



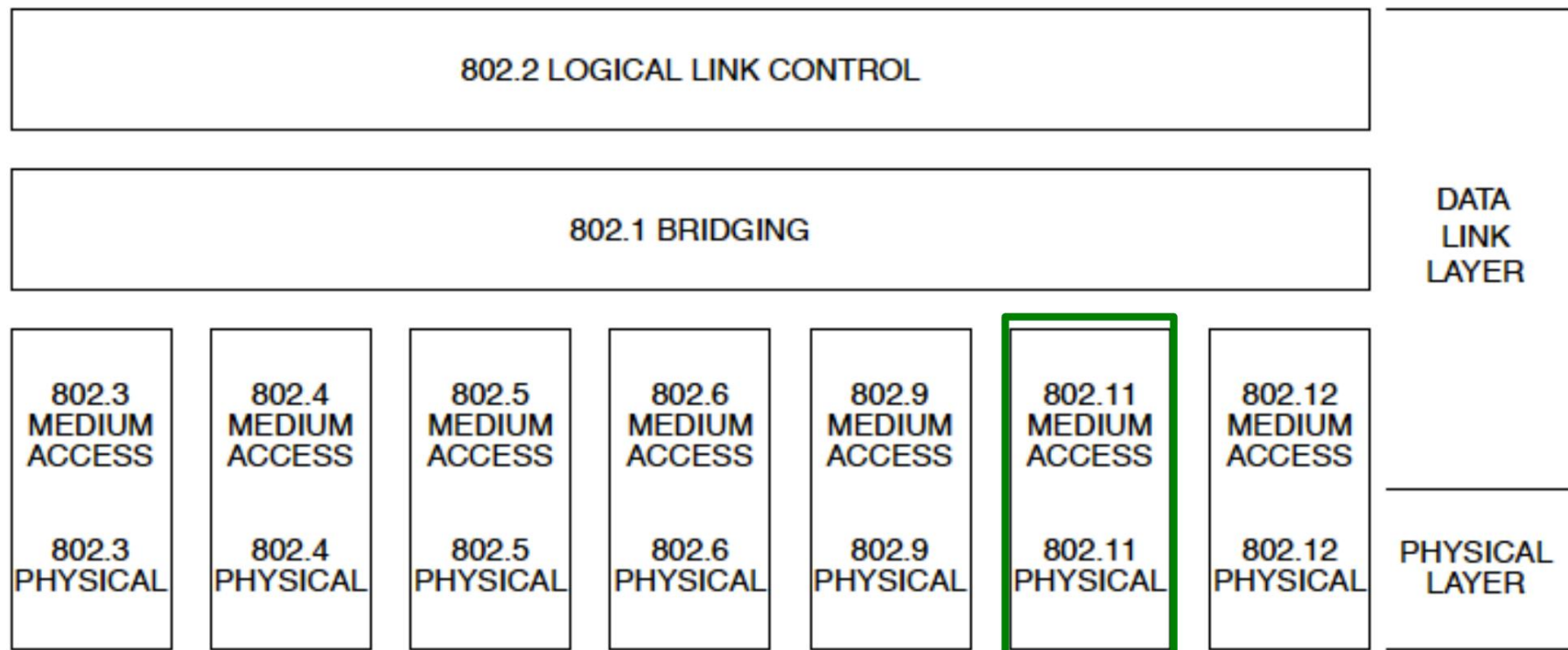
Gentiane Jakllari – INP-ENSEEIH

[jakllari@enseeiht.fr](mailto:jakllari@enseeiht.fr)

# Pourquoi le Wi-Fi ?

- Absence de câbles à la maison, sur le campus, au travail, à l'aéroport, au café, etc. tout en étant connecté à Internet à des vitesses allant jusqu'à 54 Mbps
- Le Wi-Fi est utilisé par plus de 700 millions de personnes
- Plus de 100 millions et plus de points d'accès Wi-Fi dans le monde

# Wi-Fi dans les normes IEEE

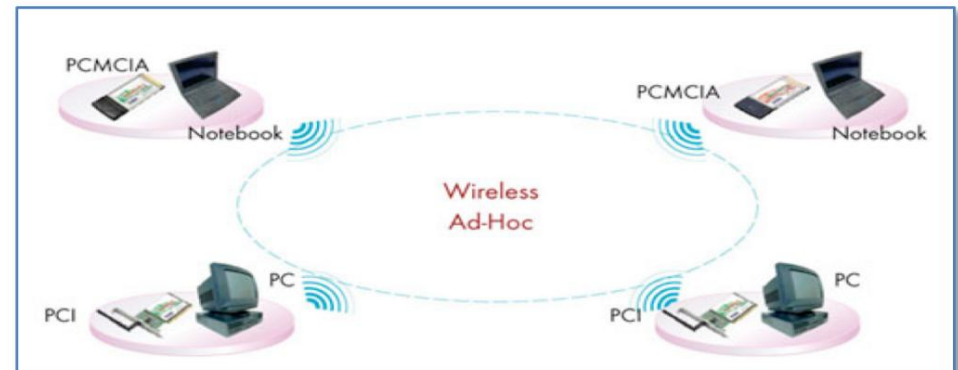


# Qu'est-ce que le Wi-Fi ?

- Wi-Fi est le nom de marque des produits utilisant la famille de normes IEEE 802.11 •
- Prend en charge deux architectures :

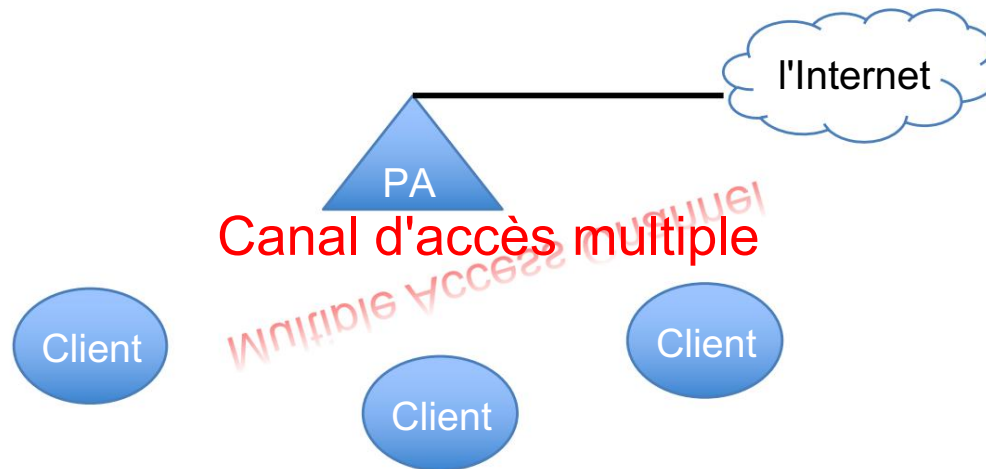


Architecture Wi-Fi



Architecture ad-hoc (peer-to-peer)

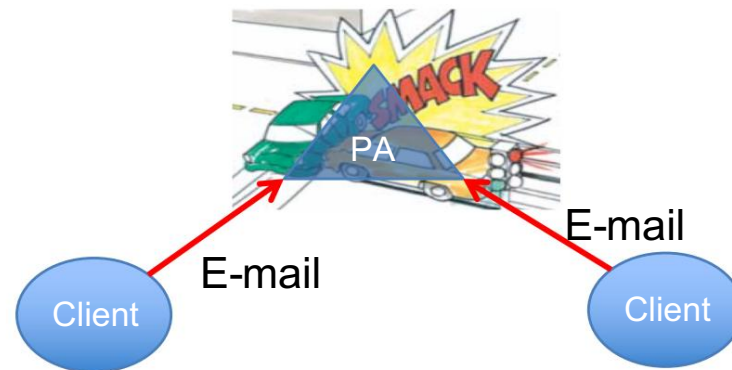
# Architecture Wi-Fi



- Une station spéciale - Point d'accès - est statique et connectée à Internet via des câbles
- Les autres postes – les Clients – sont libres de se déplacer et de se connecter à Internet en donnant leurs données au Point d'accès
- Tous les clients communiquent sans fil avec le point d'accès sur la même fréquence/canal - canal d'accès multiple

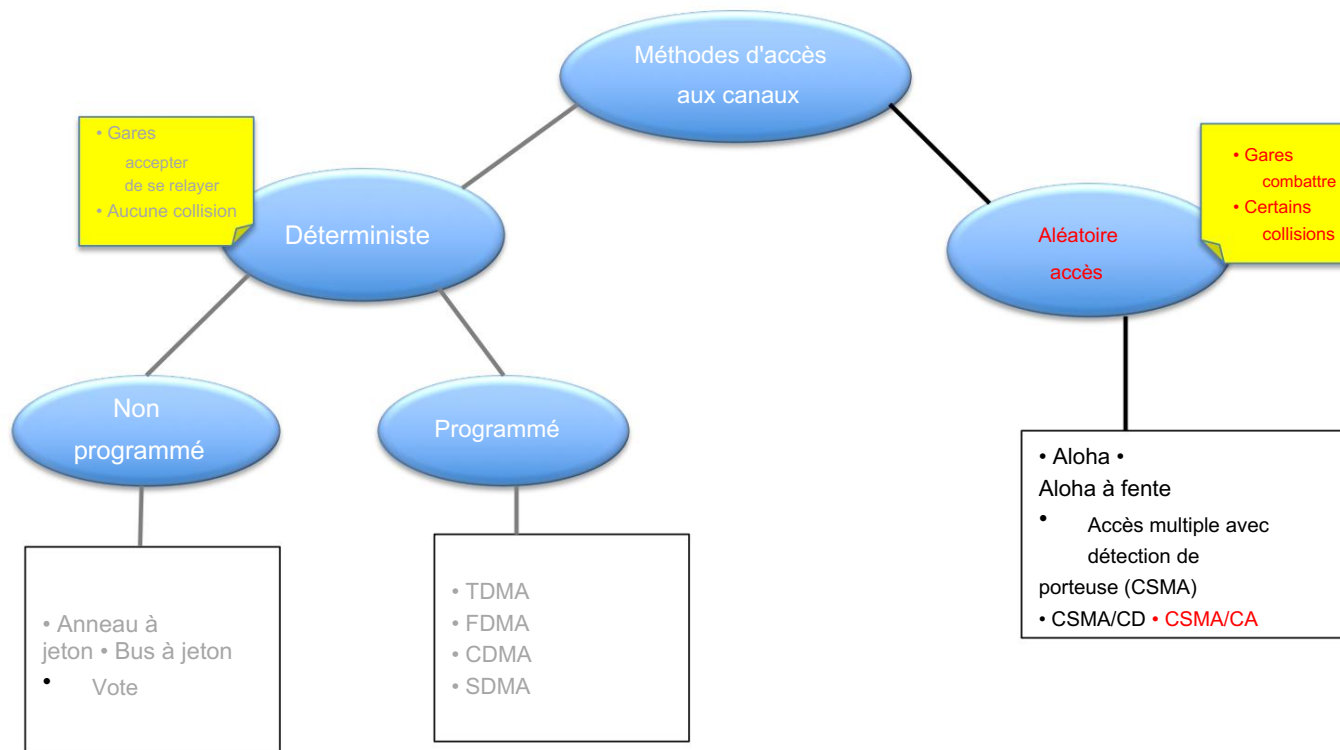
# Le principal défi d'ingénierie dans les WLAN

- Comment plusieurs stations peuvent-elles communiquer efficacement avec une seule Point d'accès tout en utilisant le même canal ?
  - Formellement défini comme le problème du contrôle d'accès au support
- Pourquoi est-ce difficile ?
  1. Le point d'accès ne peut entendre que d'une seule station à la fois
    - Si deux stations transmettent à l'AP en même temps, les transmissions respectives entreront en collision et seront détruites



# MAC Wi-Fi -- CSMA/CA

## Fonction de coordination distribuée (DCF)

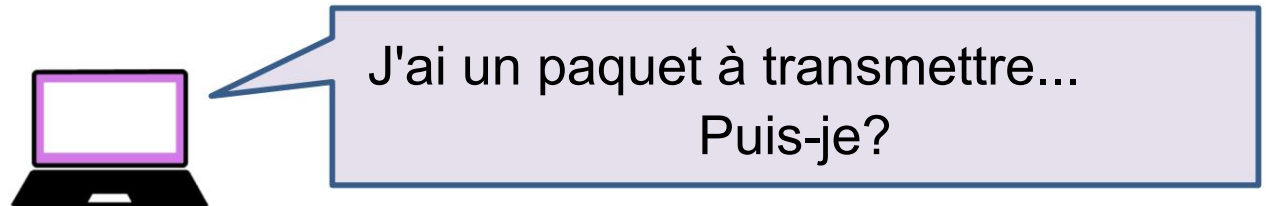


## MAC pour les réseaux locaux sans fil

- Ils ressemblent à des réseaux locaux (sauf que le support est sans fil), pourquoi ne pas adopter l'Ethernet qui a fait ses preuves ?



