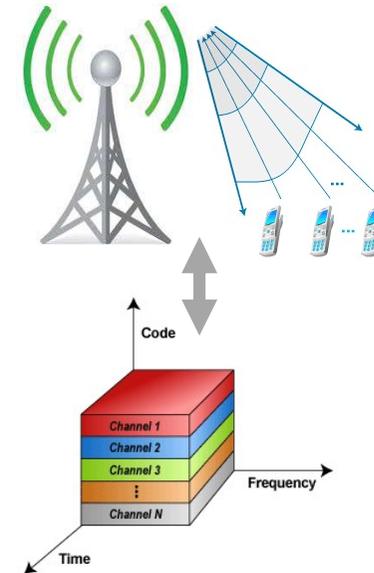


Centre universitaire de Mila, Algérie
Domaine : Mathématique et Informatique

1^{er} année master Informatique (STIC)
Module : Réseaux et informatique mobile

Chapitre 02

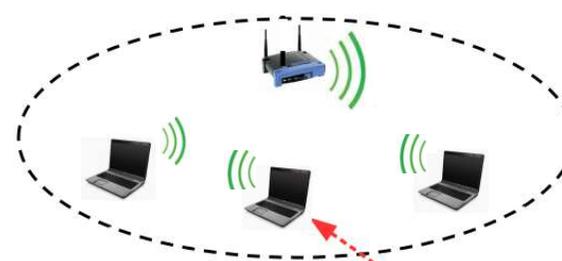
Méthodes d'accès multiples



La liaison point à point et multipoint

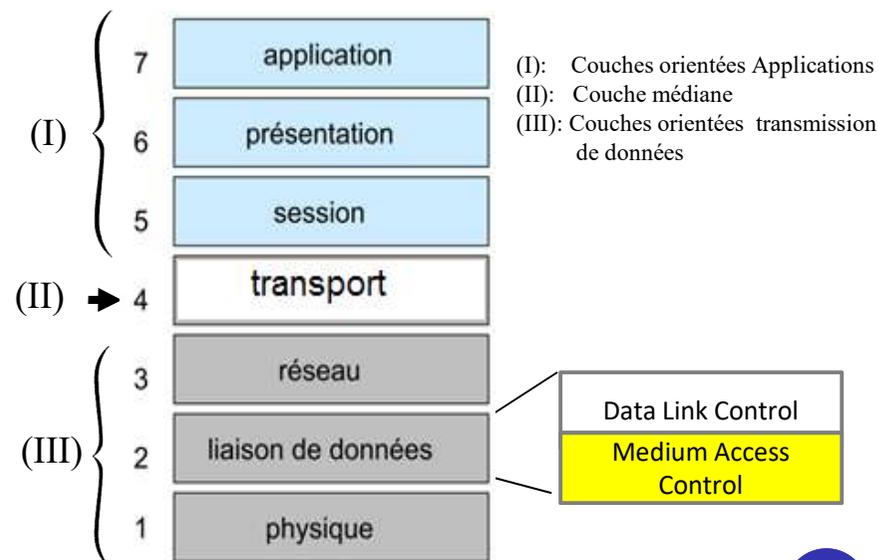
- Les réseaux utilisent des liaisons:
 - Point à Point
 - ✓ une liaison généralement bidirectionnelle partagée entre un émetteur et un récepteur
 - ✓ Liaison dédiée → pas de problème d'accès.
 - Multipoints
 - ✓ Un lien partagé entre plusieurs stations
 - **conflit d'accès**
 - ✓ Nécessite un protocole d'accès multiple

Exemple d'une liaison multipoint (WLAN 802.11)



L'espace est le support partagé

- L'accès au média de transport est géré par la sous couche MAC (*Medium Access Control*) de la couche Liaison du modèle OSI



Protocoles d'accès multiple

- **Méthodes** d'accès ou **Protocoles** d'accès ou **Politiques** d'accès
 - Algorithmes qui déterminent comment les stations partagent efficacement un canal.
 - ✓ Les communications entre les stations doivent utiliser un seul et unique canal.

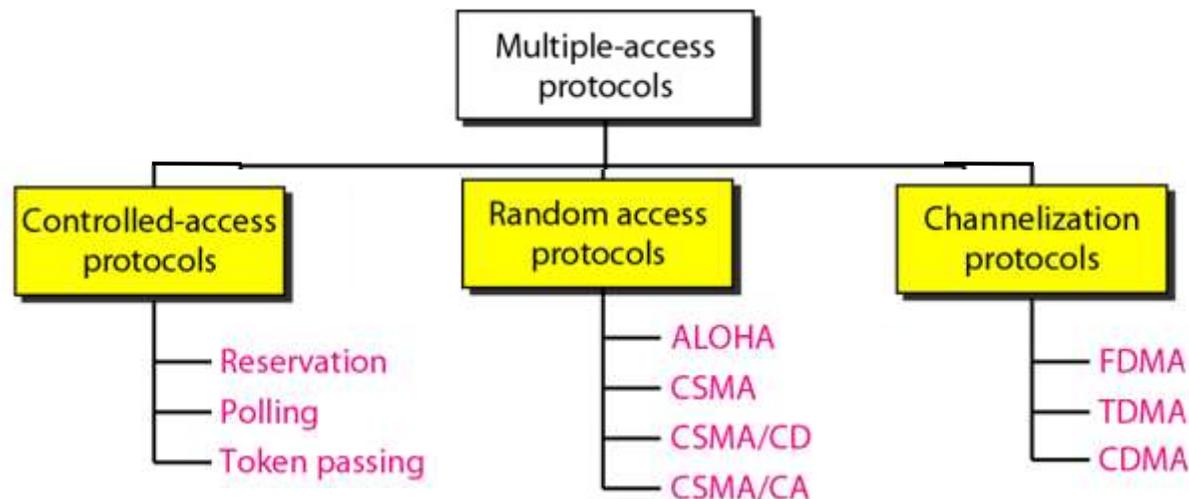
Comment peut-on utiliser un canal partagé par plusieurs stations?

- (1) Diviser le canal et l'attribuer aux différentes stations.
 - ✓ La division peut être en temps, en fréquence ou par un code.
- (2) Tolérer un accès aléatoire, mais gérer les collisions s'il y a lieu.
 - ✓ facile avec certaine techno (filaire)
 - ✓ plus difficile avec d'autre (sans fils)
- (3) Contrôler l'accès par une station supérieure.
 - ✓ une seul station contrôle (le maître)
 - ✓ Toutes les stations participent au contrôle (passage d'un jeton)

➔ Plusieurs classifications existent.

Classification des protocoles d'accès multiple

- **Protocoles à accès contrôlé / par consultation**
 - ✓ Coordination de l'accès au média partagé pour éviter les collisions
- **Protocoles à accès aléatoire / par compétition / par contention**
 - ✓ Permet les collisions
 - ✓ Doit réagir face aux collisions
- **Protocoles à partage de canal / par canalisation / par multiplexage**
 - ✓ Division du canal en petits bouts (temps, fréquence, code)
 - ✓ Allocation de ressource dans un nœud pour une utilisation exclusive



Classification des protocoles d'accès multiple

- Il existe d'autres classifications:

Selon le type d'allocation

- *Statique*
 - Chaque émetteur a une part fixe des ressources (ex. TDMA, FDMA, CDMA)
- *Dynamique*
 - *Accès aléatoire*
 - Chaque émetteur émet quand il veut (ex. ALOHA, CSMA)
 - *Accès déterministe*
 - Une station contrôle la distribution des ressources (ex. jeton)

Selon la méthode d'accès

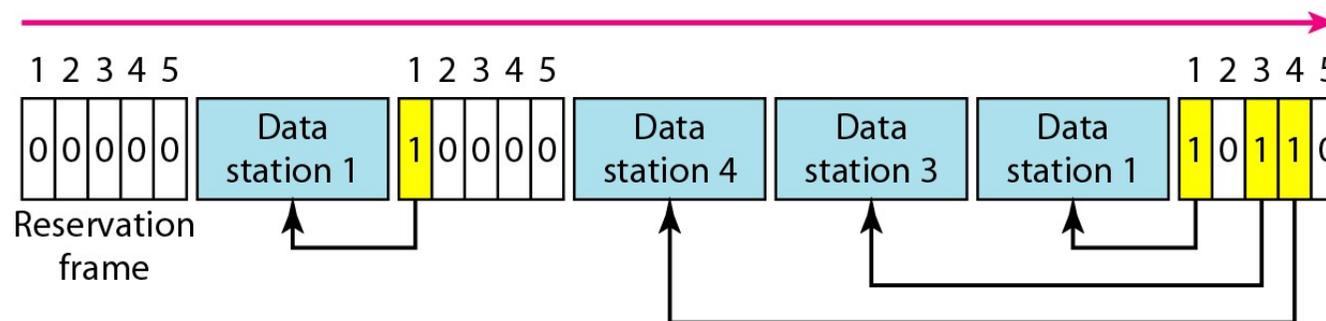
- *Avec compétition*
 - Chaque émetteur essaie de prendre le contrôle du canal (ex. ALOHA, CSMA)
- *Accès ordonné*
 - Chaque émetteur accède à son tour ou à sa bande (TDMA, FDMA)

