

Rappels

- Les réseaux sans fil utilisent un média partagé (Air) → possibilité d'avoir des collisions.
- Les antennes ne permettent pas d'émettre et d'écouter en même temps (full duplex) → On ne peut pas détecter les collisions (on ne peut pas utiliser le CSMA/CD, comme dans les réseaux filaires).
- Une station n'entend pas nécessairement toutes les stations du réseau (stations cachées).

802.11 définit deux méthodes d'accès au canal de transmission :

- DCF (Distributed Coordination Function)
 - basée sur le mécanisme CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) et Acquittement positif
 - utilisée en mode Ad-Hoc et AP
- PCF (Point Coordination Function)
 - basée sur l'interrogation (Polling). L'AP contrôle l'accès au média (par interrogation des stations)
 - utilisée en mode AP **uniquement**

Les deux mécanismes peuvent coexister dans une même cellule.

Principe de l'algorithme CSMA/CA (1)

- CSMA : Carrier Sense Multiple Access
- CA : Collision Avoidance
- Une trame envoyée avec succès est acquittée par une trame de contrôle spéciale (trame ACK).
- Si l'ACK n'est pas reçue, la trame est considérée comme perdue. La station source retransmettra la trame de données plus tard, après avoir attendu un délai aléatoire.

Principe de l'algorithme CSMA/CA (2)

- Des trames d'acquittement (ACK frames) utilisées pour confirmer la réception des données transmises.
- Des temporiseurs d'espacement (Inter Frame Spacing - IFS) pour contrôler l'accès au canal et éviter les collisions.
- L'algorithme de backoff pour déterminer un temps d'attente aléatoire après une collision.

Principe de l'algorithme CSMA/CA (3)

- Une station écoute le canal avant toute tentative d'émission.
- Si le canal est libre pendant un temps **DIFS**, la station émet.
- Sinon, la station calcule un temporisateur : **T_BACKOFF**
 - Chaque fois que le canal devient libre, **T_BACKOFF** est décrémenté de 1.
 - Dès que **T_BACKOFF** atteint 0, la station émet sa trame.
 - La station réceptrice envoie un ACK après un **SIFS**, pour confirmer la réception de la trame.

Principe de l'algorithme CSMA/CA (4)

Il y a une collision si :

- Deux stations tirent le même nombre aléatoire dans leur algorithme de backoff et émettent en même temps.
- Un ACK n'est pas reçu par l'émetteur, ce qui peut être causé par des problèmes tels que le *Hidden Terminal* ou des interférences.

Principe de l'algorithme CSMA/CA (T_BACKOFF) (5)

- Le temps est divisé en timeslots (tranches de temps).
- La fenêtre de contention (CW) est un intervalle de timeslots dans lequel une station choisit un temps d'attente aléatoire. Elle est définie par : $CW_{min} \leq CW \leq CW_{max}$.
- Le temporisateur T_BACKOFF est calculé selon la formule : $T_BACKOFF = \text{rand}(0, CW) \times \text{timeslot}$, où $\text{rand}(0, CW)$ génère un nombre aléatoire compris entre 0 et CW, et ce nombre est multiplié par la durée d'un timeslot.
- Après chaque collision, la taille de **CW** double, jusqu'à atteindre la valeur maximale CW_{max} .

L'algorithme de Backoff

L'algorithme de backoff est exécuté dans les cas suivants :

- Lorsque la station écoute le canal avant la première transmission et que le canal est occupé.
- Après chaque retransmission, en cas de collision ou d'échec de réception de l'ACK.
- Après une transmission réussie, pour garantir l'accès au canal pour la prochaine transmission.

Pour comprendre l'algorithme du CSMA/CA, il faut connaître ce qu'est l'inter-Frame Spacing (IFS). C'est un mécanisme d'espacement entre deux trames. Ce sont en fait des périodes d'inactivité sur le support de transmission qui permettent de gérer l'accès au support pour les stations ainsi que d'instaurer un système de priorités lors d'une transmission.

