

# Réseaux sans fil – WiFi

## Master Technologies de l'Internet

C. Pham

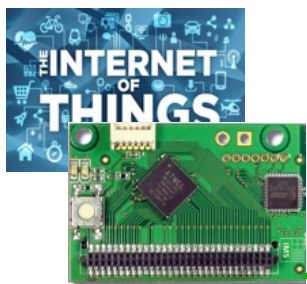
Université de Pau et des Pays de l'Adour

Département Informatique

<http://www.univ-pau.fr/~cpham>

[Congduc.Pham@univ-pau.fr](mailto:Congduc.Pham@univ-pau.fr)





# WiFi



### 1973

Ethernet developed at Xerox's Palo Alto Research Center (PARC)

### 1977

Ethernet patented by Xerox

### 1997

#### 802.11 Standard

The 802.11 standard is created. Products using the 2.4 GHz band have a maximum data rate of 2 Mbps

2.40 GHz

Max Data Rate

**2**  
Mbps

### 2003

#### 802.11g Standard

The 802.11g standard is considered third generation; this standard permits products to use the 2.4 GHz band and match the 54 Mbps throughput of 5 GHz devices.

2.40 GHz

Max Data Rate

**54**  
Mbps

>> Throughput of 5 GHz devices

### 1999

#### 802.11a Standard

The 802.11b and 802.11a standards are created. 802.11b drives the implementation of widespread use of WLAN technology. It is considered the first generation of wireless local area network technology. Products use 2.4 GHz and have a maximum data rate of 11 Mbps. 802.11a is considered the second generation. Products use the 5 GHz band and have a maximum data rate of 54 Mbps.

5.0 GHz

Max Data Rate

**54**  
Mbps

### 2005

#### 802.11e Standard

The 802.11e standard is created. It is intended to take 11b and 11a to the next level with quality of service (QoS) features capable of prioritizing data, talk and video transmissions. Networks using 11e operate at radio frequencies of up to 5.850 GHz. It is most suitable for networks with multimedia capabilities.

5.85 GHz

### 2007

#### 802.11n Standard (I)

The 802.11n standard is considered the fourth generation. Products are created for 2.4 GHz and 5 GHz bands and both have a maximum data rate of 450 Mbps.

5.0 GHz

Max Data Rate

**450**  
Mbps

### 2009

#### 802.11 Standard (II)

The second wave of 802.11n is created and products operating in both the 2.4 GHz and 5 GHz bands now support a maximum data rate of 600 Mbps.

5.0 GHz

Max Data Rate

**600**  
Mbps

### 2011

The 802.11v, 802.11k and 802.11u standards are created. 11k is designed to improve the way wireless traffic is distributed through a network by determining which access points (APs) have available capacity. 11u allows users to know what wireless services a network offers before they are connected to it. It is most beneficial in crowded areas with multiple wireless services.

### 2013

#### 802.11ac Standard (I)

The 802.11ac standard, so-called gigabit Wi-Fi, is ratified. In the first wave, Wi-Fi certified products have a maximum data rate of 1.3 Gbps and operate only in the 5 GHz band. Among other technological enhancements, this standard allows APs to send multiple streams to one client at a time. It is considered the fifth generation.

5.0 GHz

Max Data Rate

**1.3**  
Gbps

### 2014

#### 802.11ac Standard (II)

Second-wave 802.11ac products hit the market. These products also use the 5 GHz band, but at a speed of 6.93 Gbps. It expands AP capabilities through the support of multiple input, multiple output (MIMO) technology, which enables APs to send multiple streams to multiple clients instead of just one at a time. The second wave also employs wider 160 MHz channels that can be used to give high-throughput applications their own exclusive pathways, thus further improving performance.

5.0 GHz

Max Data Rate

**6.93**  
Gbps

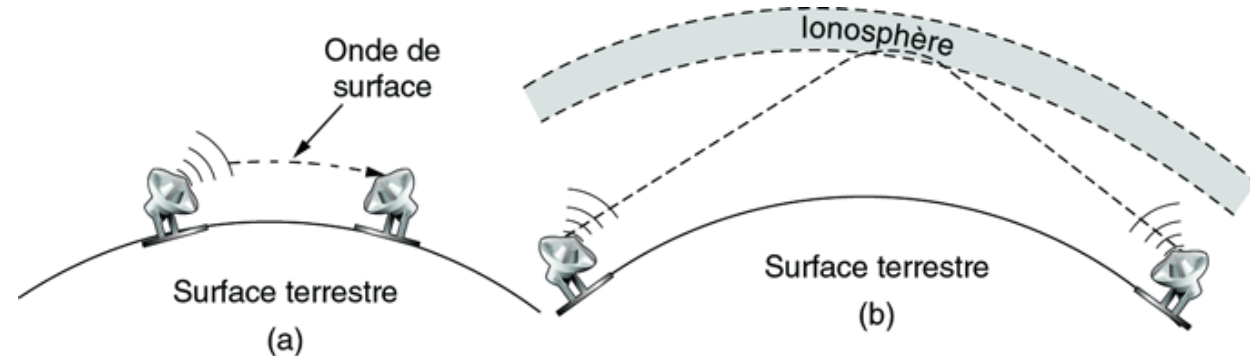
For up-to-date news, analysis and advice on networking, visit [SearchNetworking.com](http://SearchNetworking.com).

Information by: Sonia Groff/TechTarget  
Design by: Brian Linahan/TechTarget

Auteur: C. Pham, Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA)

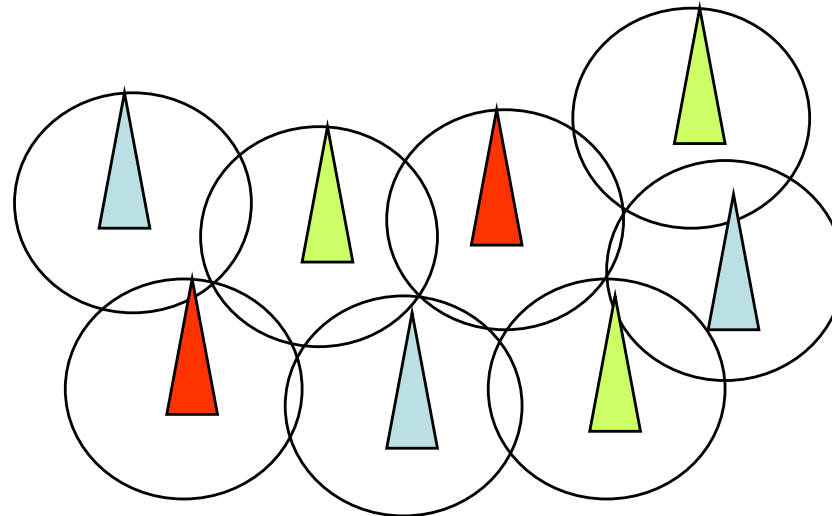
# Introduction

# Liaisons radio et utilisation des fréquences



© Pearson Education France

- Sans fils
  - infrastructure moins coûteuse, mais
  - erreurs plus fréquentes et dépendantes des conditions climatiques.



AM, FM (radio)  
UHF (TV)  
GSM  
UMTS  
WIFI-WIMAX  
...