Protocoles à accès contrôlé

✚ Méthode par réservation

Description

- La station doit faire une réservation avant d'envoyer des données.
- Le temps est divisé en intervalles.
- Une trame de réservation précède les trames de données envoyées dans chaque intervalle
- S'il y a N stations dans le système, il y a exactement N mini slots dans la trame de réservation
- Chaque mini-slot appartient à une station.
 - ◆ Quand la station veut envoyer des données, elle fait une réservation dans sa propre slot.
- Les stations qui ont fait des réservations peuvent envoyer des trames après la trame de réservation



Protocoles à accès contrôlé

+ Méthodes par interrogation (Polling)

Description

- Fonctionne dans une architecture maître/esclave.
 - Imposer l'ordre en désignant une station primaire (**maître ou contrôleur**) et les autres sont secondaires.
 - Le maître est désigné soit d'une manière statique (configuration) ou dynamique (élection)
 - La station primaire contrôle le lien et les stations secondaires suit ses instructions.
- Le maître **interroge** périodiquement (**Polling**) toutes les autres stations secondaires.
- L'échange de données se fait via le maître même si la destination finale est une station secondaire
 - Le maître donne le droit à transmettre au secondaire.
 - Le droit est donné à tour de rôle (scrutation) ou selon un ordre connu par le maitre (s. embarqués)
- La station secondaire rend le droit au maître après avoir terminée la transmission

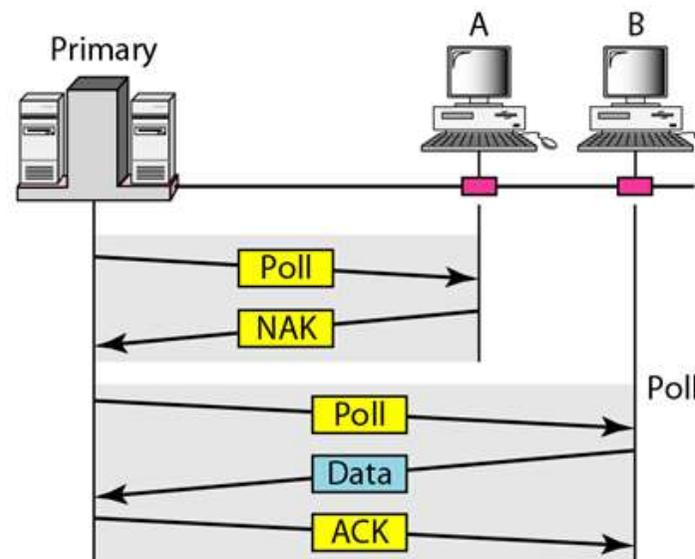
Protocoles à accès contrôlé

+ Méthodes par interrogation (Polling)

- Le processus d'envoi de données se fait selon deux Opérations: **POLL** et **SELECT**

■ POLL:

- La station primaire demande (interroge) chaque station secondaire si elle a des données à envoyer
- Si la station secondaire a des données à transmettre, elle envoie la trame de données.
 - La station primaire renvoie un ACK après réception de la donnée.
- Si elle n'a pas de données à envoyer, elle envoie un acquittement négatif (NAK).
- La station primaire interroge ensuite la station secondaire suivante.

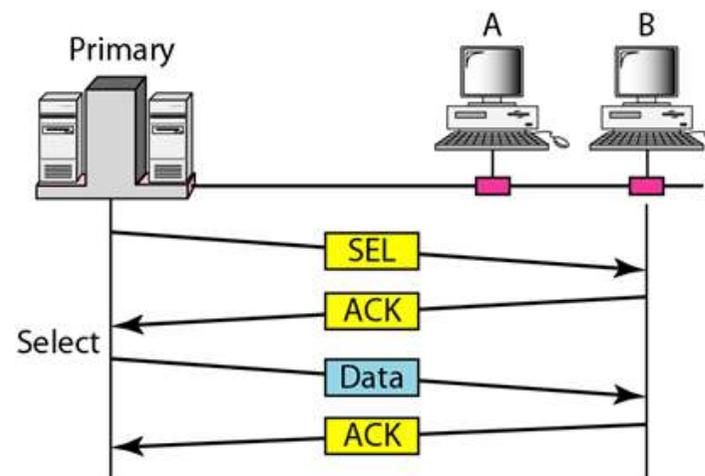


Protocoles à accès contrôlé

✚ Méthodes par interrogation (Polling)

■ SELECT:

- ◆ Si la station primaire a des données à envoyer, elle envoie un message à toutes les stations.
 - Transmettre une trame SELECT avec l'adresse de la station secondaire concernée.
 - Attendre un acquittement (ACK) de la part de la station secondaire concernée.
- ◆ Si la station secondaire est prête à recevoir, elle renvoie un ACK.
- ◆ La station primaire commence la transmission.



Protocoles à accès contrôlé

+ Méthodes par interrogation (Polling)

■ Avantages:

- ◆ La possibilité d'attribuer des priorités pour assurer un accès plus rapide pour quelques stations secondaires.
- ◆ Le temps maximum et minimum d'accès au canal sont prévisibles et fixes.

■ Inconvénients:

- ◆ Grande dépendance à la fiabilité de la station primaire.
- ◆ Utilisé seulement dans les réseaux de petite taille.

Protocoles à accès contrôlé

✚ Exercice 01 (*Méthode par interrogation*)

Soit un réseau de 100 stations qui échangent des paquets de taille de 10000 bit, avec un débit 1 Mbit/s. L'échange se fait selon le protocole Roll-Call Polling avec des trames de contrôle (POLL/ACK/NACK) de 100 bit, et un temps de propagation entre chaque station et le Master est de $10 \mu\text{s}$.

- Calculer l'efficacité de ce protocole dans le cas où seulement 10 stations ont de paquets à transmettre.

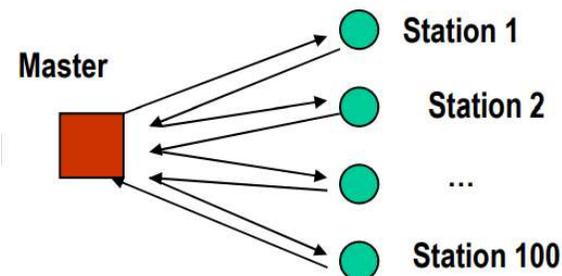


Fig. Le déroulement de l'échange

Protocoles à accès contrôlé

✚ Méthode par interrogation – Exercice - Solution

Protocoles à accès contrôlé

✚ Méthodes à jeton circulant

Description

- Les stations sont disposées formant un anneau (voir Figure)
- Un station circule d'une station à une autre
- La station qui veut transmettre garde le jeton et transmet.
- La libération du jeton peut être:
 - Après la fin de la transmission (jeton ordinaire)
 - Après un laps de temps connu à l'avance (jeton temporisé)