Il existe quatre types d'IFS :

- ① Short Inter-Frame Spacing (SIFS) : est le plus court des IFS. Il est utilisé pour séparer les différentes trames transmises au sein d'un même dialogue comme par exemple, entre des données et leurs acquittements ou entre différents fragments d'une même trame ou pour tout autre transmission relative à un même dialogue (question-réponse).
- ② DCF Inter-Frame Spacing (DIFS) : est le temps que doivent attendre les autres stations avant d'émettre un paquet en mode DCF. La valeur du DIFS est égale à celle d'un SIFS augmentée de deux timeslots.

- ① PCF Inter-Frame Spacing (PIFS) : est le temps que doit attendre les autres stations avant d'émettre un paquet en mode PCF. La valeur est inférieur au DIFS, pour permettre de favoriser ce mode. Le mode PCF est expliqué dans la partie suivante.
- ② Extended Inter-Frame Spacing (EIFS) : est le plus long des IFS. Lorsque une station reçoit une trame erronée, elle doit attendre pendant un EIFS l'acquittement de cette trame.

Le SIFS permet de favoriser l'acquittement des paquets. Le temps d'attente avant de transmettre un acquittement est moins long que celui pour transmettre un paquet. Donc, l'envoi d'acquittement sera préféré par rapport à l'envoi d'un nouveau paquet.

CSMA/CA Algorithm

- En 802.11, une station voulant émettre écoute le canal. Si le canal est occupé, la station attend un temps aléatoire avant de réessayer.
- Si le média est libre pendant un temps donné, appelé *DIFS* (Distributed Inter Frame Space), la station peut alors émettre.
- De manière optionnelle, la station peut envoyer un message appelé *Ready To Send (RTS)*, qui contient des informations sur le volume des données qu'elle souhaite émettre et sa vitesse de transmission.
- Le récepteur (généralement un point d'accès) répond par un message **Clear To Send (CTS)**, indiquant que le canal est libre pour l'émission. La station peut alors commencer à transmettre les données.

CSMA/CA Algorithm

- Après réception des données émises par la station, le récepteur envoie un accusé de réception (*ACK*) après un temps d'attente plus court (*SIFS*).
- Les autres stations avoisinantes attendent alors pendant un temps qu'elles considèrent comme nécessaire pour la transmission du volume d'information à émettre à la vitesse annoncée. La figure suivante résume ce fonctionnement.
- Étant donné que le protocole *RTS/CTS* ajoute une surcharge au réseau en réservant temporairement le canal, il est généralement utilisé pour les paquets plus volumineux, dont la retransmission pourrait être coûteuse en termes de bande passante.

CSMA/CA Algorithm

- En modulation DSSS, les valeurs de SIFS et DIFS sont respectivement de $10 \mu\text{s}$ et $50 \mu\text{s}$. Les formats des trames de contrôle sont les suivants :

Format **RTS**

Contrôle de trame 2 octets	Durée 2 octets	RA 6 octets	TA 6 octets	CRC 4 octets
 en-tête MAC				