# Point d'accès

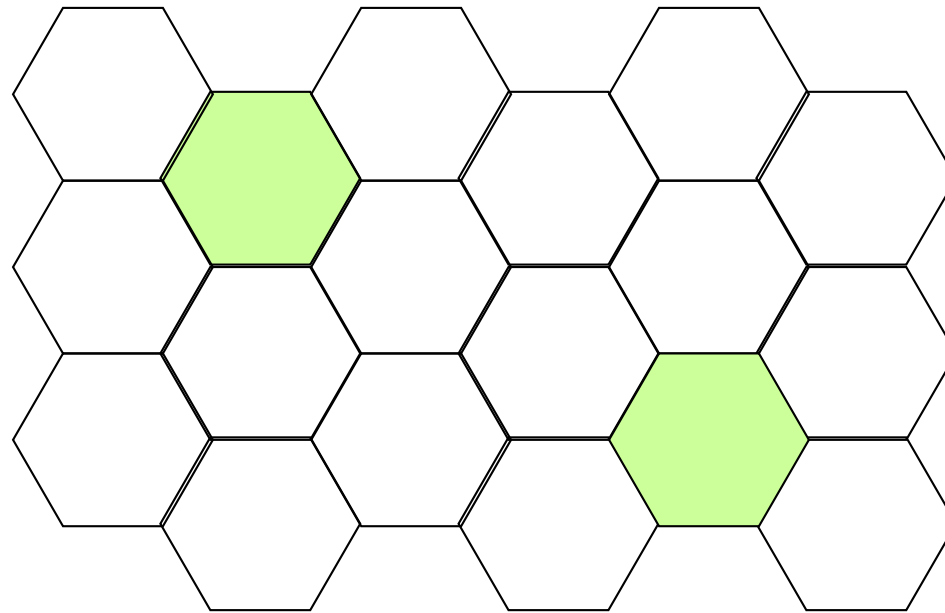
- Liaison réseau filaire - réseau sans fil
- Gère le trafic des mobiles d'une cellule en réception et en transmission de données
- Type de matériel : Station (dédiée de préférence) avec :
  - carte réseau traditionnelle pour le réseau filaire
  - carte émission / réception radio
  - couche logicielle adéquate

# Organisation cellulaire

- **Cellule de communication = BSS** : Basic Set Service  
de taille variable :
  - liée à l'environnement
  - liée à la puissance du mobile, car le point d'accès (fixe) dispose à priori d'une source d'énergie suffisante
- **ESS** : Extended Set Service :  
plusieurs BSS  $\Leftrightarrow$  plusieurs AP (Access Point)

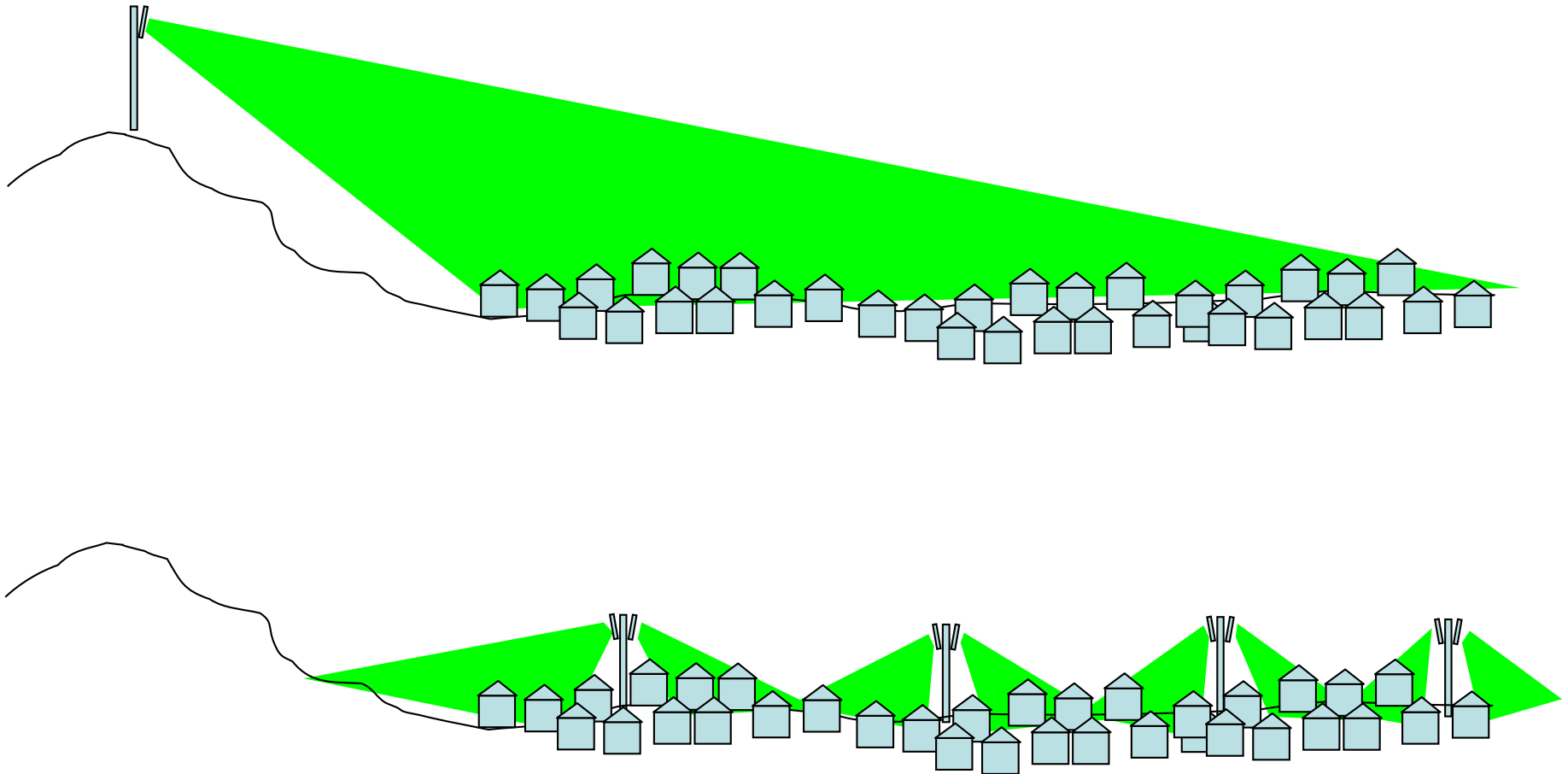
# Organisation cellulaire

- Réutilisation de la même fréquence sur des zones géographiques différentes



- Avantage : augmentation de la capacité
- Inconvénient : augmentation des interférences