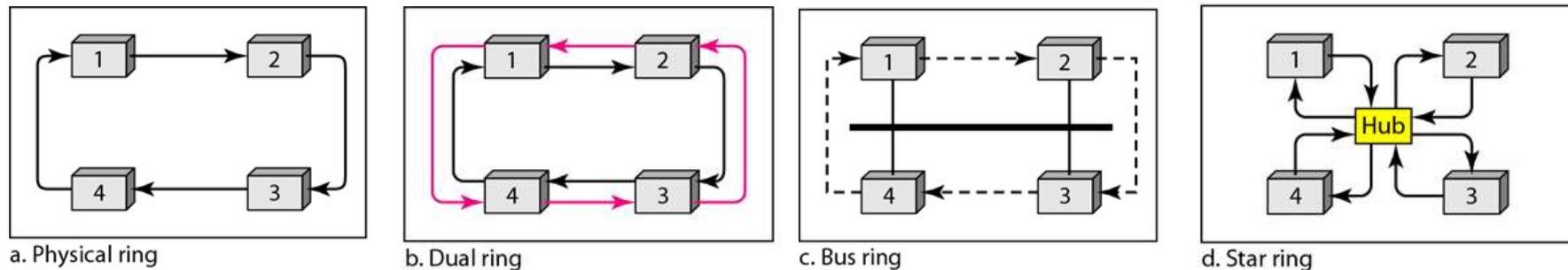


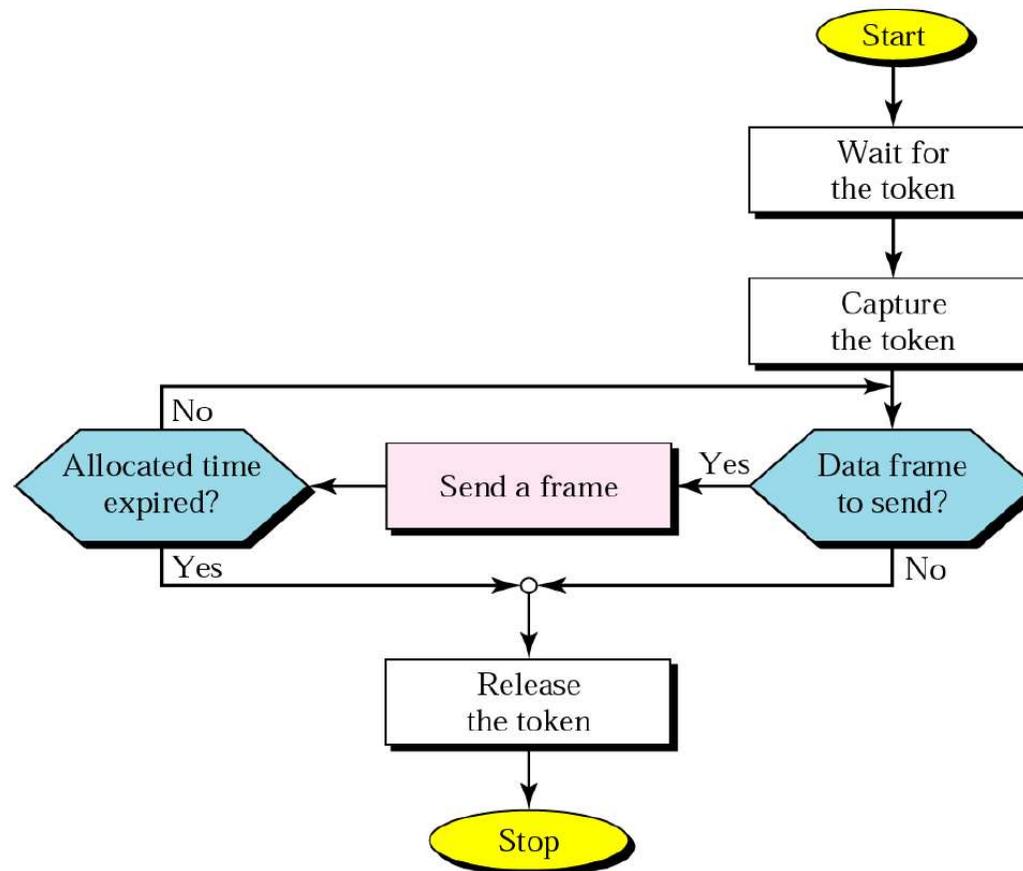
Figure. Anneau physique et logique

Protocoles à accès contrôlé

✚ Méthodes à jeton circulant

Description (suite)

- L'organigramme de fonctionnement est le suivant:



Protocoles à accès contrôlé

+ Méthodes à jeton circulant

● Avantages

- Garantie de bande passante pour chaque station
- Garantie de délais bornés (pour les jetons temporisés)
- Bien adapté aux réseaux industriels et embarqués.

● Inconvénients

- Une station qui fonctionne mal peut monopoliser le jeton (**famine !**)
- Effets négatifs de périodes transitoires de perte de jeton
- Inefficacité en cas de charge faible (on consomme plus de la bande passante pour le passage du jeton que pour transmettre des données)
- Tâches d'administration supplémentaires qui affecte la performance du réseau
 - Création et maintenance de l'anneau (logique)
 - Contrôle et régénération du jeton

Méthodes par Compétition

Principe

- Toute station peut envoyer à tout instant sans réservation préalable.
- Pas de coordination entre les nœuds.
- Si deux stations ou plus transmettent en même tps → Collision.
 - ◆ Comment détecter les collisions ?
 - ◆ Comment réagir face aux collisions (ex. transmission retardée) ?
- Plusieurs méthodes existent. Nous prenons en détail :
 - ALOHA
 - CSMA (Carrier Sense Multiple Access)
 - ◆ CSMA/CD (CSMA with Collision Detection)
 - ◆ CSMA/CA (CSMA with Collision Avoidance)

Méthodes par Compétition

✚ Méthodes ALOHA

Description

- La plus ancienne des Méthodes d'accès (début des 70's)
- Ancêtre de tous les protocoles CSMA/xx
- Deux variantes : **ALOHA pure** et **ALOHA à tranche** (slotted)

- **ALOHA pure**
 - Toute station peut transmettre dès qu'elle le souhaite
 - Après transmission, la station attend un Ack
 - Si l'Ack ne lui parvient pas au bout d'un délai fixé, elle retransmet sa trame

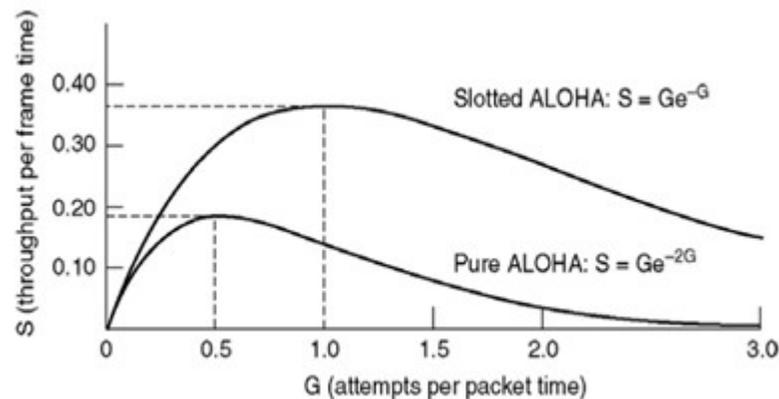
- **Slotted ALOHA**
 - Le temps est découpé en slots = au temps de transmission d'une trame
 - Toutes les trames sont de même taille.
 - Toute station peut transmettre dès qu'elle le souhaite, mais elle doit commencer sa transmission au début d'un slot.
 - Les stations sont synchronisés.

Méthodes par Compétition

✚ Méthodes ALOHA

ALOHA pure vs slotted ALOHA

- Simple et pas de synchronisation
 - Pas d'intervalles.
 - Une probabilité de collision élevée (voir Fig. 2)
 - un paquet envoyé à t_0 entre en collision avec les paquets envoyés entre t_{0-1} et t_{0+1} .
 - Rendement très mauvais en cas de charge élevée
 - Trop de collisions
- Nécessite une synchronisation des horloges
 - pour répéter les débuts des slots
 - Moins de collisions par rapport à ALOHA pure
 - un paquet envoyé à t_0 n'entre en collision qu'avec les paquets envoyés à t_0 .
 - Rendement reste très mauvais
 - Gestion de la synchronisation



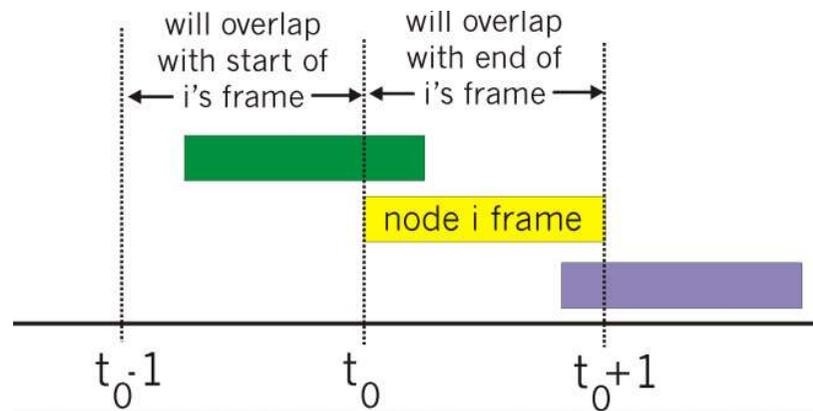
Taux d'utilisation Max de ALOHA pure = 18%
Taux d'utilisation Max de Slotted ALOHA pure = 37%

Méthodes par Compétition

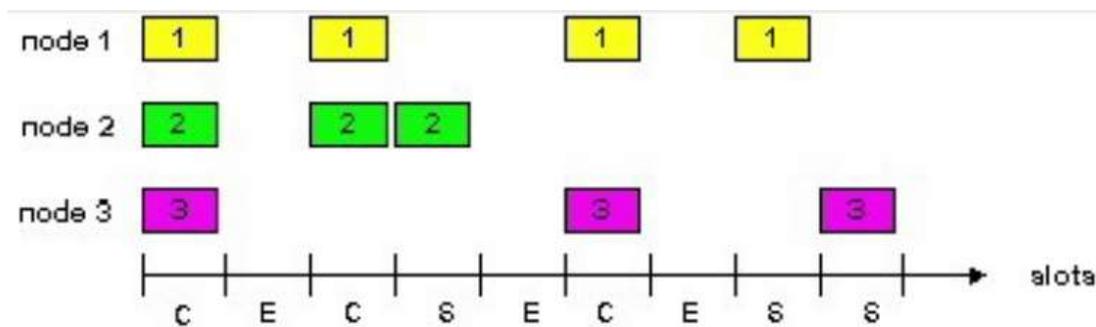
Méthodes ALOHA

ALOHA pure vs slotted ALOHA (suite)

