

Les technologies 802.11 pour les réseaux sans fil

J-M Gorce

Traitement du signal pour les
Radiocommunications

	Semaine 1		Semaine 2		Semaine 3		Semaine 4	
8h-10h	cours	Technos 802.11b/g/a (DSSS,OFDM)	TP2	Etude des récepteurs WiFi	cours	Algorithmes d'égalisation	cours	Algorithmes d'égalisation
10h-12h	cours	WiFi (Principes, norme)			Conf	La radio Logicielle chez FT	Conf	Projet 4more CEA
14h-16h	TP1	TP1 : VSA – Emetteur WiFi	cours	Réception Chaîne de réception numérique	TP3a	Etude de l'égalisation	TP3b	Implémentation d'un égaliseur
16h-18h			cours	Réception synchronisation				

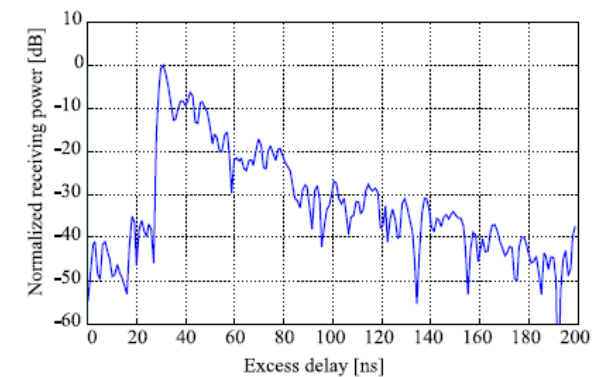
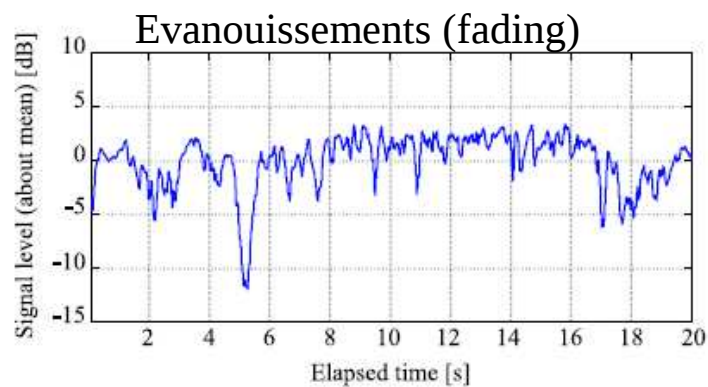
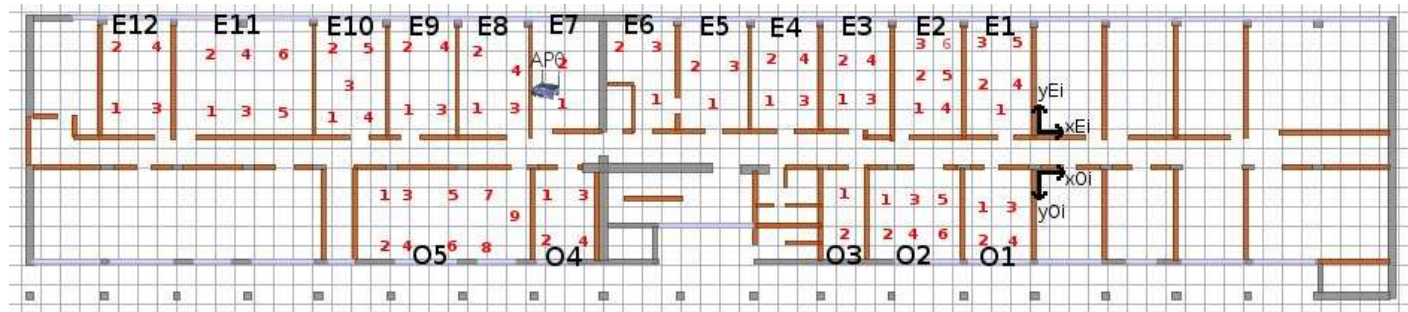
Retour sur le WiFi

J-M Gorce

Traitement du signal pour les
Radiocommunications

Transmission radio dans un environnement complexe

La technologie Wifi, qui repose sur 802.11 doit s'adapter à l'environnement difficile Indoor



la norme WiFi

- **I. Overview norme WiFi**
 - ❑ la norme 802
 - ❑ la couche LLC
 - ❑ Introduction à 802.11
- **II. La couche MAC**
 - ❑ Modes d'accès
 - ❑ L'accès en mode DCF
 - ❑ Les services
 - ❑ Les trames
- **III. La couche PHY**
 - ❑ L'architecture
 - ❑ Les différentes modes : direct, FHSS, DSSS, OFDM

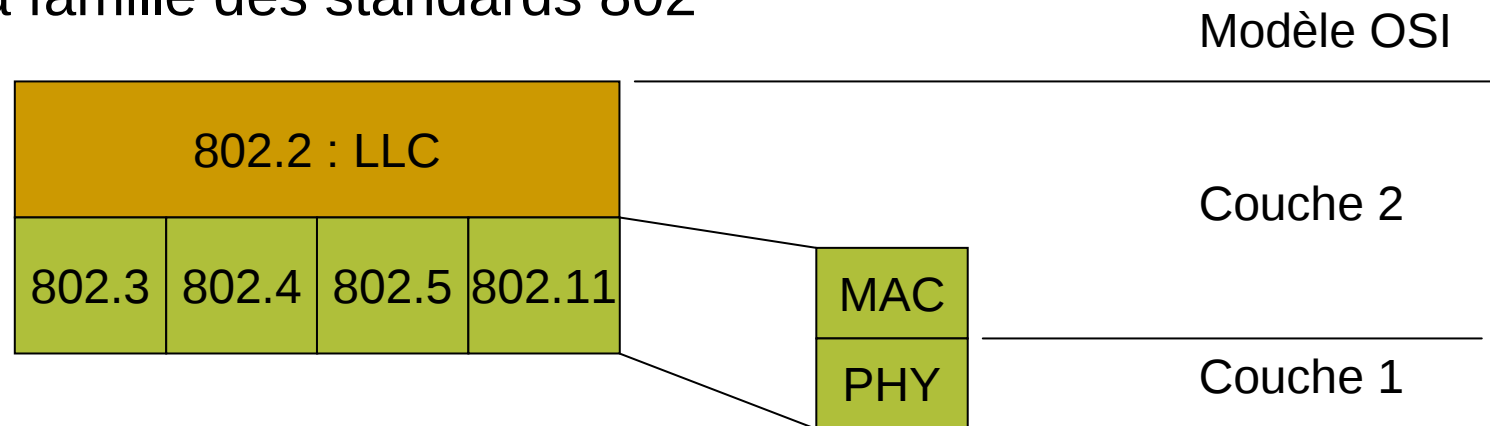
I-1. La norme 802

- ❑ IEEE : Institute for Electrical and Electronic Engineer (ieee.org)
 - ❑ Organisation professionnelle non commerciale, fondée en 1884
➔ maîtriser les technologies de l'électricité
 - ❑ Sponsorise, organise des conférences, des journaux et le développement de standards
 - ❑ Exemple 802.3 (ethernet).
 - ❑ Fonctionne par « working group » pour le développement de standards
- <http://grouper.ieee.org/groups/index.html>

- ❑ Intérêt
 - Interopérabilité
 - Développement rapide de produits

I-1. La norme 802

□ La famille des standards 802



<http://grouper.ieee.org/groups/802/index.html>

□ 802.11 vs WiFi

- WiFi : alliance de constructeurs pour la réalisation d'équipement radio, exploitant la norme 802.11

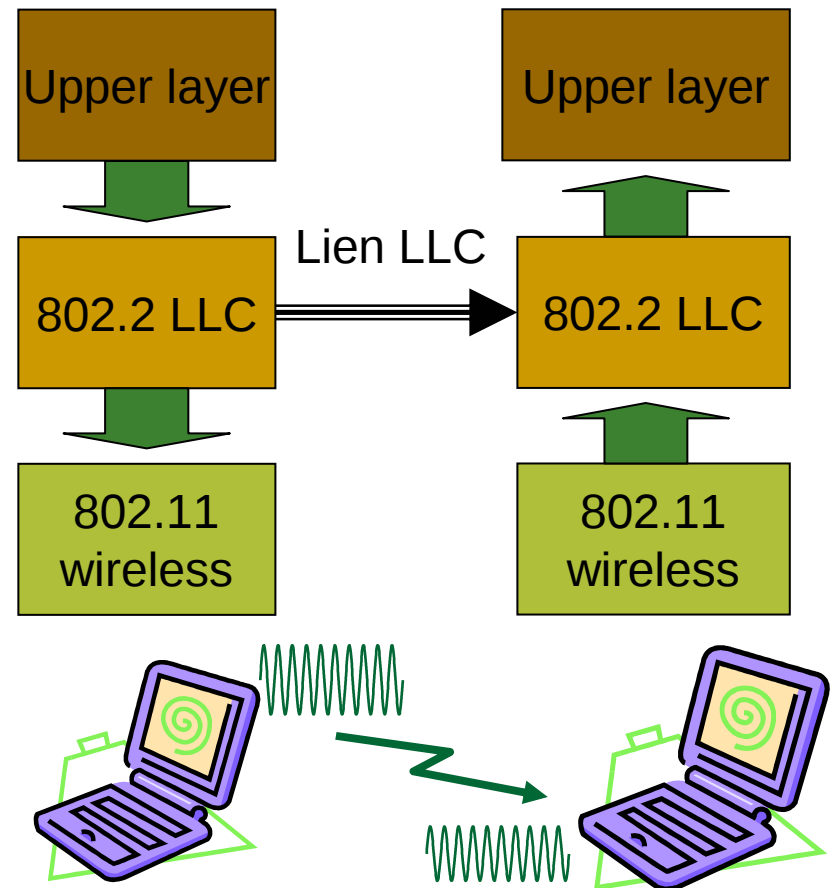
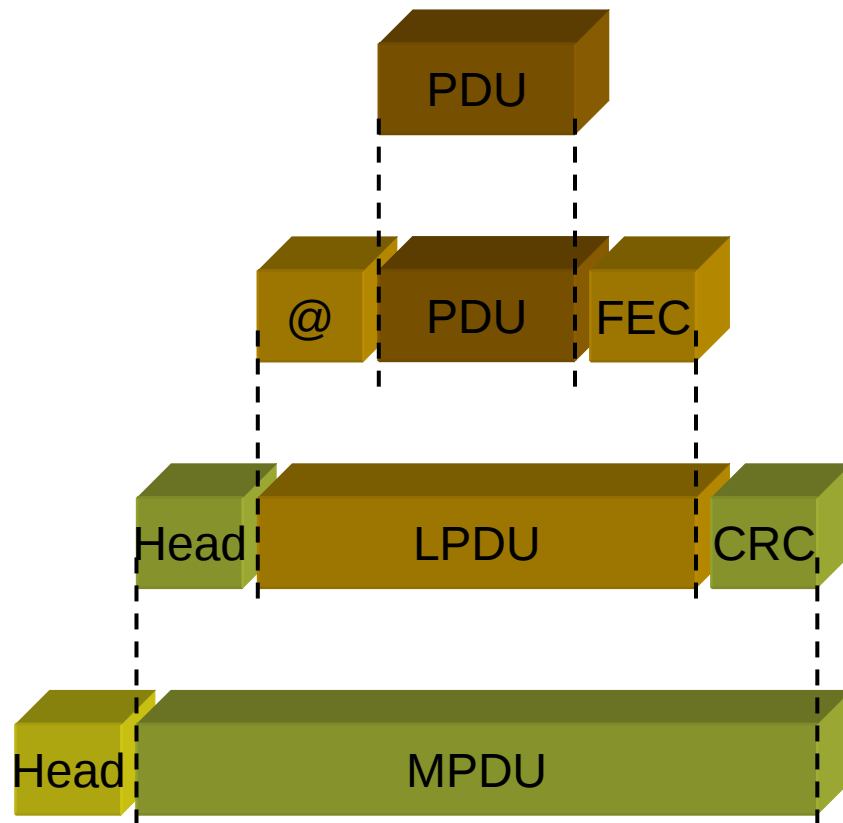
<http://www.wifialliance.com/>

I-2. la couche LLC

■ A) rappels

- ❑ Couche de plus haut niveau de 802
- ❑ Objectif : échange de données entre utilisateurs d'un LAN, à l'aide d'une couche MAC 802.
- ❑ Fourni des fonctions équivalentes à HDLC
- ❑ La couche supérieure (ex : TCP/IP) attend un service de transmission sans erreurs

I-2. la couche LLC



I-2. la couche LLC

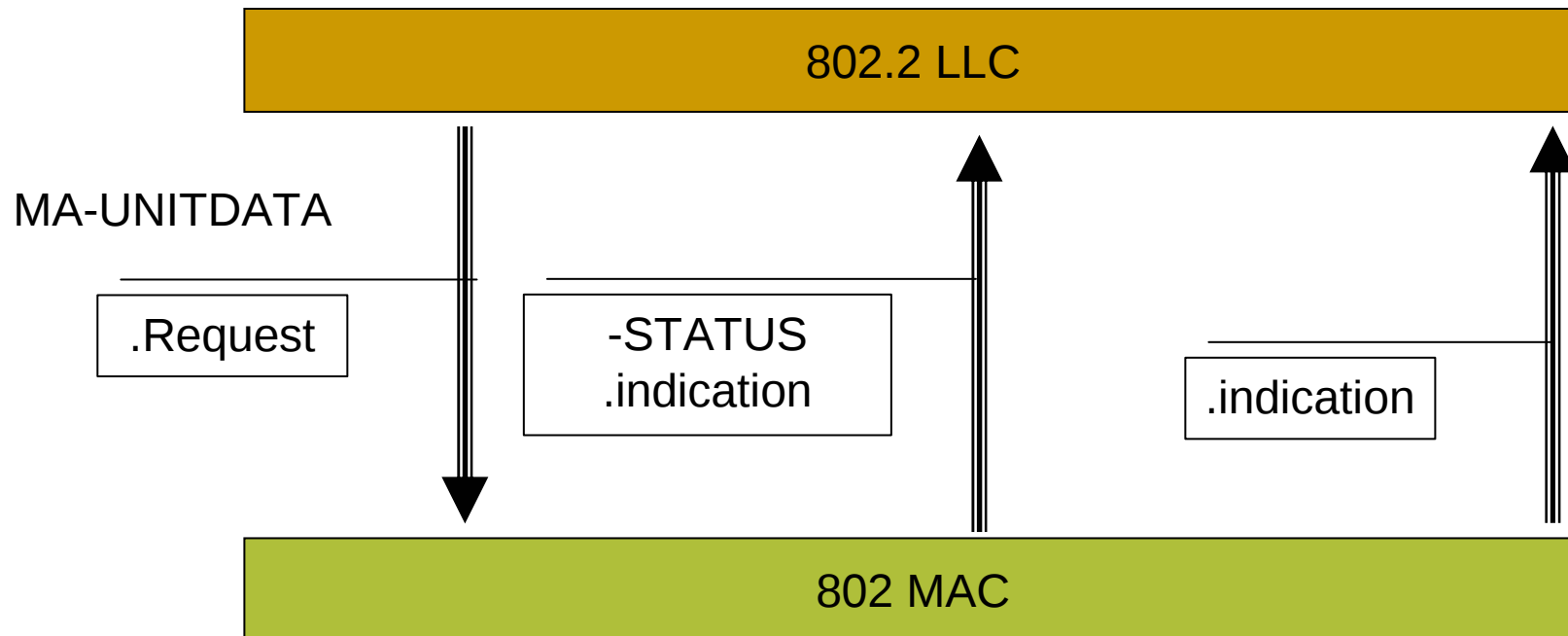
■ B) Les services LLC

- Fourni 3 types de services à un protocole de niveau 3 (network layer)
 - ❑ Service non connecté, non acquitté
 - ❑ Service non connecté acquitté
 - ❑ Service connecté
- Ils s'appliquent à une communication entre couches LLC distantes, avec un même format de LPDU



I-2. la couche LLC

■ C) Les primitives LLC/MAC



I-3. Introduction à 802.11

■ A) Objectifs

- « the scope of the proposed [wireless LAN] standard is to develop a specification for wireless connectivity for fixed, portable, and moving stations within a local area ».
- IEEE Standard for wireless LAN Medium Access (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications
- Fourni un service de transmission de MSDUs (MAC Service Data Units) entre couches LLC

I-3. Introduction à 802.11

- B) Les caractéristiques majeures de 802.11
 - Service de transmission à délai maîtrisé et synchrone
 - Continuité de service à travers un système de distribution de type Ethernet
 - Adaptation à plusieurs débits (1Mb/s → 54Mb/s → XX Mb/s)
 - Multicast
 - Services de gestion du réseau
 - Services d'authentification et d'enregistrement

I-3. Introduction à 802.11

- C) Spécificités de la radio
 - Gestion de la puissance
 - Économie d'énergie → mode « sleeping »
 - Bande passante
 - codage, compression, optimisation de l'utilisation de la bande passante
 - Sécurité
 - 'radio is everywhere'. Lien avec le groupe 802.10
 - Adressage
 - topologie dynamique → mobile IP

I-3. Introduction à 802.11

■ D) Historique

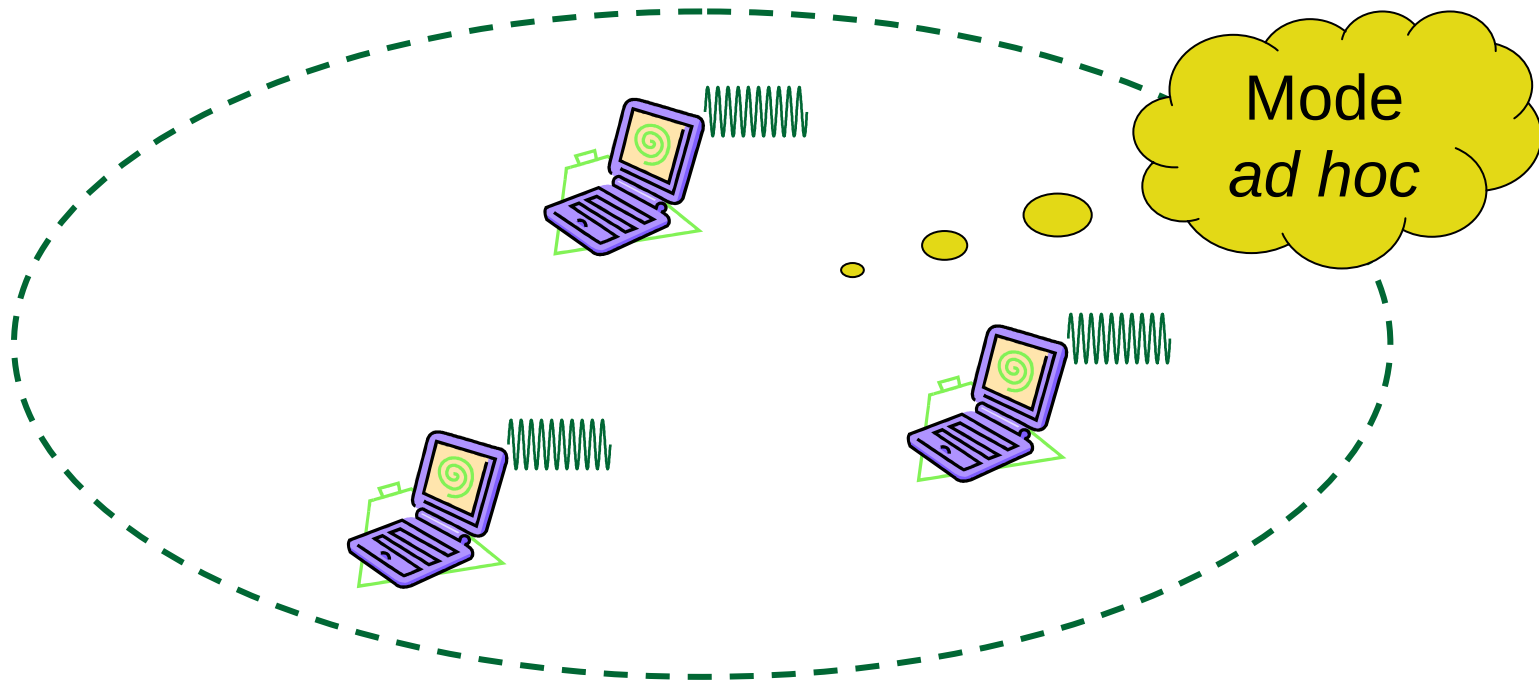
- *Version initiale (1997)*
 - *Couches physique radio et infrarouge*
 - *Débit allant jusqu'à 2 Mbit/s en radio*
 - *Bande de fréquence de 900 MHz*
 - *De nombreuses extensions ont été publiées depuis*
- *802.11 (v. 1999) : bande ISM de 2.4 GHz*
 - *FHSS : Débits allant jusqu'à 2 Mbit/s*
 - *DSSS : Une meilleur couverture à 1Mbit/s et 2Mbit/s*
- *802.11b (1999) : étalement de spectre par codage CCK*
 - *permet des débits de 5.5 et 11 Mbit/s*
- *802.11a (1999) : bande des 5GHz / OFDM*
 - *Augmentation du débit, jusqu'à 54Mbit/s*