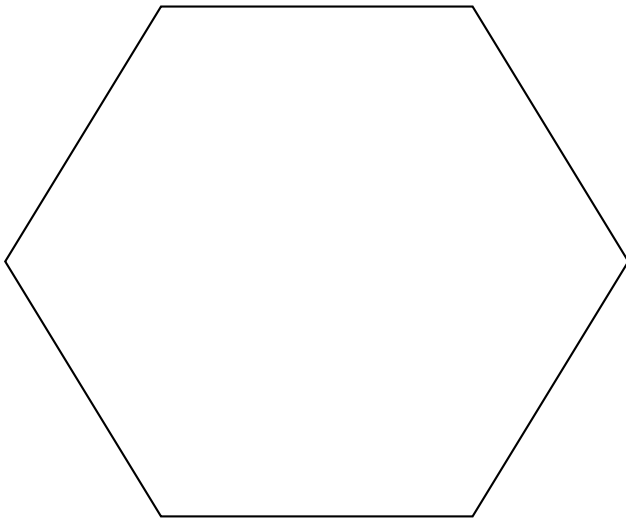
# Implantation des antennes





# Exemple : couverture d'une zone

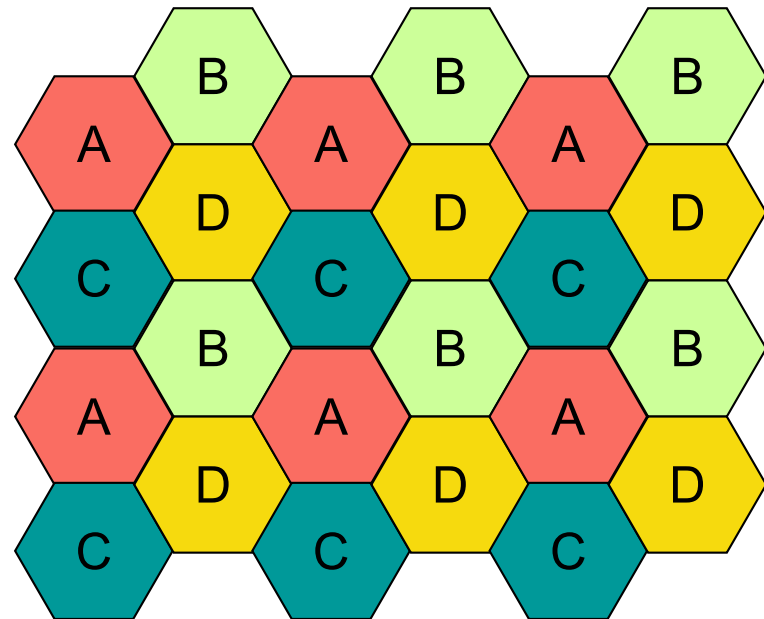
1 cellule



Ex: Bande passante de 100 MHz  
200 KHz nécessaire par canal

100MHz pour la cellule  
 $100\text{M} / 200\text{K} = \underline{\mathbf{500\ canaux}}$

Organisation  
en 6 clusters de 4 cellules



$100\text{MHz} / 4\text{ cellules} = 25\text{ MHz par cellule}$   
 $25\text{M} / 200\text{K} = 125\text{ canaux par cellule}$   
 $125\text{ canaux} * 24\text{ cellules} = \underline{\mathbf{3000\ canaux}}$

**Gain = nombre de clusters**

# Organisation cellulaire

- **Plusieurs types de cellules :**
  - Femtocellules (qq mètres)
  - Picocellules (qq dizaines de mètres)
  - Microcellules (zone urbaine, antennes basses)
  - Macrocellules (zone urbaine, antennes hautes)
  - Megacellules Satellites (centaines de kms)
- **Raisons :** taille de la zone à couvrir, nombre d'utilisateurs, bâtiments, etc.

# WiFi - IEEE 802.11

# Définition

- Le **WI-FI** répond à la norme **IEEE 802.11**. La norme IEEE 802.11 (ISO/IEC 8802-11) est un standard international décrivant les caractéristiques d'un réseau local sans fil (WLAN).
- Le nom **Wi-Fi** (contraction de **Wireless Fidelity**) correspond initialement au nom donné à la certification délivrée par la WECA (<http://www.weca.org/>) Etats-Unis (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*), l'organisme chargé de maintenir l'interopérabilité entre les matériels répondant à la norme 802.11.
- C' est la Wi-Fi Alliance qui pose le **label** “ Wi-Fi ” et certifie les produits des constructeurs
- Par abus de langage (et pour des raisons de marketing) le nom de la norme se confond aujourd'hui avec le nom de la certification. Ainsi un réseau Wifi est en réalité un réseau répondant à la norme 802.11.