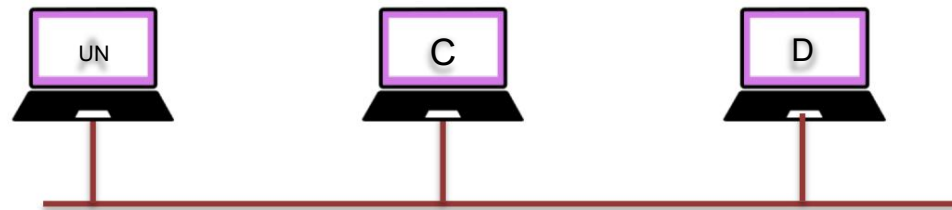
# Partager un média commun



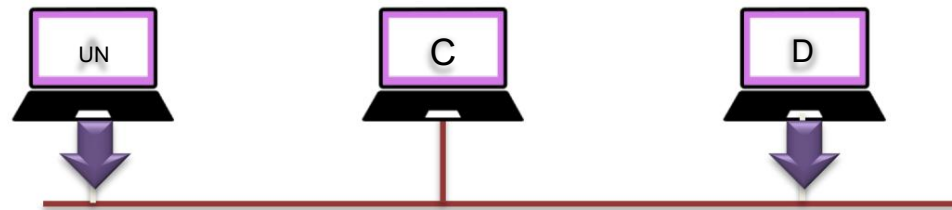
Ethernet → CSMA/CD

congestion au récepteur =  
congestion à l'émetteur  
(il suffit d'attendre un peu)

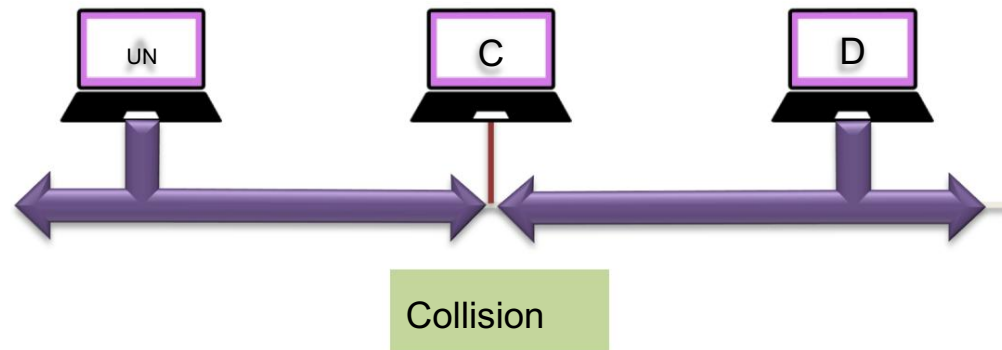
# Partager un support filaire



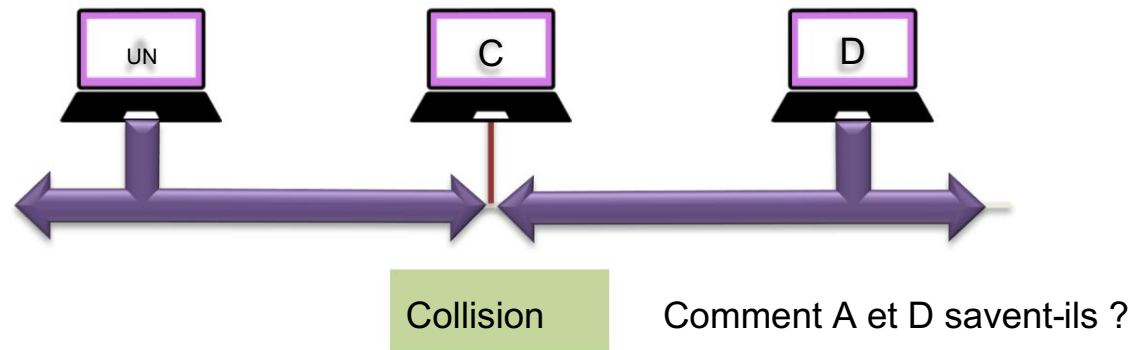
# Partager un support filaire



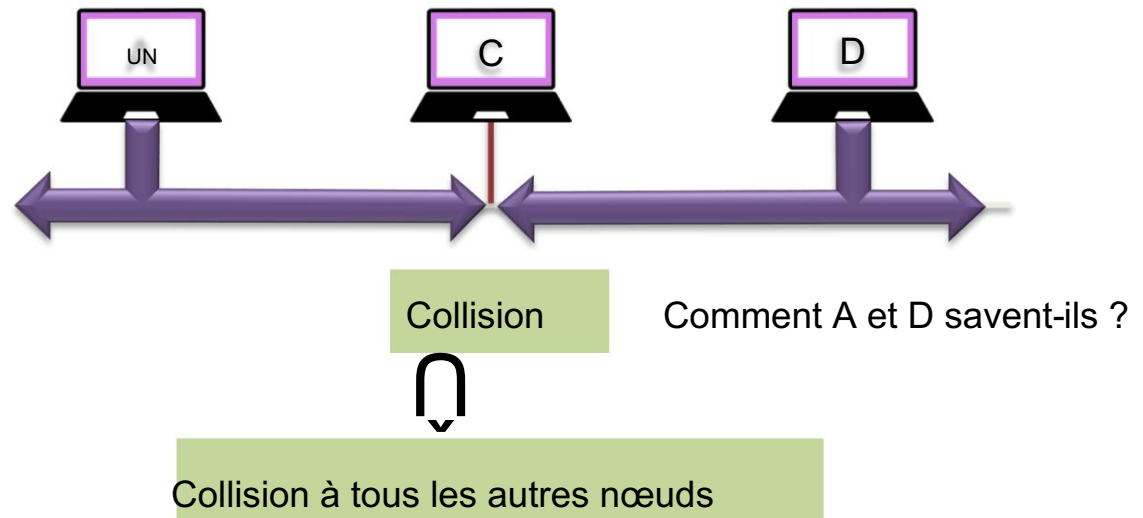
# Partager un support filaire



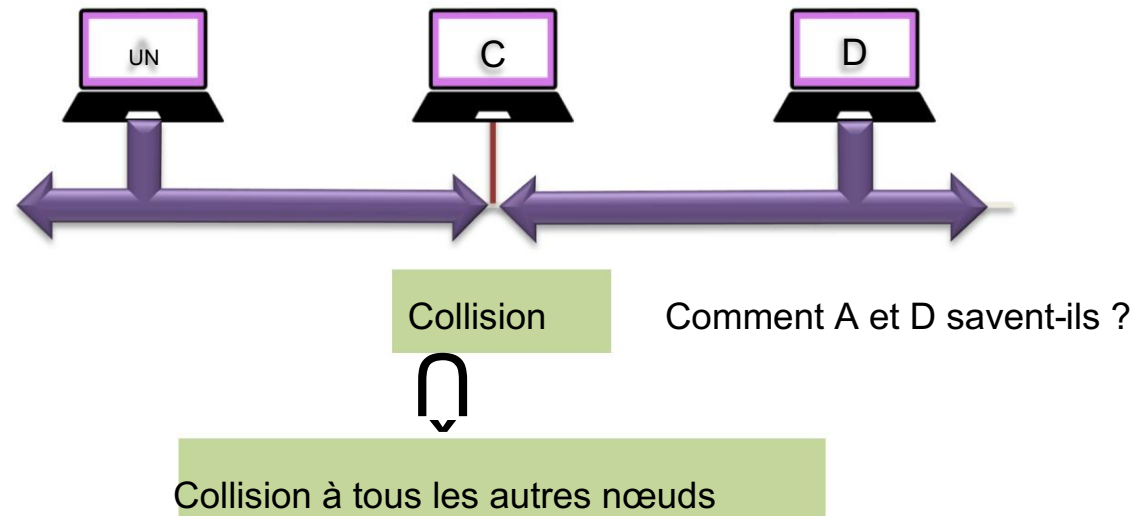
# Partager un support filaire



# Partager un support filaire



# Partager un support filaire



- o Niveaux de puissance du signal : presque les mêmes partout
- o Éviter/détecter les collisions : se fier à ce qu'il reçoit (CSMA/CD)