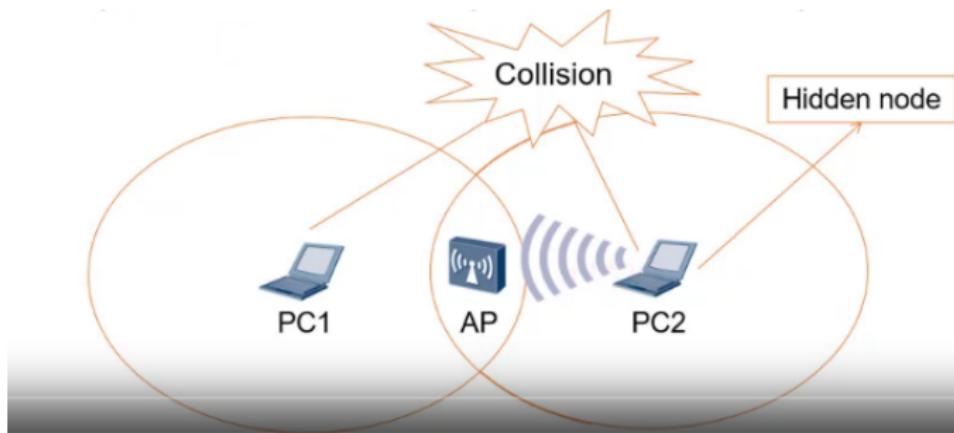
Format **CTS**

Contrôle de trame 2 octets	Durée 2 octets	RA 6 octets	CRC 4 octets
 en-tête MAC			

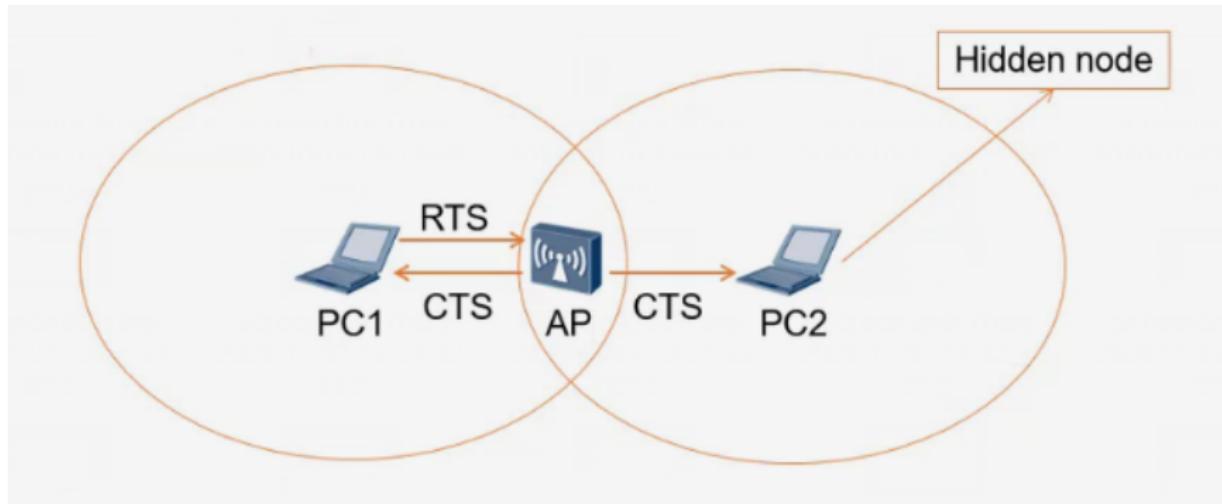
Format **ACK**

Contrôle de trame 2 octets	Durée 2 octets	RA 6 octets	CRC 4 octets
 en-tête MAC			

- En WI-FI, deux stations communiquant avec le même récepteur ne s'entendent pas forcément pour savoir si le média est libre ou non. Par exemple :

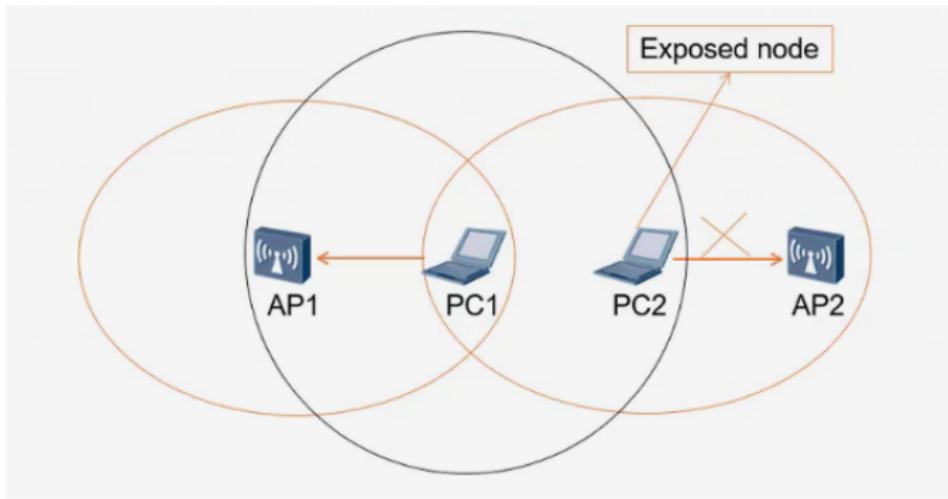


- A device can send RTS/CTS frames to reserve the transmission channel before sending data frames.