I-3. Introduction à 802.11

- D) Historique (continued)
 - 802.11g : OFDM
 - *Déportation de la norme 802.11a dans la bande 2.4Ghz*
 - *Attention compatibilité ascendante 802.11b.*
 - 802.11e : QoS
 - *Différentiation pour les flux temps réel (vidéo, voix)*
 - 802.11h : gestion de la puissance / des canaux
 - *dans la bande des 5 GHz intérieur/extérieur des bâtiment.*
 - 802.11i : sécurité / Authentification
 - 802.11n : Techniques MIMO
 - *très haut débit*
 - *Prévu pour mars 2007*
 - *Il existe déjà des versions propriétaires*

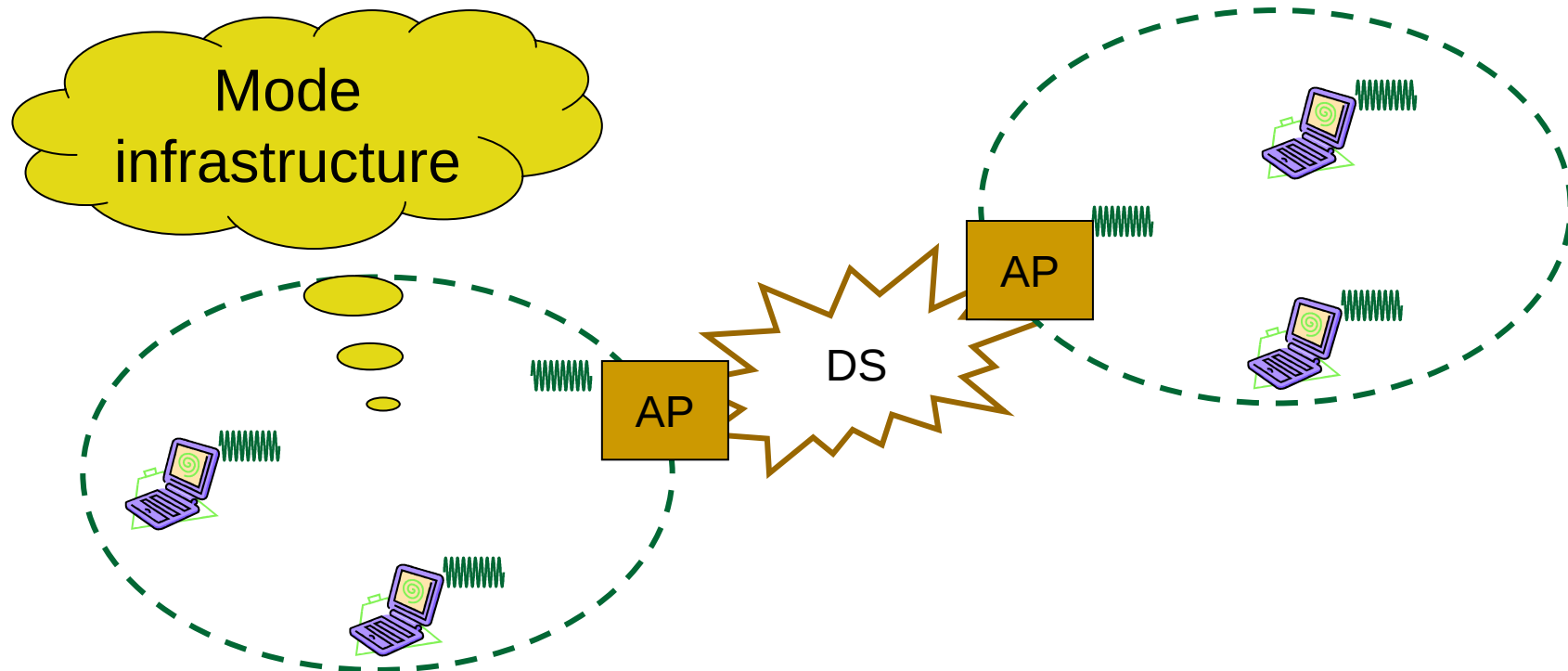
I-3. Introduction à 802.11

- E) Topologies 802.11
 - IBSS (Independent Basic Service Set)



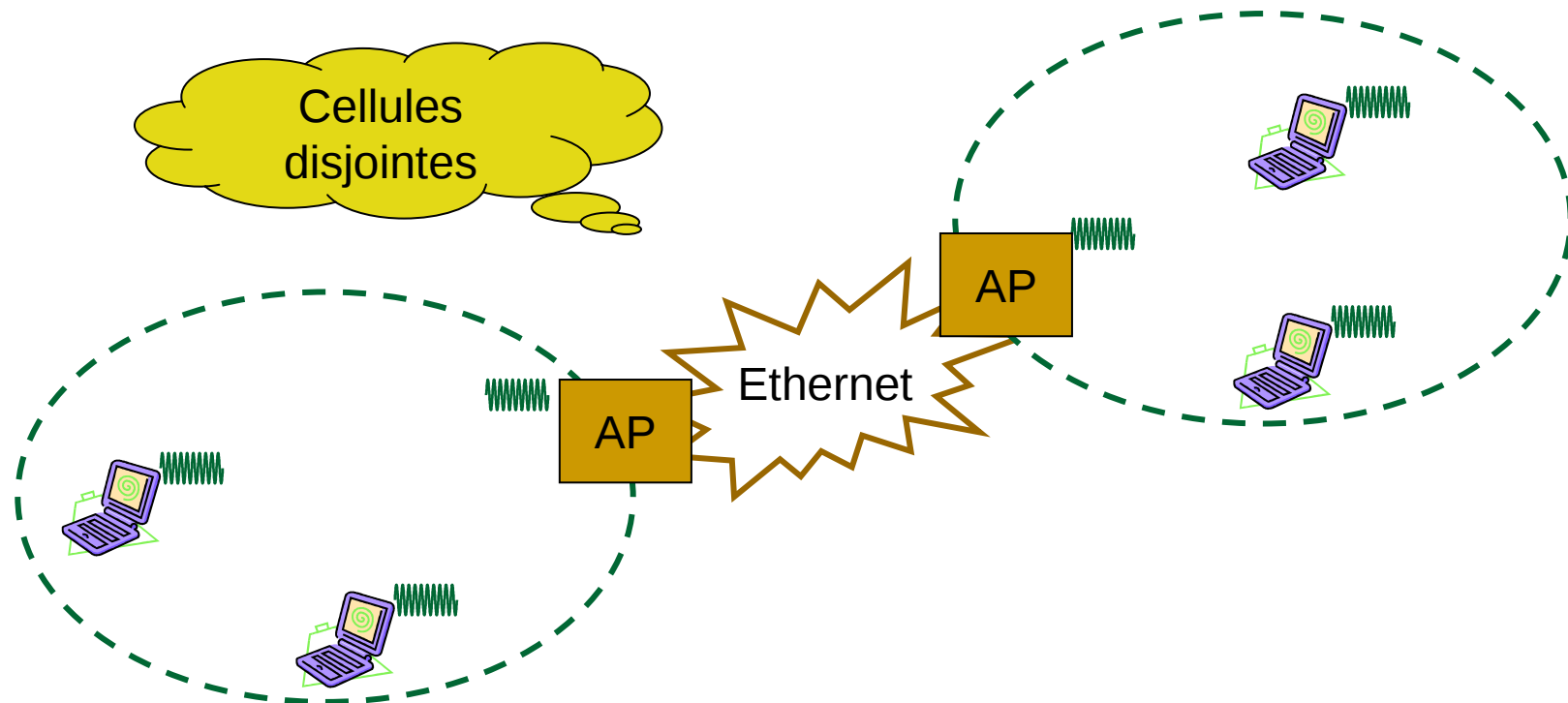
I-3. Introduction à 802.11

- E) Topologies 802.11
 - ESS (Extended Service Set)



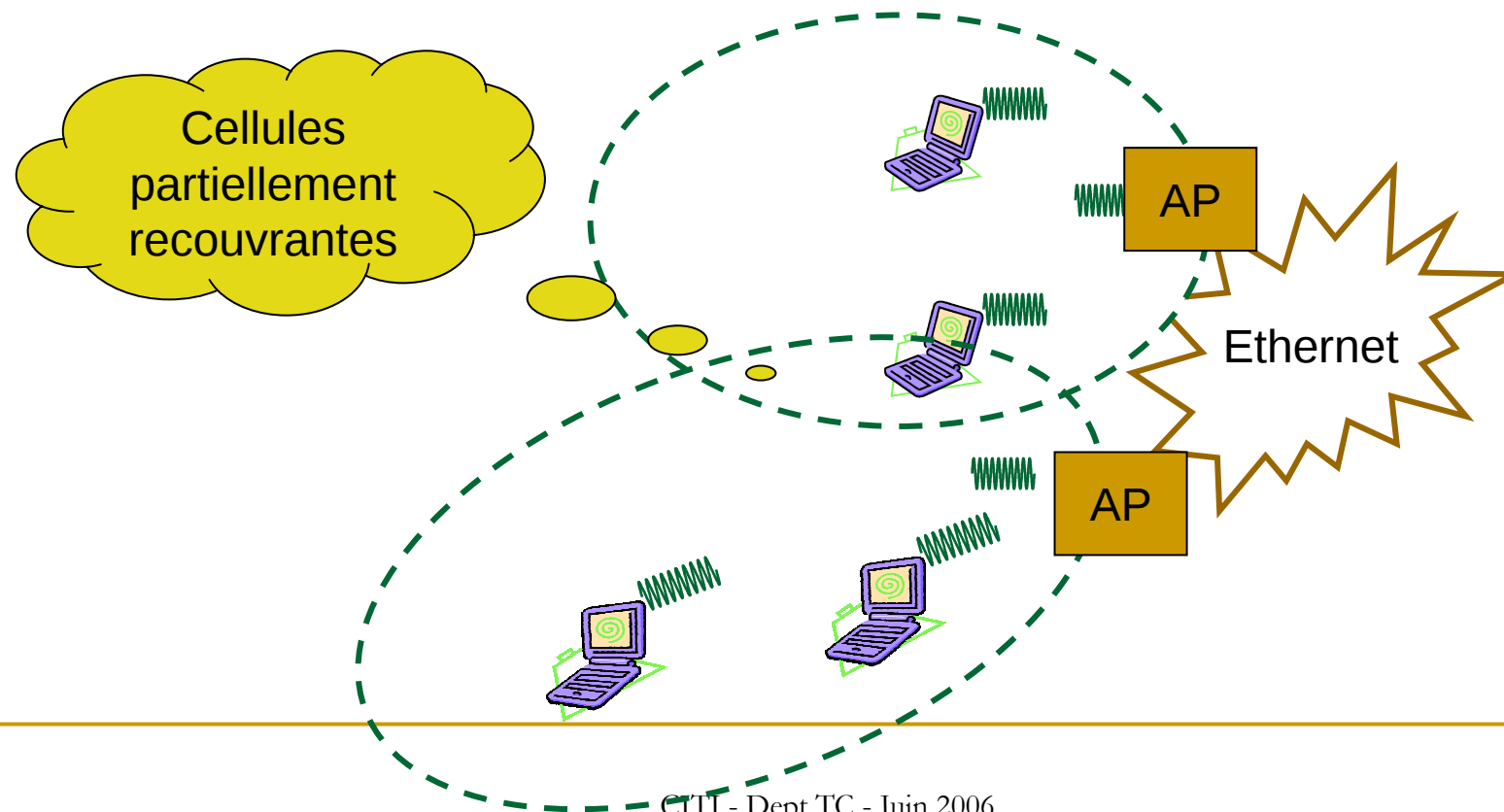
I-3. Introduction à 802.11

- E) Topologies 802.11
 - ESS : types de cellules supportées



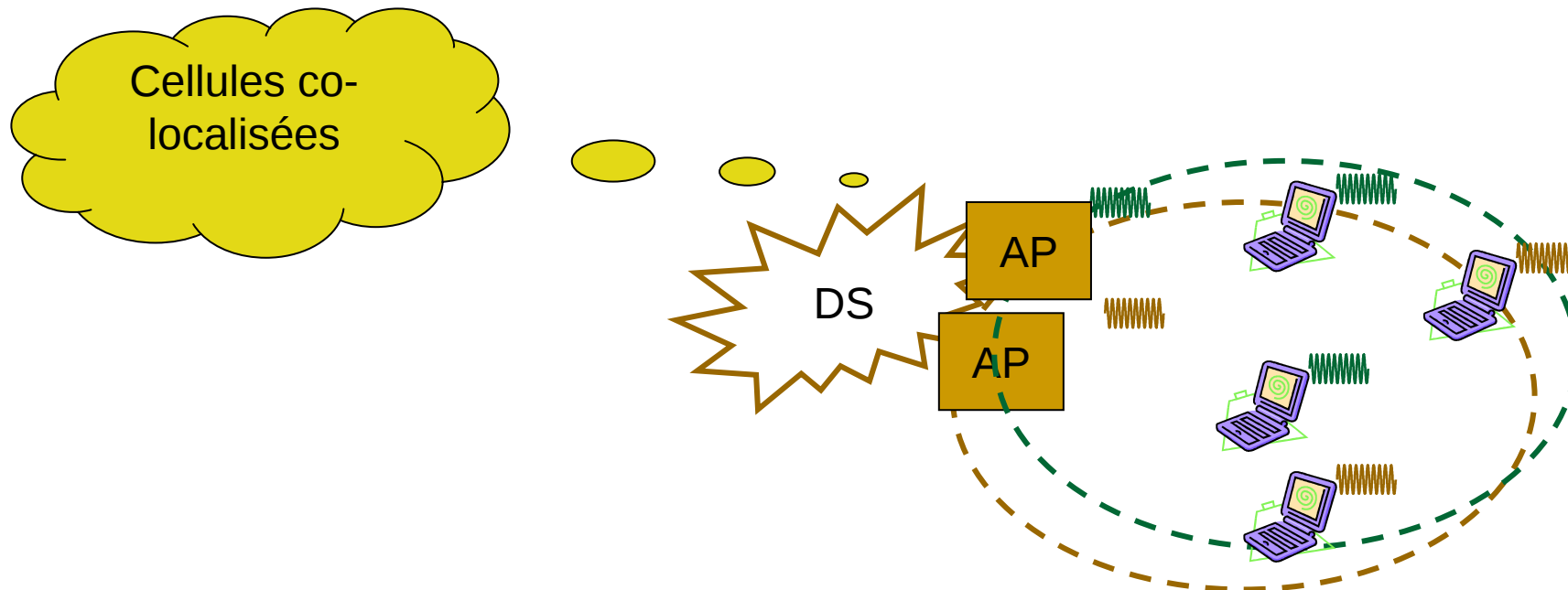
I-3. Introduction à 802.11

- E) Topologies 802.11
 - ESS : types de cellules supportées



I-3. Introduction à 802.11

- E) Topologies 802.11
 - ESS : types de cellules supportées



I-3. Introduction à 802.11

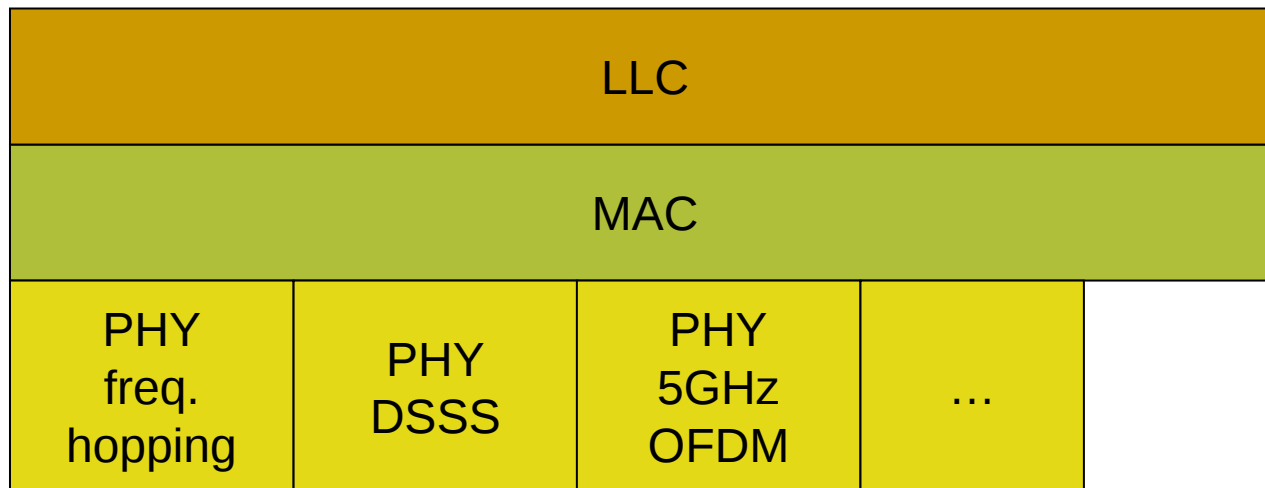
■ E) Topologies 802.11

□ Mobilité

- Intra BSS → fixe
- Inter BSS / intra ESS → géré par 802.11
- Inter ESS → à gérer par les couches supérieures (mobile IP?)