# Partage d'un support sans fil

## Scénario de terminal caché





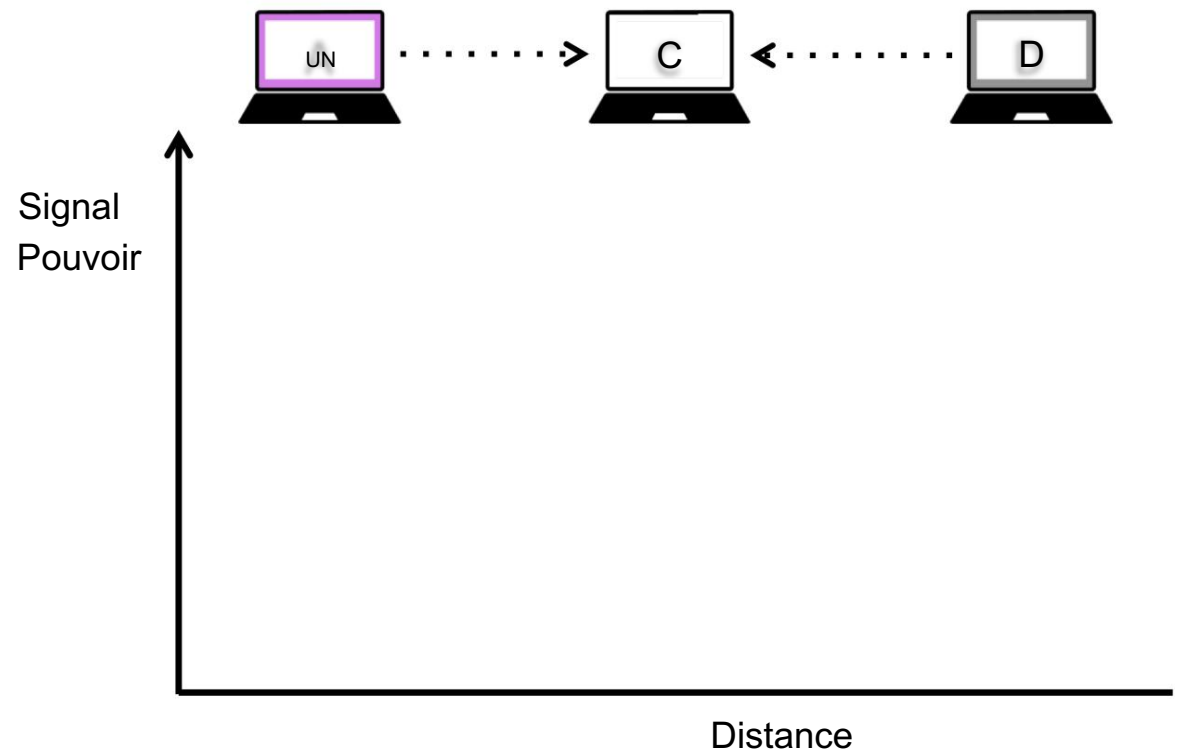
# Partage d'un support sans fil

## Scénario de terminal caché



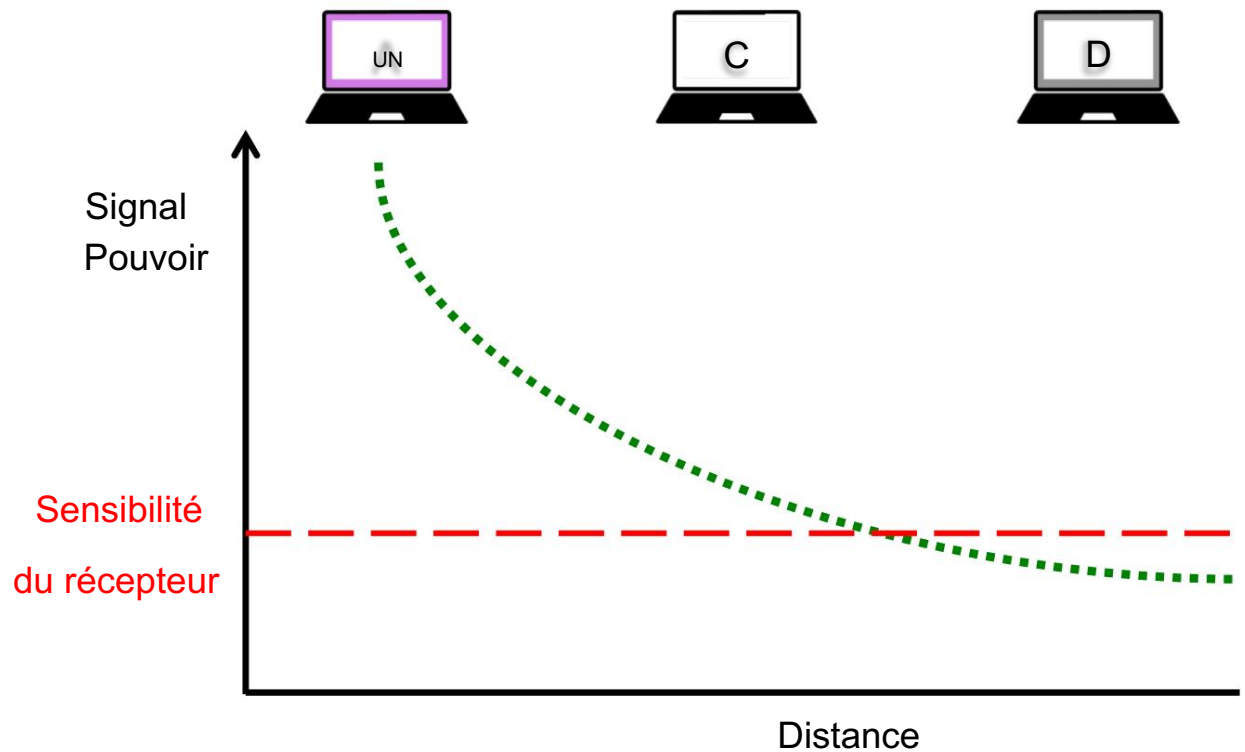
# Partage d'un support sans fil

## Scénario de terminal caché



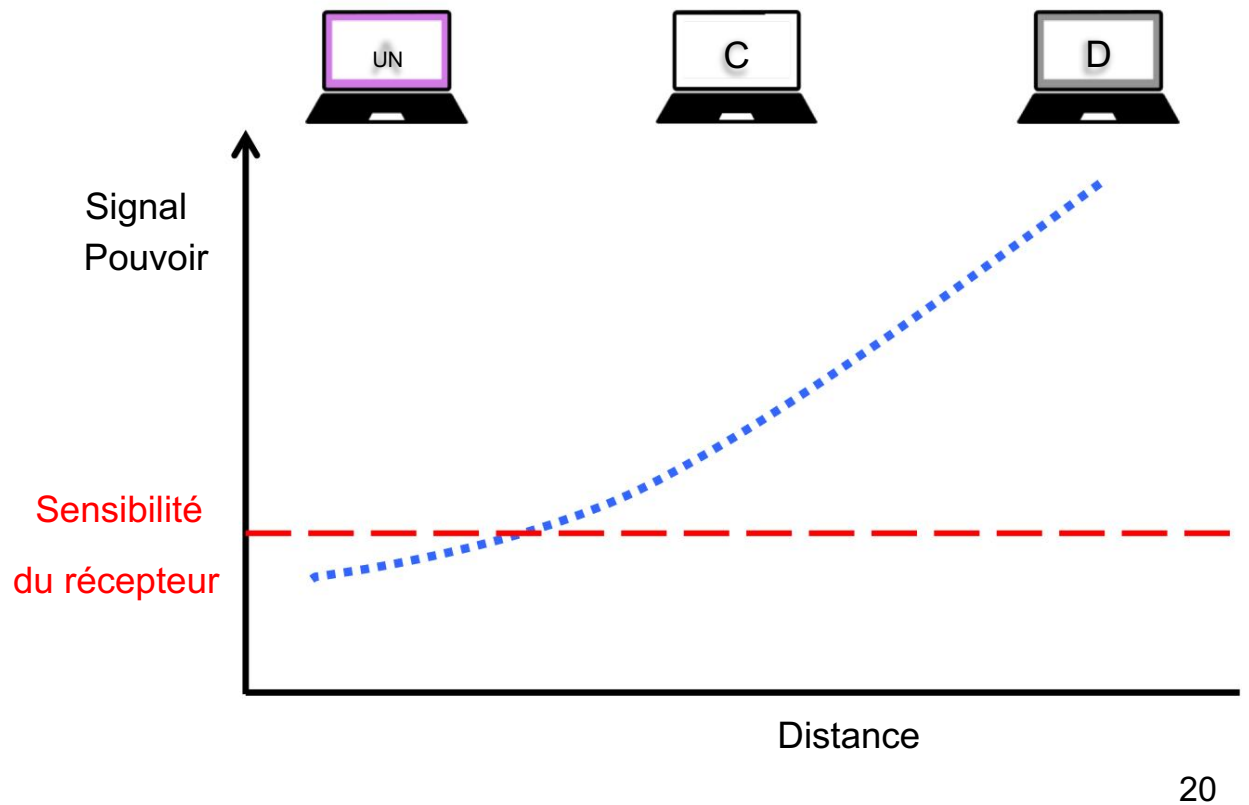
# Partage d'un support sans fil

## Scénario de terminal caché



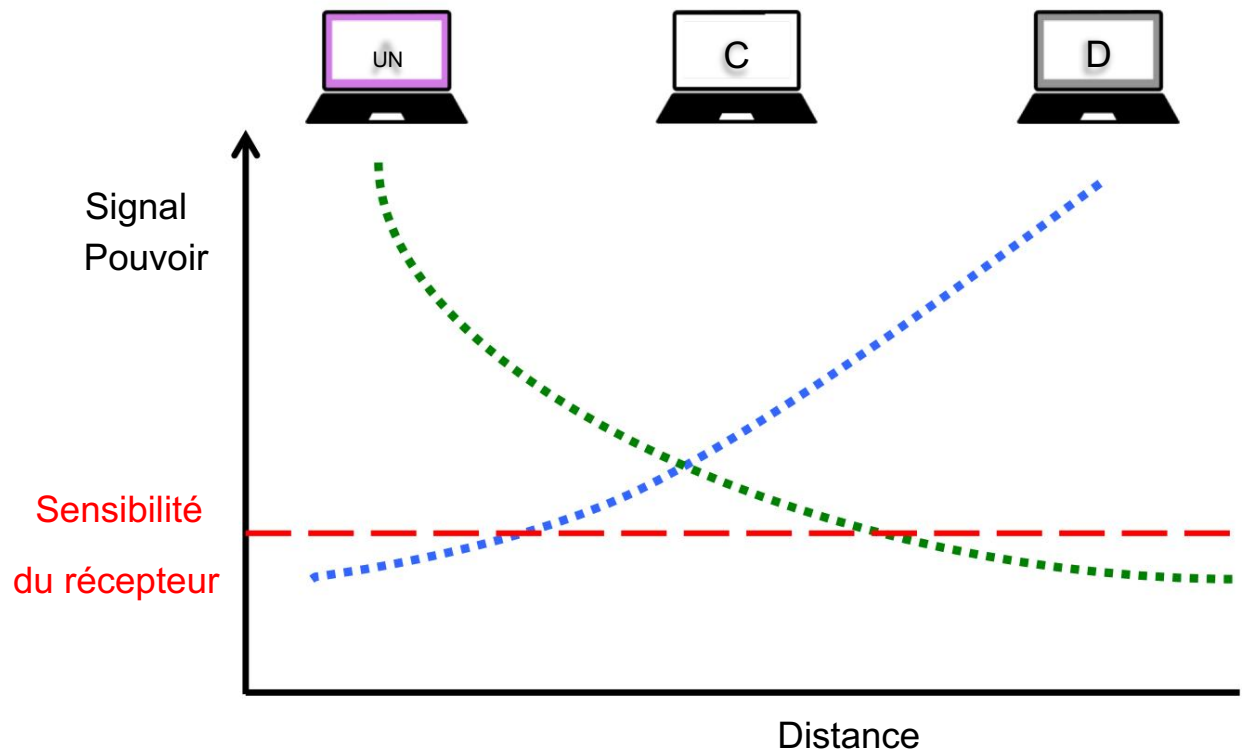
# Partage d'un support sans fil

## Scénario de terminal caché



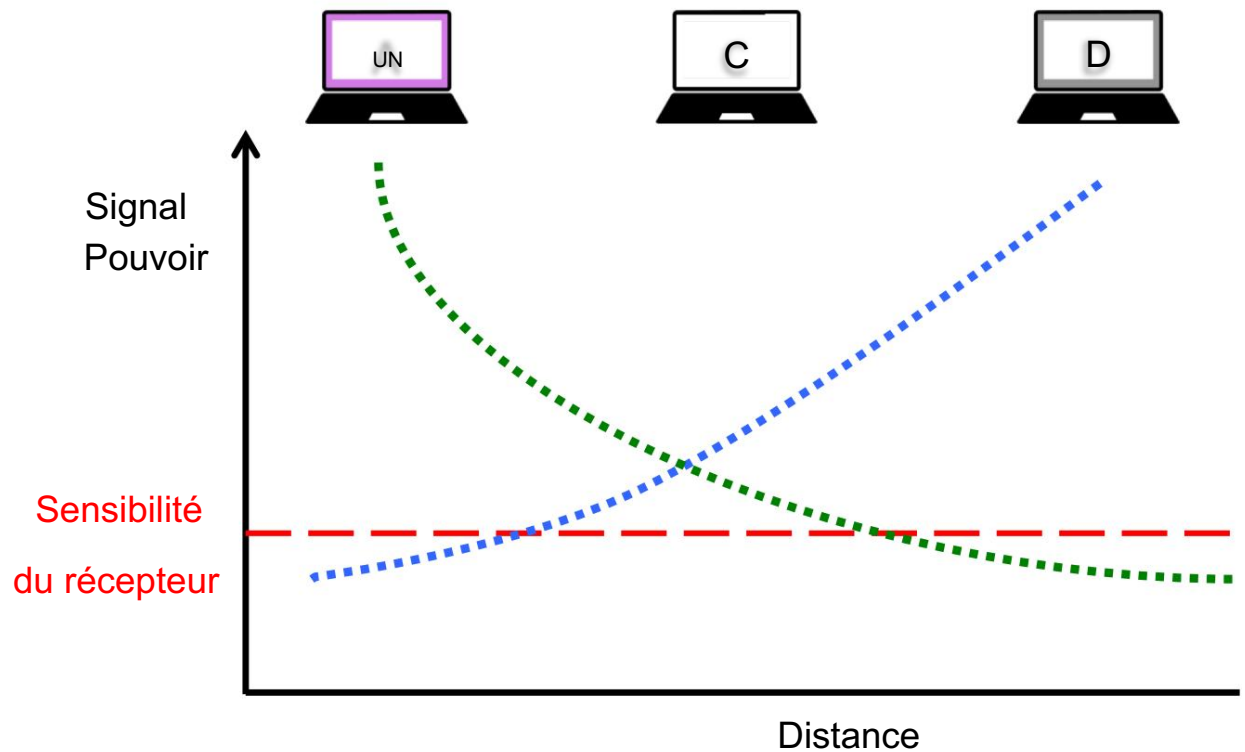
# Partage d'un support sans fil

## Scénario de terminal caché



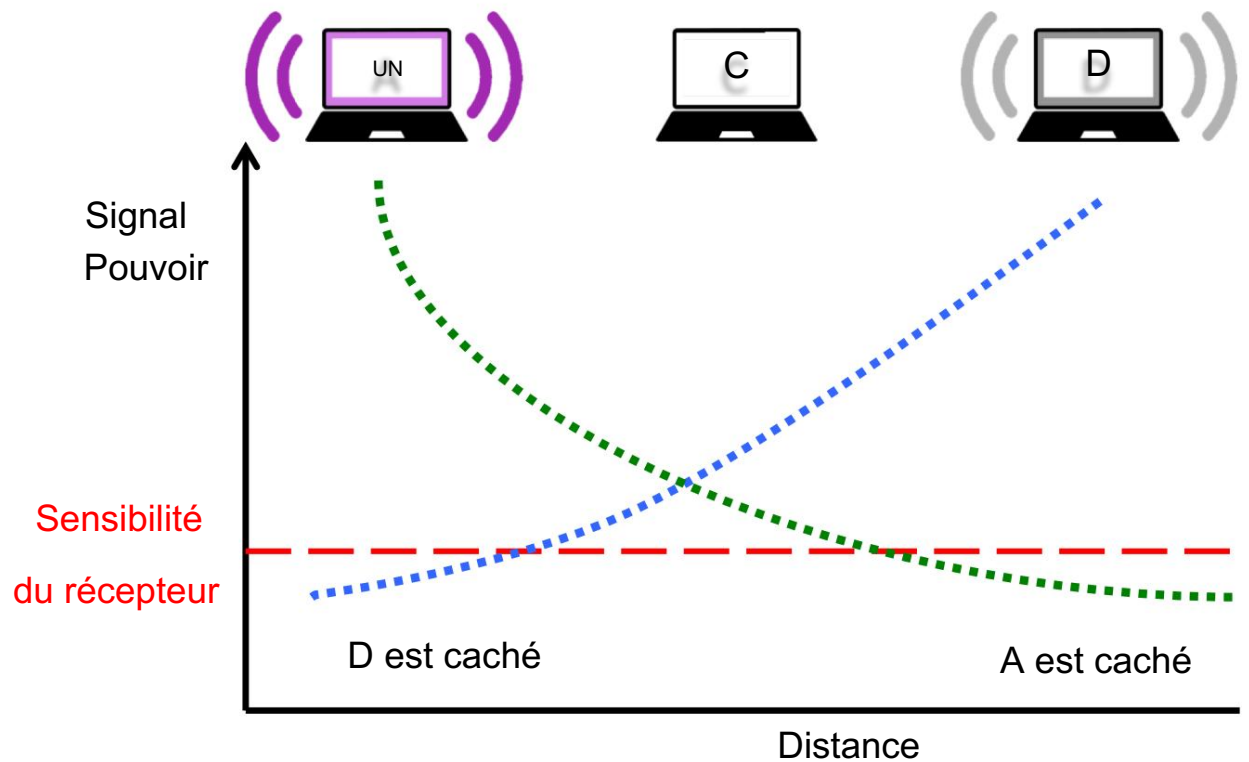
# Partage d'un support sans fil

## Scénario de terminal caché



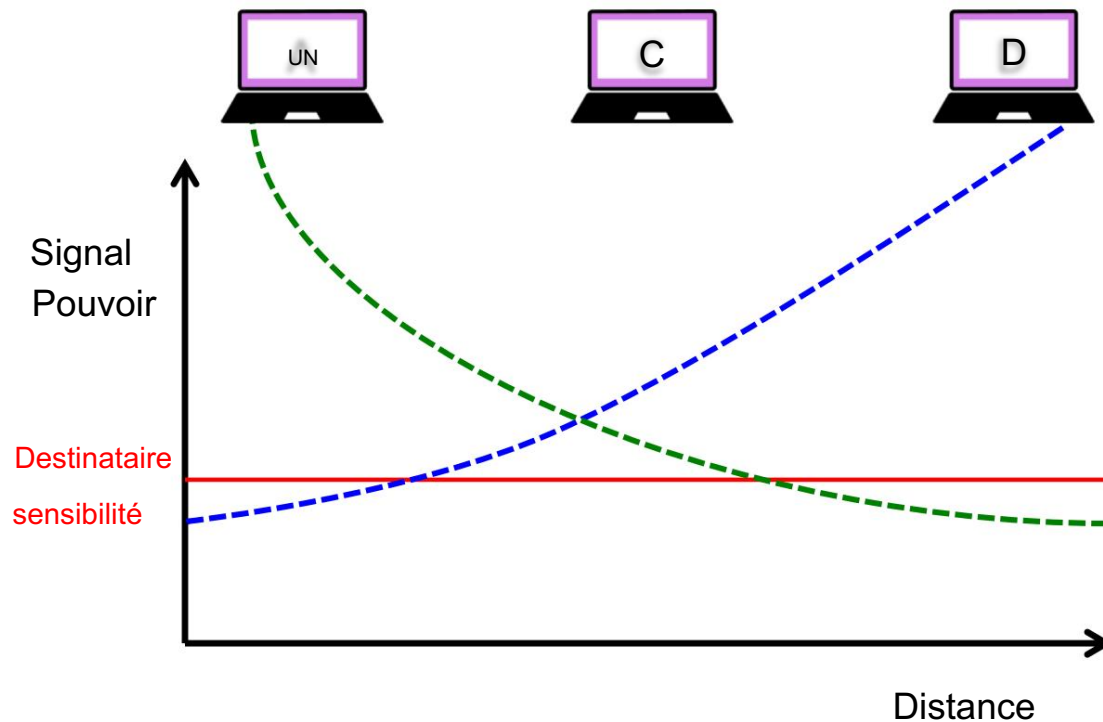
# Partage d'un support sans fil

## Scénario de terminal caché



# Partage d'un support sans fil

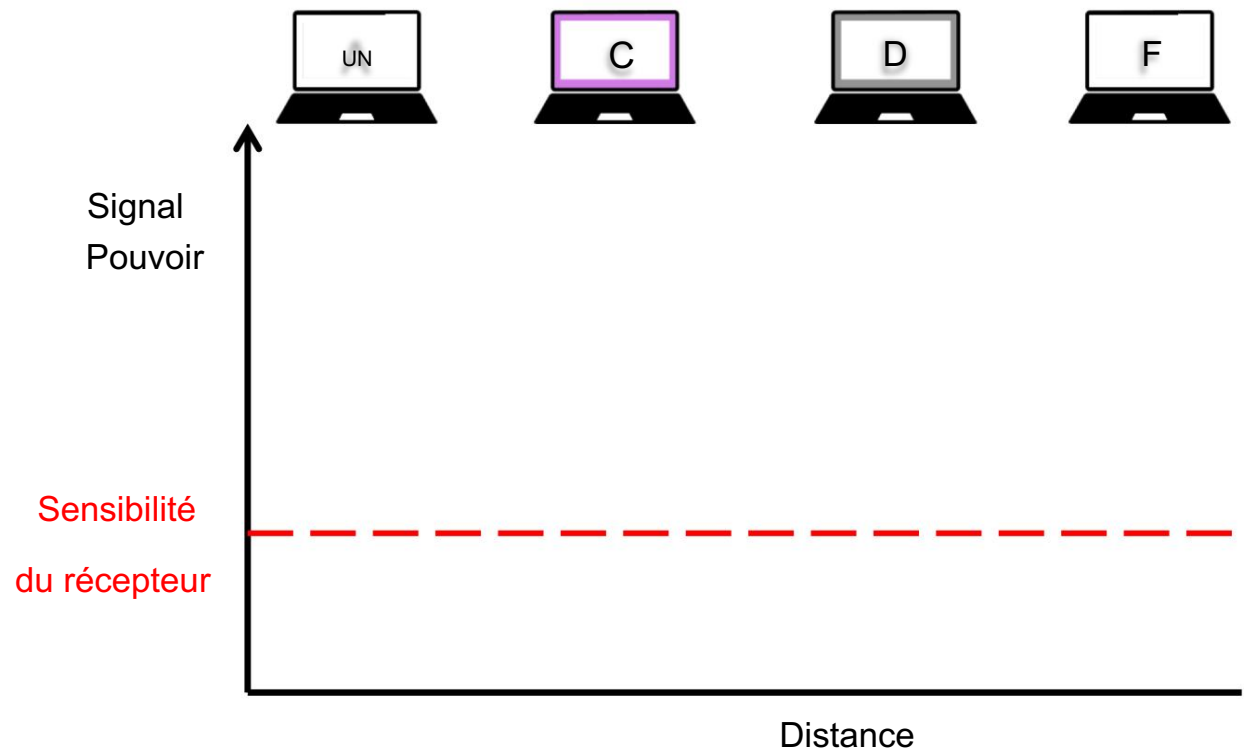
## Scénario de terminal caché



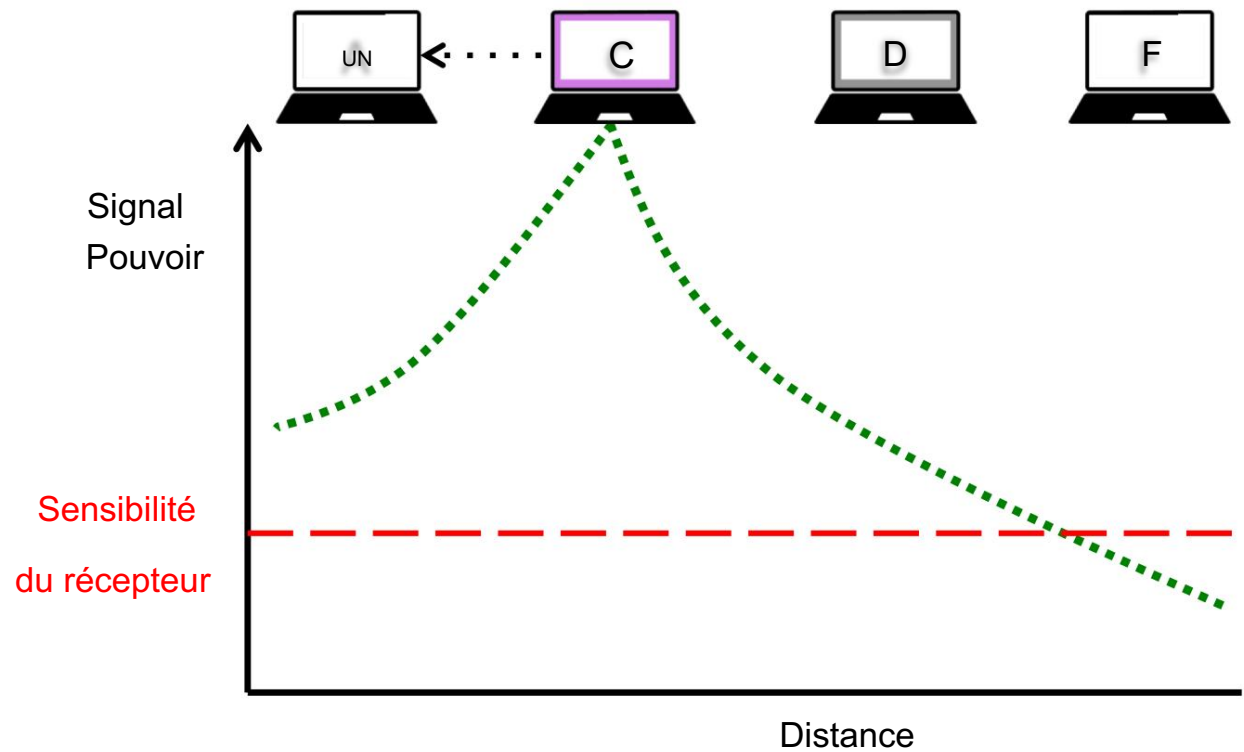
- Les niveaux de puissance du signal ne sont pas partout les mêmes en