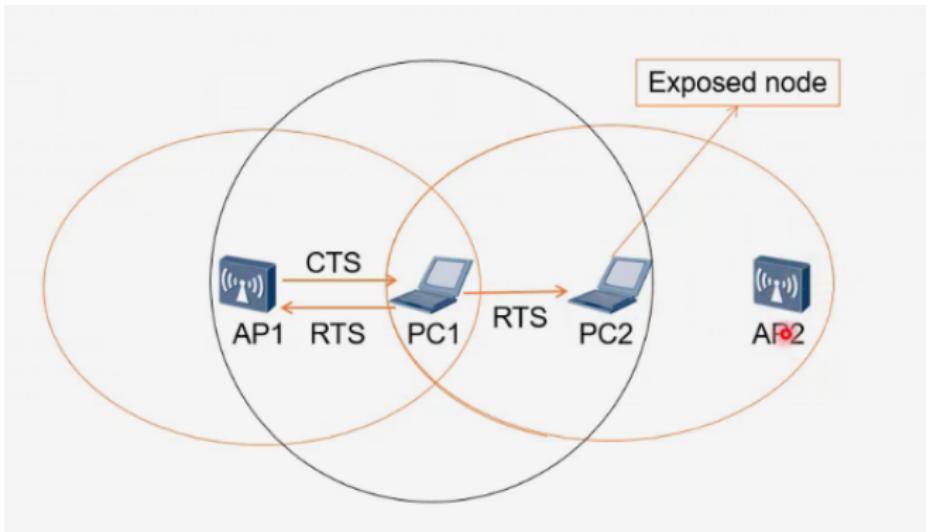


Exposed Node

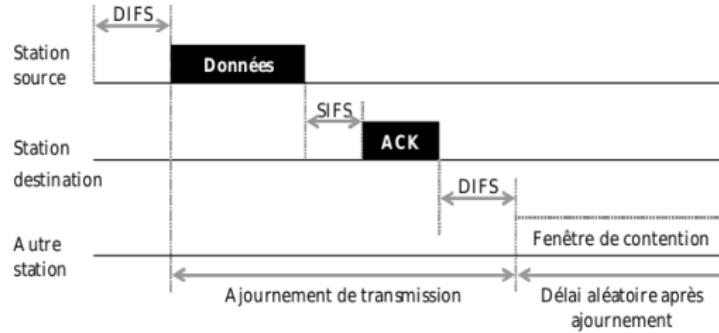
- An exposed node is within the communication range of the transmitter but out of the communication range of the receiver.



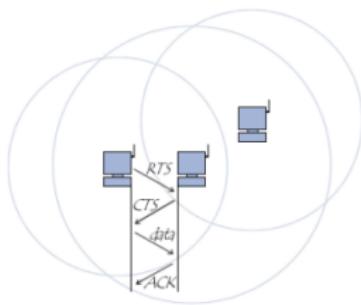
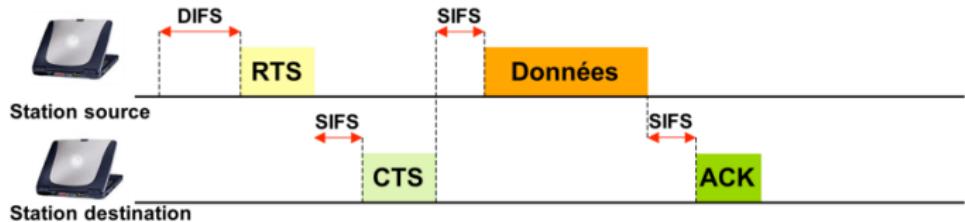
Exposed Node : Solution with RTS/CTS