I-3. Introduction à 802.11

■ F) Architecture logique



I-3. Introduction à 802.11

■ F) Architecture logique

□ Couche MAC

- Fonctions de contrôle d'accès à un medium partagé, en support à la couche LLC
- Effectue l'adressage et la reconnaissance des trames
- Utiliser CSMA/CA (au lieu de CSMA/CD)
- Optimiser le partage du canal : équité / collisions

L'état du canal est différent pour chaque terminal
associé au même canal
Il n'existe pas un état unique du canal

Première partie : la norme WiFi

■ I. Overview norme WiFi

- ❑ la norme 802
- ❑ la couche LLC
- ❑ Introduction à 802.11

■ II. La couche MAC

- ❑ Modes d'accès
- ❑ L'accès en mode DCF
- ❑ Les services
- ❑ Les trames

■ III. La couche PHY

- ❑ L'architecture
- ❑ Les différents modes : direct, FHSS, DSSS, OFDM

II. La couche MAC

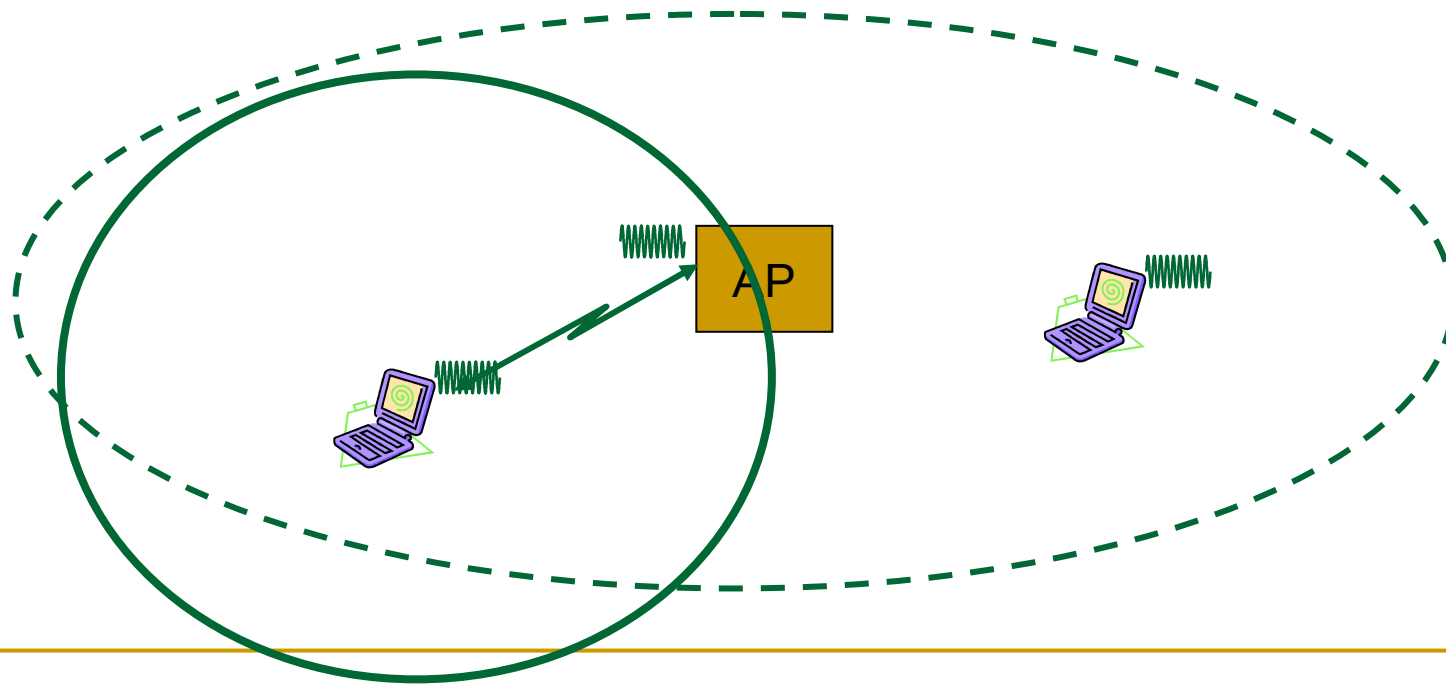
- Son rôle
 - ❑ Fournir l'accès au medium physique
 - ❑ Permettre de s'associer à un réseau
 - ❑ Fournir les services d'authentification et de confidentialité

II-1. Les modes d'accès

- L'accès au medium
 - ❑ Le comportement radio rend difficile l'accès au medium.
 - ❑ La détection de collisions est impossible.
 - ❑ La notion de medium occupé n'est pas facile à définir.
 - ❑ Le canal est partagé entre tous les équipements du sous-réseau et entre plusieurs sous-réseaux.

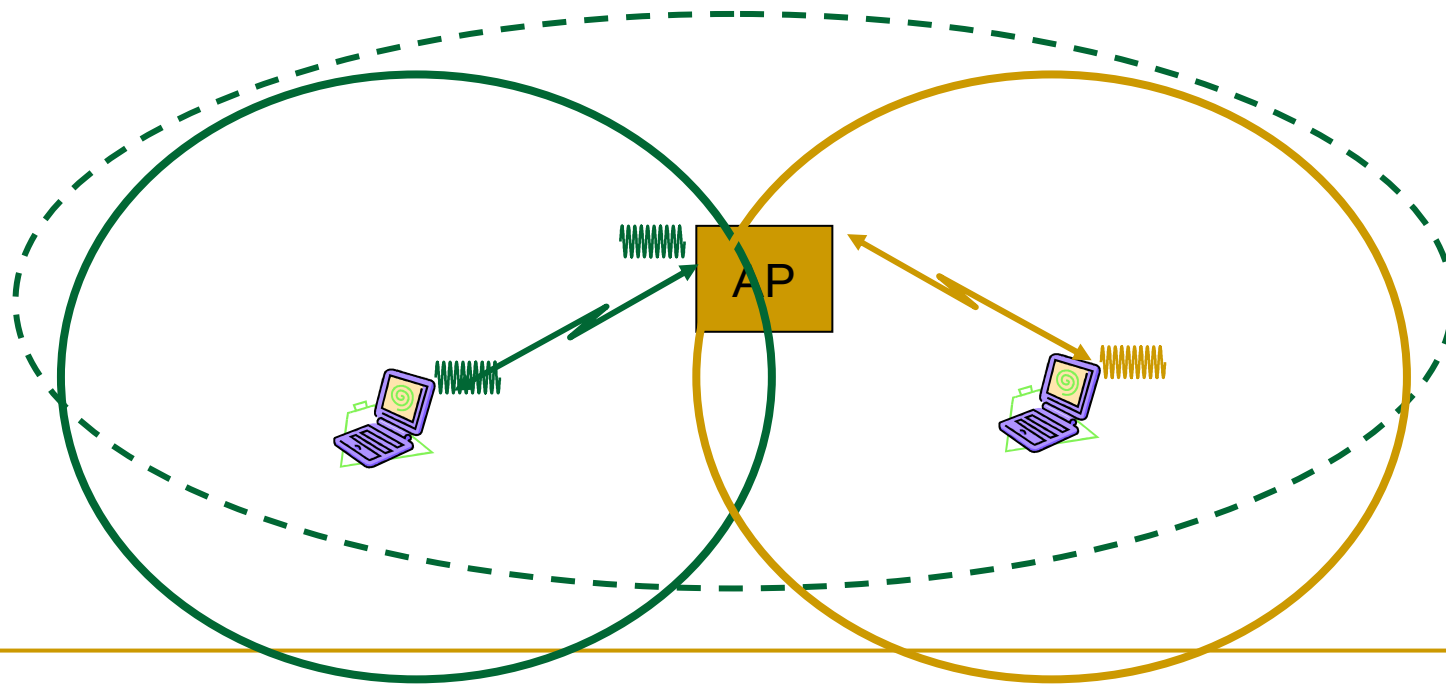
II-1. Les modes d'accès

- Mode DCF (Distributed Coordination Function)
 - Protocole de contention → CSMA/CA



II-1. Les modes d'accès

- Mode PCF (Point Coordination Function)
 - Accès coordonné par le coordinateur (AP)



II-2. Le CSMA/CA

■ A) principe

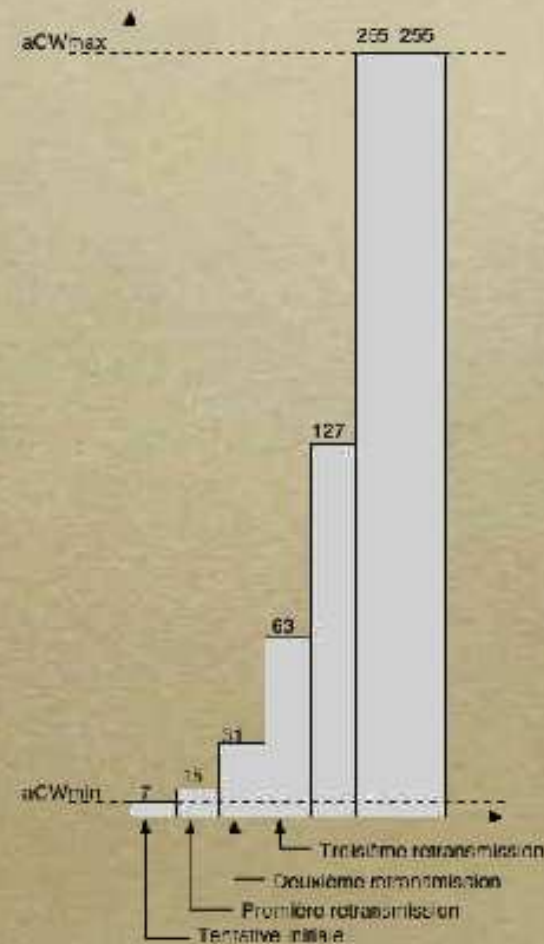
- ❑ Le CSMA/CA est utilisé en mode DCF
- ❑ Basé sur l'écoute du medium
- ❑ Gestion des priorités par le temps d'attente après libération de canal : IFS (InterFrame Space)



- ❑ Les collisions sont limitées par l'utilisation d'un backoff

II-2. Le CSMA/CA

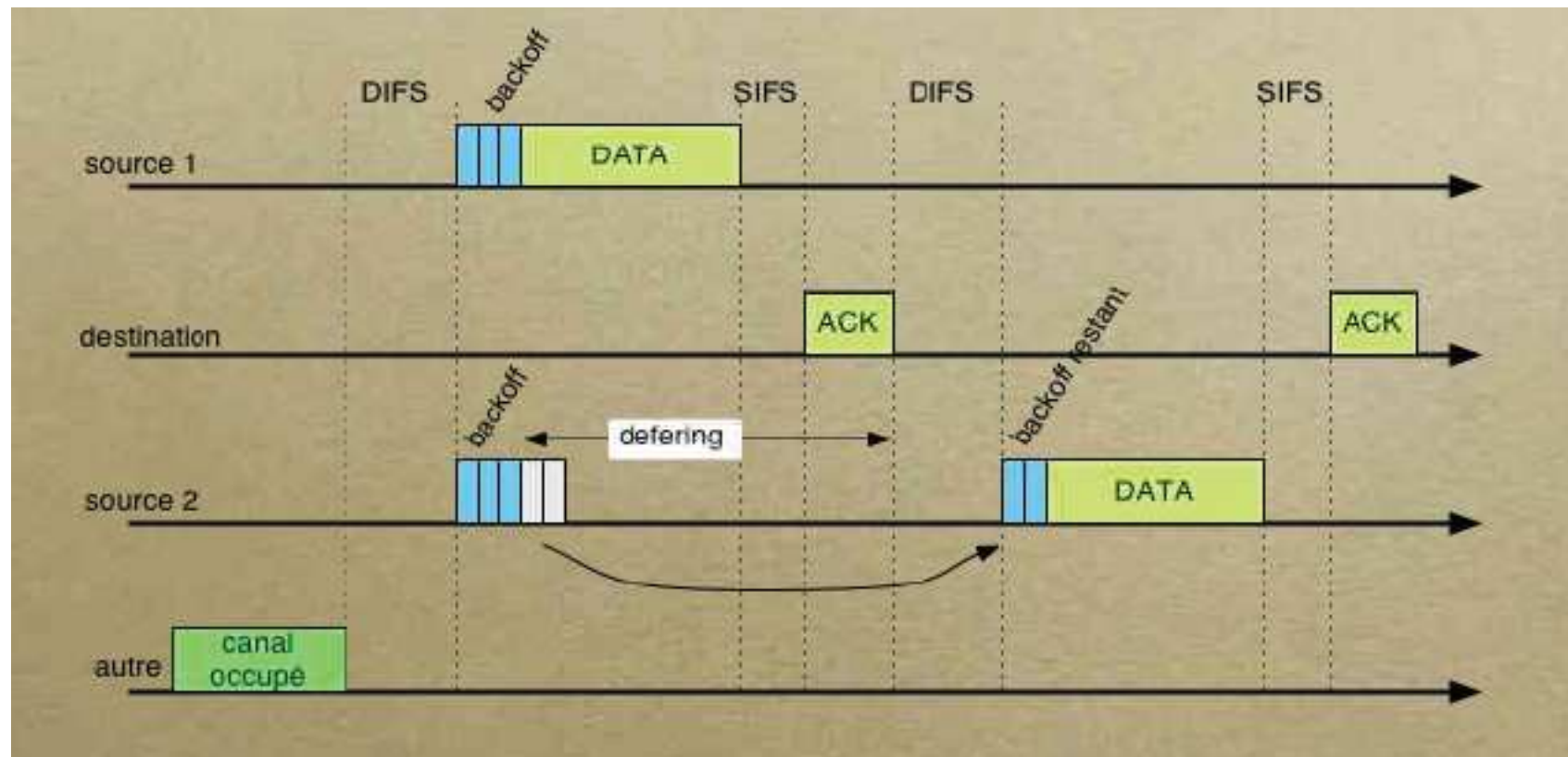
- “time slots” de $20 \mu s$
- “Backoff exponentiel”
- En cas d'échec (non réception de l'ACK), la taille de la fenêtre dans laquelle on tire le backoff double
- Ré-initialisation de la borne supérieure à chaque fois qu'un paquet a été transmis correctement
- Taille minimale de la fenêtre de contention : 32 time slots