ALOHA Pure



ALOHA sloté



(S) Intervalle Succès, (C) Collision, (E) Vide

Fig. 2

Méthodes par Compétition

✚ Méthodes CSMA

- Le principe est de ne pas transmettre si le support est occupé (contrairement à ALOHA)
 - Faire l'écoute du canal
- Les méthodes CSMA utilisent la technique du **Backoff**
 - Retarder la transmission (en cas de collision) d'une durée calculée aléatoirement
- **Algorithme de Back-off**
 - Chaque station tire aléatoirement un délai d'attente T compris entre [0, CW]
 - CW est la taille d'une fenêtre de contention (un certain nombre de slots)
 - L'équation est: $0 < T \leq 2^k$, k : est le nombre de collisions déjà détectées.
 - Attendre pendant T slots avant de vérifier si le support est libre.
 - La durée d'un slot (Slot Time) est définie de telle sorte que la station est toujours capable de déterminer si une autre station a accédé au support au début du slot précédent.
 - Exemple: pour Wifi : Time_slot = 20 μ s

Méthodes par Compétition

✚ Méthode CSMA/CD

- Utilisée dans les réseaux filaires.
 - Ethernet – IEEE 802.3

Principe

- Ecouter le canal, s'il est libre alors transmettre immédiatement
 - Sinon attendre qu'il soit libre, par des écoutes périodiques
- Faire de l'écoute en même temps que la transmission
 - La différence entre le signal émis et celui reçu indique une collision
- En cas de collision:
 - Arrêter la transmission.
 - Envoyer des données de bourrage.
 - Attendre un temps aléatoire (Backoff) et réessayer.

Méthodes par Compétition

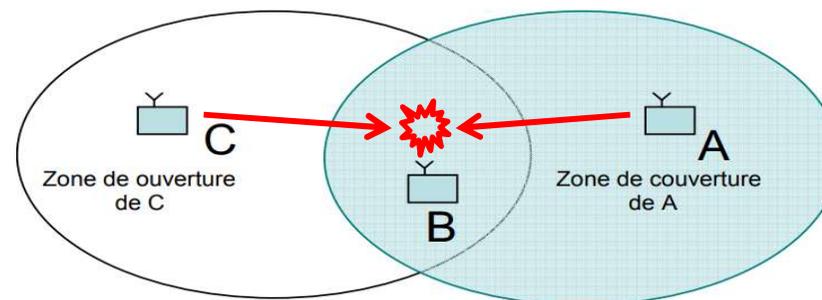
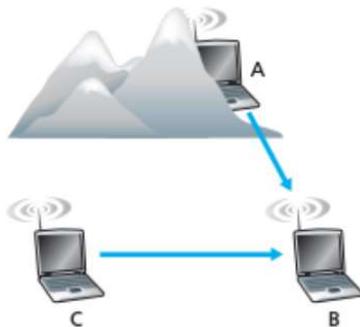
+ Méthode CSMA/CA

■ CSMA/CD ne peut pas être utilisée dans les réseaux filaires.

- Détection de collision (l'écoute) pendant la transmission impossible, car:
 - Dans le sans fil la transmission empêche l'écoute de la même fréquence.
 - Pas de garantie que toutes les stations s'entendent entre elles (problème de la station cachée)

Problème des stations cachées

- ◆ Il se produit quand deux stations ne peuvent pas s'entendre l'une et l'autre.
 - La distance qui les sépare est trop grande.
 - Un obstacle les empêchent de communiquer entre elles mais avec des zones de couverture qui se recoupent.



les stations A et C s'autorisent à émettre des paquets à B

Méthodes par Compétition

+ Méthode CSMA/CA

- Utilisée dans les réseaux sans fil.
 - WiFi, IEEE 802.11
- Fonctionne selon le **mécanisme des IFS – *inter Frame Spacing***

Le mécanisme IFS

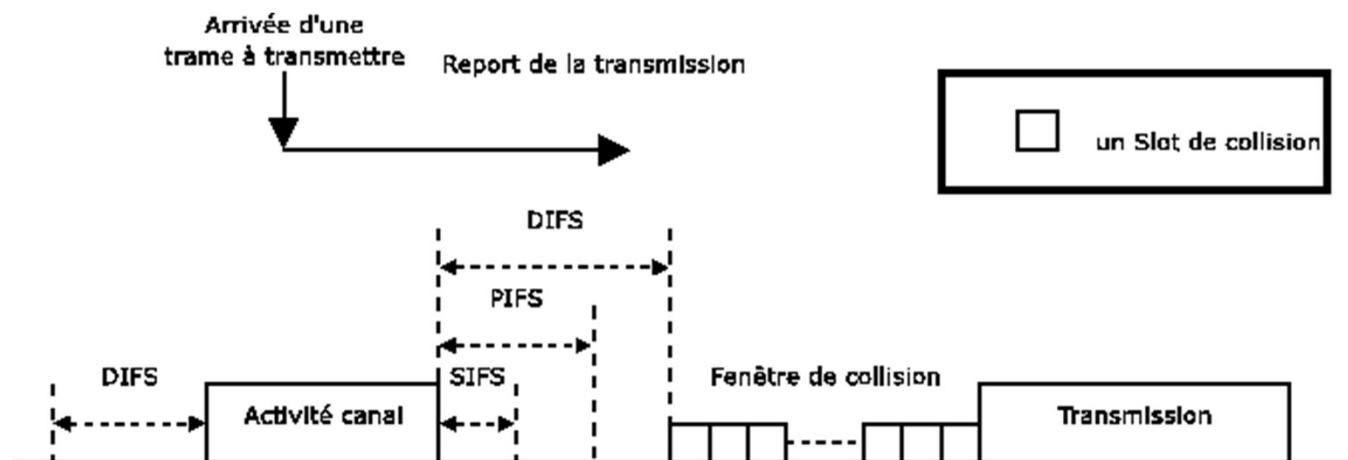
- Un mécanisme d'espacement entre deux trames.
- Un IFS est une période d'inactivité sur le support de transmission
- Quatre types d'IFS :
 - ***SIFS - Short Inter-Frame Spacing (Le plus court des IFS)***
 - ✓ utilisé pour séparer les trames transmises au sein d'un même dialogue (données et leurs ACK).
 - ***DIFS - DCF Inter-Frame Spacing:***
 - ✓ le temps que doivent attendre les autres stations avant d'émettre un paquet en mode DCF.
 - ✓ sa valeur est égale à celle d'un SIFS augmentée de deux time slots.
 - ***PIFS - PCF Inter-Frame Spacing:***
 - ✓ le temps que doit attendre les autres stations avant d'émettre un paquet en mode PCF.
 - ✓ sa valeur est inférieur au DIFS, pour permettre de favoriser ce mode.
 - ***EIFS - Extended Inter-Frame Spacing (le plus long des IFS)***
 - ✓ Le temps qu'une station doit attendre l'ACK d'une trame erronée reçue.

Méthodes par Compétition

+ Méthode CSMA/CA

Le mécanisme IFS (suite)

- La valeur de SIFS:
 - ◆ Fixée par la couche physique.
 - ◆ Calculée de telle façon que l'émetteur est capable de commuter en mode réception et pouvoir décoder le paquet entrant.



- Ces IFS permettent de gérer l'accès au support et instaurer un système de priorités lors d'une transmission.
 - ◆ Si plusieurs stations souhaitent émettre simultanément, la station qui émet les trames les plus prioritaires comme les ACK pourra les envoyer en premier, puis les trames jugées prioritaires et ainsi de suite