# WiFi est un réseau cellulaire

Antamedia HotSpot Software

192.168.0.11 - 192.168.0.49



192.168.0.51 - 192.168.0.99



192.168.0.10



192.168.0.2



192.168.0.1



192.168.0.50



192.168.1.1



192.168.1.2



ADSL



192.168.0.101



192.168.0.102



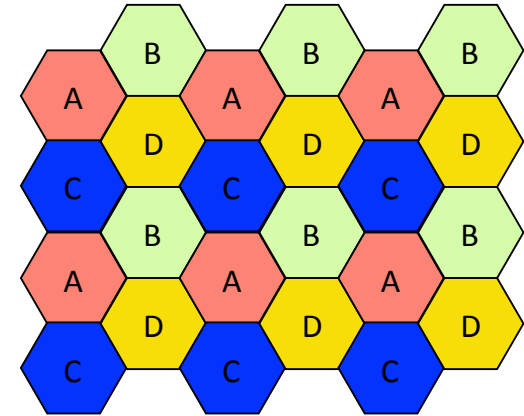
192.168.0.103



Ethernet connection

Network Topology Example

©2006 Antamedia



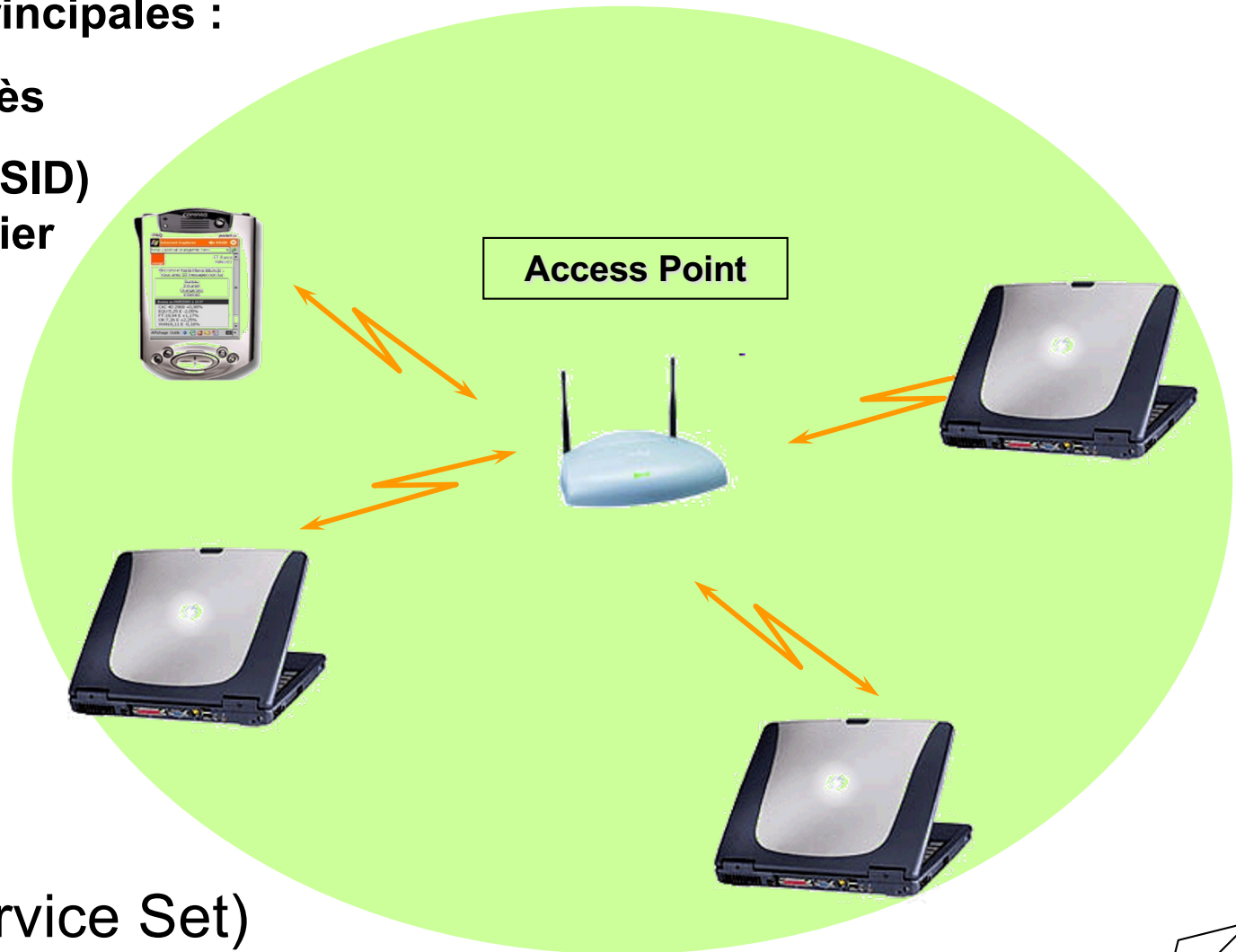
# IEEE 802.11 : Architecture

- Il existe deux types de topologies :
  - Le **mode infrastructure**, avec **BSS** et **ESS**.
    - En mode infrastructure **BSS**, le réseau est composé d'un point d'accès qui permet aux différentes stations qui se trouvent dans sa cellule d'échanger des informations.
    - En mode infrastructure **ESS**, le réseau comporte plusieurs points d'accès reliés entre eux par un DS
  - Le **mode ad-hoc**
    - En mode ad-hoc, ne comporte pas de points d'accès, ce sont les stations (avec cartes Wi-Fi) qui entrent elles mêmes en communication.

# IEEE 802.11 : Architecture BSS

## Caractéristiques principales :

- 1 seul point d'accès
- Nom de réseau (SSID)  
Service Set Identifier

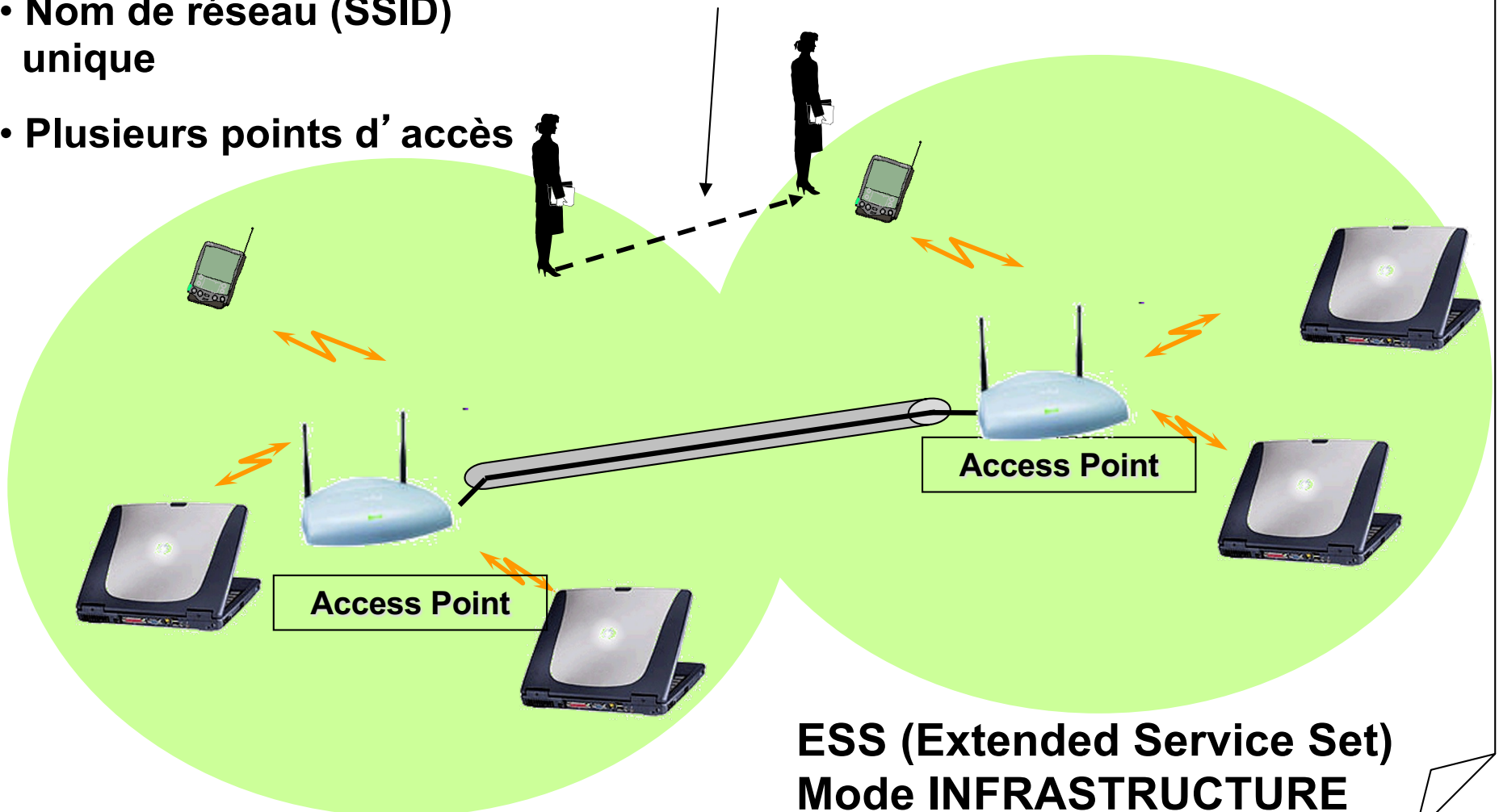


# IEEE 802.11 : Architecture ESS et handover

Caractéristiques principales :

- Nom de réseau (SSID) unique
- Plusieurs points d'accès

Mécanisme de handover





# Premiers standards IEEE 802.11

- **802.11** : L' ancêtre du réseau sans fil, sur 2,4 GHz modulation DSSS ou saut de fréquence (aucune norme imposée), d' un débit de 2 Mb/s et pratiquement pas inter-opérable de constructeur à constructeur.
- **802.11b** : premier réseau Ethernet sans fil interopérable, sur 2,4 GHz, offrant un débit physique de 11 Mb/s (modulation DSSS, accès par CSMA/CA et détection de porteuse)
- **802.11a** : (baptisé WiFi 5) historiquement c' est le second projet de réseau Ethernet sans fil sur 5 GHz, elle permet d'obtenir un haut débit (54 Mbps théoriques, 30 Mbps réels). Pas de compatibilité avec 802.11b
- **802.11g** : Adaptation d' OFDM aux réseaux 802.11b (compatibilité) (passage à 54 Mb/s). La norme 802.11g a une compatibilité ascendante avec la norme 802.11b.



d · m

Réseaux locaux 802.11 : standards physiques

[masquer]