76

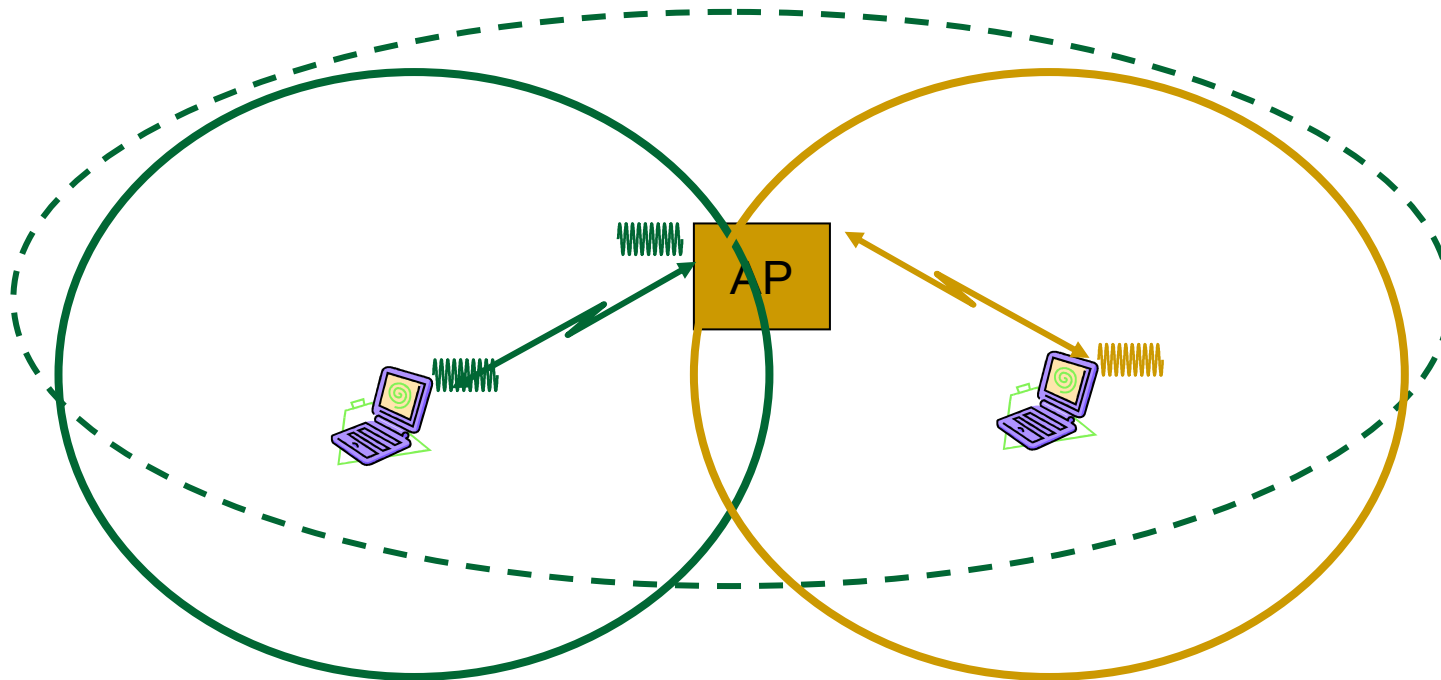
II-2. Le CSMA/CA

■ B) Exemple d'accès avec IFS et backoff



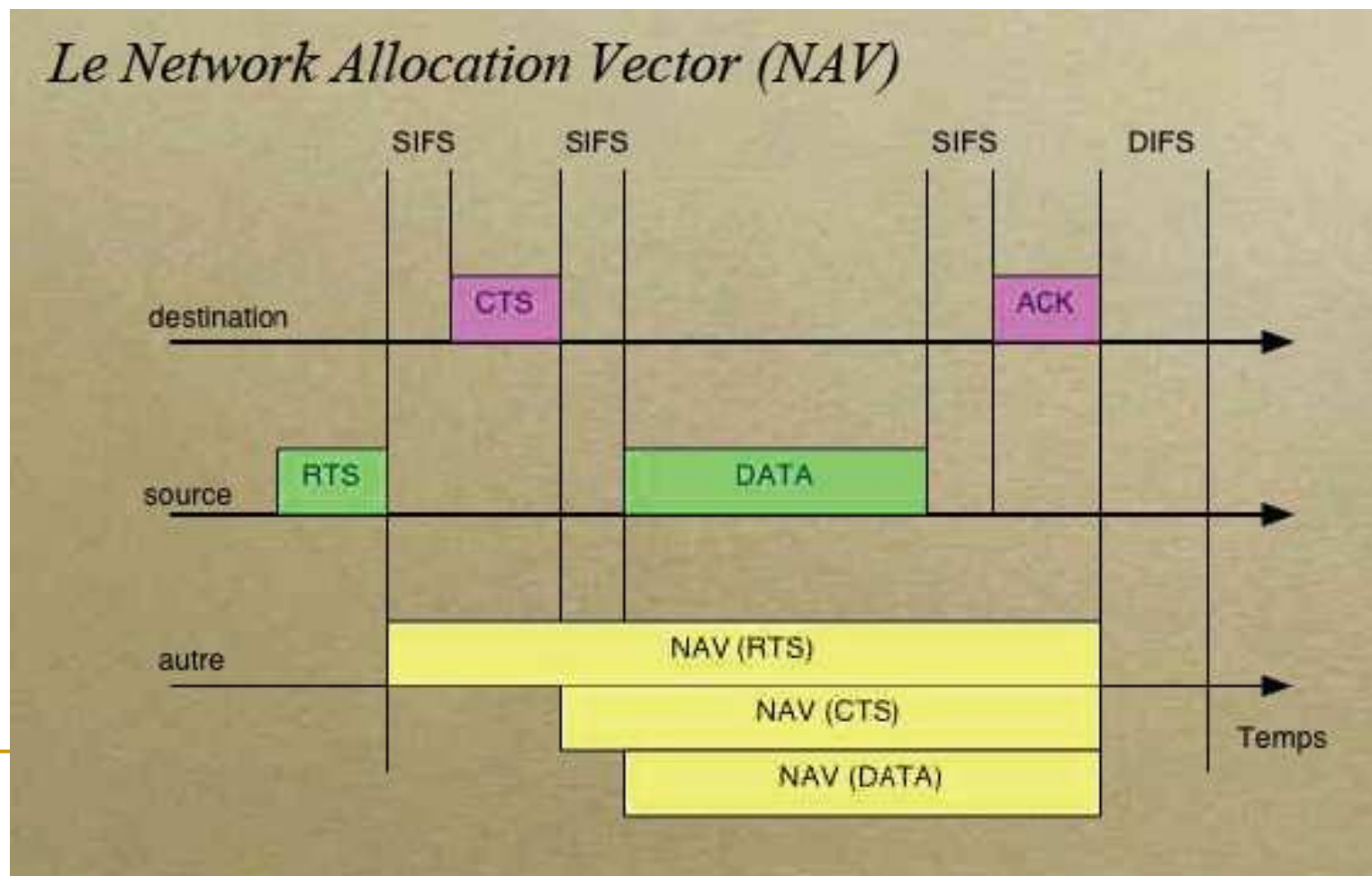
II-2. Le CSMA/CA

- C) Problème des nœuds cachés → collision



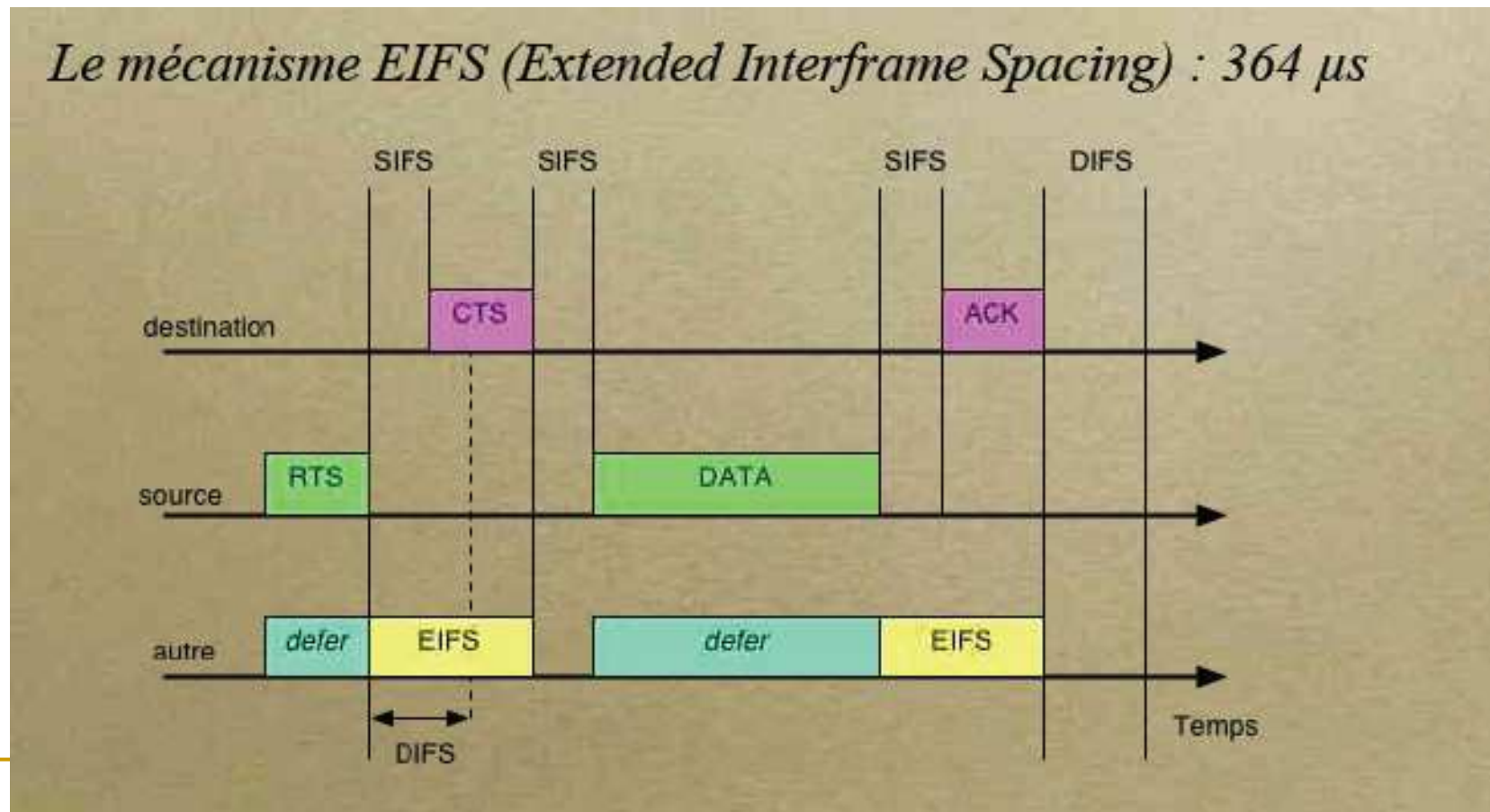
II-2. Le CSMA/CA

- D) Mécanisme RCS/CTS avec NAV



II-2. Le CSMA/CA

■ E) Mécanisme RCS/CTS avec EIFS



II-3. Association

- Initialisation/Accès au réseau
 - Allumer station → phase de découverte
 - Découvrir l'AP et/ou les autres stations
 - Écoute passive vs active

□ Ecoute passive	Ecoute active
Réception d'une trame balise (Beacon)	envoi d'une requête d'association (Probe Request Frame) Attend la réponse des autres APs

- Présence détectée → rejoindre le réseau
 - Récupère les paramètres (SSID & autres)
 - Synchronisation
 - Récupération des paramètres de PHY

II-3. Association

■ Format des beacon

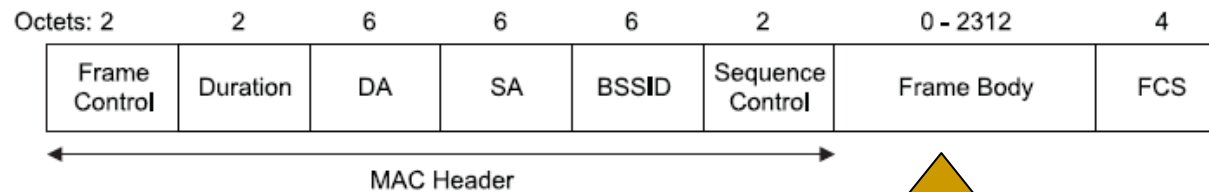
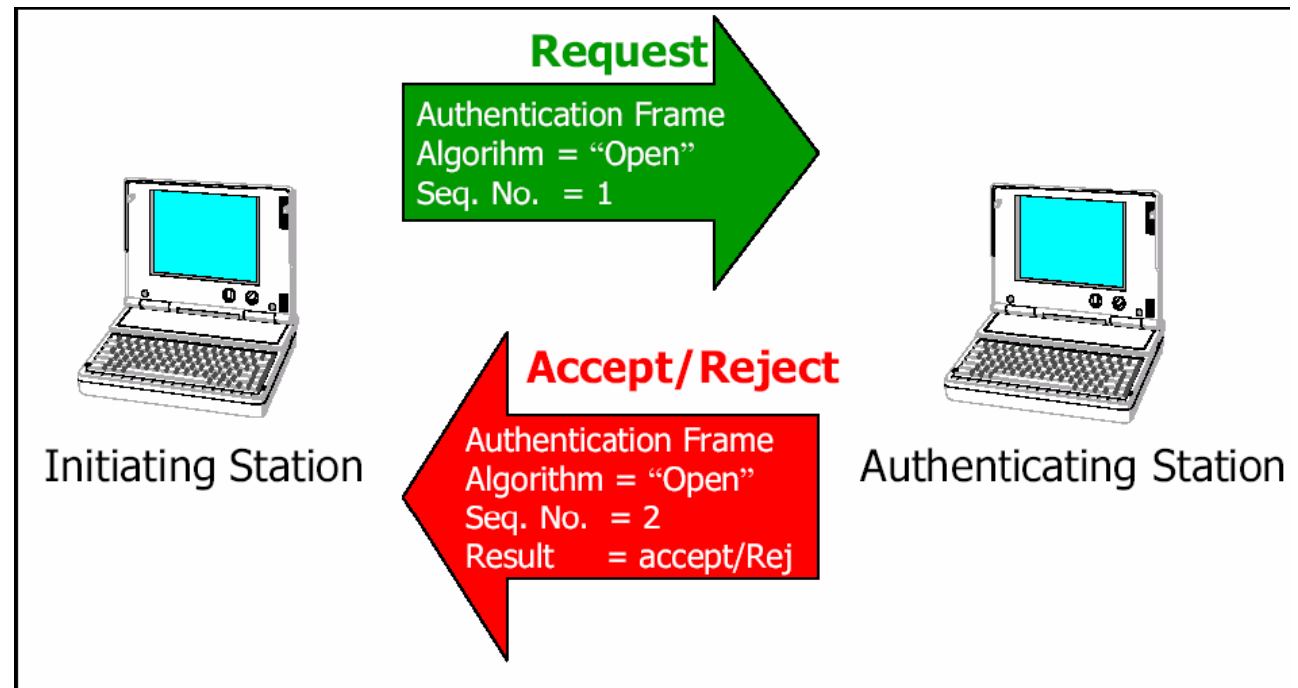


Table 5—Beacon frame body

Order	Information	Notes
1	Timestamp	
2	Beacon interval	
3	Capability information	
4	SSID	
5	Supported rates	
6	FH Parameter Set	The FH Parameter Set information element is present within Beacon frames generated by STAs using frequency-hopping PHYs.
7	DS Parameter Set	The DS Parameter Set information element is present within Beacon frames generated by STAs using direct sequence PHYs.
8	CF Parameter Set	The CF Parameter Set information element is only present within Beacon frames generated by APs supporting a PCF.
9	IBSS Parameter Set	The IBSS Parameter Set information element is only present within Beacon frames generated by STAs in an IBSS.
10	TIM	The TIM information element is only present within Beacon frames generated by APs.

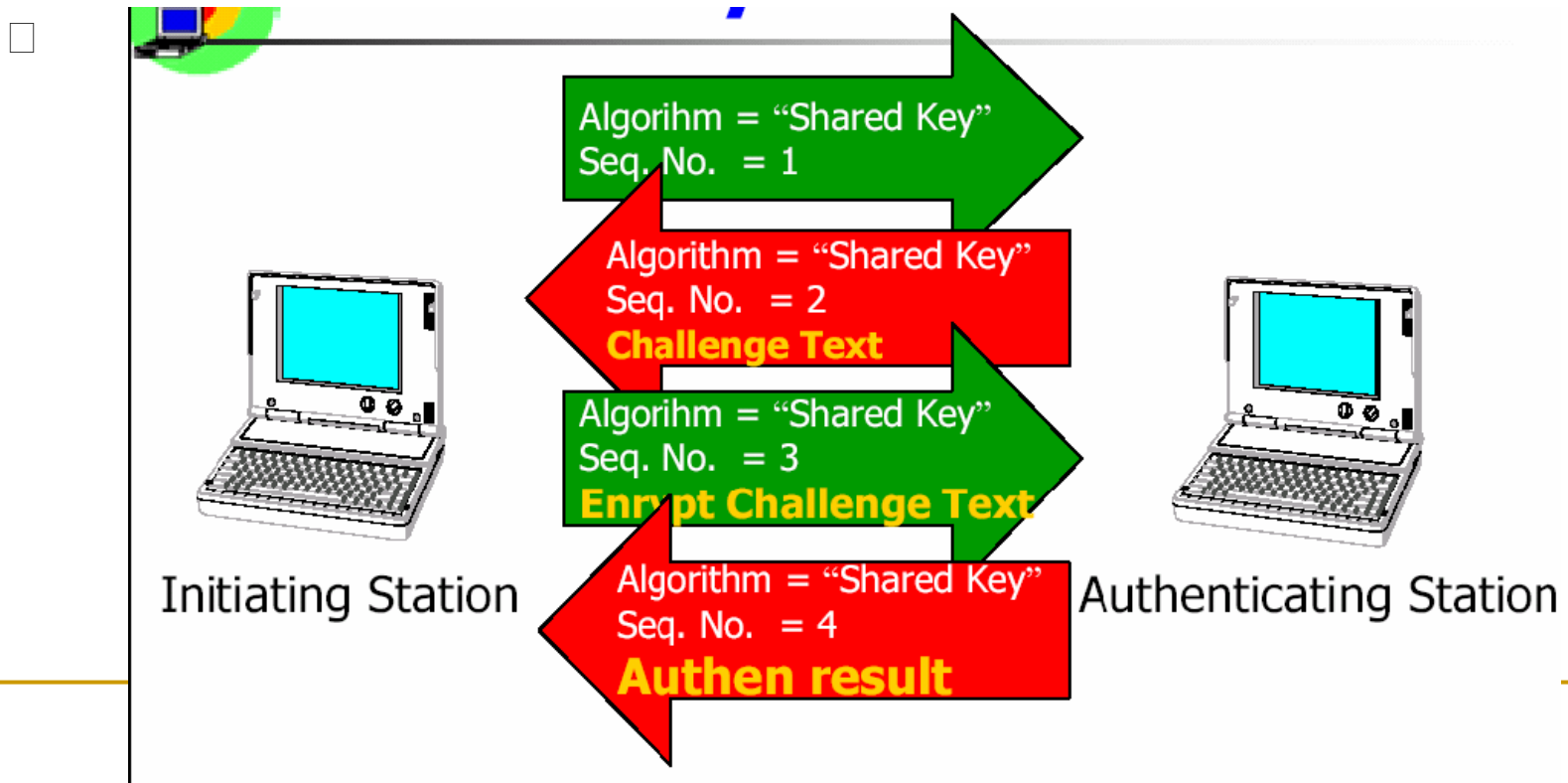
II-4. Authentication

- Se protéger contre les accès non autorisés
- Open system authentication
 - Mode par défaut



II-4. Authentication

- Shared key authentication
 - Plus haut degré de sécurité
 - Echange de trame plus rigoureux
 - Utilise le mécanisme WEP (Wired Equivalent Privacy)



II-4. Authentification

- Failles dans 802.11
 - Tous les mécanismes de sécurité peuvent être déjoués
-
- Solutions :
 - simples
 - WEP +
 - 802.1x avec EAP (Extended Authentication Protocol)
 - plus sophistiquées
 - 802.11i basée sur AES (Advanced Encryption Standard)

II-5. Fragmentation

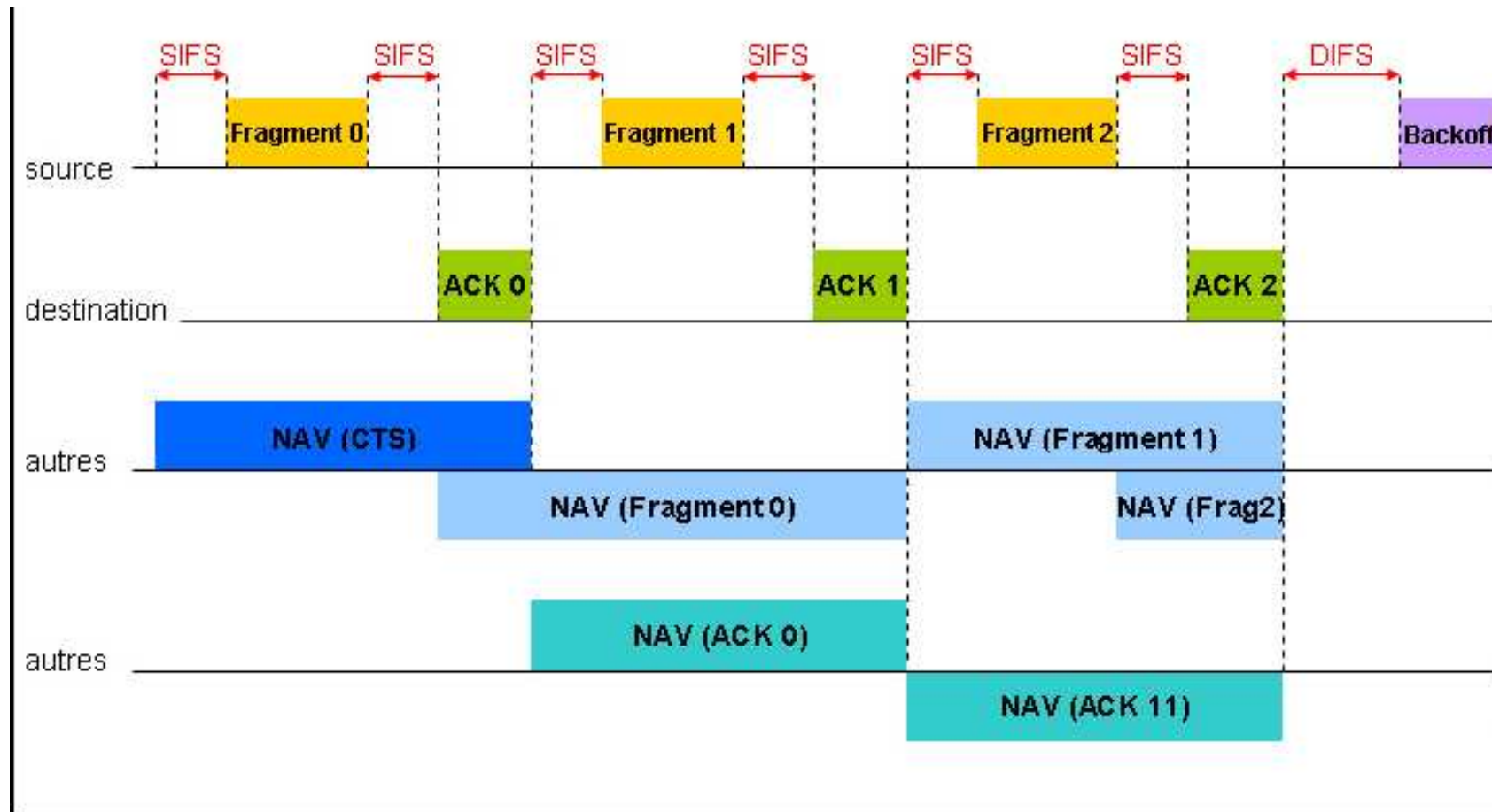
- But : diviser grandes trames en petits fragments
- Pourquoi :
 - Accroît la fiabilité de la transmission : réduit la quantité de données à retransmettre en cas d'erreur.
 - utilisée dans les liaisons radio, dans lesquelles le taux d'erreur est important
- Conséquence :
 - Augmente les performances globales du réseau

II-5. Fragmentation

- Comment :

- ❑ Pour savoir si une trame doit être fragmentée, on compare sa taille à un seuil, Fragmentation_Threshold
- ❑ Quand une trame est fragmentée, tous les fragments sont transmis de manière séquentielle
- ❑ Le support n'est libéré qu'une fois tous les fragments transmis avec succès
- ❑ Si un ACK n'est pas correctement reçu, la station arrête de transmettre et essaie d'accéder de nouveau au support et recommence à transmettre à partir du dernier fragment non acquitté
- ❑ Si les stations utilisent le mécanisme RTS / CTS, seul le premier fragment envoyé utilise les trames RTS / CTS