Méthodes par Compétition

+ Méthode CSMA/CA

- Deux variantes: **avec acquittement (ACK)** et **avec réservation**

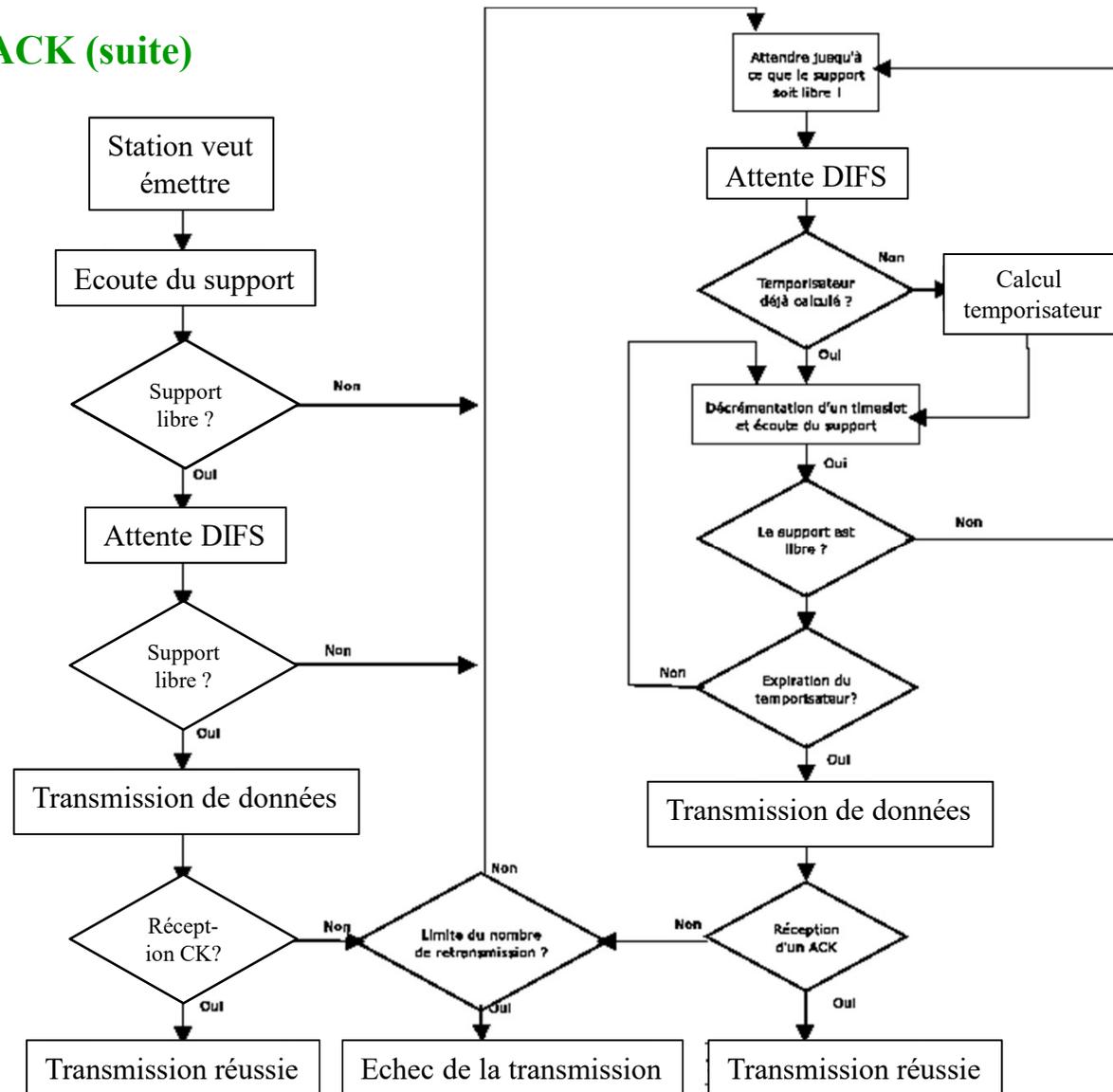
CSMA/CA avec ACK

- Une station voulant transmettre écoute le support.
 - ◆ S'il est occupé, la transmission est différée.
 - ◆ S'il est libre pour un temps spécifique (appelé DIFS, Distributed Inter Frame Space), la station est autorisée à transmettre après une durée tirée aléatoirement en se basant sur l'algorithme de Backoff exponentiel.
- La station réceptrice va vérifier le CRC du paquet reçu et renvoie un accusé de réception (ACK).
- La réception de l'ACK indiquera à l'émetteur qu'aucune collision n'a eu lieu.
- Si l'émetteur ne reçoit pas l'accusé de réception, il retransmet le fragment jusqu'à ce qu'il l'obtienne ou abandonne au bout d'un certain nombre de retransmissions.

Méthodes par Compétition

Méthode CSMA/CA

CSMA/CA avec ACK (suite)

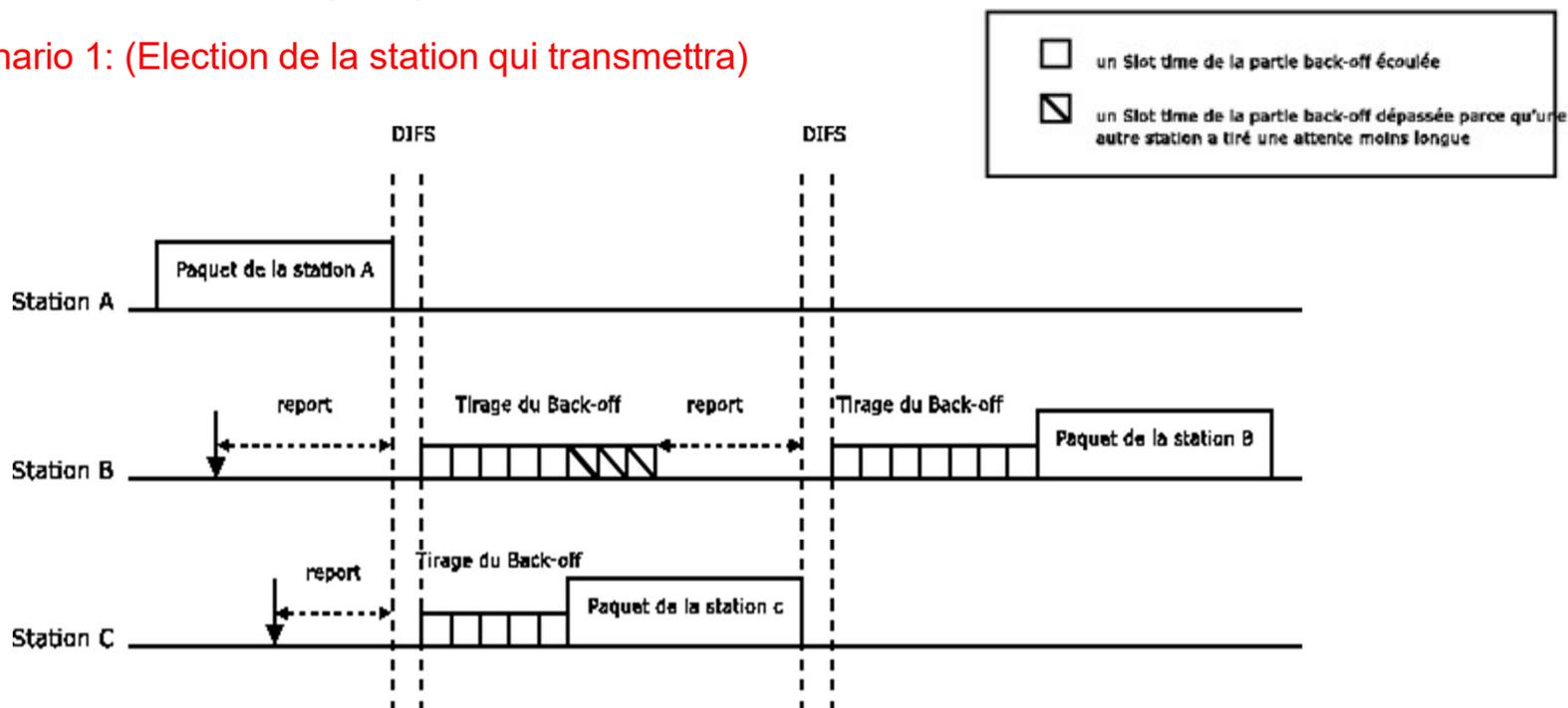


Méthodes par Compétition

✚ Méthode CSMA/CA

CSMA/CA avec ACK (suite)

Scénario 1: (Election de la station qui transmettra)



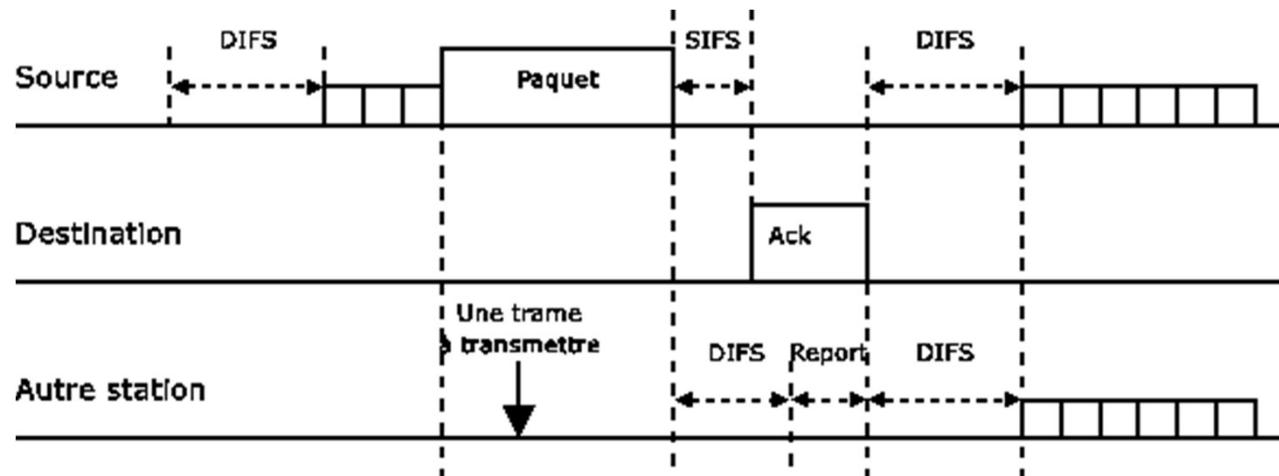
- ◆ La station A émet
- ◆ Les stations B et C souhaitent émettre.
- ◆ Elles écoutent le support, mais il est occupé, donc elles attendent qu'il se libère.
- ◆ Une fois, le support libre, elles attendent le temps d'un DIFS.
- ◆ Chacune attend le temps calculé par l'algorithme du *Backoff*.
- ◆ La station C a tiré un temps moins long, donc c'est elle qui émet avant la station B.