CSMA/CA without RTS/CTS/ACK



CSMA/CA Algorithm with RTS/CTS/ACK



Backoff Algorithm

- Lorsque plusieurs stations sont en attente d'émission, elles risquent de provoquer des collisions si une gestion adéquate du canal n'est pas appliquée. L'algorithme de backoff permet de résoudre ce problème.
- Chaque station calcule un délai aléatoire compris entre 0 et un maximum défini par la fenêtre de contention, exprimé en time slots (unité de temps la plus petite, variant en fonction de la norme physique), et décrémente son temporisateur dès que le canal devient libre.
- La station dont le temporisateur atteint 0 en premier est autorisée à émettre. Les autres stations bloquent leur temporisateur et recalculent un nouveau délai aléatoire si le canal est à nouveau libre.

Algorithme de Backoff et Fenêtre de Contention

- Fenêtre de contention (CW) : La station choisit un délai aléatoire compris entre 0 et un maximum défini par la fenêtre de contention (CW).
- Le délai de backoff est exprimé en time slots, qui est l'unité de temps la plus petite, variant en fonction de la norme physique (par exemple, DSSS ou OFDM).
- CW_{min} : La taille minimale de la fenêtre de contention (par exemple, 15 pour 802.11a/g/n).
- CW_{max} : La taille maximale de la fenêtre de contention (généralement 1023 après plusieurs collisions).

Algorithme de Backoff et Fenêtre de Contention

- Après chaque collision, la fenêtre de contention double, augmentant ainsi le délai d'attente avant une nouvelle tentative de transmission.
- Exemple : Si $CW_{min} = 15$, la station peut choisir un délai de backoff aléatoire entre 0 et 15 time slots. Après une collision, le délai de backoff sera choisi dans une fenêtre étendue (par exemple entre 0 et 31).

Backoff Algorithm

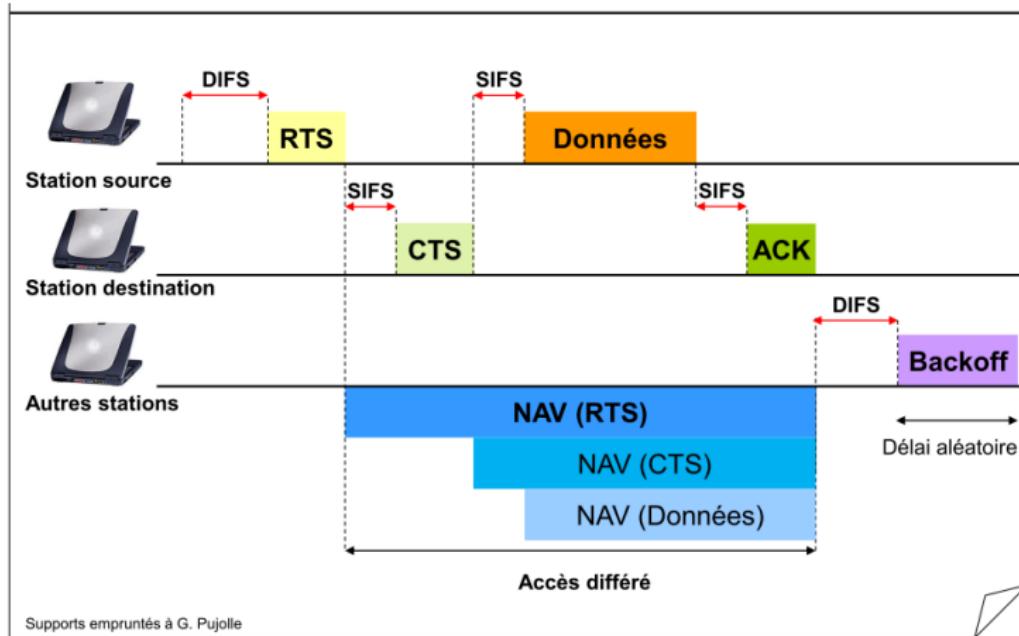
- Si deux stations ont la même valeur de timer, une collision se produira.
- Ces stations devront régénérer alors un nouveau compteur, compris cette fois entre 0 et 15 (puis entre 0 et $2^n - 1$ où n est le nbr de retransmissions ou si vous voulez de collisions).
- Cet algorithme permet aux stations d'accéder au support avec la même probabilité, mais sans garanti de délai.

