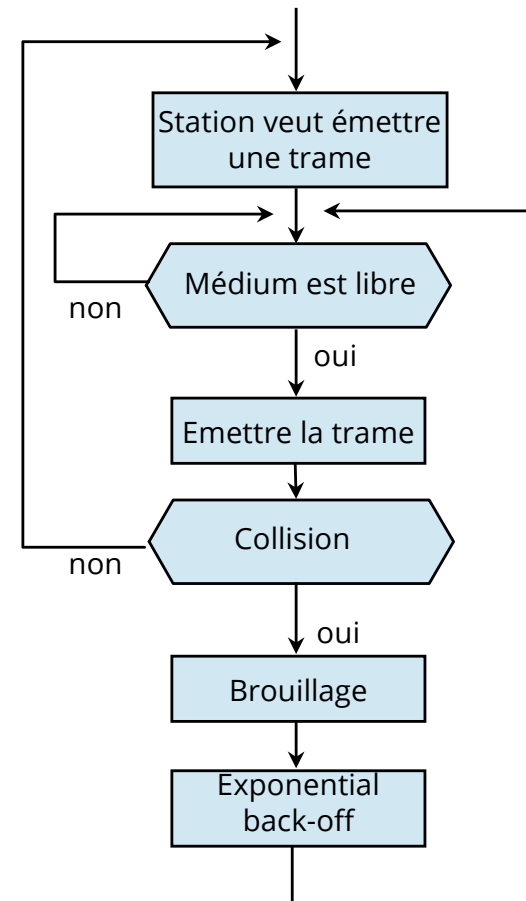


CSMA/CD

Idée: CSMA/CD (Ethernet) est une amélioration de *CSMA 1-persistent* qui propose un algorithme adaptatif pour déterminer l'instant de la prochaine tentative d'émission en cas de collision. Cet algorithme donne la priorité à la durée de transmission à faible charge et la priorité à la prévention de collisions à forte charge.

Si la station source détecte une collision, elle interrompt immédiatement la transmission en cours et confirme la collision aux autres stations impliquées au moyen d'un signal de brouillage (si l'interruption de la transmission d'une station est très rapide, il se peut que les autres stations ne s'aperçoivent pas de la collision).

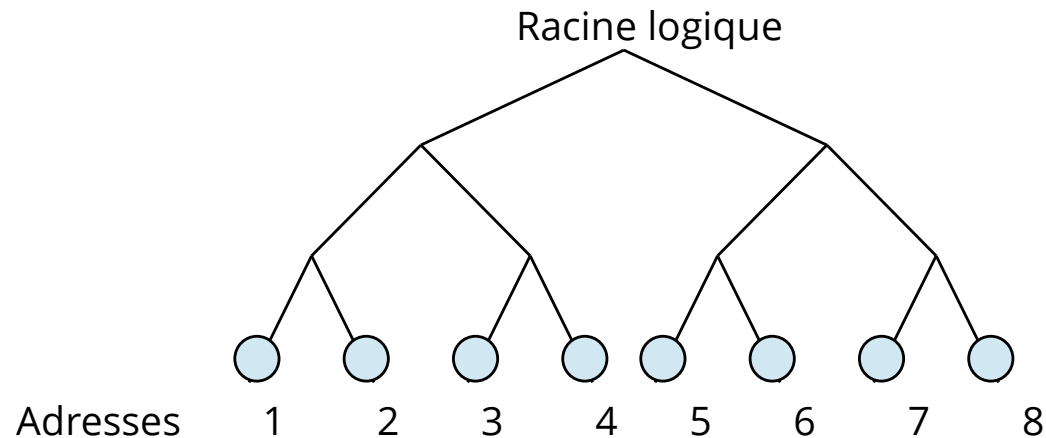
Les stations impliquées refont une tentative de transmission après un temps déterminé par un algorithme aléatoire croissant appelé ***exponential back-off***.



CSMA et résolution en arbre binaire

Idée: Modification du protocole CSMA de façon à garantir une borne supérieure au temps de transmission.

Description: Chaque station possède une adresse. Toutes les adresses sont organisées sous la forme d'un arbre binaire. Le contrôle est décentralisé.