- raison de **la perte de chemin** Si A (D) détecte la porteuse pendant que D (A) transmet, il ne détectera rien et il transmettra – la mauvaise décision



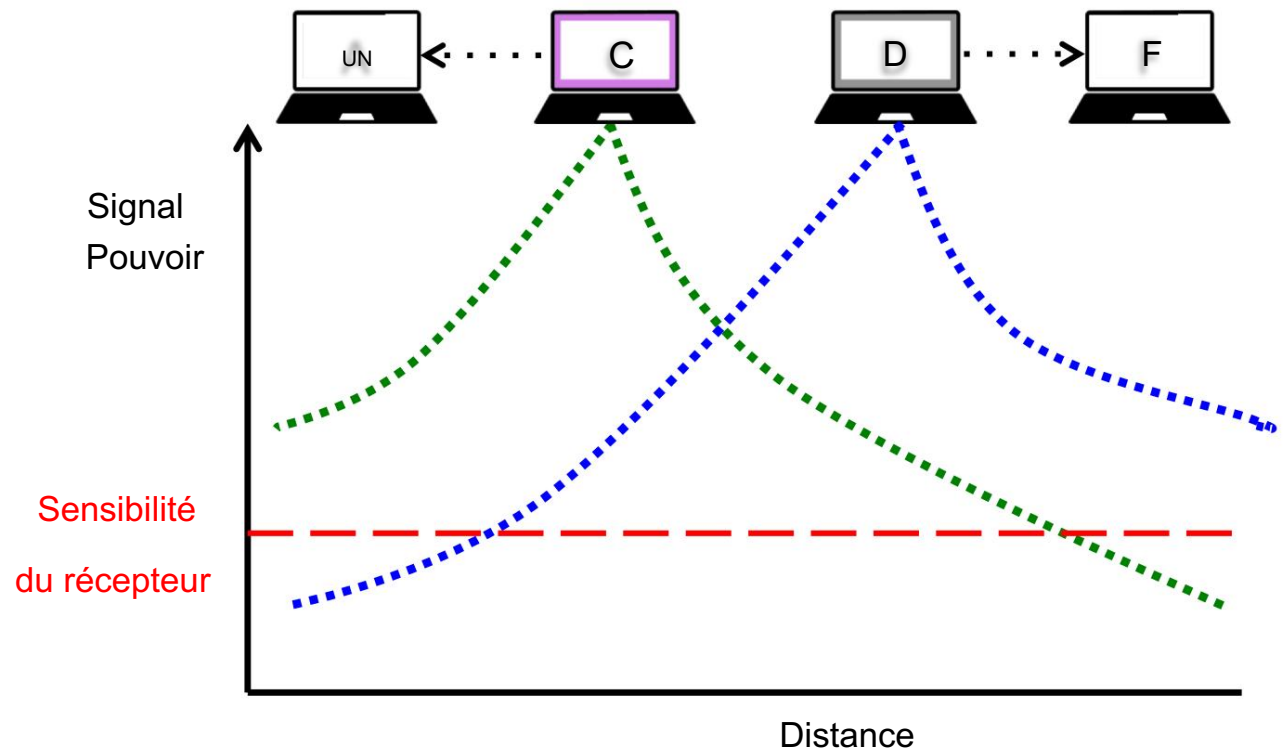
# Scénario terminal exposé



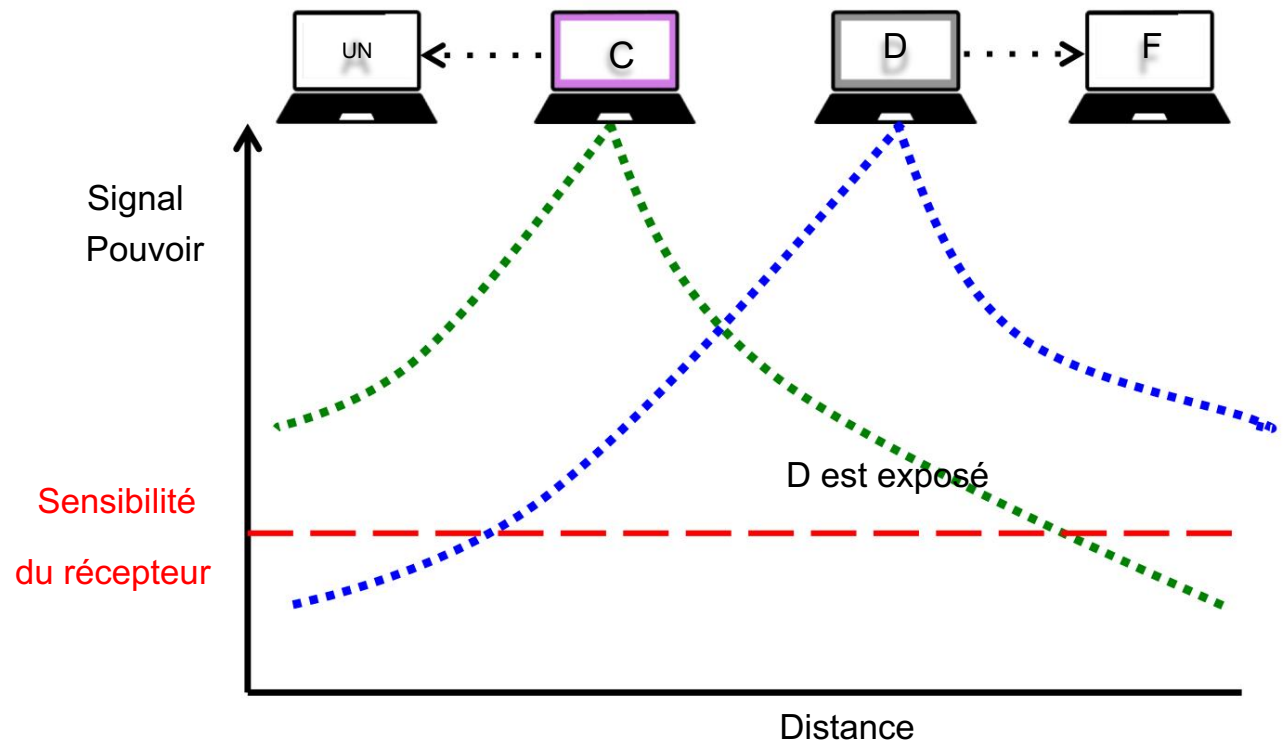
# Scénario terminal exposé



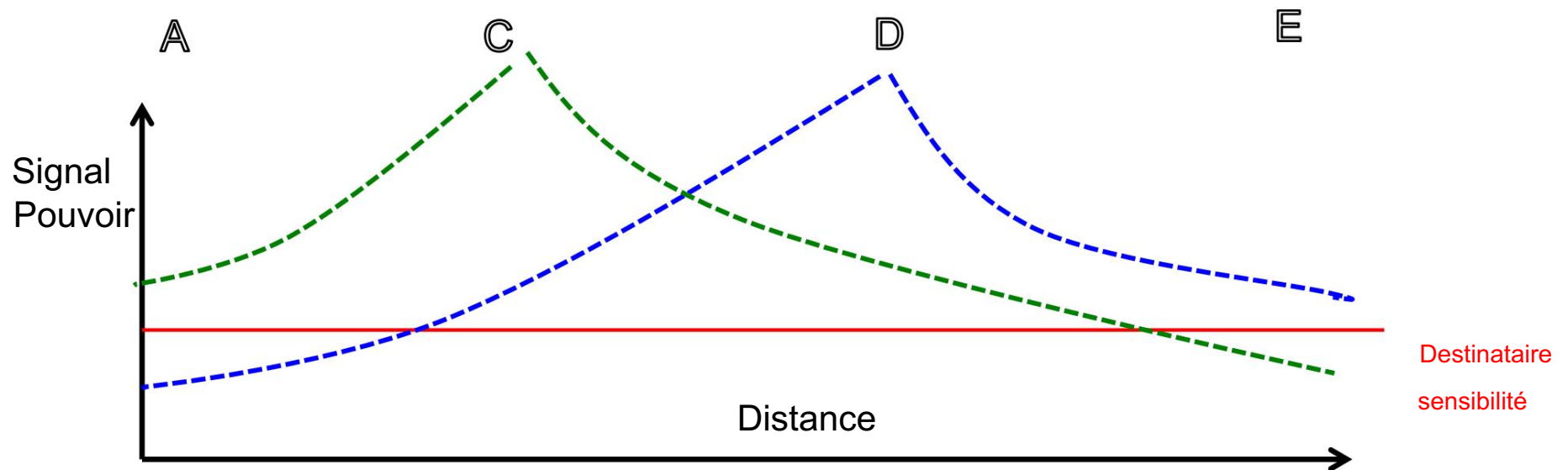
# Scénario terminal exposé



# Scénario terminal exposé



# Scénario terminal exposé



- Il n'y a pas de collision au niveau des récepteurs, A et E
- Si C (D) détecte la porteuse pendant que D (C) transmet, il décidera de différer --- la mauvaise décision (C&D sont des terminaux exposés)

# Une conclusion rapide

- CSMA dans les réseaux sans fil :
  - Parfois, il vous dit de transmettre quand vous ne devriez pas (terminal caché)
  - Parfois, il vous dit de ne pas transmettre lorsque vous devriez (borne exposée) •

CD

- Physiquement impossible

## L'émergence de MACA, MACAW et IEEE 802.11

- Le MAC sans fil s'est avéré non trivial
- 1992 - recherche par Karn (MACA) •  
1994 - recherche par Bhargavan (MACAW)
- Conduit à IEEE 802.11 (WiFi)
  - La première norme a été ratifiée en 1999