Protocole 802.11	date <sup>2</sup>	Fréquence (GHz)	largeur de bande (MHz), (GHz)	Débit binaire <sup>3</sup> (Mbit/s), (Gbit/s)	Nombre maximum de flux MIMO	Codage / Modulation	Portée	
							Intérieur	Extérieur
							(mètres)	(mètres)
802.11-1997 (d'origine)	juin 1997	2,4	79 ou 22 <sup>4</sup> MHz	1, 2 Mbit/s	NC	FHSS, DSSS	20 m	100 m
802.11a	sept 1999	5	20 MHz	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbit/s	1	OFDM	35 m	120 m
		3,7 <sup>[A]</sup>					—	5 000 m <sup>[A]</sup>
802.11b	sept 1999	2,4	22 MHz	1, 2, 5,5, 11 Mbit/s	1	DSSS	35 m	140 m
802.11g	juin 2003	2,4	20 MHz	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbit/s	1	OFDM	38 m	140 m
802.11n	oct 2009	2,4 / 5	20 MHz	7,2 à 72,2 Mbit/s <sup>[B]</sup> (6,5 à 65) <sup>[C]</sup>	4	OFDM	70 m (2,4 GHz) 12-35 m (5 GHz)	250 m <sup>5</sup>
			40 MHz	15 à 150 Mbit/s <sup>[B]</sup> (13,5 à 135) <sup>[C]</sup>				
802.11ac	déc 2013	5	20 MHz	6,5 à 346,8 Mbit/s <sup>[D]</sup>	8	OFDM	12-35 m	300 m
			40 MHz	13,5 à 800 Mbit/s <sup>[D]</sup>				
			80 MHz	19,3 Mbit/s à 1,7 Gbit/s <sup>[D]</sup>				
			160 MHz	58,5 Mbit/s à 3,4 Gbit/s <sup>[D]</sup>				
802.11ad	déc 2012	57 à 71	1,7 à 2,16 GHz	jusqu'à 6,75 Gbit/s <sup>6</sup>	NC	OFDM ou porteuse unique	10 m <sup>7</sup>	
802.11af	février 2014	0,054 à 0,79	6 à 8 MHz	1,8 à 568,9 Mbit/s	1, 2, 4	OFDM	100 m	1000 m
802.11ah	mai 2017 <sup>2</sup>	0,9	1 à 8 MHz	0,6 à 8,6 Mbit/s <sup>8</sup>	4	OFDM	100 m	
802.11ax	novembre 2020	2,4 / 5	20 MHz	8 Mbit/s à 1,1 Gbit/s <sup>[D]</sup>	8	OFDM, OFDMA	12-35 m	300 m
			40 MHz	16 Mbit/s à 2,3 Gbit/s <sup>[D]</sup>				
			80 MHz	34 Mbit/s à 4,8 Gbit/s <sup>[D]</sup>				
			160 MHz	68 Mbit/s à 10,5 Gbit/s <sup>[D]</sup>				
802.11ay	décembre 2020 <sup>9</sup>	58,3 à 70,2	2,16 à 8,64 GHz	20 à 176 Gbit/s	4 <sup>10</sup>	OFDM ou <i>single carrier</i>	100 m	500

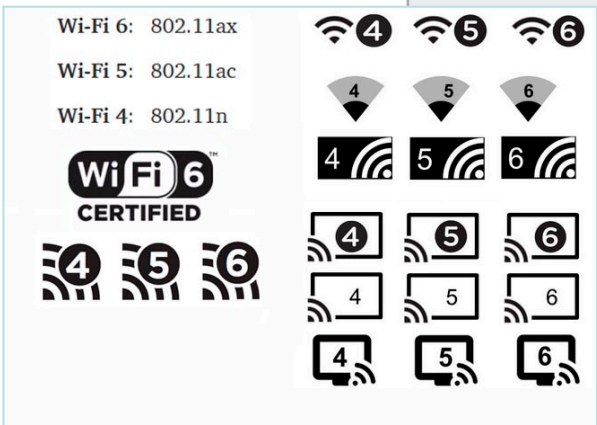
Voir aussi : Wi-Fi · Liste des canaux Wi-Fi

# Nouvelles générations WiFi

- Terme "génération" pour le grand public

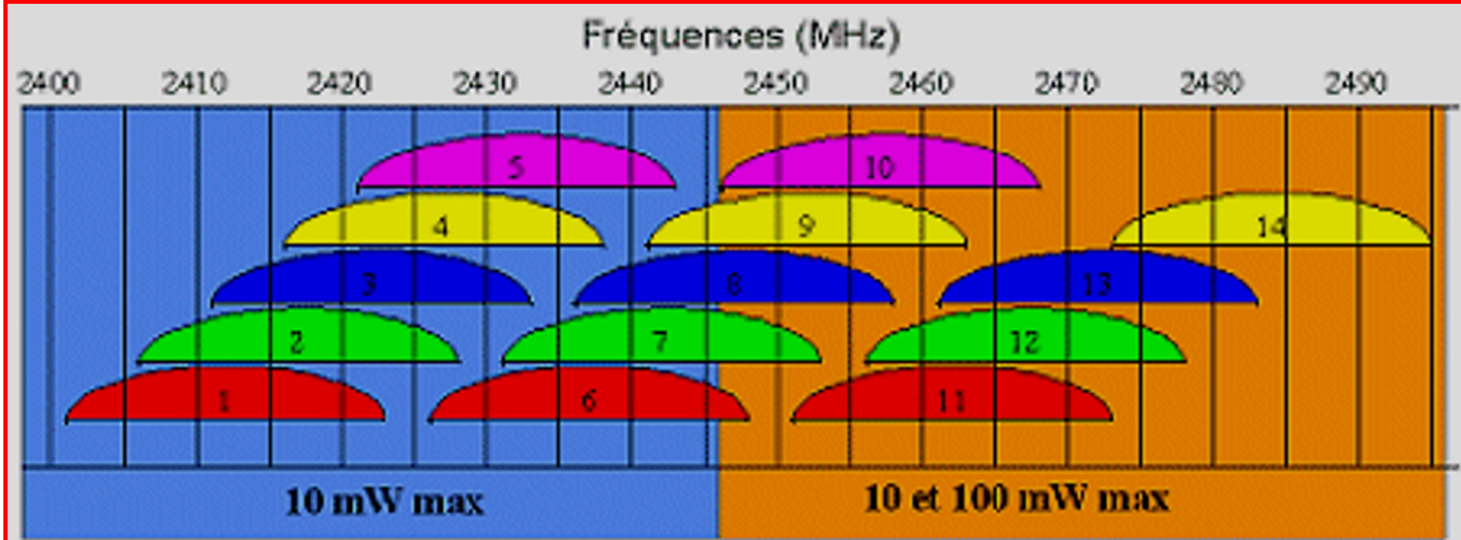
Wi-Fi Generations

Generation/IEEE Standard	Maximum Linkrate	Adopted	Frequency
Wi-Fi 6E ( <b>802.11ax</b> )	600 to 9608 Mbit/s	2019	6 GHz
Wi-Fi 6 ( <b>802.11ax</b> )	600 to 9608 Mbit/s	2019	2.4/5 GHz
Wi-Fi 5 ( <b>802.11ac</b> )	433 to 6933 Mbit/s	2014	5 GHz
Wi-Fi 4 ( <b>802.11n</b> )	72 to 600 Mbit/s	2008	2.4/5 GHz
<b>802.11g</b>	6 to 54 Mbit/s	2003	2.4 GHz
<b>802.11a</b>	6 to 54 Mbit/s	1999	5 GHz
<b>802.11b</b>	1 to 11 Mbit/s	1999	2.4 GHz
<b>802.11</b>	1 to 2 Mbit/s	1997	2.4 GHz



# Bande ISM (Industrial, Scientific and Medical)

- Bande ISM
  - Bande divisée en 14 canaux de 20 MHz
  - Problème de recouvrement
  - Superposition de 3 réseaux au sein d'un même espace
  - Largeur de bande 83 MHz