Protocole: Le protocole commence comme le CSMA. Si il y a une collision, les branches sont successivement explorées pour que toutes les trames impliquées puissent être transmises avant de recommencer un cycle.

A chaque étape, l'arbre est **divisé en deux** et les stations qui sont dans la partie droite (adresses les plus hautes) ont le droit d'essayer de nouveau. Si il n'y a plus de collisions (une ou aucune trame émise), les stations de la partie gauche reçoivent le droit d'émettre.

Si il y a de nouveau une collision, on partage le sous-arbre en deux et on répète la procédure jusqu'à ce que toutes les branches aient été explorées.

Accès par multiplexage

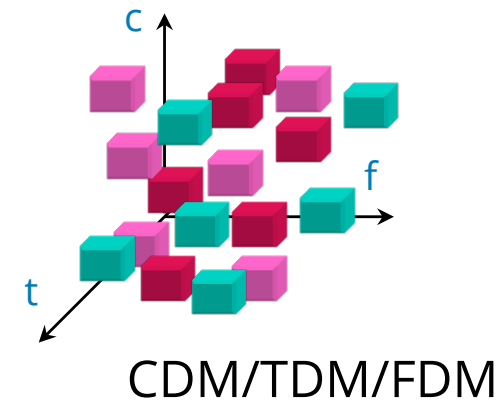
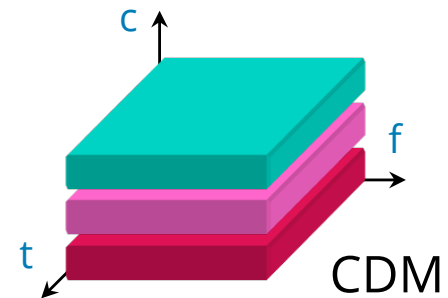
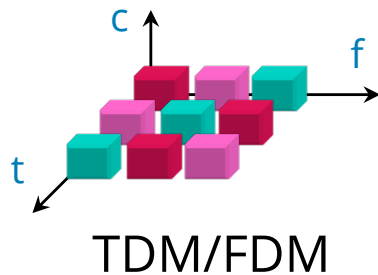
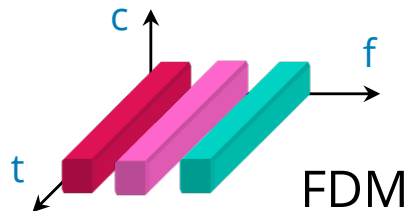
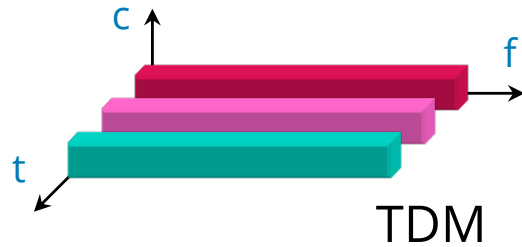
Le **multiplexage** permet la présence simultanée de plusieurs canaux logiques de communication. Le multiplexage avec partage dynamique est typique des équipement de téléinformatique centralisés (*Switches, Routeurs*) qui mettent les trames et paquets en attente avant de les multiplexer sur une (ou parfois plusieurs) ligne(s) de sortie.

En plus de ces applications usuelles (Commutation et Routage), le multiplexage peut aussi s'utiliser comme méthode d'accès sur un milieu partagé. On en trouve plusieurs variantes:

- Le multiplexage **spatial** (*space division multiple access*).
- le multiplexage **temporel** (*time division multiple access* - TDMA)
- le multiplexage à **spectre étalé** (*spread spectrum, code division multiple access* - CDMA)
- le multiplexage **fréquentiel** (*frequency division multiple access* - FDMA),
- et le multiplexage en **longueur d'onde optique** (*wavelength division multiple access* - WDMA)