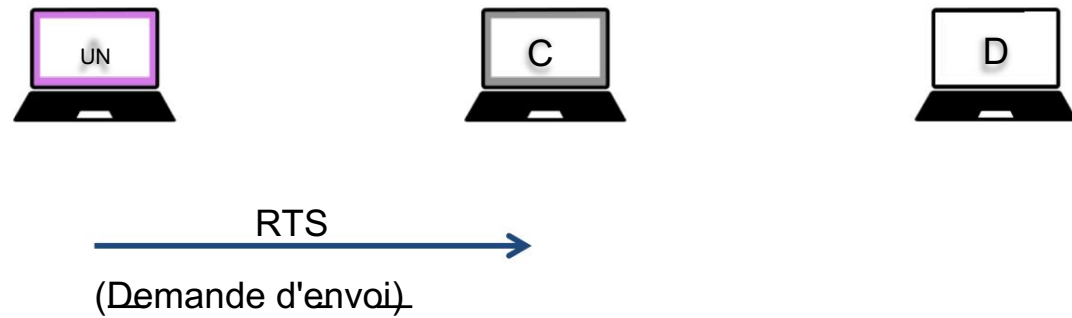
MACA : accès multiple  
avec évitement des collisions



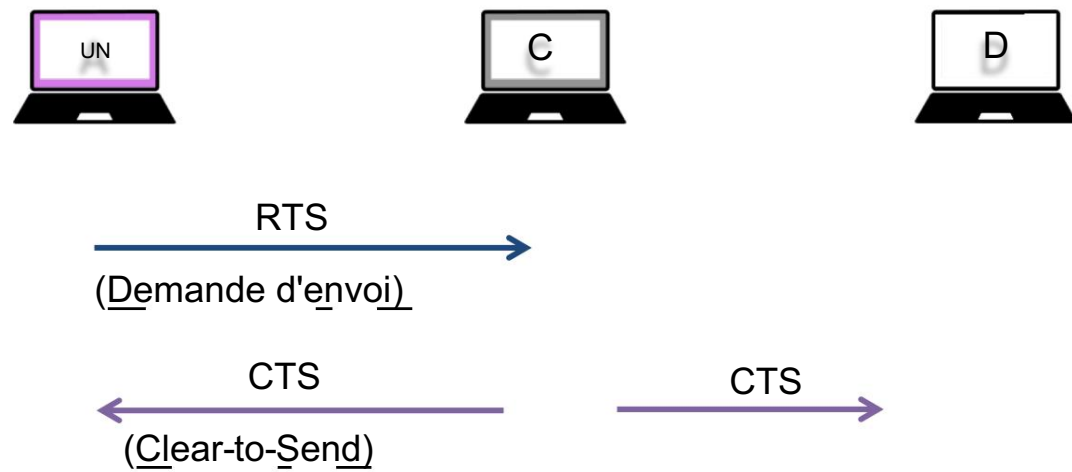
# MACA : accès multiple avec évitement des collisions



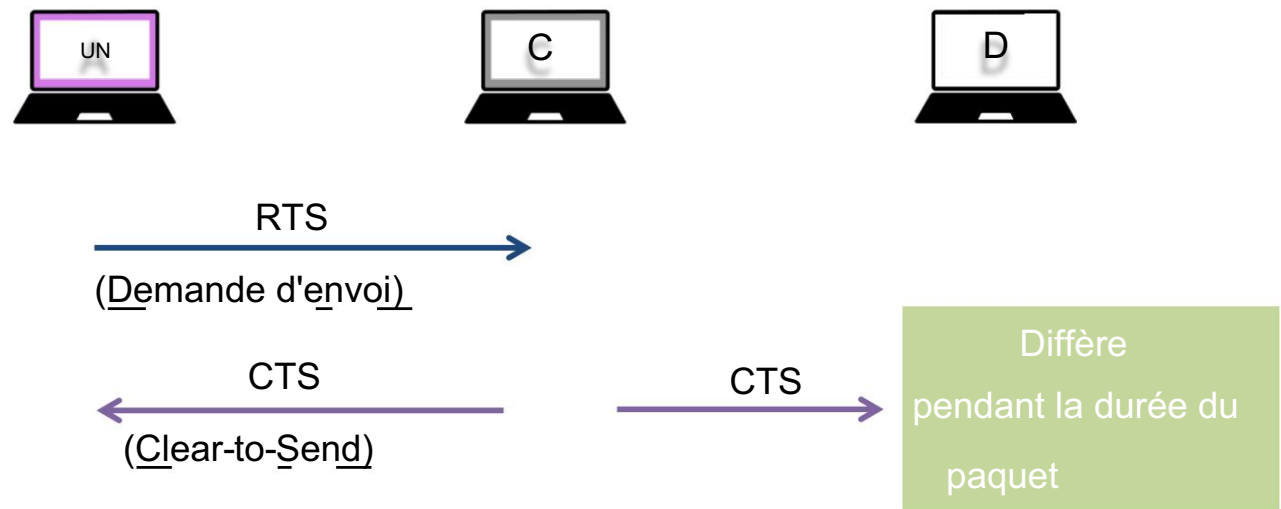
# MACA : accès multiple avec évitement des collisions



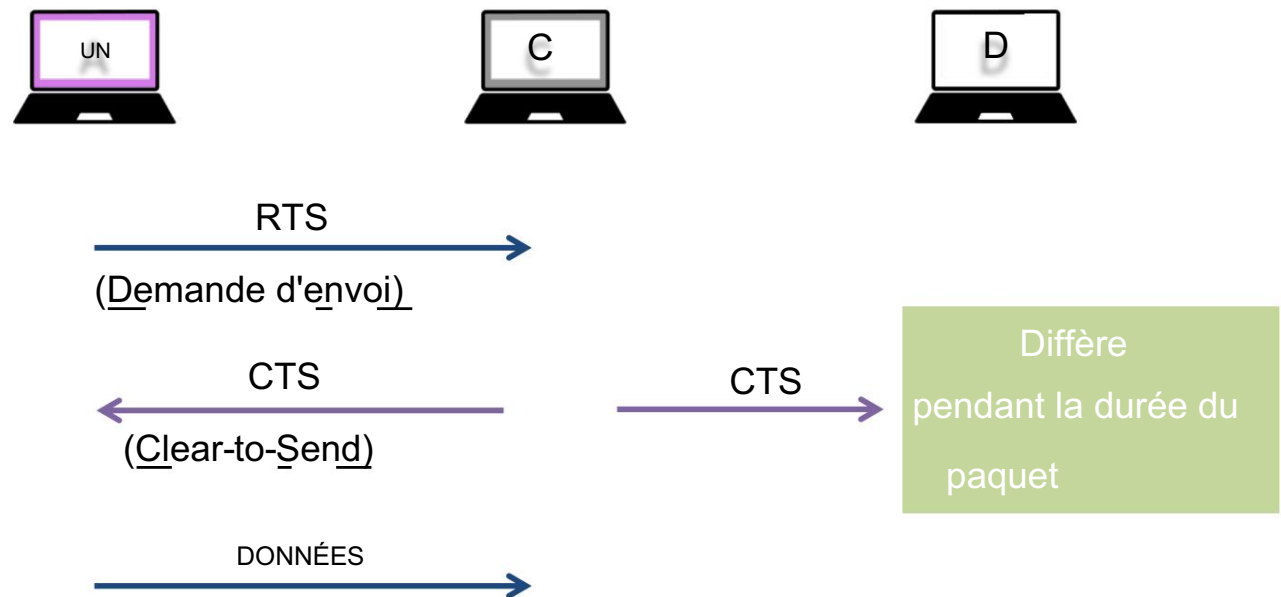
# MACA : accès multiple avec évitement des collisions



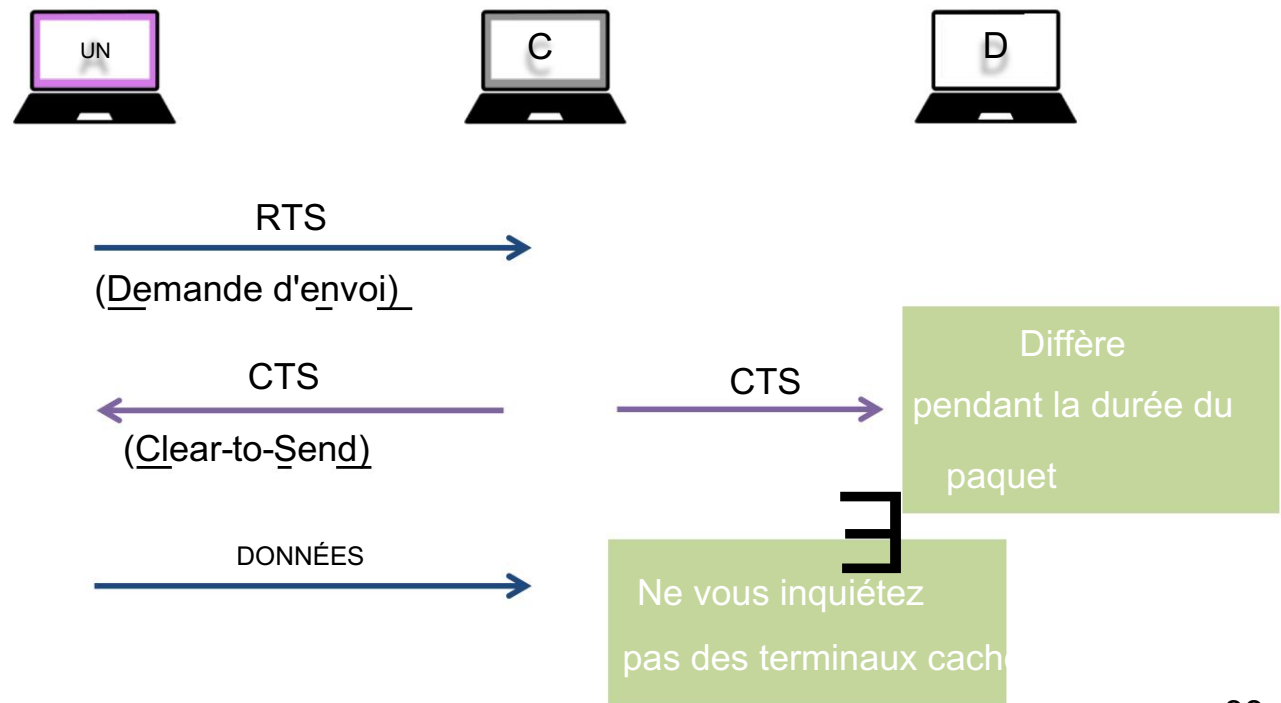
# MACA : accès multiple avec évitement des collisions