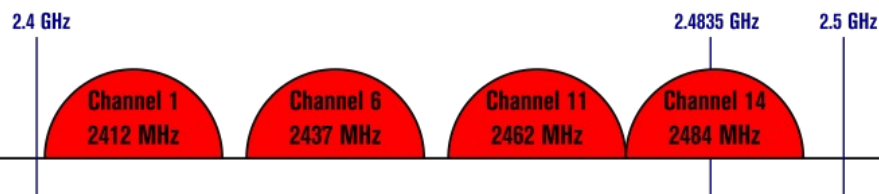
Canal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Fréquence (GHz)	2.412	2.417	2.422	2.427	2.432	2.437	2.442	2.447	2.452	2.457	2.462	2.467	2.472	2.484

# Canaux sans recouvrement

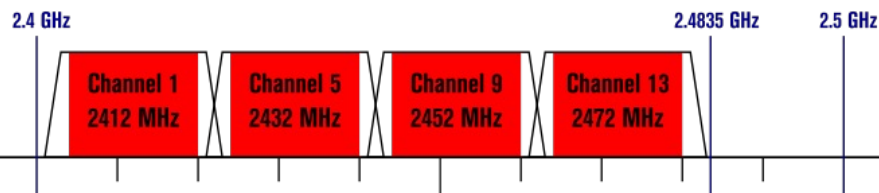
- Les canaux 1, 6 et 11 sont les plus utilisés

## Non-Overlapping Channels for 2.4 GHz WLAN

802.11b (DSSS) channel width 22 MHz



802.11g/n (OFDM) 20 MHz ch. width - 16.25 MHz used by sub-carriers



**IEEE 802.11**

**Couche Liaison**

# Couche Liaison de données

<b>Couche liaison de données</b>	<b>LLC 802.2</b> <b>Contrôle de liaison logique</b>
	<b>MAC 802.11, sécurité, etc ...</b> <b>Contrôle d'accès au support</b>

- La couche MAC définit 2 méthodes d'accès différentes
  - La méthode CSMA/CA utilisant la Distributed Coordination Function
  - La Point Coordination Function (PCF) : voix, vidéos ...
- La couche MAC offre 2 mécanismes de robustesse :
  - sommes de contrôle (CRC sur 32 bits)
  - fragmentation des paquets

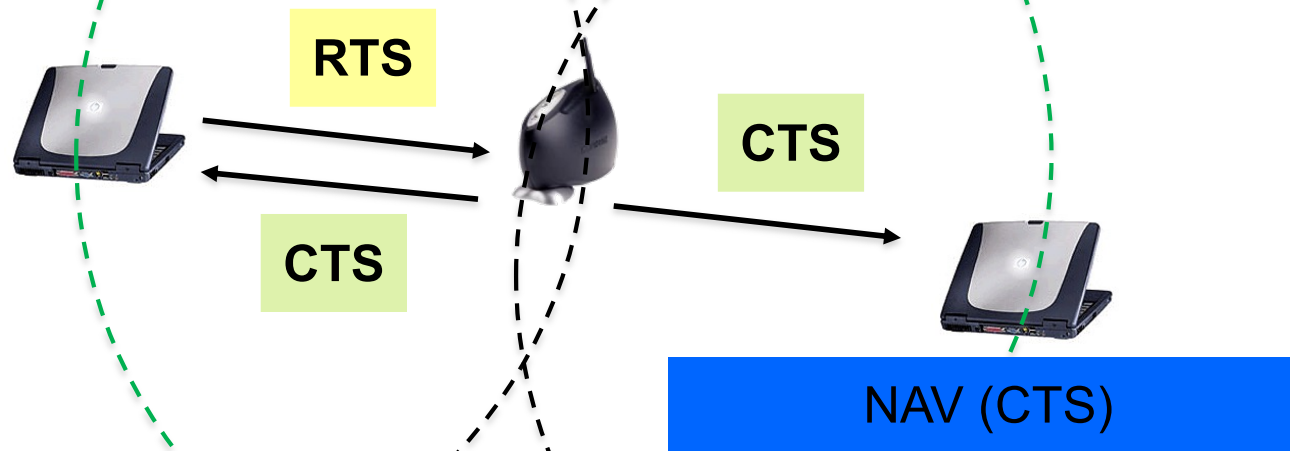
# CSMA/CA

- **Rappel** : dans un réseau **éthernet** filaire, utilisation de la méthode d'accès **CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)**
- Pour un environnement sans fil : utilisation **CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)**
  - 2 stations communiquant avec un récepteur (AP) ne s'entendent pas forcément mutuellement en raison de leur rayon de portée.
  - Caractéristique : utilise un mécanisme d'esquive de collision basé sur un principe d'accusés de réception (RTS/CTS) réciproques entre l'émetteur et le récepteur
  - Ecoute du support et Network Allocation Vector (NAV)
  - Deux méthodes d'accès au canal basées sur CSMA/CA ont été implémentées pour les réseaux 802.11 : **DCF** et **PCF**