II-5. Fragmentation

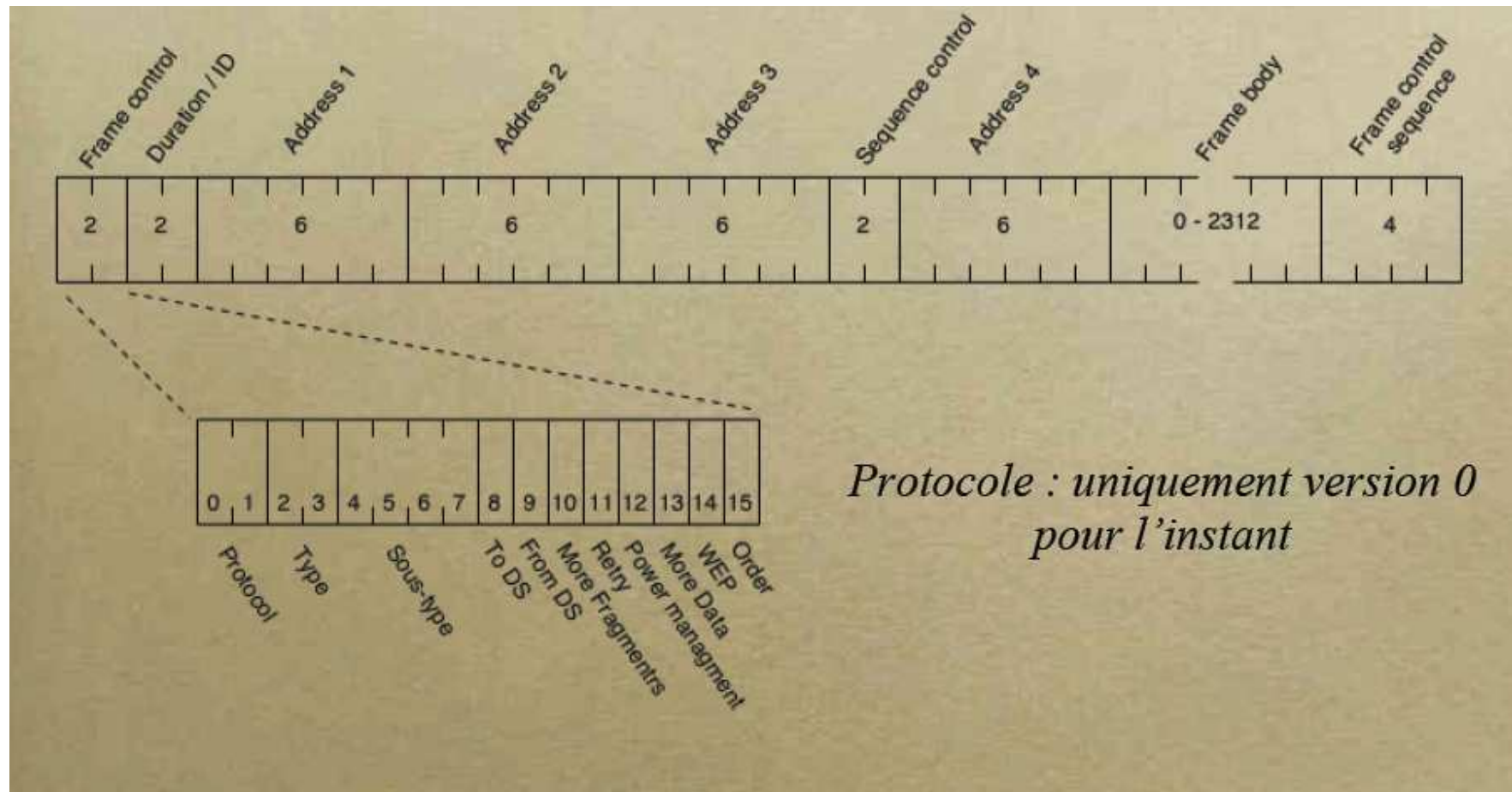


II-6. Economie d'énergie

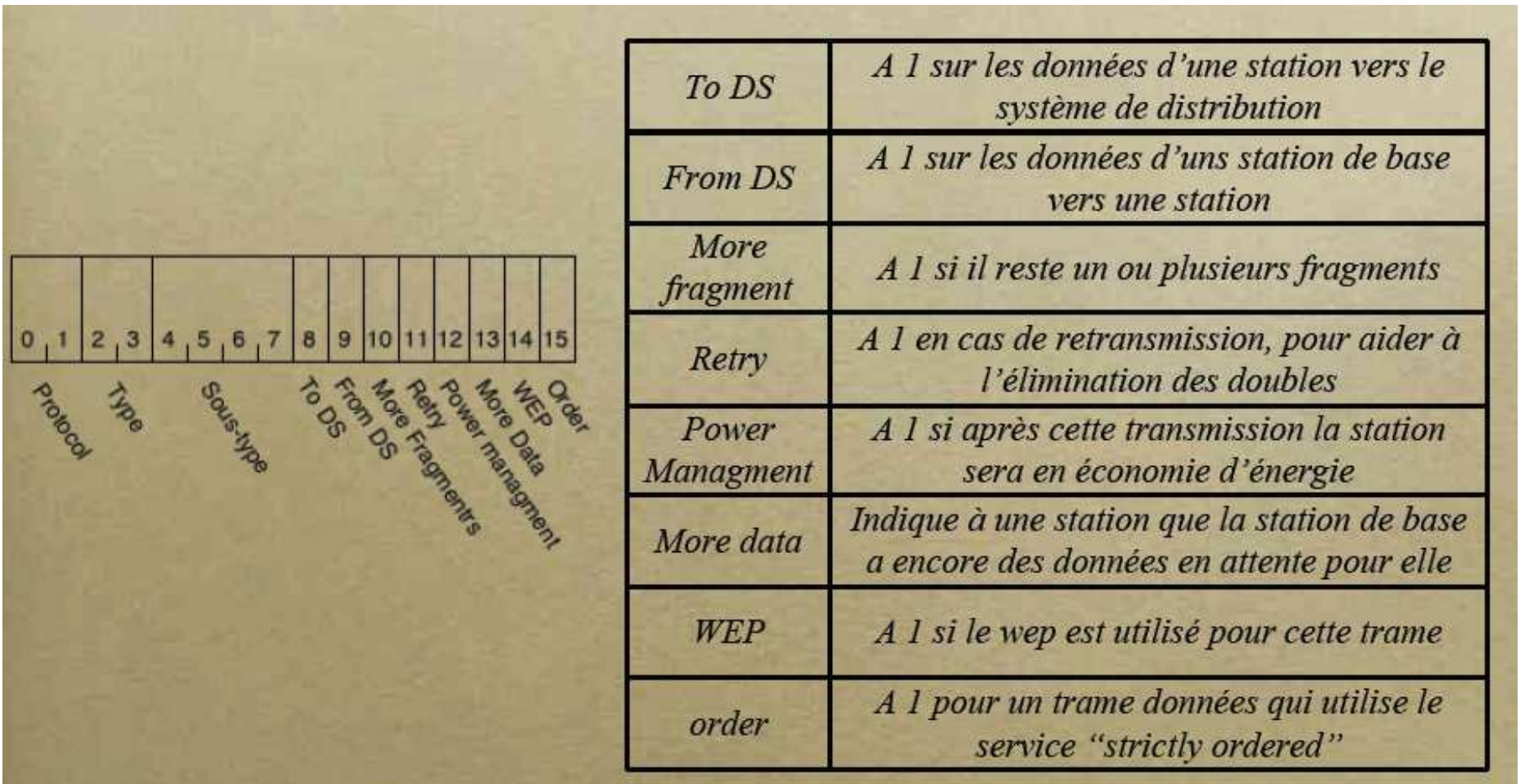
- But : gérer au mieux l'énergie
 - Pourquoi : faible autonomie de la batterie
- Comment : 2 modes de travail pour le terminal
 - Continuous Aware Mode
 - Fonctionnement par défaut
 - La station est tout le temps allumée et écoute constamment le support
 - Power Save Polling Mode : Géré par le point d'accès
 - L'AP tient à jour un enregistrement de toutes les stations qui sont en mode d'économie d'énergie
 - L'AP stocke toutes les données qui leur sont adressées.
 - Les stations en veille s'activent périodiquement pour recevoir une trame TIM (Traffic Information Map), envoyée par l'AP
 - Si l'AP possède des données destinées à la station, celle-ci envoie une requête à l'AP : Polling Request Frame
 - Entre les trames TIM, les terminaux retournent en mode veille

II-7. Structure des frames MAC

- Format général d'une frame MAC



II-7. Structure des trames MAC



Première partie : la norme WiFi

■ I. Overview norme WiFi

- ❑ la norme 802
- ❑ la couche LLC
- ❑ Introduction à 802.11

■ II. La couche MAC

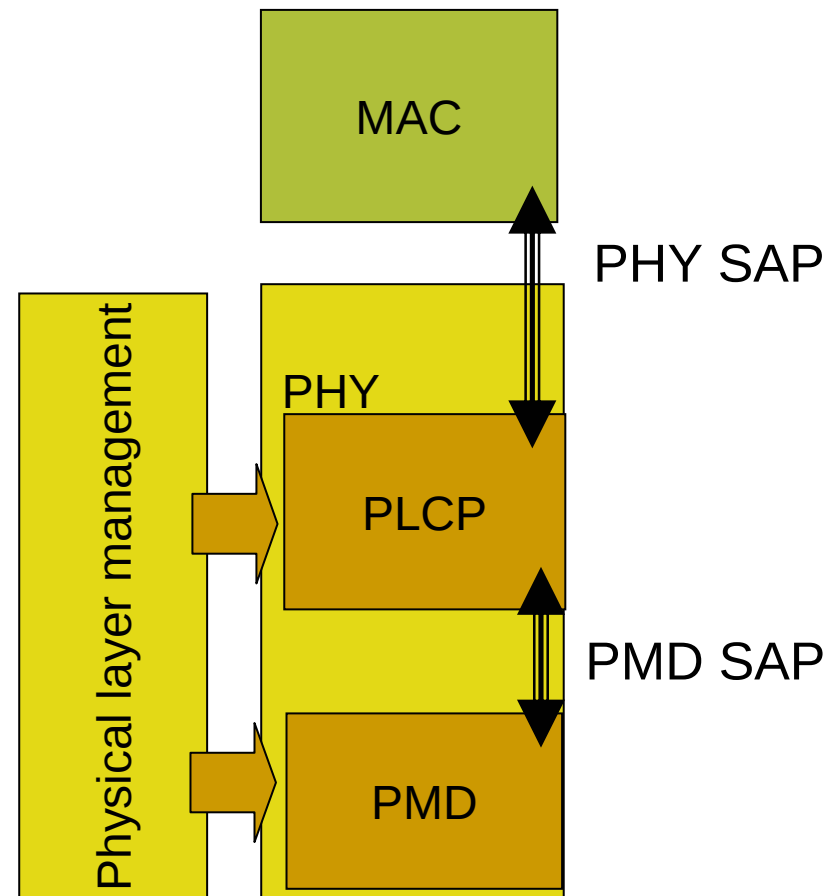
- ❑ Modes d'accès
- ❑ L'accès en mode DCF
- ❑ Les services
- ❑ Les trames

■ **III. La couche PHY**

- ❑ **L'architecture**
- ❑ **Les différentes modes : direct, FHSS, DSSS, OFDM**

III-1. Architecture de la couche physique

- A) Architecture logique
- 3 entités
 - Physical layer management
 - Travaille avec le MAC layer management
 - PLCP (Physical Layer Convergence Procedure)
 - Sous-couche communicant avec la MAC
 - PMD (Physical Medium Dependent)
 - Sous-couche qui interface directement le medium (air)

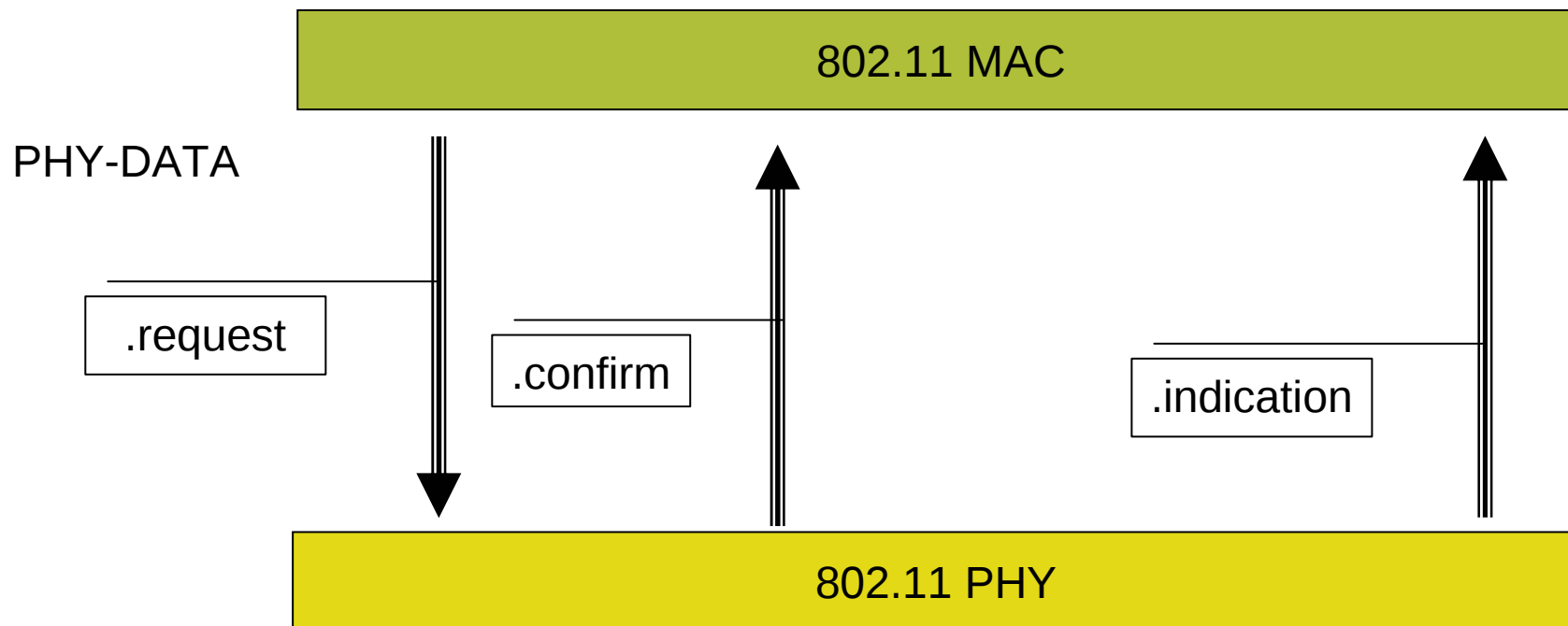


III-1. Architecture de la couche physique

- Couches physiques
 - ❑ Plusieurs couches physiques
 - ❑ La mise en œuvre des fonctions PLCP utilise une machine à état
 - ❑ 3 fonctions principales
 - Carrier Sense : donne l'état du medium
 - Transmit : envoie les octets d'un paquet de données
 - Receive : Reçoit les octets d'un paquet de données

III-1. Architecture de la couche physique

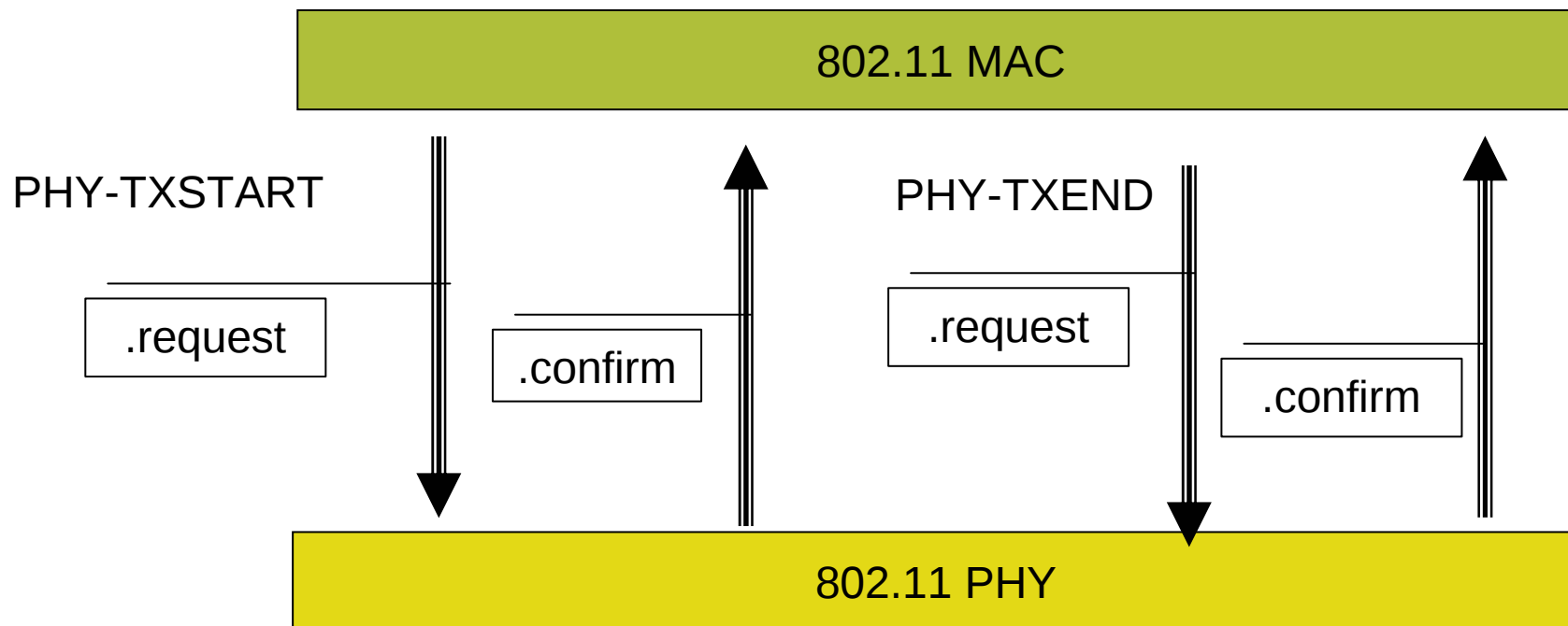
- B) Primitives PHY-SAP
 - transfert d'octets MAC $\Leftrightarrow$ PHY (PLCP)



III-1. Architecture de la couche physique

■ B) Primitives PHY-SAP

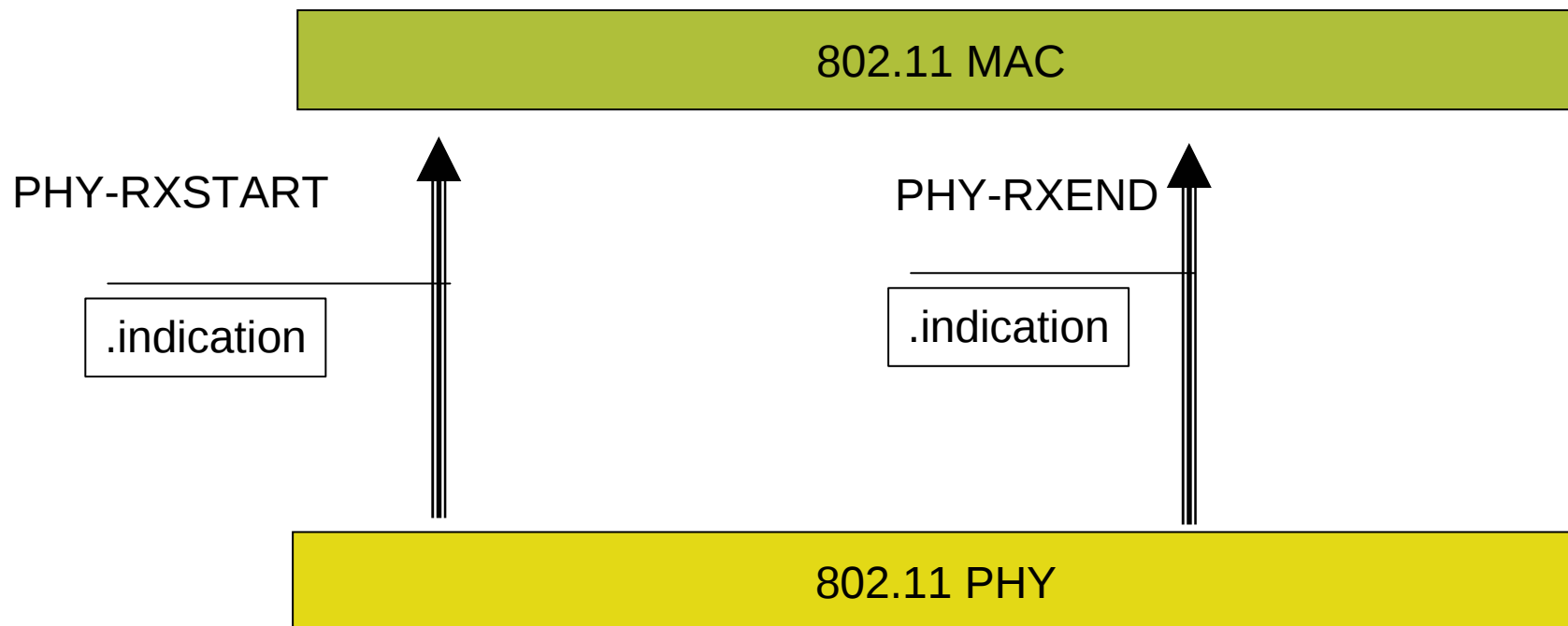
- requêtes d'émission MAC $\Leftrightarrow$ PHY (PLCP)



III-1. Architecture de la couche physique

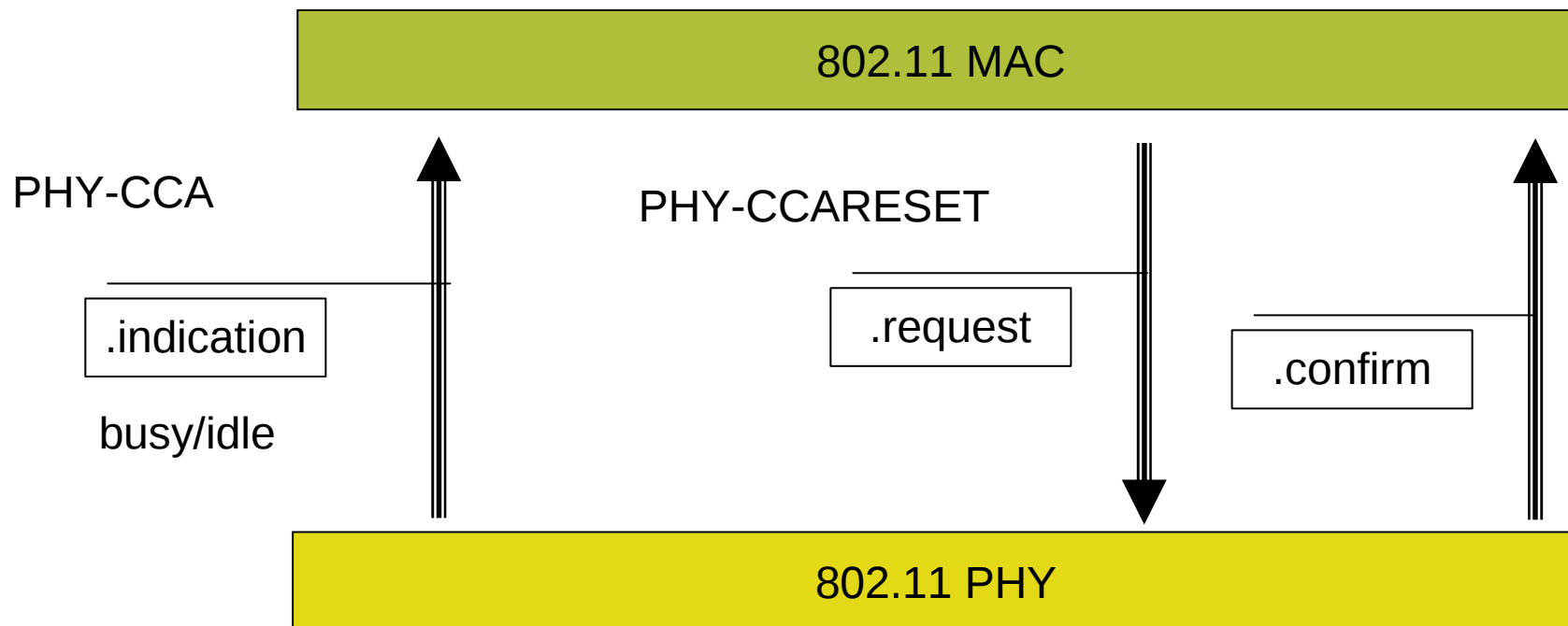
■ B) Primitives PHY-SAP

- requêtes de réception MAC $\Leftrightarrow$ PHY (PLCP)



III-1. Architecture de la couche physique

- B) Primitives PHY-SAP
 - Carrier sense MAC $\Leftrightarrow$ PHY (PLCP)



III-1. Architecture de la couche physique

■ C) fonctions de base

□ Détection de porteuse (Carrier sense)

- C'est le mode par défaut et permanent de la couche PHY
- Quand le medium devient occupé (busy), le PLCP tente de décoder le préambule pour se synchroniser et analyser le paquet.