Méthodes par Compétition

✚ Méthode CSMA/CA

CSMA/CA avec ACK (suite)

Scénario 2: (Transmission d'un paquet suivi de son ACK)



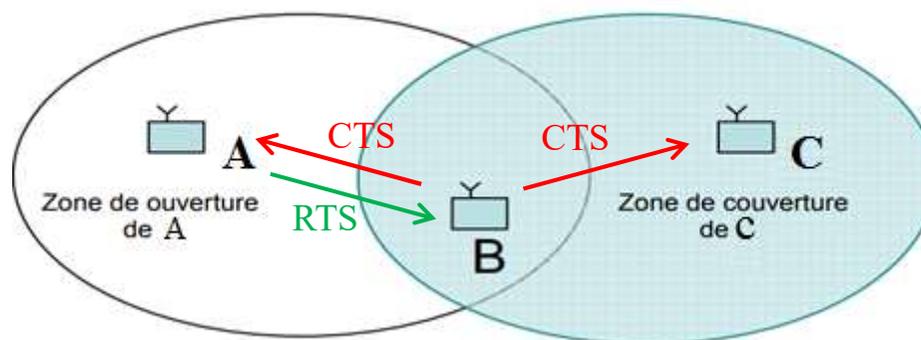
- ◆ L'envoi de l'ACK d'un paquet est favorisé
 - ✓ Le temps d'attente avant de transmettre un ACK est moins long que celui pour transmettre un paquet

Méthodes par Compétition

+ Méthode CSMA/CA

CSMA/CA avec ACK (optionnel)

- Le principe est de réserver le support entre deux stations avant tout envoi de données.
 - ◆ Ce mécanisme permet d'éviter le problème de la station caché.

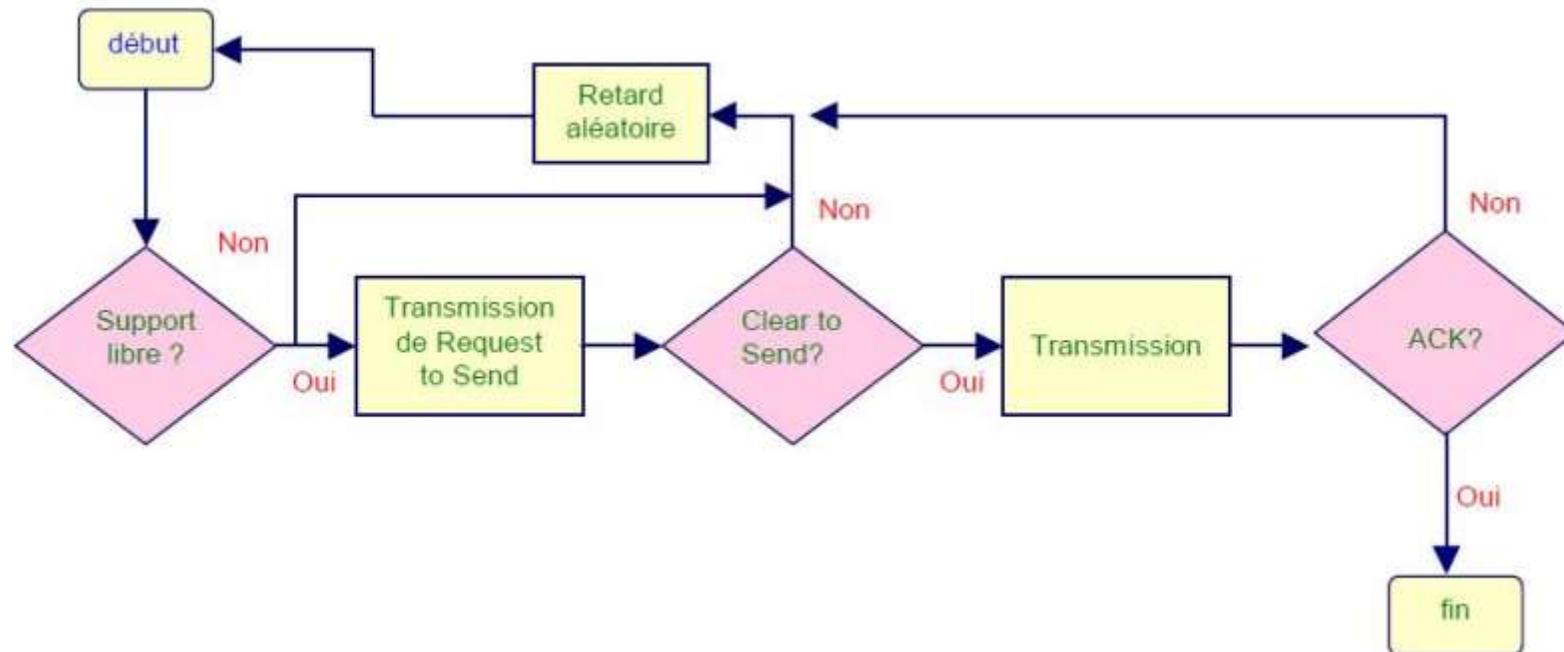


- ◆ Si A veut envoyer des données à B, elle émet une requête *Request to Send* (RTS)
 - RTS sera reçue par toutes les stations à sa portée.
 - RTS contient la source (A), le destinataire (B) et la durée estimée de la transaction.
- ◆ A la réception du RTS, la station B émet un *Clear to Send* (CTS) si elle est prête et que le support est libre.
- ◆ La station C ne reçoit que le CTS. Cependant, le CTS porte les mêmes informations que le RTS.
 - La station C ne transmettra pas pendant la période de temps spécifiée dans le CTS.

Méthodes par Compétition

✚ Méthode CSMA/CA

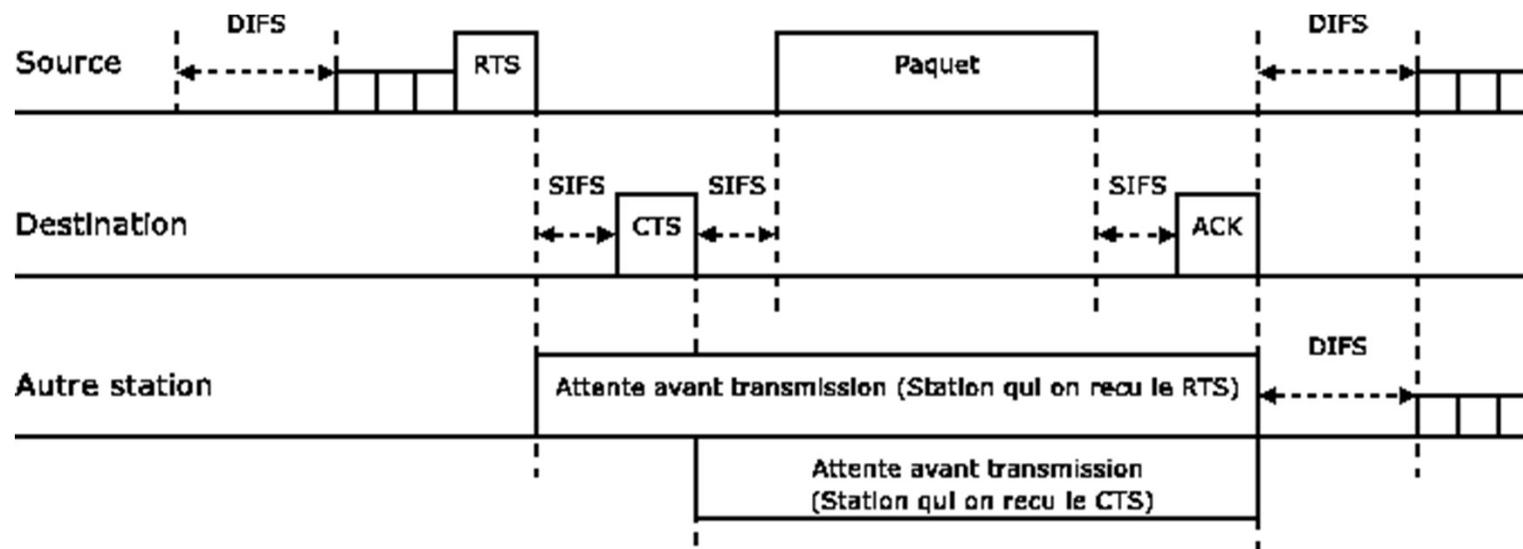
CSMA/CA avec ACK (optionnel)



Méthodes par Compétition

✚ Méthode CSMA/CA

CSMA/CA avec ACK (optionnel)



- Toutes les stations à portée des deux stations qui communiquent, attendent que la source ait émis son paquet et que le destinataire ait acquitté le paquet.
- Les deux trames RTS et CTS sont **courtes** (20 octets pour RTS et 14 octets pour CTS) et rencontrent donc **une faible probabilité de collisions**.