# MACA : accès multiple avec évitement des collisions



# MACA : accès multiple avec évitement des collisions



# RTS/CTS

## Adressage du nœud exposé

# RTS/CTS

## Adressage du nœud exposé





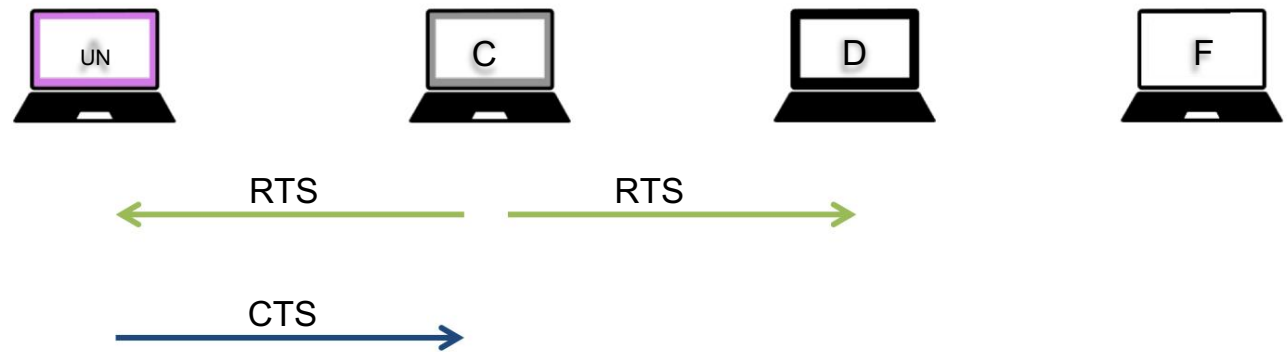
# RTS/CTS

## Adressage du nœud exposé



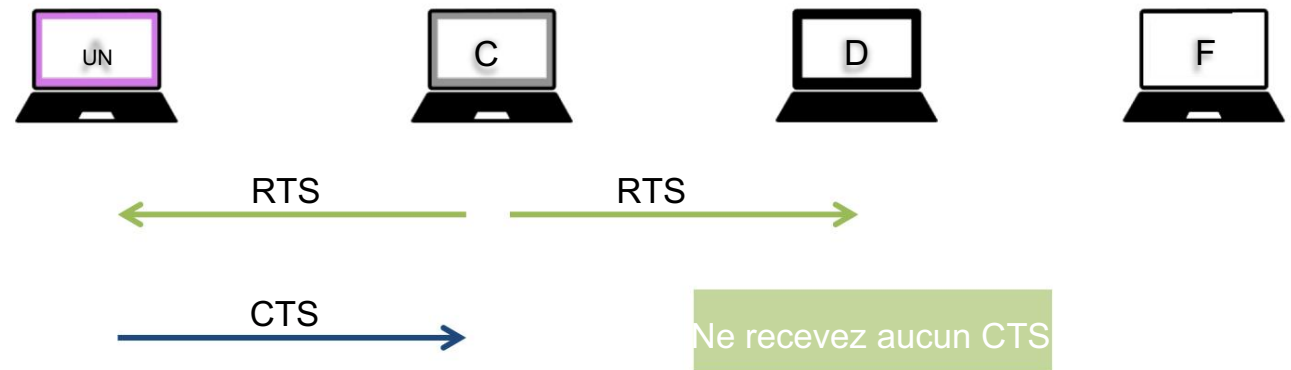
# RTS/CTS

## Adressage du nœud exposé



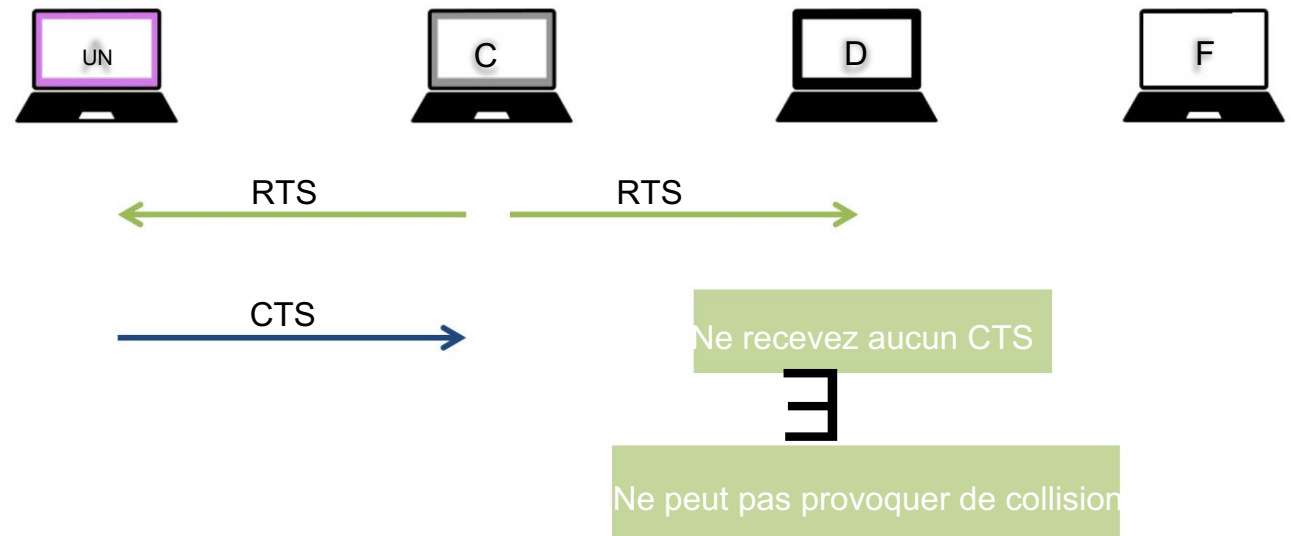
# RTS/CTS

## Adressage du nœud exposé



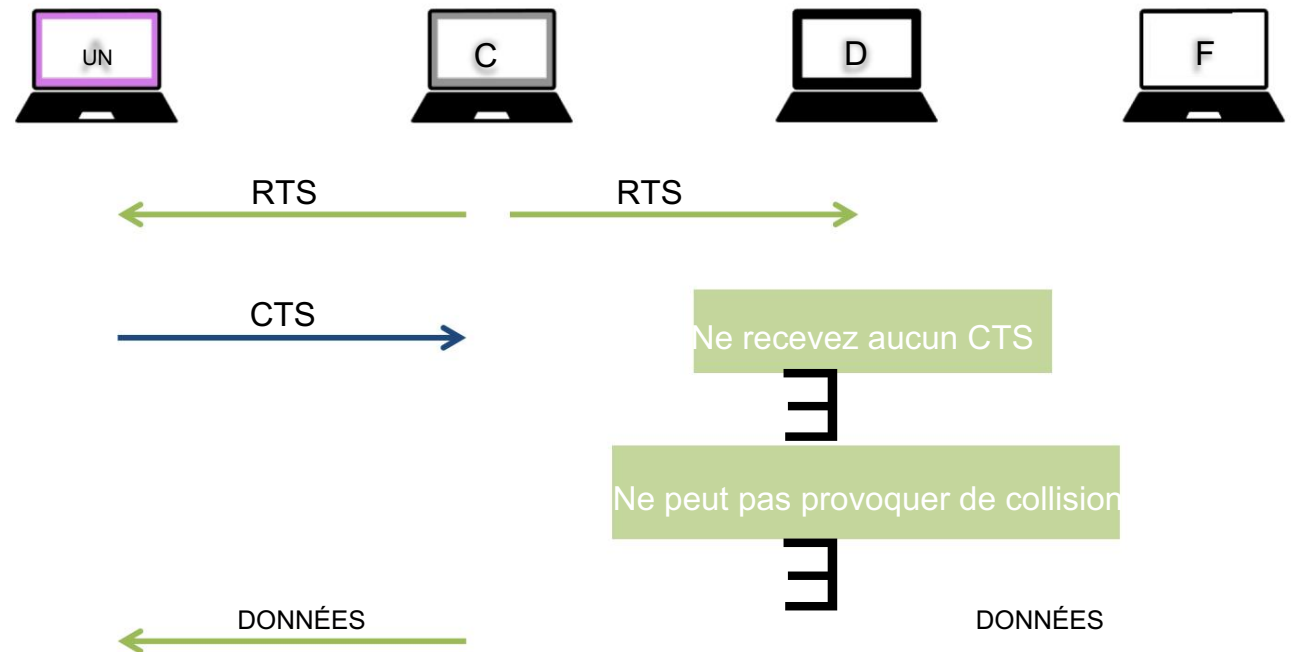
# RTS/CTS

## Adressage du nœud exposé



# RTS/CTS

## Adressage du nœud exposé



# MAC IEEE 802.11

o CSMA + MACA  $\Rightarrow$  CSMA/CA



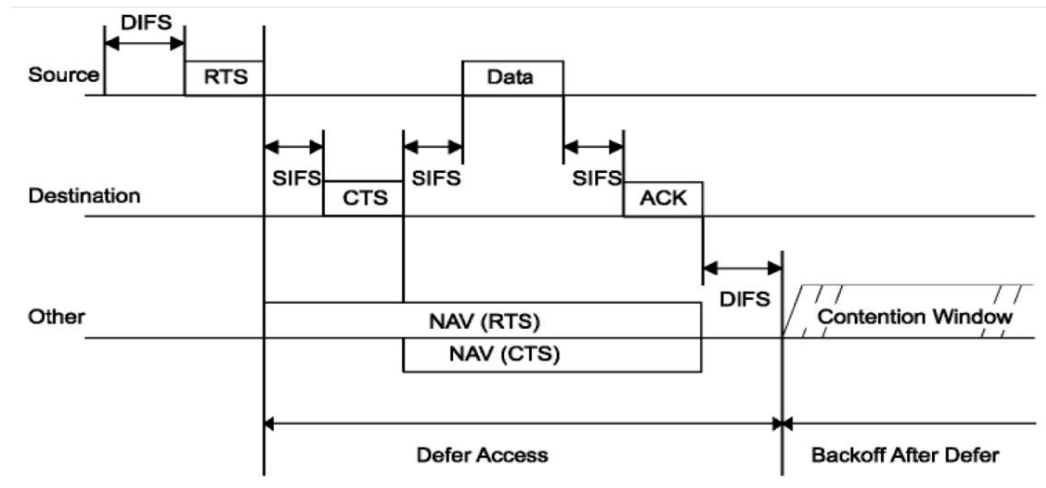
CSMA avant de  
transmettre un RTS o

ARQ : demande de répétition automatique

- Le destinataire du paquet de données envoie un ACK à l'expéditeur
- C'est nécessaire en raison des erreurs de canal élevées

o Utiliser Binary Exponential Backoff en cas d'échec

# Échange de paquets dans IEEE 802.11



- NAV : vecteur d'allocation réseau (mis à jour par les paquets RTS/CTS reçus)
- $\text{SIFS (espace intertrame court)} = \text{RxRFDelay} + \text{RxPLCPDelay} + \text{MACProcessingDelay} + \text{RxTxTurnaroundTime}$
- $\text{SlotTime} = \text{aCCATime} + \text{aRxTxTurnaroundTime} + \text{aAirPropagationTime} + \text{aMACProcessingDelay}$
- $\text{DIFS (espace intertrame DCF)} = \text{SIFS} + 2 \times \text{SlotTime}$

# Interruption dans IEEE 802.11



$0 < \text{aléatoire \#} < CW$



# Interruption dans IEEE 802.11



$0 < \text{aléatoire \#} < CW$

Fenêtre de conflit

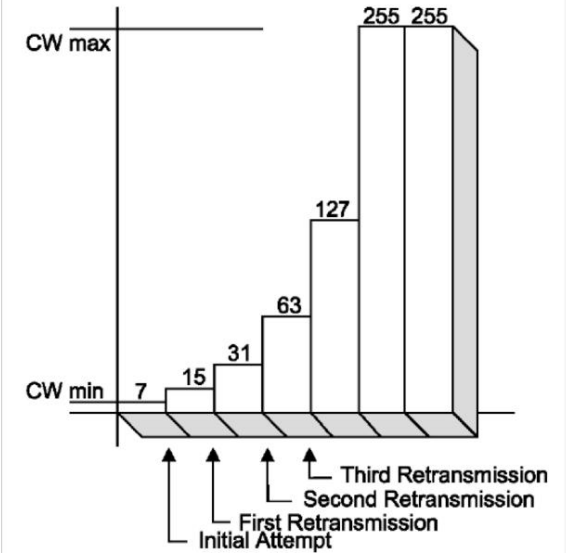


# Interruption dans IEEE 802.11



$$0 < \text{aléatoire \#} < CW$$

Fenêtre de conflit



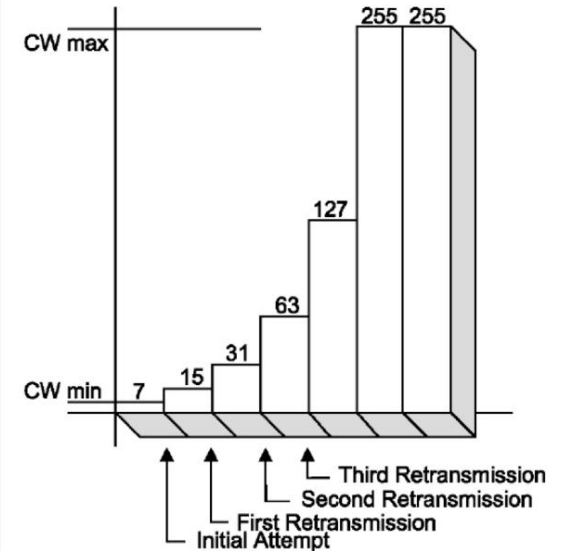
# Interruption dans IEEE 802.11



$$0 < \text{aléatoire \#} < CW$$

## Fenêtre de conflit

- initialisé à CWmin
- doublé jusqu'à CWmax s'il y a pas de CTS pour un RTS ou aucun ACK pour un DATA
- réinitialiser à CWmin après avoir reçu un CTS ou ACK ou un paquet est abandonné.



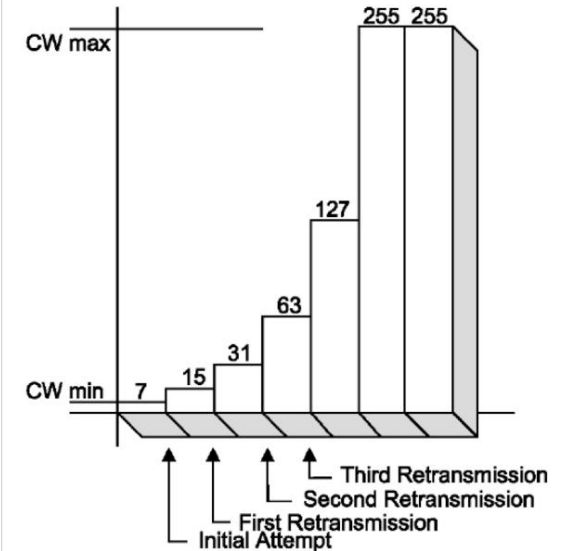
# Interruption dans IEEE 802.11



$$0 < \text{aléatoire \#} < CW$$

## Fenêtre de conflit

- initialisé à CWmin
- doublé jusqu'à CWmax s'il y a pas de CTS pour un RTS ou aucun ACK pour un DATA
- réinitialiser à CWmin après avoir reçu un CTS ou ACK ou un paquet est abandonné.



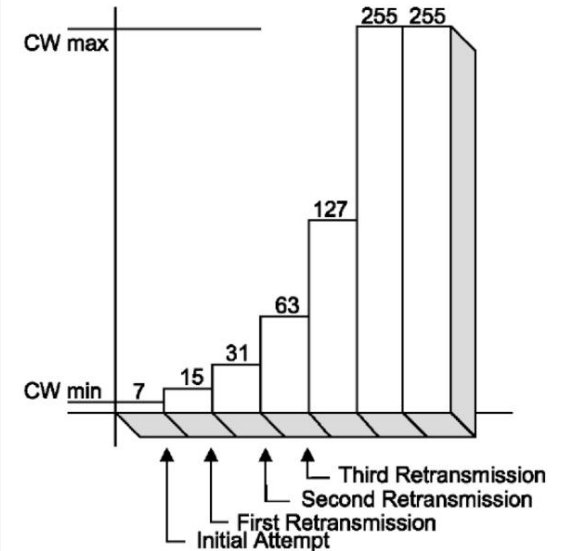
# Interruption dans IEEE 802.11



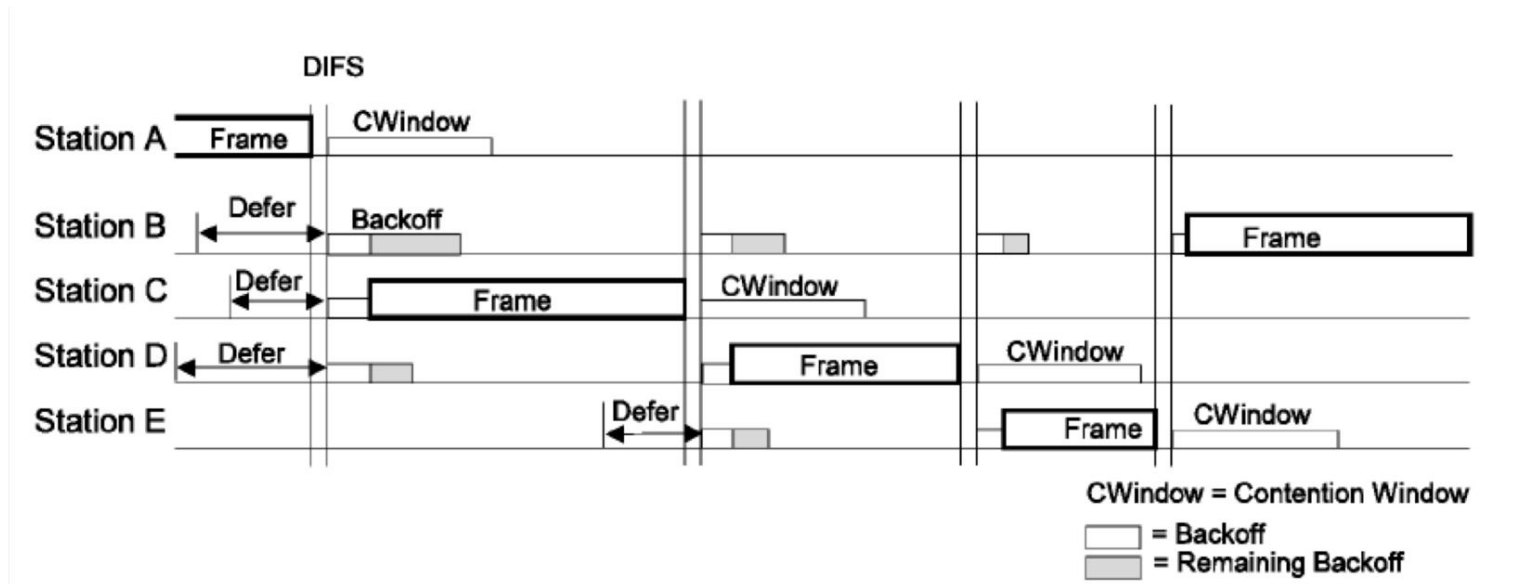
$$0 < \text{aléatoire \#} < CW$$

## Fenêtre de conflit

- initialisé à CWmin
- doublé jusqu'à CWmax s'il y a  
pas de CTS pour un RTS  
ou aucun ACK pour un DATA
- réinitialiser à CWmin après avoir reçu un CTS  
ou ACK ou un paquet est abandonné.