■ Rem :En DSSS, 3 modes possibles effectués par la PHY-PMD

- Mode 1 : mesure d'énergie > seuil → primitive PMD_ED
- Mode 2 : Détection signal DSSS → primitive PMD_CS
- Mode 3 : Détection signal DSSS > seuil → PMD_CS et PMD_ED

III-1. Architecture de la couche physique

- C) fonctions de base

- Emission

- Le PLCP passe le PMD en mode transmission, après avoir reçu la primitive *PHY-TXSTART.request*
 - La couche MAC envoie les octets (0-4095), ainsi que l'instruction de débit
 - Le PMD doit répondre en envoyant le préambule du paquet sur l'antenne dans les 20ms.
 - Il émet le préambule et l'entête physique à 1Mb/s, puis le reste au débit spécifié

III-1. Architecture de la couche physique

- C) fonctions de base

- Réception

- Si le medium est détecté « busy »,
 - Si le préambule est correct
 - Si le header est sans erreur

- ➔ Indication de réception envoyée à la couche MAC

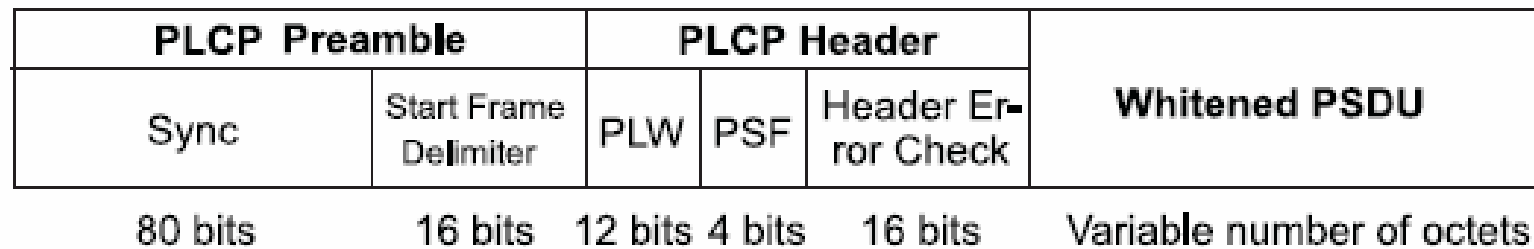
- La diversité est possible en scannant plusieurs antennes simultanément ➔ sensible à la première qui détecte du signal

III-1. Architecture de la couche physique

- D) Primitives PMD-SAP
 - ❑ Alors que les primitives PHY-SAP sont communes pour toutes les couches PHY 802.11,
 - ❑ Les primitives PMD-SAP sont spécifiques à chaque interface.

III-2. Le mode 802.11 : FH-SS

■ A) Format d'une trame physique

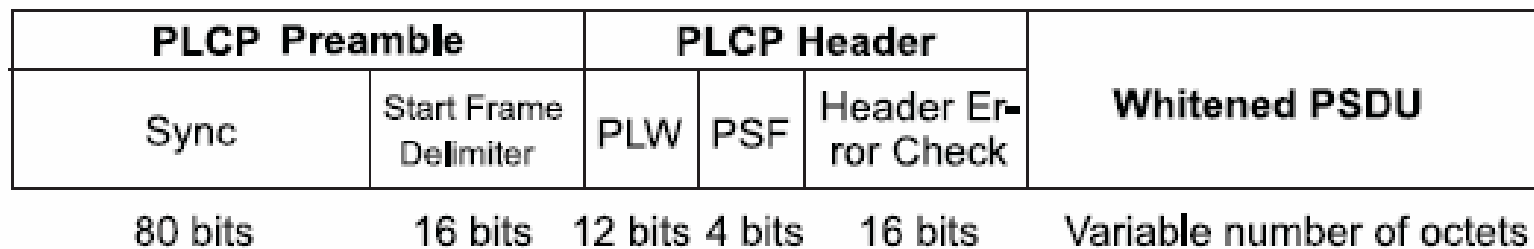


0000 1100 1011 1101

Séquence quelconque de 0 et de 1

III-2. Le mode 802.11 : FH-SS

■ A) Format d'une trame physique



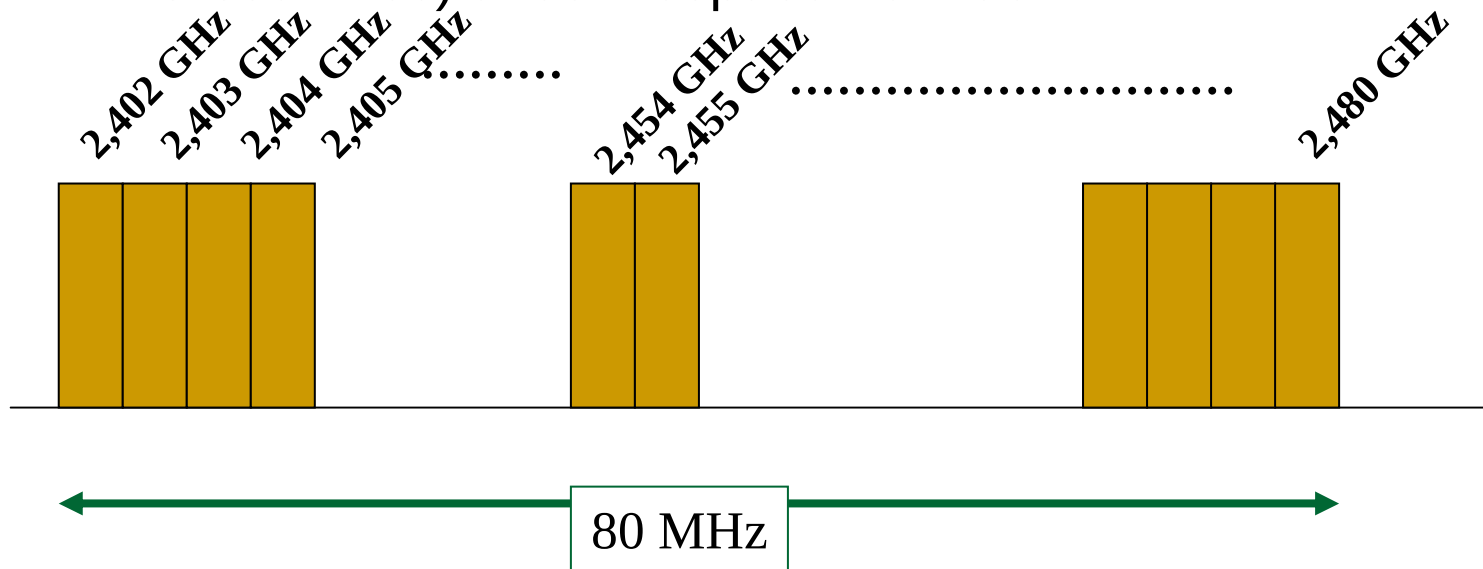
Longueur
du paquet
(0-4095)

Bit	Parameter name	Parameter values	Description																																				
0	Reserved	Default = 0	Reserved																																				
1:3	PLCP_BITRATE	<table><tr><td>b1</td><td>b2</td><td>b3</td><td>= Data Rate</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>= 1.0 Mbit/s,</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>= 1.5 Mbit/s,</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>= 2.0 Mbit/s,</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>= 2.5 Mbit/s,</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>= 3.0 Mbit/s,</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>= 3.5 Mbit/s,</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>= 4.0 Mbit/s,</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>= 4.5 Mbit/s</td></tr></table>	b1	b2	b3	= Data Rate	0	0	0	= 1.0 Mbit/s,	0	0	1	= 1.5 Mbit/s,	0	1	0	= 2.0 Mbit/s,	0	1	1	= 2.5 Mbit/s,	1	0	0	= 3.0 Mbit/s,	1	0	1	= 3.5 Mbit/s,	1	1	0	= 4.0 Mbit/s,	1	1	1	= 4.5 Mbit/s	This field indicates the data rate of the whitened PSDU from 1 Mbit/s to 4.5 Mbit/s in 0.5 Mbit/s increments.
b1	b2	b3	= Data Rate																																				
0	0	0	= 1.0 Mbit/s,																																				
0	0	1	= 1.5 Mbit/s,																																				
0	1	0	= 2.0 Mbit/s,																																				
0	1	1	= 2.5 Mbit/s,																																				
1	0	0	= 3.0 Mbit/s,																																				
1	0	1	= 3.5 Mbit/s,																																				
1	1	0	= 4.0 Mbit/s,																																				
1	1	1	= 4.5 Mbit/s																																				

III-2. Le mode 802.11 : FH-SS

■ B) Modulation :

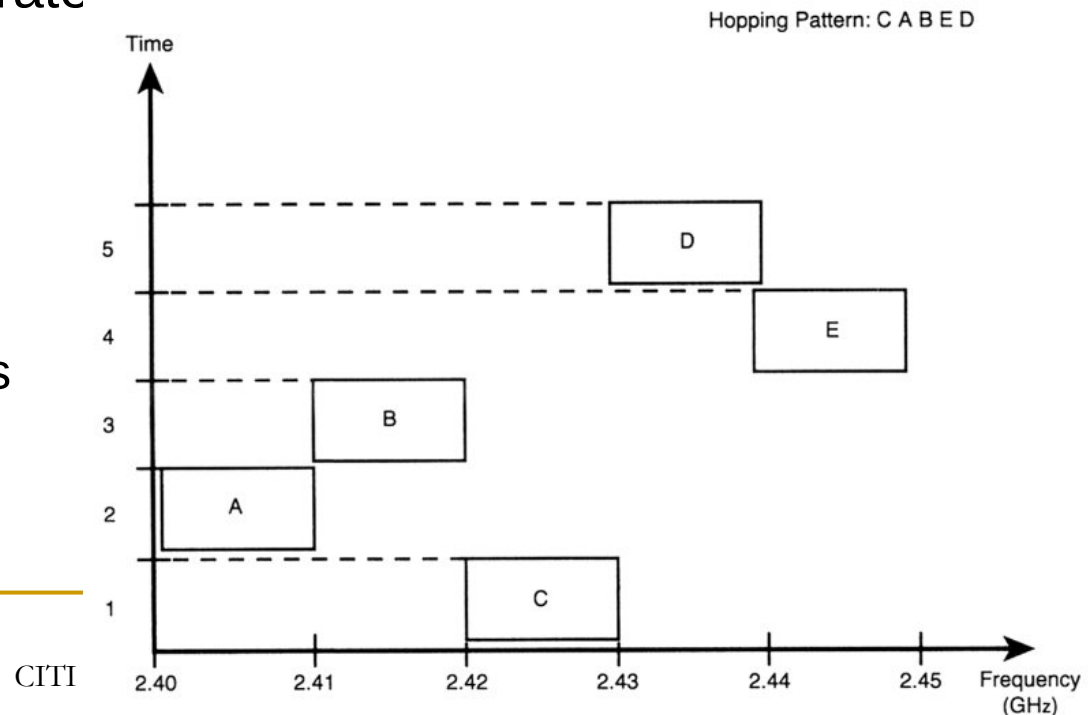
- Supporte des débits de 1 ou 2 Mbps avec une modulation 2- ou 4- GFSK * (Gaussian Frequency Shift Keying)
- 79 canaux de 2.402 à 2.480 GHz (in U.S. and most of EU countries) avec 1 espacement de 1 MHz



$$* f = f_c \pm \Delta f, \Delta f_{nom} = 160 \text{ kHz}$$

III-2. Le mode 802.11 : FH-SS

- C) saut de fréquence :
 - 78 séquences de saut de fréquence avec un espacement minimal de 6 MHz, chaque séquence utilise les 79 éléments de fréquence 1 fois.
 - Minimum hopping rate
2.5 hops/second
 - Tolérance
 - aux chemins multiples
 - aux interférences bandes étroites
 - Sécurité,



III-3. Le mode 802.11 : DSSS

■ A) Format d'une frame physique

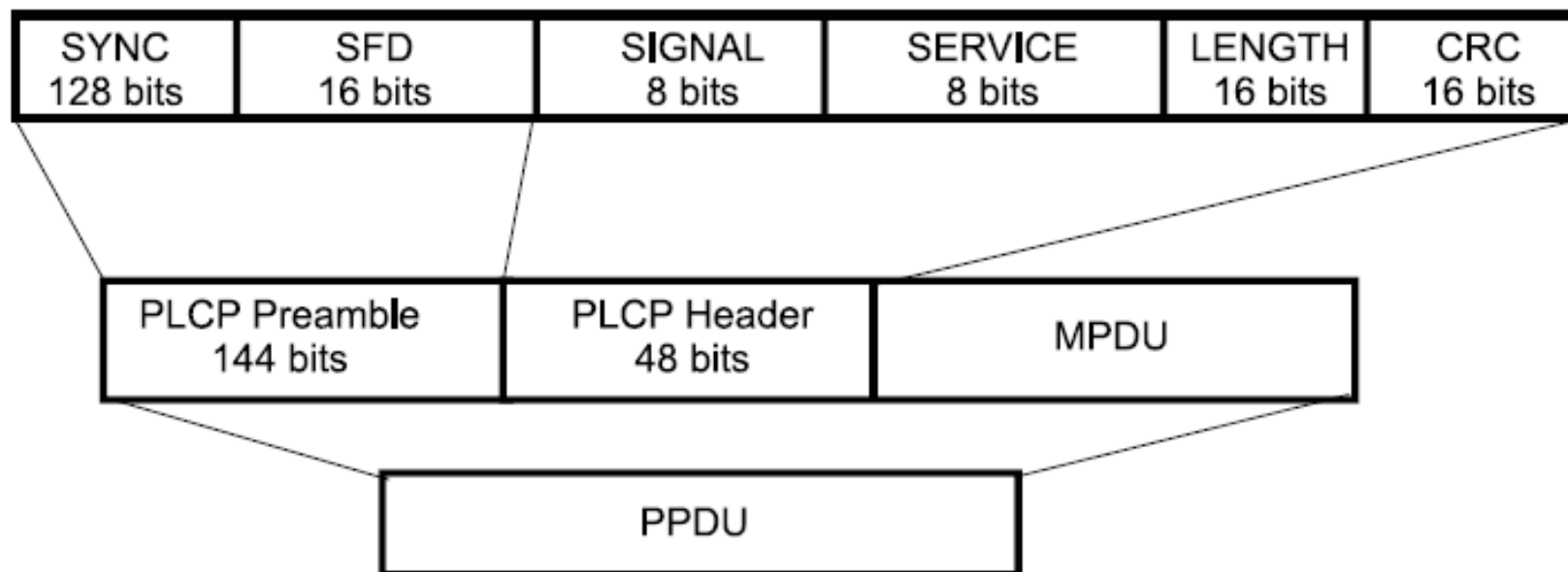
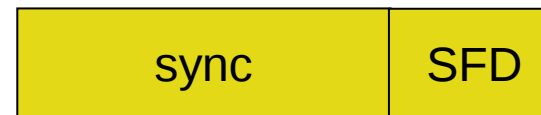


Figure 86—PLCP frame format

III-3. Le mode 802.11 : DSSS

■ A) Format d'une trame physique

□ Le préambule



■ La synchronisation

- 128 bits à 1, scramblés → pour la détection de puissance, ou de présence de signal DSSS

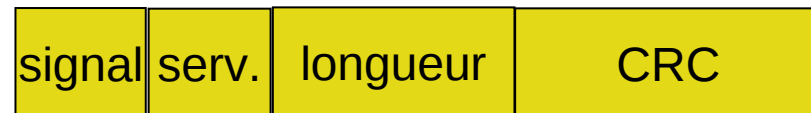
■ La détection de début de trame

- 16 bits : « #F3A0 ». Un code spécifique, étalé, pour la détection de début de trame