Méthodes par Compétition

✚ Méthode CSMA/CA

CSMA/CA avec ACK vs CSMA/CA avec reservation

- **Avec ACK**
 - Ne prend pas en considération le problème des stations cachées
- **Avec réservation**
 - Il y a un surcoût occasionné par la transmission des trames de signalisation RTS/CTS
 - Utilisé quand les trames de données ont une taille importante
 - Le surcoût trop important dégrade la performance et l'utilisation est limitée par un seuil de déclenchement.

Méthodes par Compétition

✚ Algorithme de Back-off - Exercice

Dans un réseau Ethernet à 10 Mb/s, deux nœuds (A et B) tentent l'accès au canal en même temps, et il y a donc collision.

- 1) Calculer la probabilité que la collision se reproduise à la 1ère tentative de retransmission.
- 2) En supposant qu'une nouvelle collision se soit produite, calculer la probabilité que la collision se reproduise à la 2ème tentative de retransmission.
- 3) Dans 802.11, citer les cas où le Backoff est exécuté et les cas où il ne l'est pas

Méthodes par Compétition

✚ Algorithme de Back-off - Exercice

Dans un réseau Ethernet à 10 Mb/s, deux nœuds (A et B) tentent l'accès au canal en même temps, et il y a donc collision.

- 1) Calculer la probabilité que la collision se reproduise à la 1ère tentative de retransmission.
- 2) En supposant qu'une nouvelle collision se soit produite, calculer la probabilité que la collision se reproduise à la 2ème tentative de retransmission.

Méthodes par Compétition

✚ Algorithme de Back-off – Exercice - Solution

Méthodes par Compétition

✚ Méthode CSMA/CA – Exercice 2

Evaluer le débit effectif de IEEE 802.11b où on peut transmettre à 11Mbps, et considérant les deux modes : CSMA/CA avec RTS/CTS (figure 1) ou CSMA/CA (figure 2).

Le Backoff est au niveau le plus bas ($CW=31$ time slots). La taille des données utiles est de $L=1500 \emptyset$. L'overhead MAC est de $34 \emptyset$. Les valeurs du time slot, de SIFS et de DIFS sont $20\mu s$, $10\mu s$ et $50\mu s$ respectivement. Les tailles de RTS, CTS et ACK sont $20 \emptyset$, $14 \emptyset$ et $14 \emptyset$ respectivement.

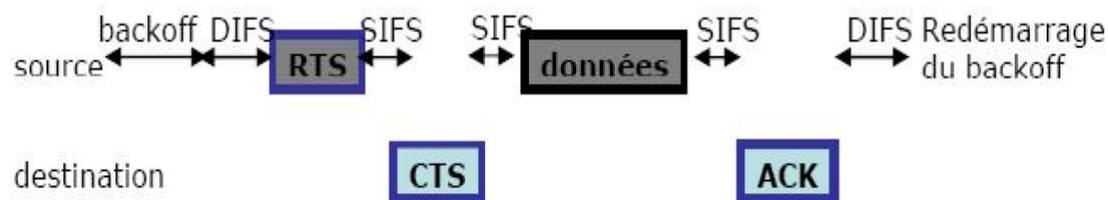


Figure 1 : CSMA/CA avec RTS/CTS

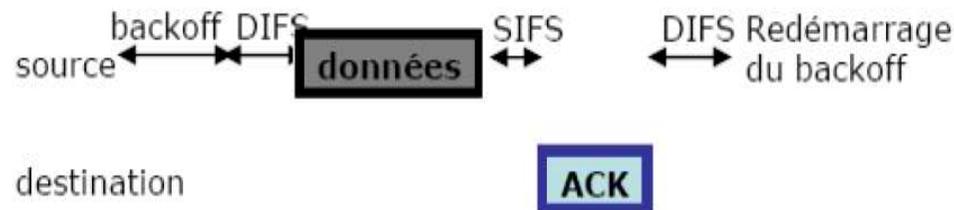


Figure 2 : CSMA/CA

Méthodes par Compétition

✚ Méthode CSMA/CA – Exercice 2 - Solution

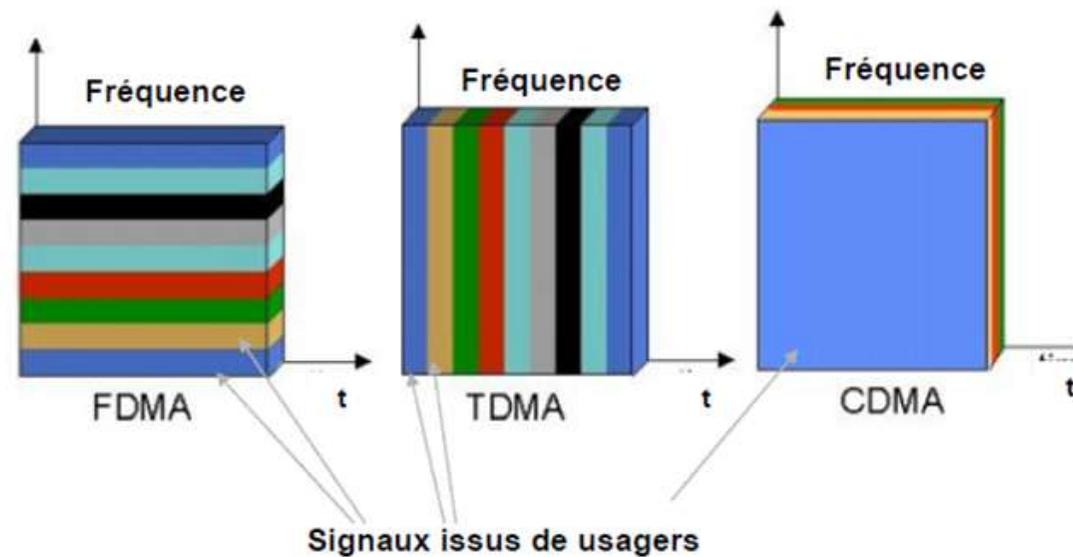
Méthodes par Compétition

✚ Méthode CSMA/CA – Exercice 2 - Solution

Méthodes par Multiplexage (canalisation)

Principe

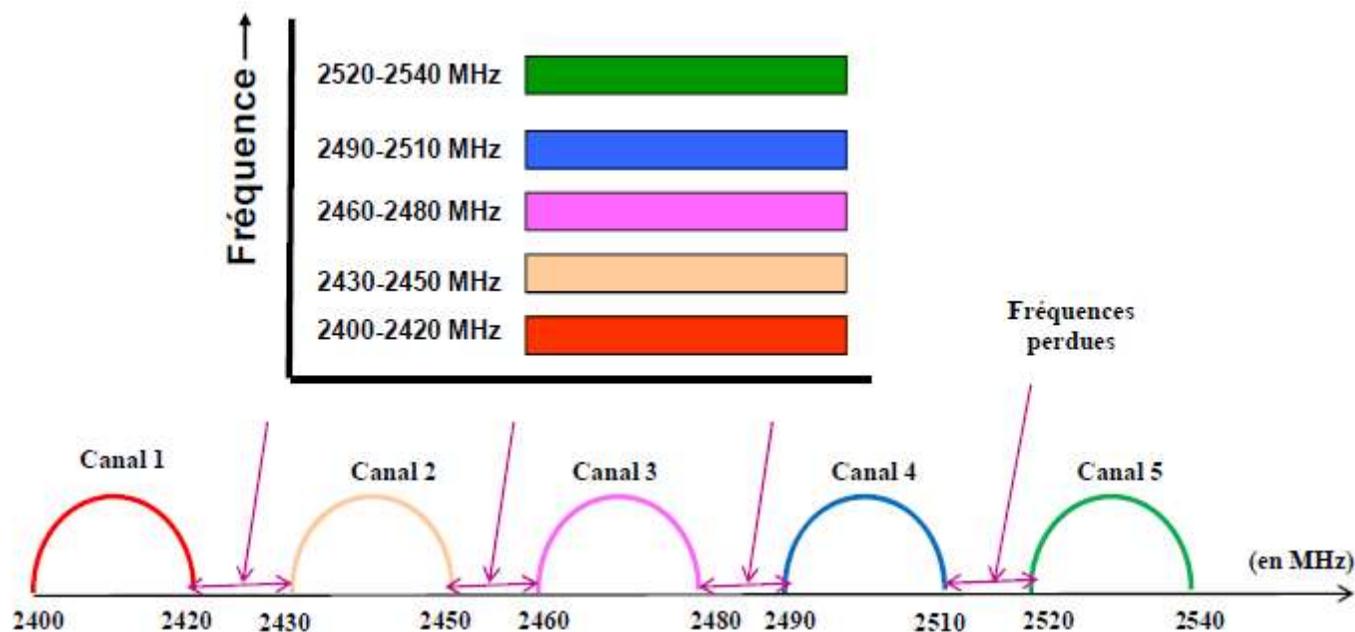
- Partager le canal entre les stations (en temps, en fréquence, etc.)
- Trois formes de multiplexages:
 - Multiplexage fréquentiel (**FDMA**)
 - Multiplexage temporel (**TDMA**)
 - Multiplexage de code (**CDMA**)