Algorithm du backoff

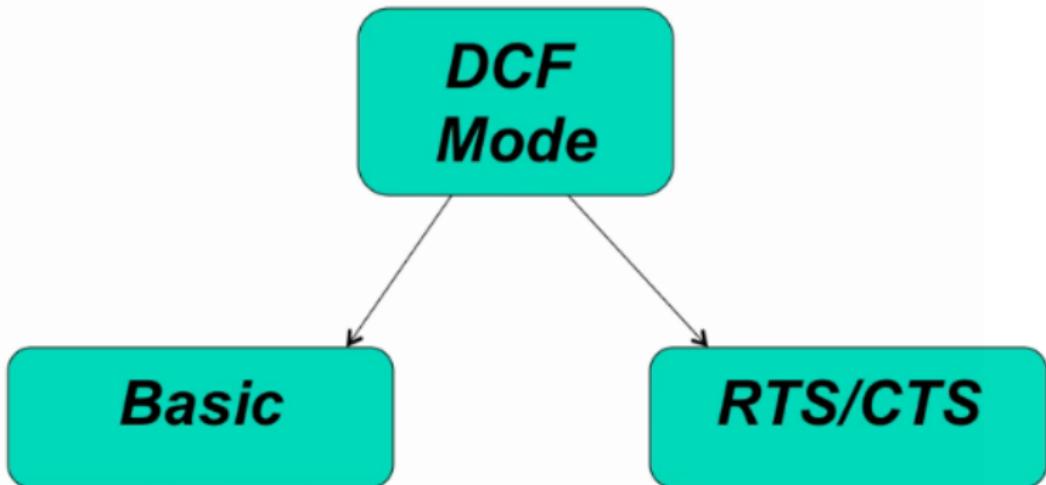
- Chaque station tire aléatoirement un délai d'attente T compris entre $[0, CW]$
- CW est la taille d'une fenêtre de contention (un certain nombre de slots)
- L'équation est : $0 < T \leq 2^k$, k est le nombre de collisions déjà détectées. Attendre pendant T slots avant de revérifier si le support est 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 :
 $\text{Time_slot} = 20 \mu\text{s}$

- 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.

Backoff Algorithm



Distributed Coordination Function (DCF):