III-3. Le mode 802.11 : DSSS

■ A) Format d'une trame physique

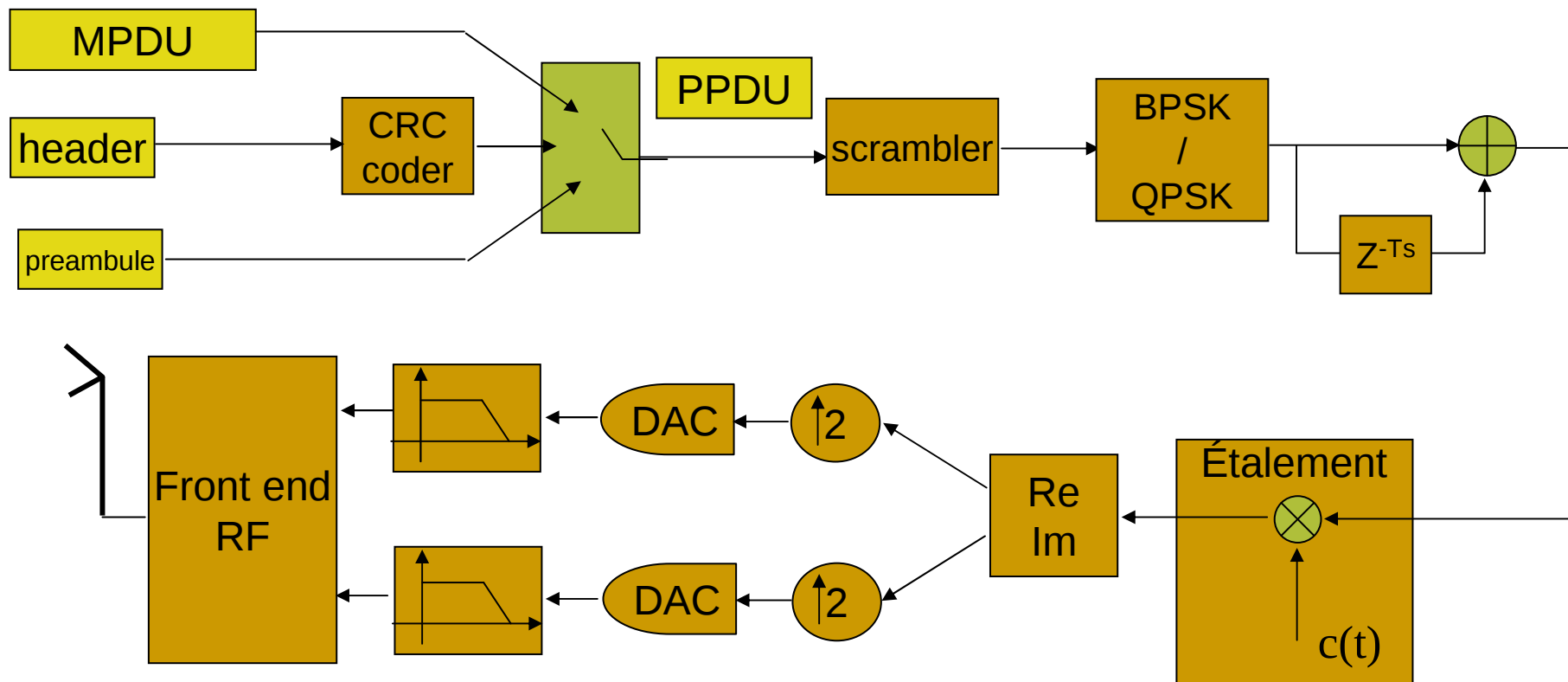
□ L'en-tête



- Signal : débit codé sur 8 bits (1 ou 2Mbps)
- Service : réservé, mais non utilisé
- Longueur : longueur de la trame codée
- CRC : codage pour la protection des 3 champs précédents
 - Polynôme générateur : $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$

III-3. Le mode 802.11 : DSSS

■ B) La formation du signal radio



III-3. Le mode 802.11 : DSSS

■ Scrambling

Scrambler Polynomial; $G(z) = Z^7 + Z^4 + 1$

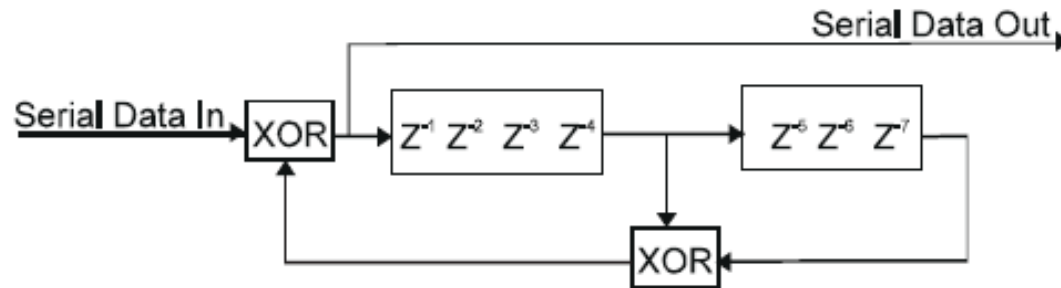


Figure 89—Data scrambler

Descrambler Polynomial; $G(z) = Z^7 + Z^4 + 1$

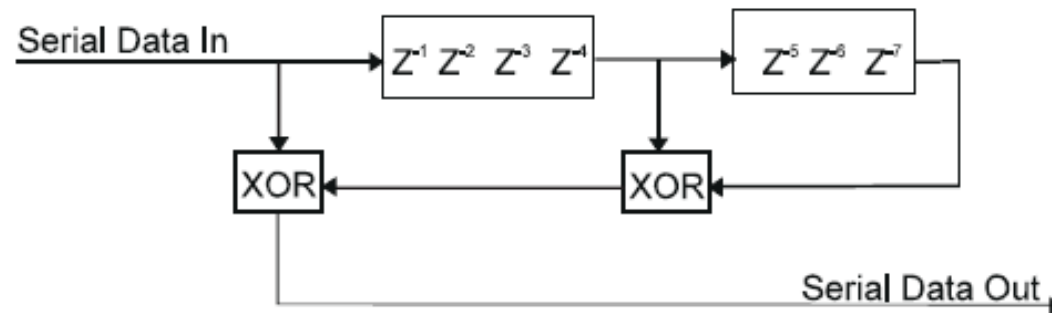
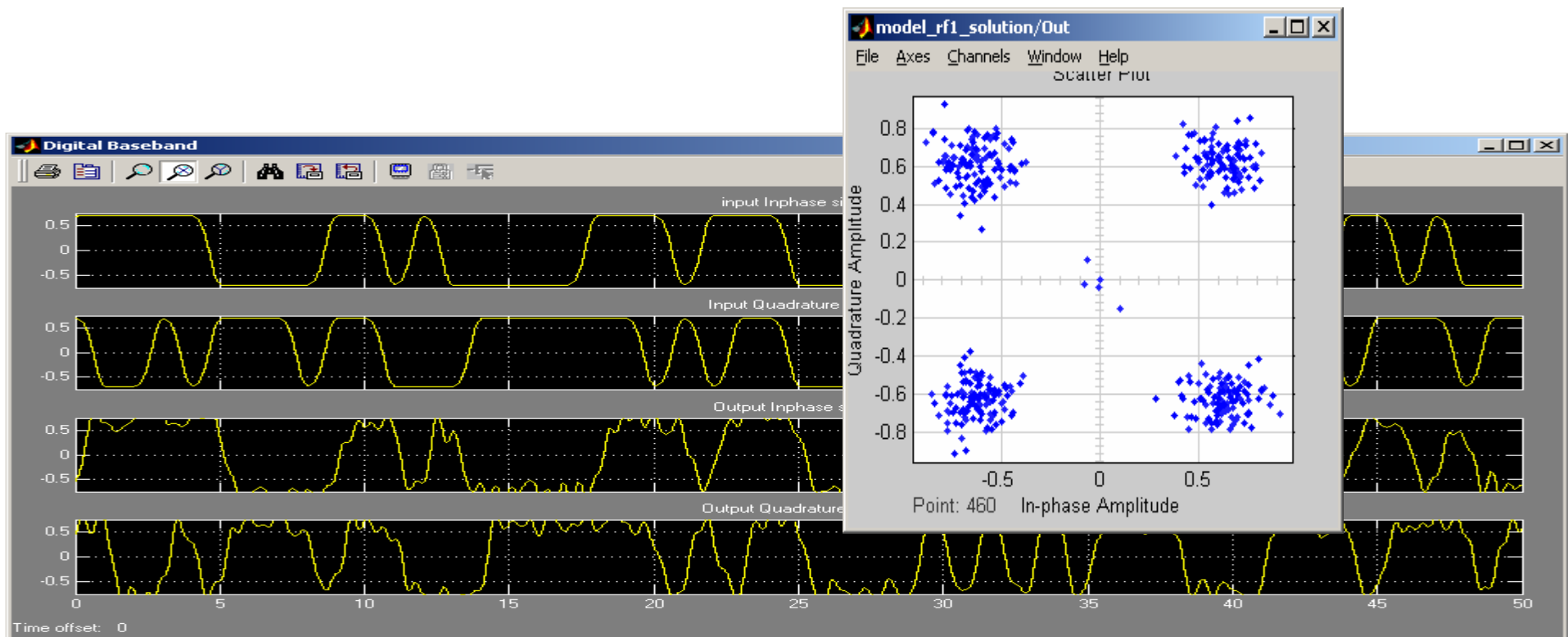


Figure 90—Data descrambler

III-3. Le mode 802.11 : DSSS

□ BPSK / QPSK

$$s_{RF}(t) = m_I(t) \cdot \cos(2\pi f_0 t) + m_Q(t) \cdot \sin(2\pi f_0 t)$$



III-3. Le mode 802.11 : DSSS

□ DBPSK / DQPSK

Table 106—1 Mbit/s DBPSK encoding table

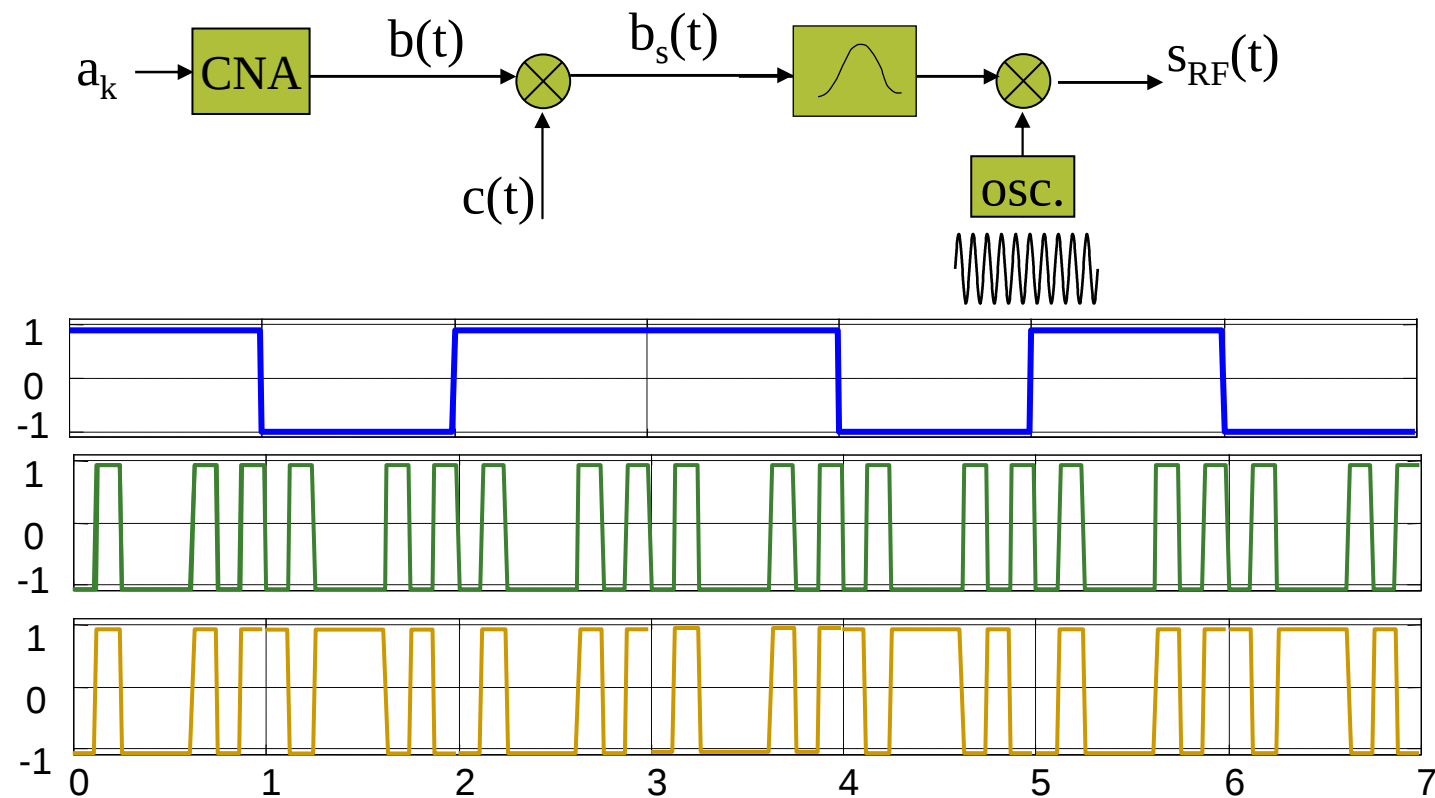
Bit input	Phase change (+j ω)
0	0
1	π

Table 107—2 Mbit/s DQPSK encoding table

Dibit pattern (d0,d1) (d0 is first in time)	Phase change (+j ω)
00	0
01	$\pi/2$
11	π
10	$3\pi/2$ ($-\pi/2$)

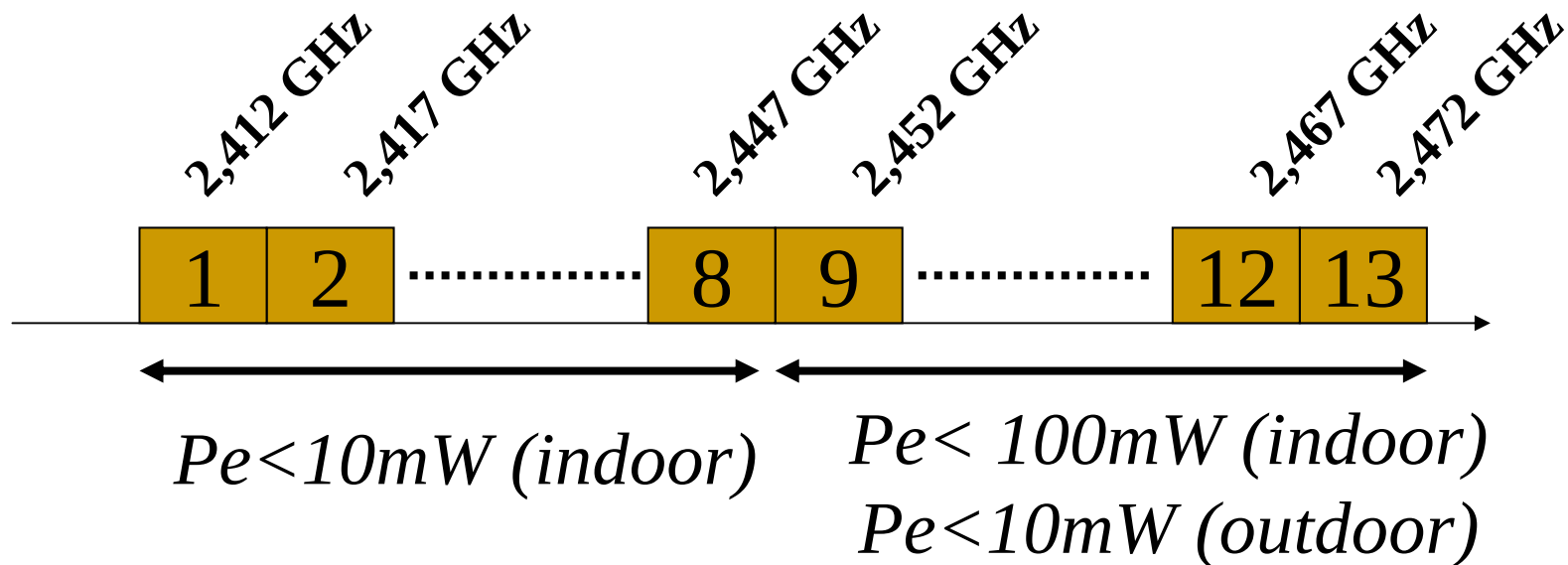
III-3. Le mode 802.11 : DSSS

■ Le DSSS : l'étalement de spectre



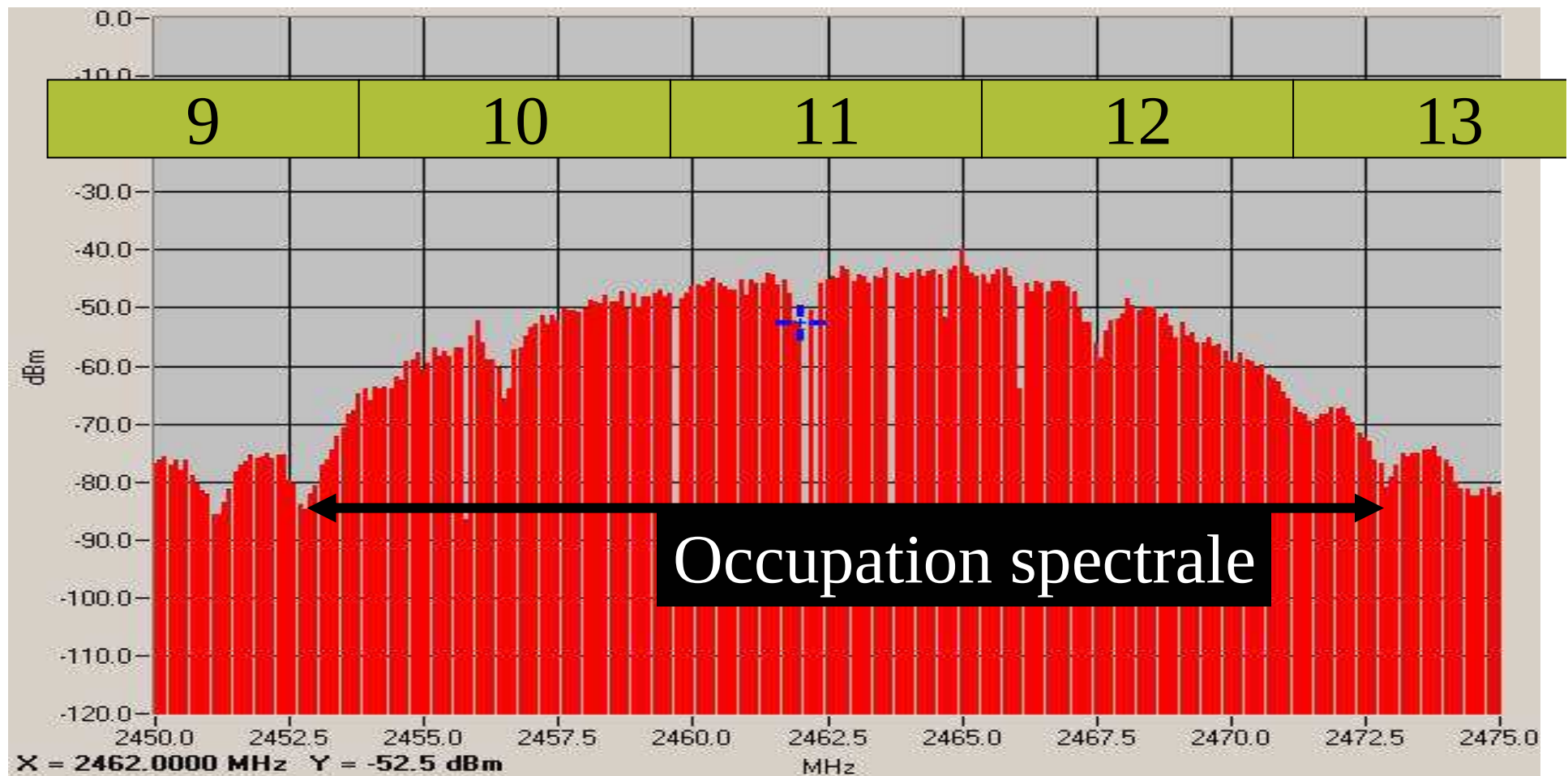
III-3. Le mode 802.11 : DSSS

- ❑ conséquences : diminution du nombre de canaux
- ❑ Espacement : 5MHz
- ❑ Occupation ~ 22MHz



III-3. Le mode 802.11 : DSSS

■ Le DS-SS



III-4. Le mode 802.11b : HS-DSSS

- Ce qui change avec 802.11b

HS = higher speed

- ❑ 1- on introduit une vitesse de modulation plus élevée
- ❑ 2- réduction du nombre de canaux
- ❑ 2- on adapte le format des trames
- ❑ 3- option de compatibilité ascendante