# Problème du "terminal caché"

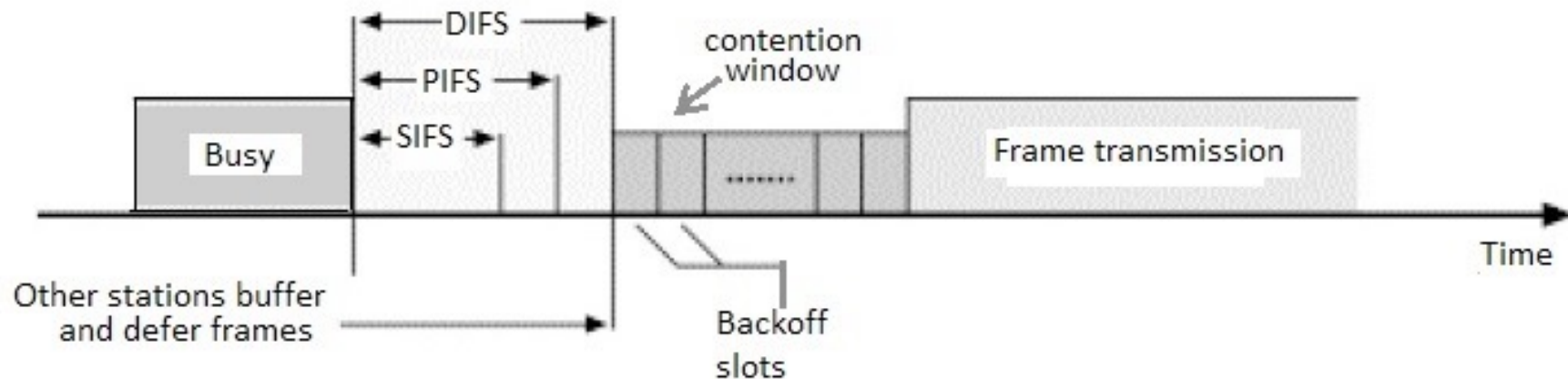
- RTS/CTS



# Inter Frame Spacing

**CSMA/CA** est basé sur :

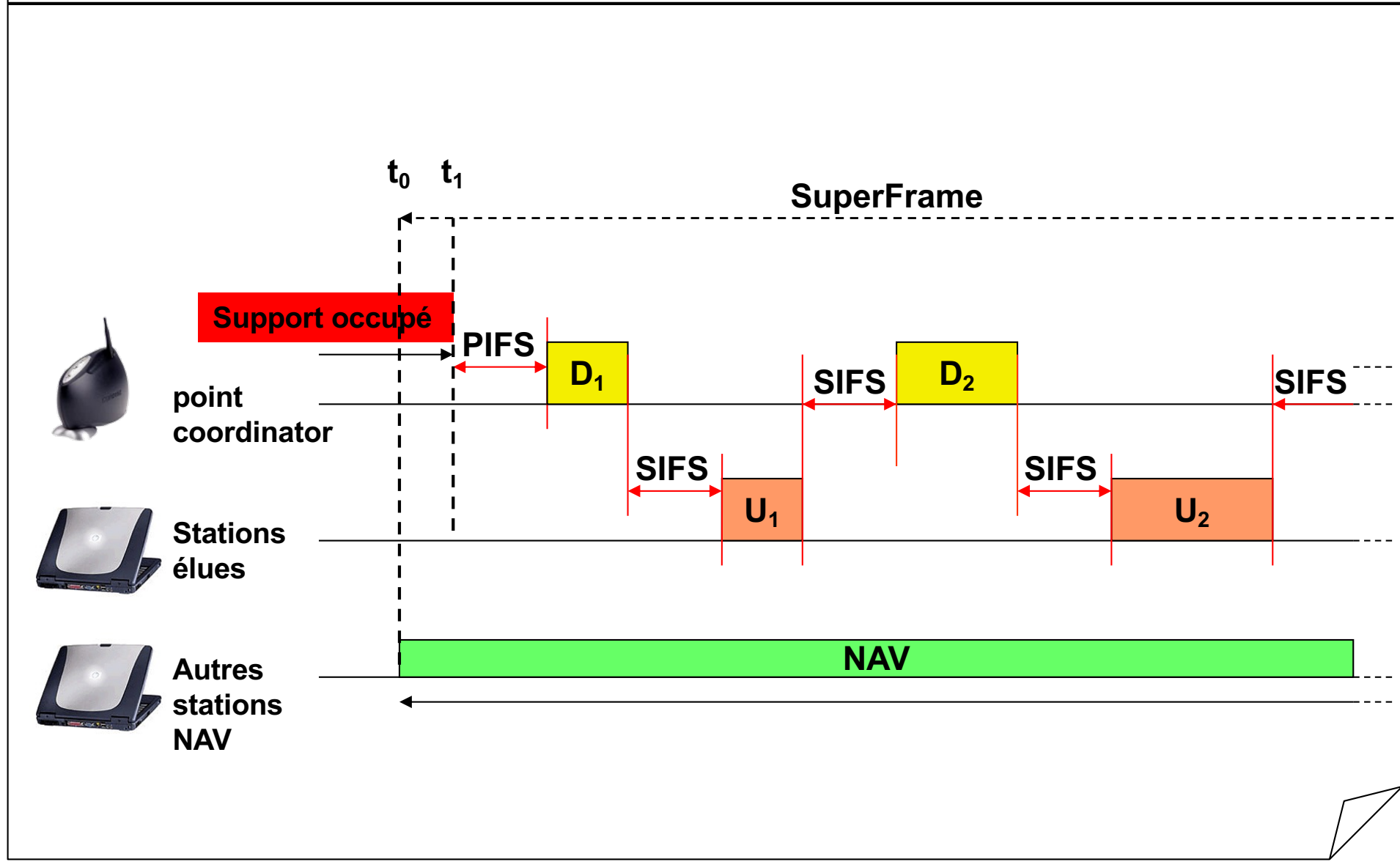
- Les temporisateurs IFS (Inter Frame Spacing)
  - SIFS (Short IFS) : Plus haute priorité pour ACK, CTS,...
  - PIFS (PCF IFS) : Priorité Moyenne, pour le PCF
  - DIFS (DCF IFS) : Priorité Faible pour le DCF
- Algorithme de Backoff: attente aléatoire dans la fenêtre de contention



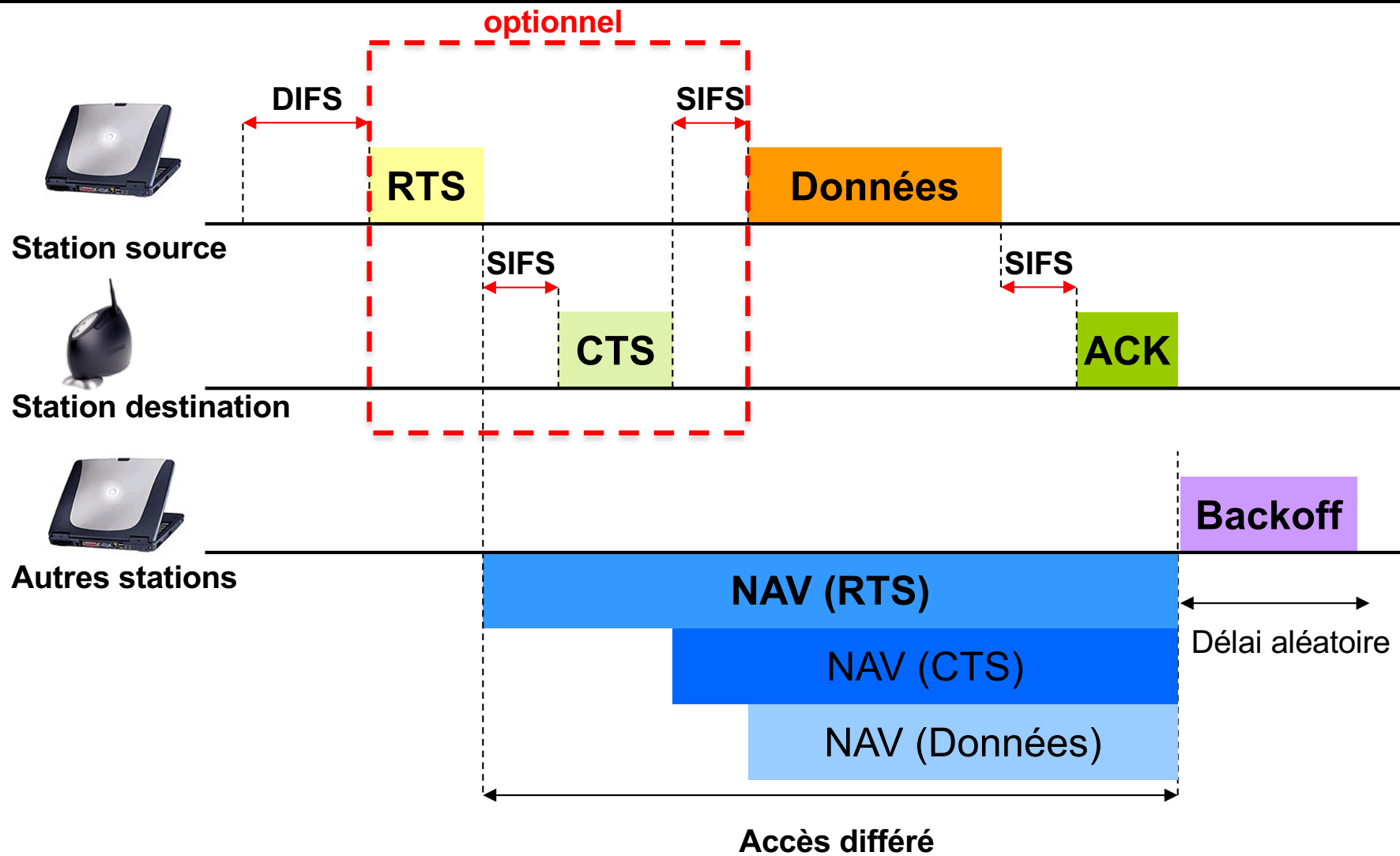
- Le but de l'attente aléatoire est de répartir le début des transmissions