# Exemple de Backoff Race



1. Le nœud dessinant la plus petite fenêtre de contention remporte la course et peut transmettre en premier
2. Les compteurs de backoff sont **gelés** lorsque le canal est occupé

# Accéder au canal

- Avant de transmettre un RTS, un nœud invoque le mécanisme CS pour déterminer le état occupé/inactif du support
- Un nœud différera jusqu'à ce que le canal soit détecté libre pendant une période de temps égale à DIFS
- Après le temps d'inactivité DIFS, le nœud génère un compteur d'attente aléatoire
- Pour chaque tranche de temps pour laquelle le canal est libre, le compteur d'attente est réduit de 1, sinon il reste inchangé
- Une fois que le compteur d'attente atteint 0, le nœud est libre de transmettre

# Transmission d'un paquet de données



Mécanisme CS



# Transmission d'un paquet de données

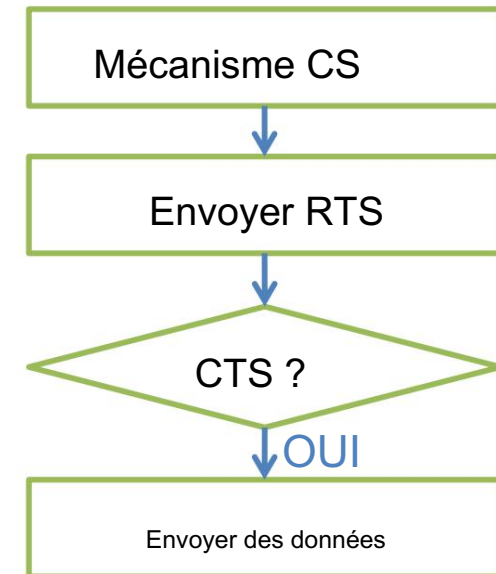


Mécanisme CS

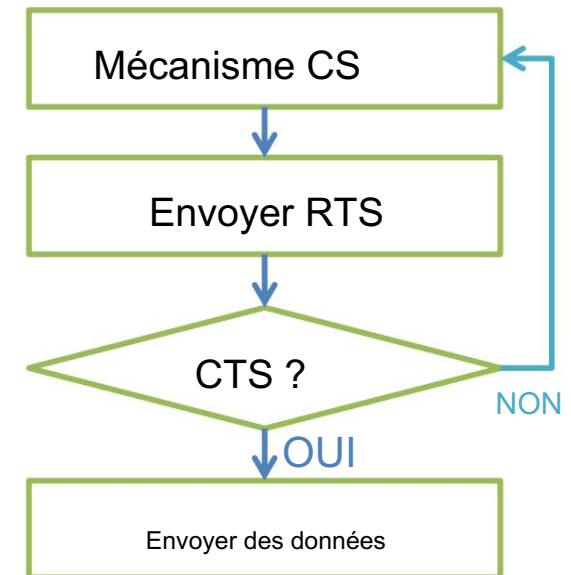


Envoyer RTS

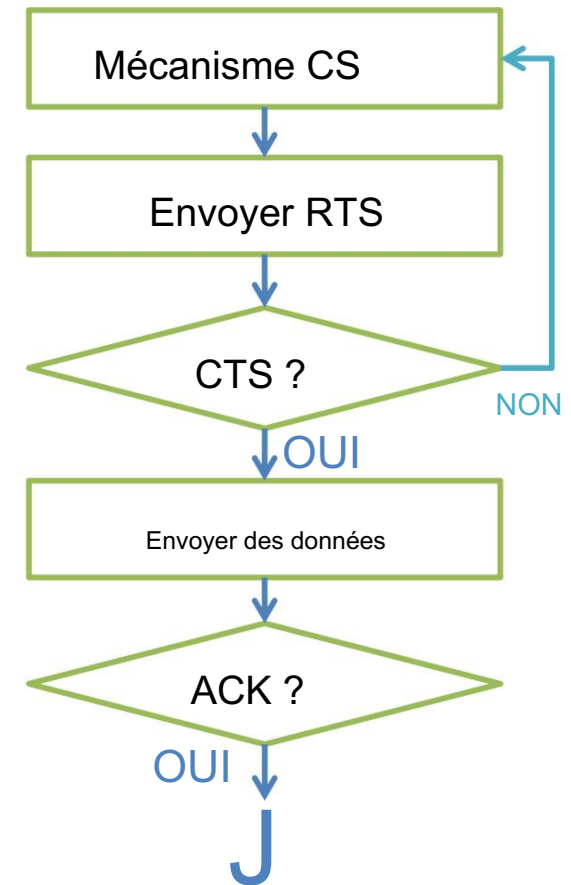
# Transmission d'un paquet de données



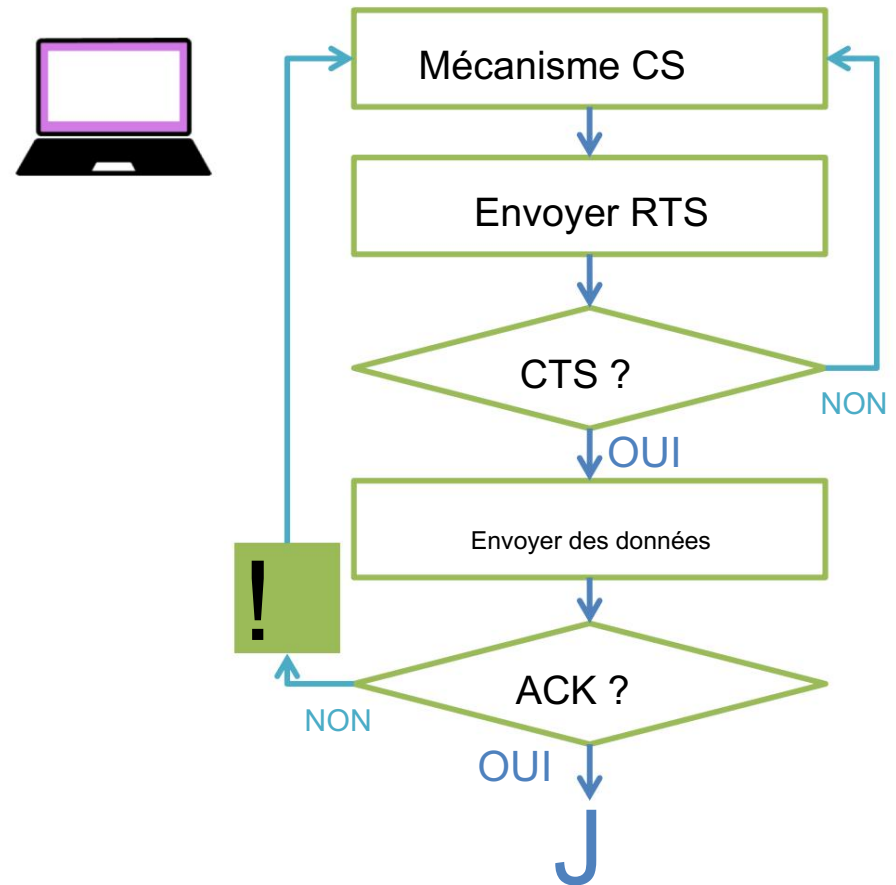
# Transmission d'un paquet de données



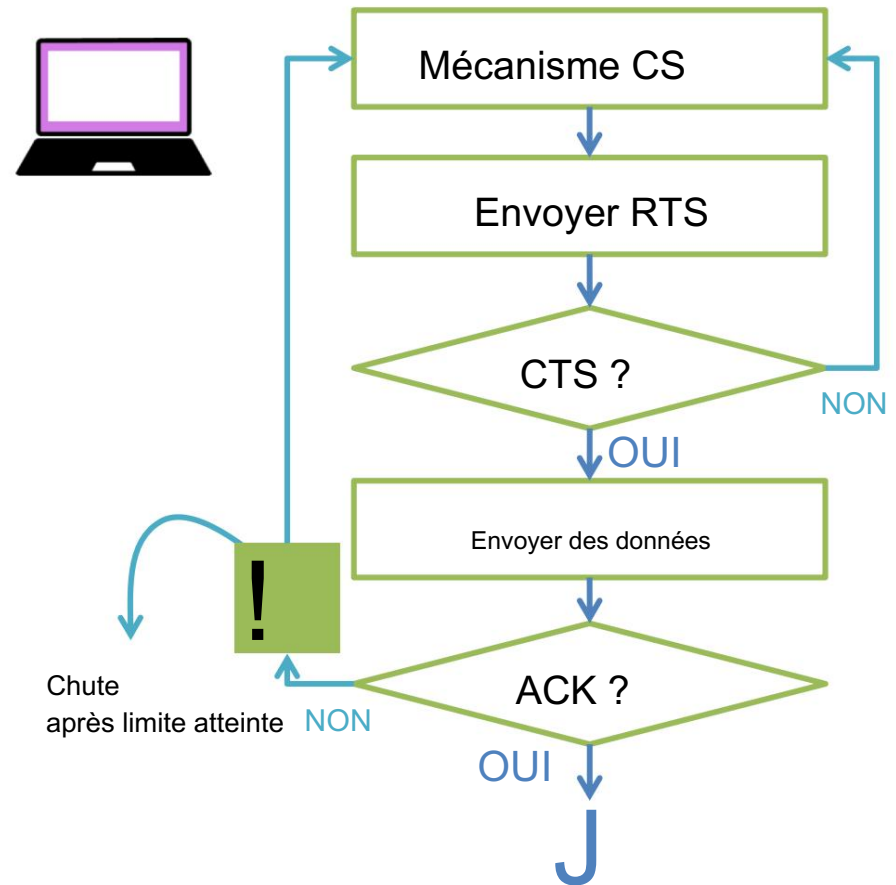
# Transmission d'un paquet de données



# Transmission d'un paquet de données



# Transmission d'un paquet de données



# Transmission d'un paquet de données -- Commentaires

## o Le mécanisme RTS/CTS

- ajoute des frais généraux
- n'est pas toujours justifié, surtout pour les petits paquets de données
- $\hat{U}$  paquets > longueur spécifiée
  - des paquets plus petits sont transmis directement après qu'une station remporte la course de backoff

**QOS DANS IEEE 802.11 (WIFI)**



## Qu'est-ce que la QoS ?

- La qualité de service est la capacité à :
  1. Fournir différentes priorités aux différentes applications, utilisateurs ou flux de données ou
  2. Garantir un certain niveau de performance à un flux de données

## Qualité de service dans IEEE 802.11

- IEEE 802.11 peut-il :
  1. Fournir des priorités différentes aux différentes applications, utilisateurs ou flux de données ?
  2. Garantir un certain niveau de performance à une data couler ?

## Qualité de service dans IEEE 802.11

- IEEE 802.11 peut-il :

1. Fournir différentes priorités aux différentes applications, utilisateurs ou données les flux ?

- Réponse : OUI

- Différents nœuds peuvent utiliser différents compteurs d'interruption

2. Garantir un certain niveau de performance à un flux de données ? •

Réponse : NON !!

- est possible, bien que hautement improbable, qu'un nœud ne remporte jamais la course de backoff -> les garanties ne sont pas sur la table

# IEEE 802.11e : modification de la qualité de service

- Un amendement approuvé qui définit les améliorations de QoS par le biais de modifications de la couche MAC
- DCF -> Accès amélioré aux canaux distribués (EDCA)
  - Utilisez un compteur CW plus court pour le trafic prioritaire
  - Opportunité de transmission (TXOP) : un nœud gagnant la course d'attente est libre de transmettre des trames en continu pendant une période allant jusqu'à une période TXOP
    - Pas besoin de backoff entre les transmissions de paquets

# Paramètres IEEE 802.11e

AC	CWmin	CWmax	AIFSN	Max TXOP
Background (AC_BK)	31	1023	7	0
Best Effort (AC_BE)	31	1023	3	0
Video (AC_VI)	15	31	2	3.008ms
Voice (AC_VO)	7	15	2	1.504ms
Legacy DCF	15	1023	2	0