Méthodes par Multiplexage

✚ Multiplexage fréquentiel (FDMA)

- L'intervalle de fréquence est subdivisé en **canaux**.
- Chaque émetteur utilise un canal **tout le temps** de la transmission
 - Pour une bande de fréquence de 2400 MHz à 2540 MHz à subdiviser en 5 canaux, on a :



- Il faut prévoir des canaux de garde
 - Les canaux de gardes sont des fréquences perdues (inconvenient de cette technique)

Méthodes par Multiplexage

✚ Multiplexage fréquentiel (FDMA)

▪ Avantages

- Réutilisation des fréquences
- Pas besoin de synchronisation (par rapport à TDMA)
- Partage équitable entre les émetteurs
 - Convenable dans le cas du trafic constant

▪ Inconvénients

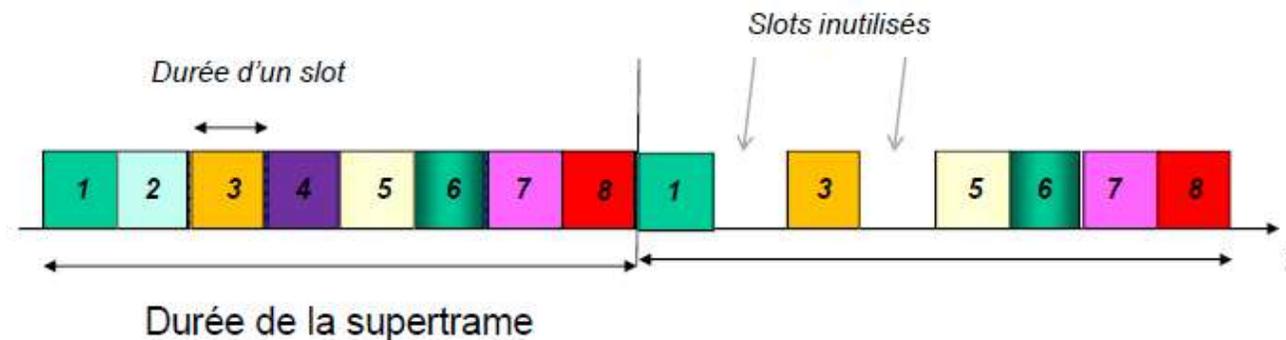
- Les bandes de **gardes** sont des fréquences **perdues**.
- Débit de transmission dépend de la bande du canal (division de la bande)
- Mauvaise exploitation de la bande
 - Un canal alloué ne peut pas être réutilisé même si la station qui l'utilise ne transmet pas

N.B. différentes variante de FDMA existent, ex. OFDMA.

Méthodes par Multiplexage

+ Multiplexage temporel (TDMA)

- Le temps est divisé en des **super-trames**.
- Chaque super-trame est divisée à son tour en des **slots** de taille fixe.
- Les slots sont partagés entre les différents émetteurs selon l'algorithme RR (Round Robin).



- Différentes variante de TDMA existent:
 - TDMA synchrone
 - Chaque station a le même nombre de slots.
 - Peu adapté au trafic diversifié.
 - TDMA statique
 - Chaque station a un nombre de slots selon ses besoins (équitable)

Méthodes par Multiplexage

✚ Multiplexage temporel (TDMA)

▪ Avantages

- Bonne exploitation de la bande de fréquence
 - Pas de bande perdue (comme dans FDMA)

▪ Inconvénients

- Nécessite la synchronisation des horloges des émetteurs

Méthodes par Multiplexage

✚ Multiplexage de code (CDMA)

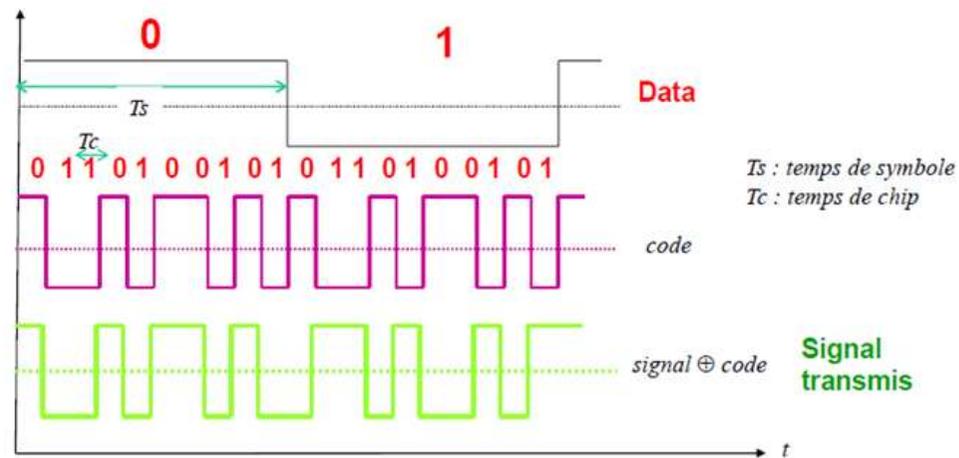
- Plusieurs émetteurs émettent sur la **même bande** en **même temps**.
- Chaque station utilise un **code** propre à elle.
 - Code est **une suite de n bits** connue de l'émetteur et le récepteur
- Chaque bit (1 ou 0) de la suite de données est multiplié par le code avant de l'envoyer.
 - Pour chaque bit on envoie n bits (étalement du spectre)
- À la réception, la station multiplie le signal reçu par son code pour restituer le **signal original**

Méthodes par Multiplexage

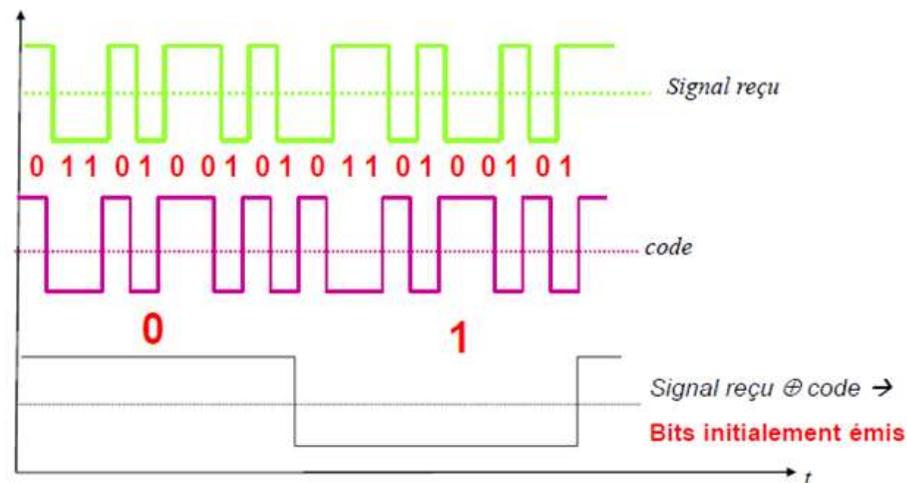
✚ Multiplexage de code (CDMA)

- Exemple: Pour une suite de données $D = 01$ et un code de station de $C = 0110100101$

A l'émission



A la réception



Méthodes par Multiplexage

+ Multiplexage de code (CDMA)

- Les codes utilisés par les émetteurs doivent être **orthogonaux deux à deux**
 - Deux codes CA et CB sont orthogonaux si leur **produit scalaire** est nul

$$C_A \cdot C_B = \sum (C_{A,i} \times C_{B,i}) = 0$$

Exemple : $C_A = \langle 1, -1, -1, 1, -1, 1 \rangle$ et $C_B = \langle 1, 1, -1, -1, 1, 1 \rangle$

1	-1	-1	1	-1	1	
1	1	-1	-1	1	1	
<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>						
1	-1	1	-1	-1	1	→ Somme = 0

- Les signaux s'additionnent sur le canal
 - Les récepteurs reçoivent un une sorte de bruit.
- Le récepteur cible (contient le code d'émission) peut restituer le signal original.

Méthodes par Multiplexage

✚ Multiplexage de code (CDMA)

▪ Avantages

- Plusieurs transmissions sont possibles en même temps sur la même bande de fréquence
- Extension (ajout d'émetteurs) facile
- Sécurité de données (utilisation des codes)

▪ Inconvénients

- Consommation de la bande passante (étalement du spectre)
- Nécessité de fournir plus de codes différents plus il y a des émetteurs

Méthodes par Multiplexage

✚ Exercice (CDMA)

Soient deux émetteurs A et B émettent en utilisant le multiplexage CDMA, où A transmet une suite de données $D_A = 100$ et B une suite de données $D_B = 001$. Le code de A et B sont, respectivement, $C_A = \langle 1 \ -1 \ -1 \ 1 \rangle$ et $C_B = \langle 1 \ -1 \ 1 \ -1 \rangle$.

- 1) Quelle est la suite transmise sur le canal?
- 2) Le récepteur de A, comment procède-t-il pour restituer les données d'origine?

Méthodes par Multiplexage

CDMA – Exercice (Solution)