INFO

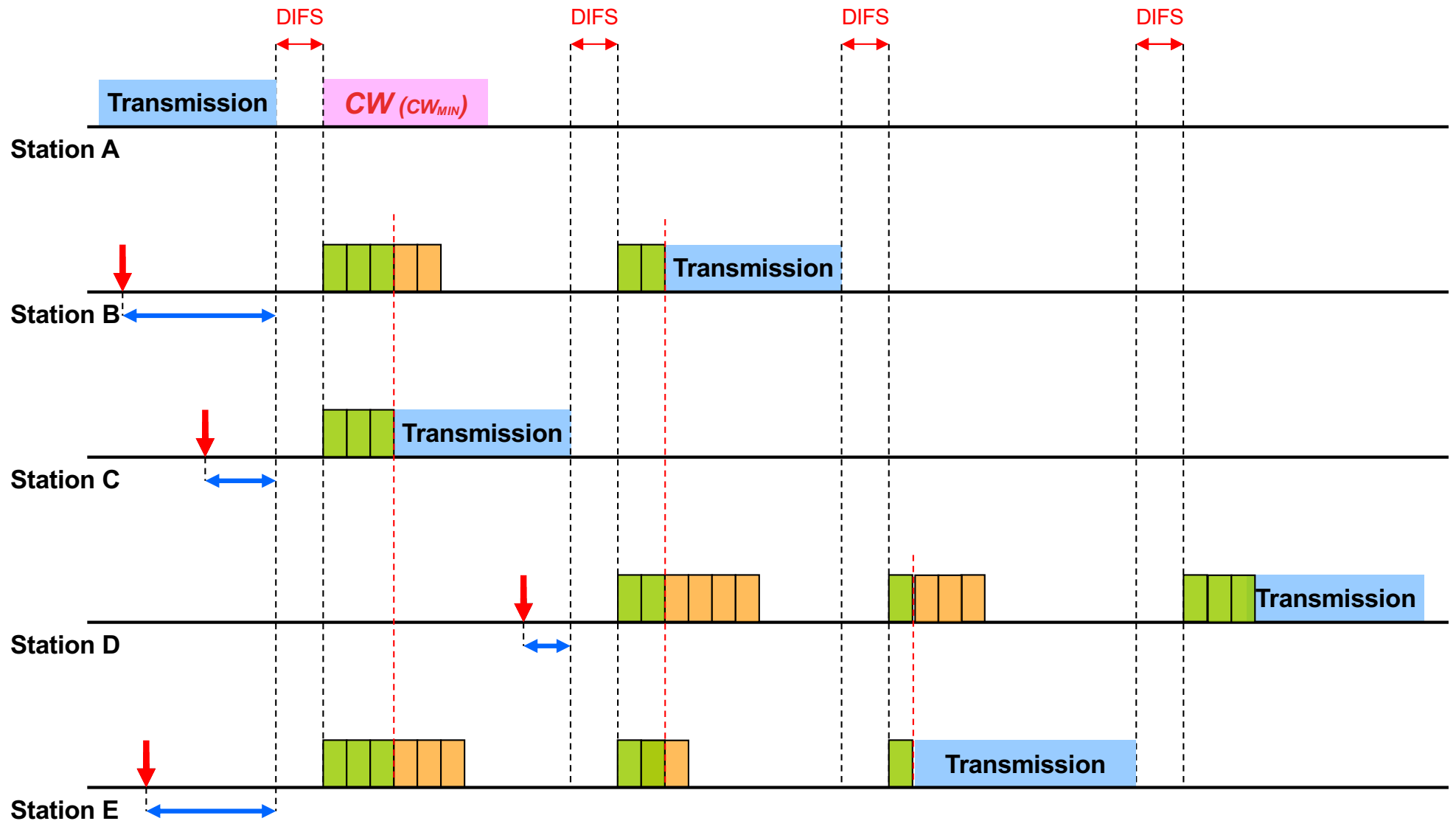
# PCF (Point Coordination Function)



# DCF (Distributed Coordination Function)



Supports empruntés à G. Pujolle



 Timeslot expiré


 La station accède et écoute le support

  $CW (CW_{MIN})$

Taille de la fenêtre de contention

Légende :

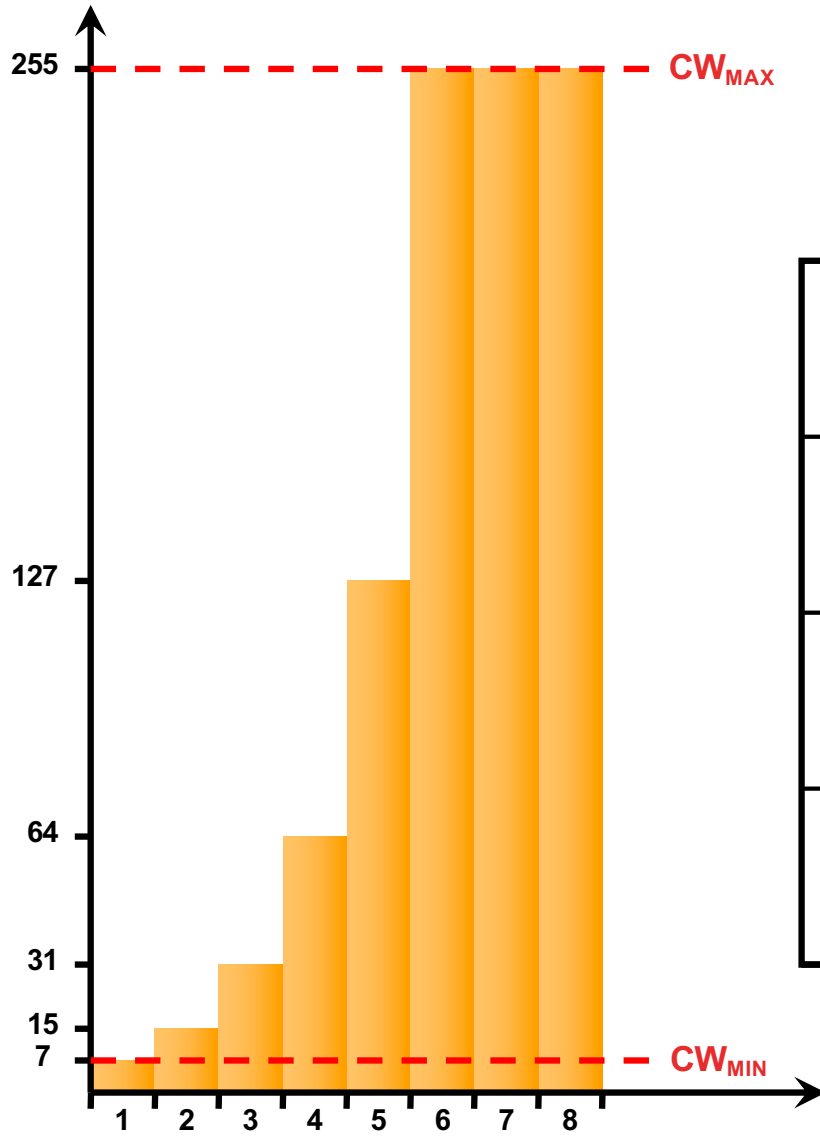
 Timeslot restant

 Temps d'attente dû à l'occupation du support par une autre station

**INFO**

fenêtre  
de contention

# Durées



	FHSS	DSSS	IR
Timeslot ( $\mu s$ )	50	20	8
SIFS ( $\mu s$ )	28	10	7
DIFS ( $\mu s$ )	128	50	19
PIFS ( $\mu s$ )	78	30	15