# MAC Wi-Fi

## 1. Fonction de coordination distribuée (DCF)

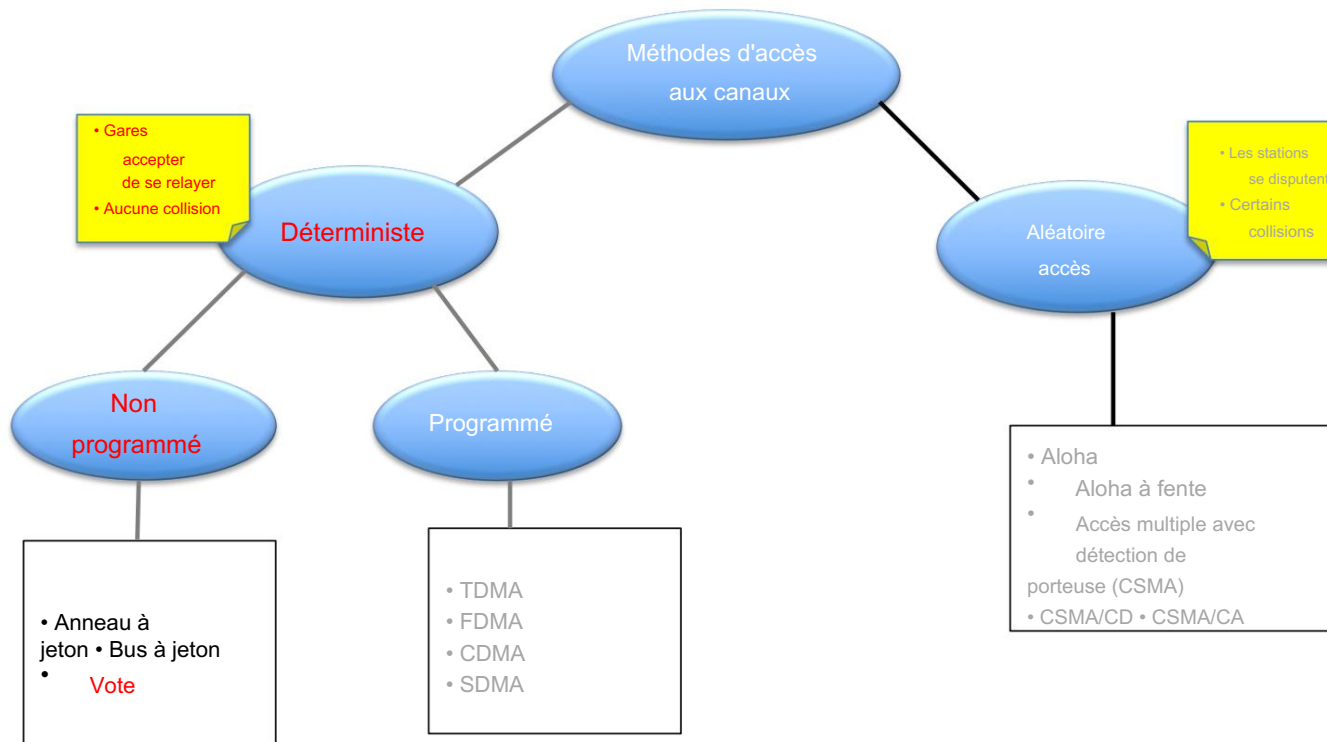
- Il n'y a pas d'autorité centrale et la coordination se fait de manière répartie entre toutes les stations (client + point d'accès)

## 1. Fonction de coordination ponctuelle (PCF)

- Le contrôle d'accès au support est coordonné par une autorité centrale – le coordinateur de point (PC) qui est toujours mis en œuvre à un point d'accès
- Cela fonctionne sur DCF

# MAC Wi-Fi – Interrogation

## Fonction de coordination ponctuelle (PCF)



# Bref aperçu de PCF

- Comment ça marche?
  - o L'AP interroge ses clients de manière circulaire. o

Quand et seulement quand un client est interrogé, il a le droit de transmettre un paquet de données - ou un paquet nul s'il n'a pas de données à envoyer
- Pourquoi?
  - o Pour fournir un accès au canal sans contention - seule la station interrogée par le point d'accès a le droit de transmettre
  - o Chaque client se voit garantir une part de la capacité du canal o

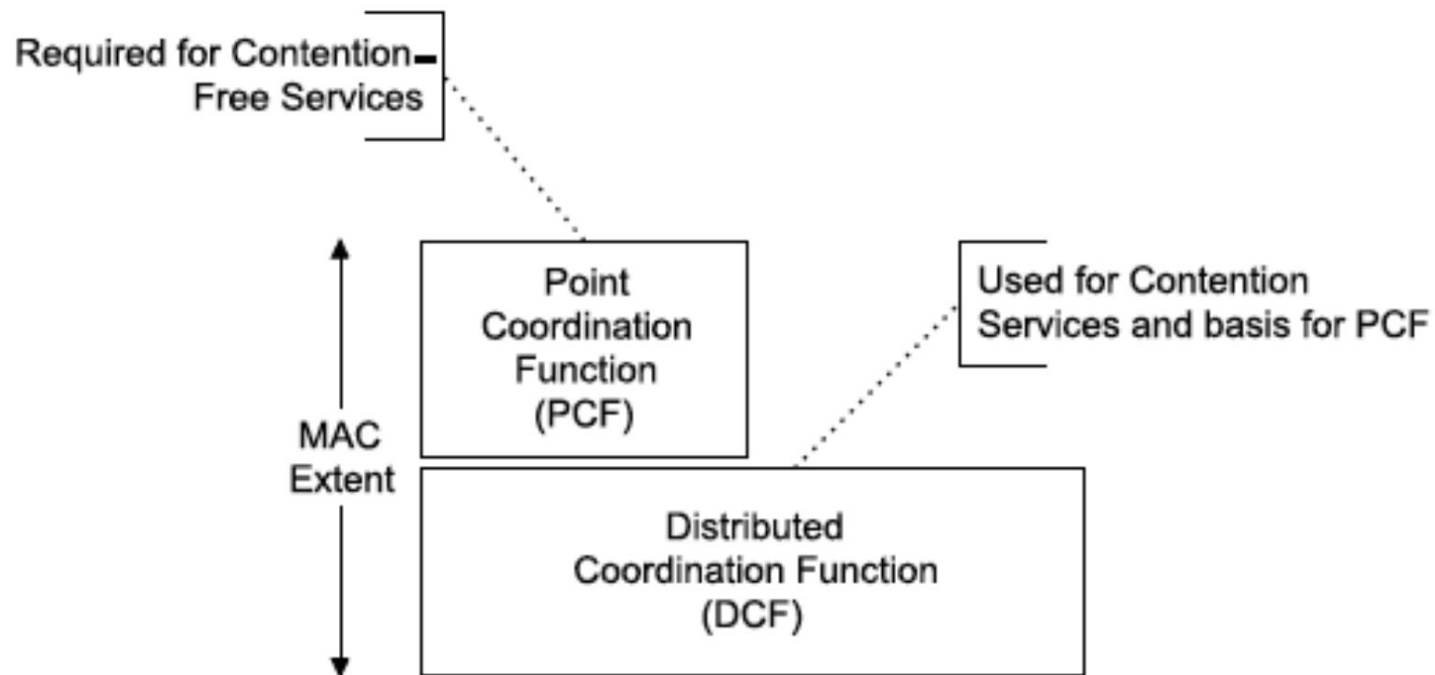
Bénéficiaire pour les applications sensibles aux retards comme la voix, la vidéo, etc.



# PCF+DCF

- Le temps est divisé en période de contention (CP) et en période sans contention (APC)
- Pendant le CP, les transferts utilisent DCF, c'est-à-dire, Data-ACK ou RTS-CTS-Data-ACK, avec une temporisation exponentielle, etc.
- Pendant le CFP, le point d'accès contrôle toutes les transmissions. C'est-à-dire que l'AP contrôle quelle STA transmet à l'AP et quelle STA reçoit des paquets du PA
- AP s'appelle le coordinateur de point (PC)

# Architecture logique PCF/DCF



# Commutation entre PCF et DCF

o Le CFP commence lorsque le PC accède au support, en utilisant les procédures DCF normales, et transmet une trame Beacon

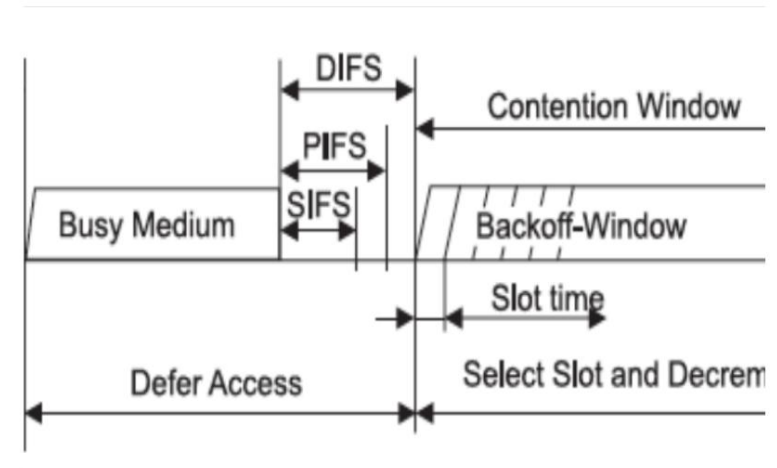
- Utilisez PIFS < DIFS pour détecter le canal inactif

o Beacon contient les informations sur le maximum attendu durée du CFP

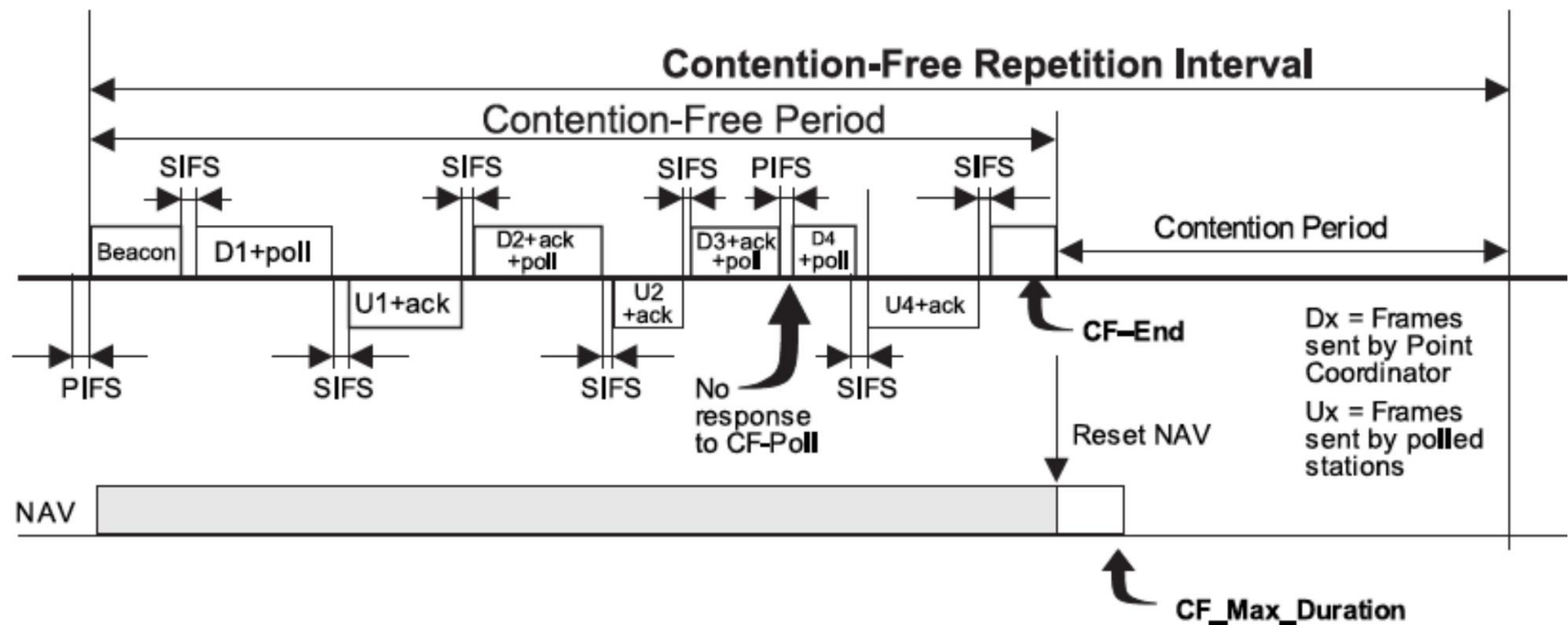
o Le PC annonce la fin du CFP en transmettant une trame de fin sans contention (CF-End)

o Tous les nœuds réinitialisent leur NAV et les stations commencent le fonctionnement du DCF

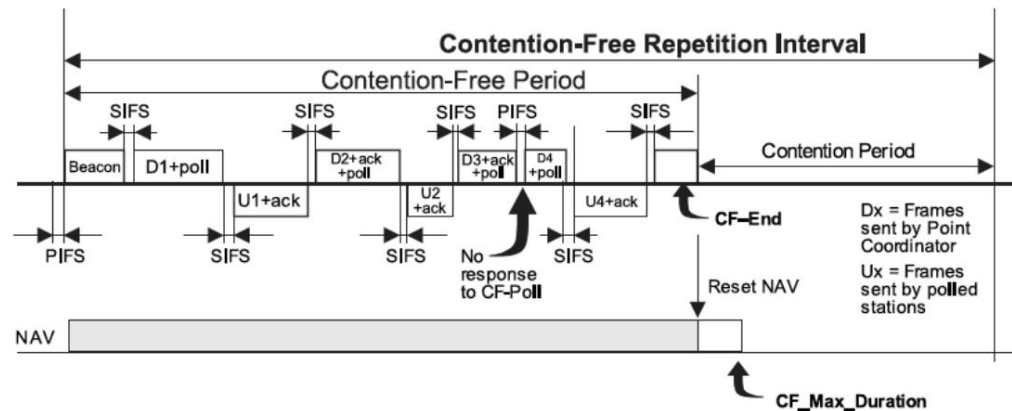
- NAV (Network Allocation Vector) est la durée pendant laquelle la station différée attend jusqu'à ce qu'elle tente à nouveau d'accéder au canal.
- NAV est annoncé dans l'en-tête de toute trame émise dans DCF et PCF.
- A la réception d'une trame, les stations en attente établissent un compteur à NAV et décrémentent-le.
- Une fois que NAV est à zéro, les stations reprennent le fonctionnement.



# Transmission de données pendant PCF



# Transmission de données pendant PCF



- o Après la trame de balise initiale, le PC attend au moins une période SIFS, puis transmet l'un des éléments suivants :
  - Une trame de données, une trame CF-Poll, une trame Data+CF-Poll ou une trame CF-End (pas le trafic est mis en mémoire tampon et aucun sondage à envoyer)
- o Une station CF-Pollable qui reçoit une trame de données dirigée de n'importe quel sous-type qui inclut CF-Poll peut transmettre une trame de données une période SIFS après avoir reçu le CF-Poll
- o Une station CF-Pollable répond toujours à un CF-Poll dirigé vers son adresse MAC et reçu sans erreur
  - Si la station n'a pas de trame à envoyer lorsqu'elle est interrogée, la réponse doit être une trame nulle

# Liste de vote sans conflit

- La liste d'interrogation est utilisée pour forcer l'interrogation des CF Stations pollables, que le PC ait ou non un trafic en attente à transmettre à ces stations
- La liste d'interrogation est une construction logique, qui n'est pas exposée à l'extérieur du PC

## Mise à jour de la liste de vote

- Une station indique sa CF-Pollability en utilisant le sous-champ CF-Pollable du champ Capability Information de Association Request and Trames de demande de réassociation
- Si une station CF-Pollable ne souhaite jamais être placée sur la liste d'interrogation, elle effectue l'association avec le sous-champ CF-Pollable false
  - Est utile pour les stations CF-Pollable qui utilisent normalement le mode d'économie d'énergie
- Si une station souhaite être retirée de la liste d'interrogation, elle doit effectuer une réassociation