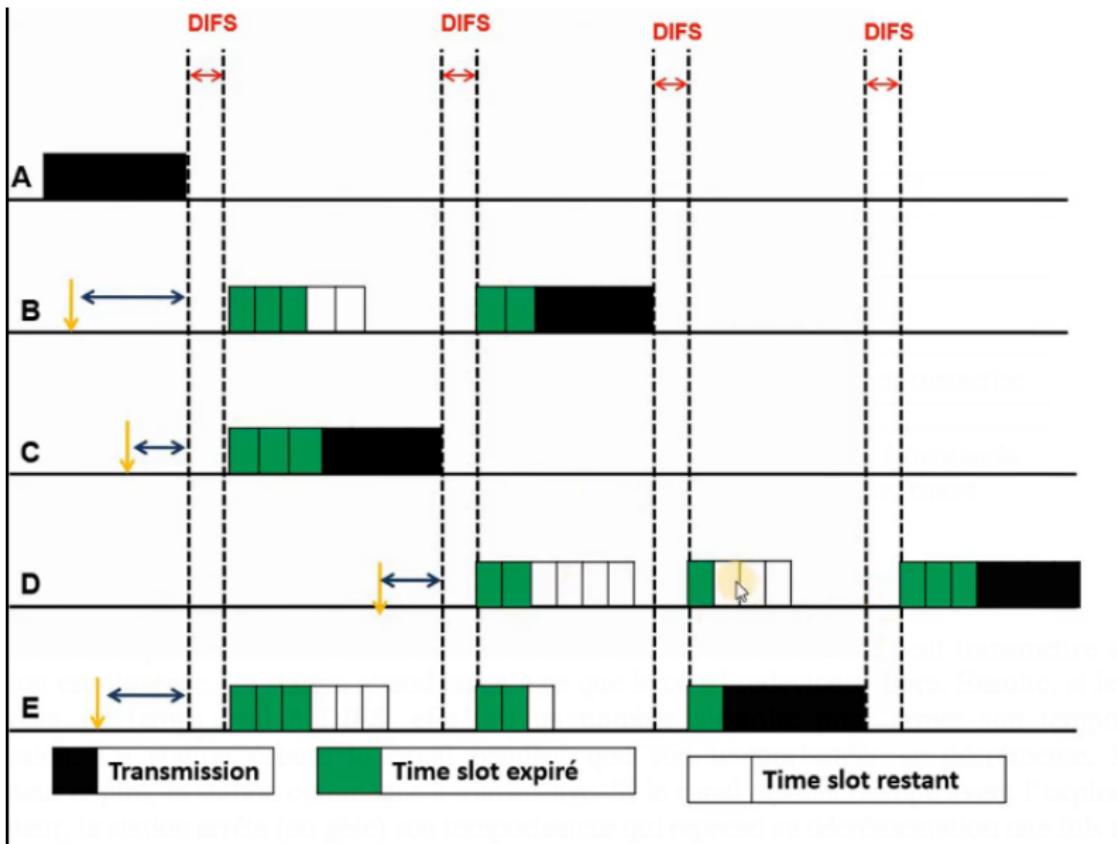


Exécution du BackOff

L'algorithme du backoff est exécuté dans les cas ci-dessous :

- Lorsque la station écoute le support avant la première transmission d'un paquet et que le support est occupé
- Après chaque retransmission (collision)
- Après une transmission réussie

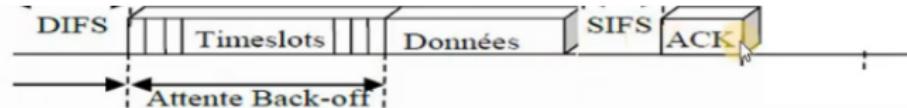
Backoff Algorithm explained



Efficacité de CSMA/CA

- On veut calculer le débit applicatif d'une liaison wifi .
- On suppose une station qui émet à 11 Mégabit/s
- La taille des données 1500 octets
- Taille (Entête + Ack) = 48 octets
- Des données de synchronisation (préambule) pour l'envoi des trames et des ACK d'une durée de 192 µs
- Backoff : moyenne de $16 \times 20 \mu s = 320 \mu s$ (attente de 16 slot time de 20 µs chacun)
- DIFS = 50 µs
- SIFS = 10 µs

Backoff Algorithm explained



- 1500 octets (12 kbits) à 11 Mbit/s → temps émission: 1 ms = 1000 µs
- Entête + Ack= 48 octets à 11 Mbit/s → ~ 40 µs
- Backoff : moyenne de $16 \times 20 \mu\text{s} = 320 \mu\text{s}$
- DIFS = 50 µs
- SIFS = 10 µs
- Données de synchronisation (préambule) d'une durée de 192 µs
- Temps de transmission :

DIFS + Back off + SYN_DATA + T données + SIFS + SYN_ACK + ACK + entêtes)

$$50 + 320 + 192 + 1000 + 10 + 192 + 40 = 1804 \mu\text{s}$$

- **Débit effectif:**

$$1500 * 8 / 1804 = 12000 / 1804 \mu\text{s} = 6,57 * 10^6 \text{ bit/s}$$

Principe de fonctionnement du CSMA/CA

- *DIFS* : Distributed Coordination Function IFS : Temps d'écoute du support avant d'émettre.
- *SIFS* : Short IFS : temps d'écoute du support avant d'envoyer les ACK (ACKnowledgment)
- $SIFS < DIFS$