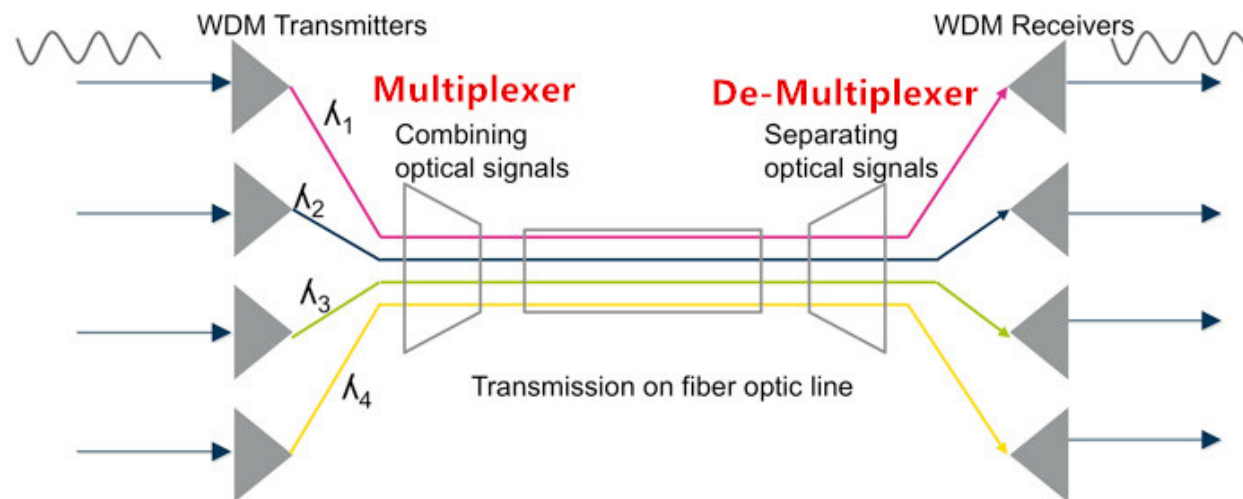
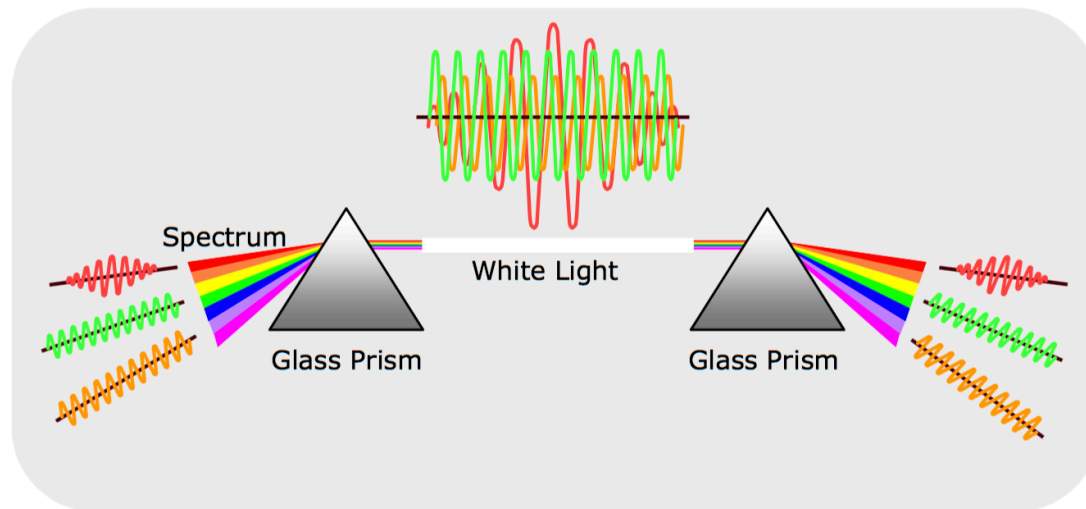
L'attribution des canaux peut d'autre part se faire de façon **statique**, soit un partage fixe de la capacité, ou de façon **dynamique**.

Combinaison des techniques de multiplexage



WDM – Wavelength Division Multiplexing (1)

Chaque longueur d'onde (couleur) représente un canal WDM



WDM – Wavelength Division Multiplexing (2)

Exemples de produits:



Module transceiver GBIC
10Gb/s, 1530-1565 nm



Module transceiver SFP+
10Gb/s, 1560.61 nm, 40km

Exercices

Protocoles d'accès MAC

- 100.26 à 100.30
- 100.29 (homework - réponses à publier sur Moodle)