III-4. Le mode 802.11b : HR-DSSS

■ A) Format d'une trame physique

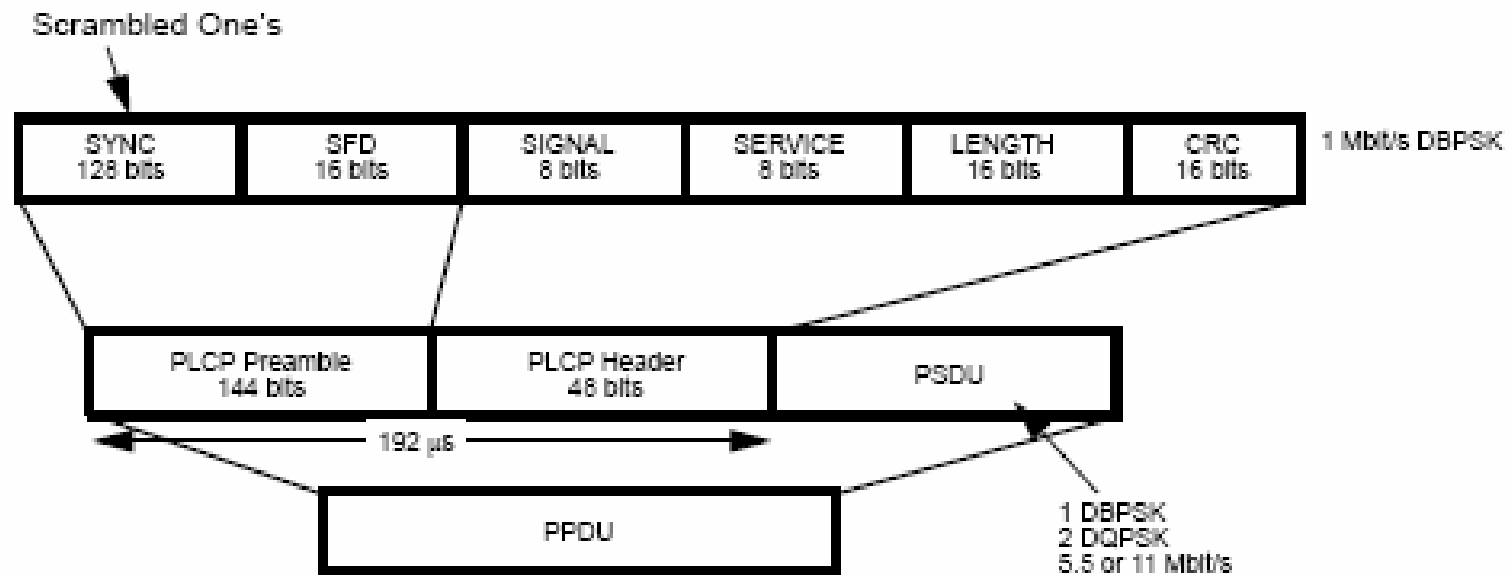


Figure 127—Long PLCP PPDU format

III-4. Le mode 802.11b : HR-DSSS

■ A) Format d'une trame physique

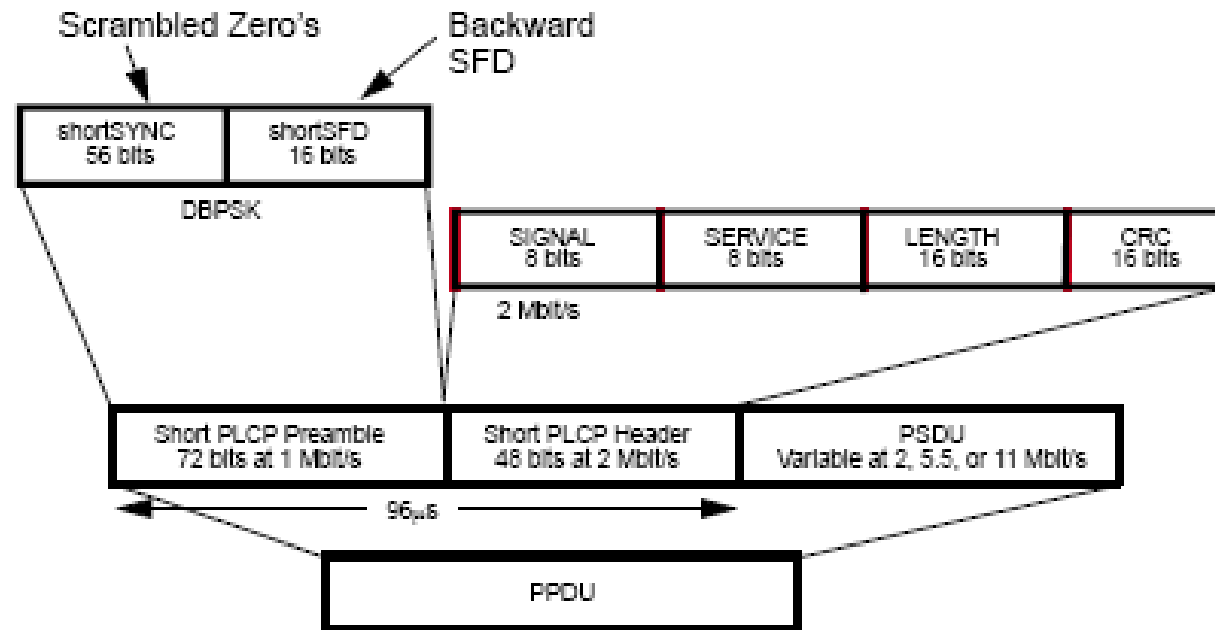


Figure 128—Short PLCP PPDU format

III-4. Le mode 802.11b : HR-DSSS

■ B) le codage CCK

- ❑ Augmenter le débit, sans augmenter la bande passante (garder au moins 3 canaux indépendants)
- ❑ Si codage direct : 11Mbps à 11Mcps → 1bit/chip : on n'a plus d'étalement, donc pas robuste et détection difficile.
- ❑ Choix d'une technique peu utilisée en radio : CCK
 - Issu de la théorie de l'information (codes de Golay)
 - Toujours l'idée d'avoir un code avec de bonnes propriétés de corrélation

III-4. Le mode 802.11b : HR-DSSS

■ B) le codage CCK

□ Codes complémentaires

exemple de codes complémentaires binaires :
séquences de Golay

S1:	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1
S2:	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1

TABLE 1. RESULTS OF ELEMENT PAIRING FOR
SEQUENCES 1 AND 2

PAIR SEPARATION	SEQUENCE 1		SEQUENCE 2	
	LIKE	UNLIKE	LIKE	UNLIKE
1	4	3	3	4
2	4	3	3	4
3	1	5	5	1

III-4. Le mode 802.11b : HR-DSSS

■ B) le codage CCK

- Codes polyphasés complémentaires : même chose avec des codes en phase
 - avec par exemple $C1(k), C2(k)$ in $\{-1, +1, j, -j\}$
- Codes CCK : longueur des codes : 8.
- Le code est donné par :

$$c = \left\{ e^{j(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4)}, e^{j(\phi_1 + \phi_3 + \phi_4)}, e^{j(\phi_1 + \phi_2 + \phi_4)}, e^{j(\phi_1 + \phi_4)}, e^{j(\phi_1 + \phi_2 + \phi_3)}, e^{j(\phi_1 + \phi_3)}, e^{j(\phi_1 + \phi_2)}, e^{j(\phi_1)} \right\}$$

DIBIT (d_{i+1}, d_i)	PHASE
00	0
01	π
10	$\pi/2$
11	$-\pi/2$

III-4. Le mode 802.11b : HR-DSSS

■ B) le codage CCK

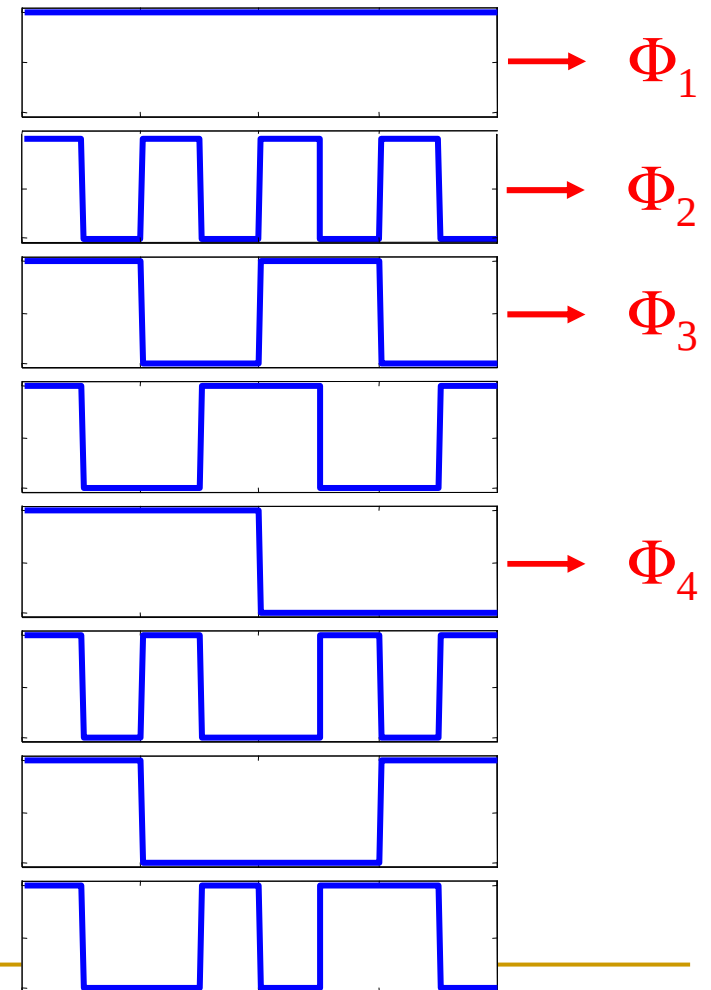
- Comment est construit le code ?

codes de Walsh / matrices de Hadamard

$$H_0 = [0] \quad ; \quad H_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad ; \dots \quad H_{N+1} = \begin{bmatrix} H_N & \overline{H_N} \\ H_N & \overline{H_N} \end{bmatrix}$$

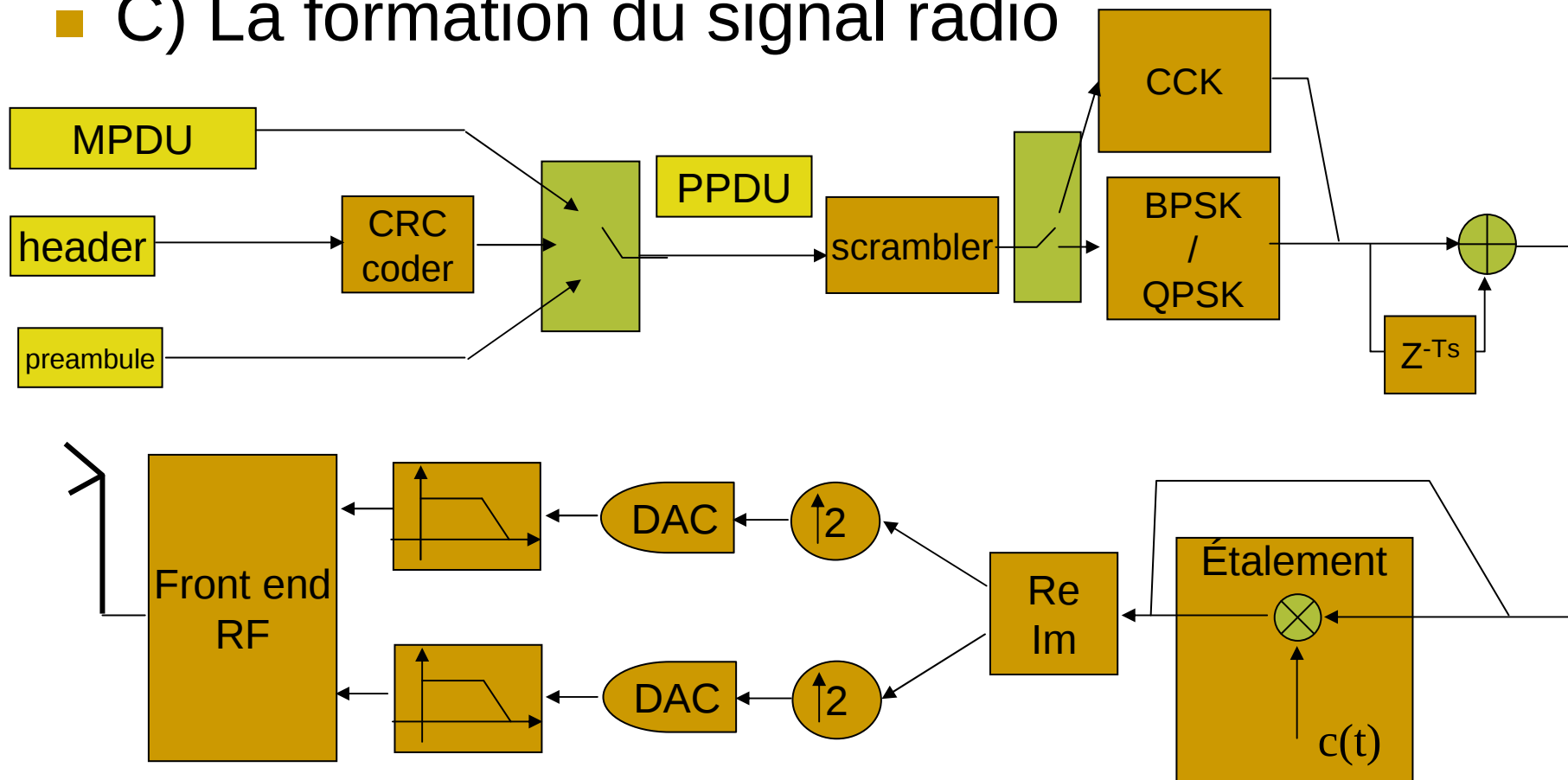
III-4. Le mode 802.11b : HR-DSSS

$$H_2 = \begin{pmatrix} \boxed{0} & \boxed{0} & \boxed{0} & 0 & \boxed{0} & 0 & 0 & 0 \\ \boxed{0} & \boxed{1} & \boxed{0} & 1 & \boxed{0} & 1 & 0 & 1 \\ \boxed{0} & \boxed{0} & \boxed{1} & 1 & \boxed{0} & 0 & 1 & 1 \\ \boxed{0} & \boxed{1} & \boxed{1} & 0 & \boxed{0} & 1 & 1 & 0 \\ \boxed{0} & \boxed{0} & \boxed{0} & 0 & \boxed{1} & 1 & 1 & 1 \\ \boxed{0} & \boxed{1} & \boxed{0} & 1 & \boxed{1} & 0 & 1 & 0 \\ \boxed{0} & \boxed{0} & \boxed{1} & 1 & \boxed{1} & 1 & 0 & 0 \\ \boxed{0} & \boxed{1} & \boxed{1} & 0 & \boxed{1} & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$



III-4. Le mode 802.11b : HR-DSSS

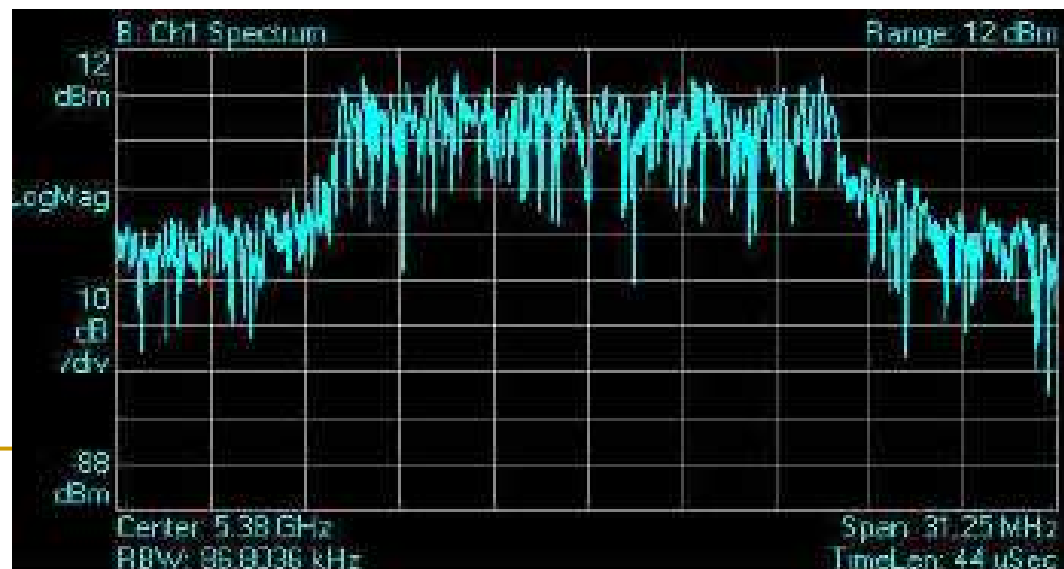
■ C) La formation du signal radio



III-5. Le mode 802.11a : OFDM à 5GHz

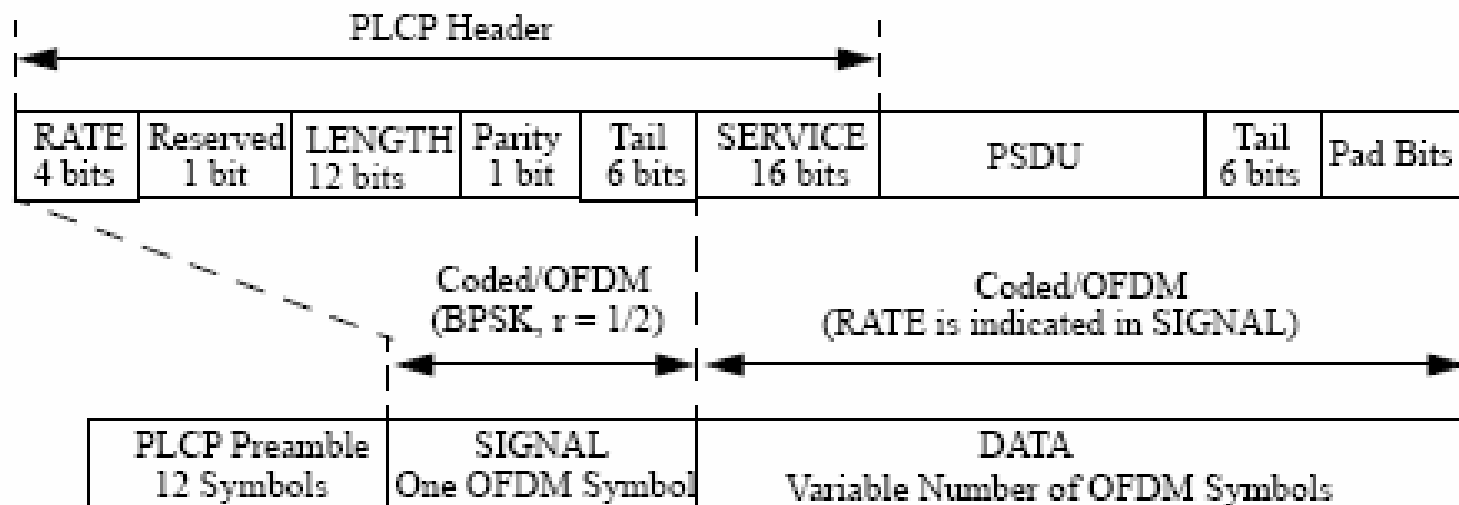
■ Motivations

- ❑ Augmenter le débit à courte distance
- ❑ Augmenter la robustesse au fading
- ❑ Exploiter les techniques multi-porteuses
- ❑ Exploiter la bande des 5GHz.



III-5. Le mode 802.11a : OFDM à 5GHz

■ A) format des trames



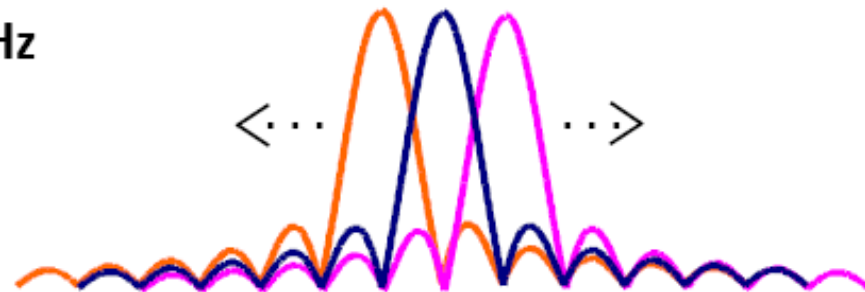
III-5. Le mode 802.11a : OFDM à 5GHz

OFDM – Review of Basic Concepts

- **Slower symbol rate x multiple carriers = similar bits/sec/Hz**

- **Less susceptible to:**
 - single freq. interference
 - multipath dropouts
 - impulse noise

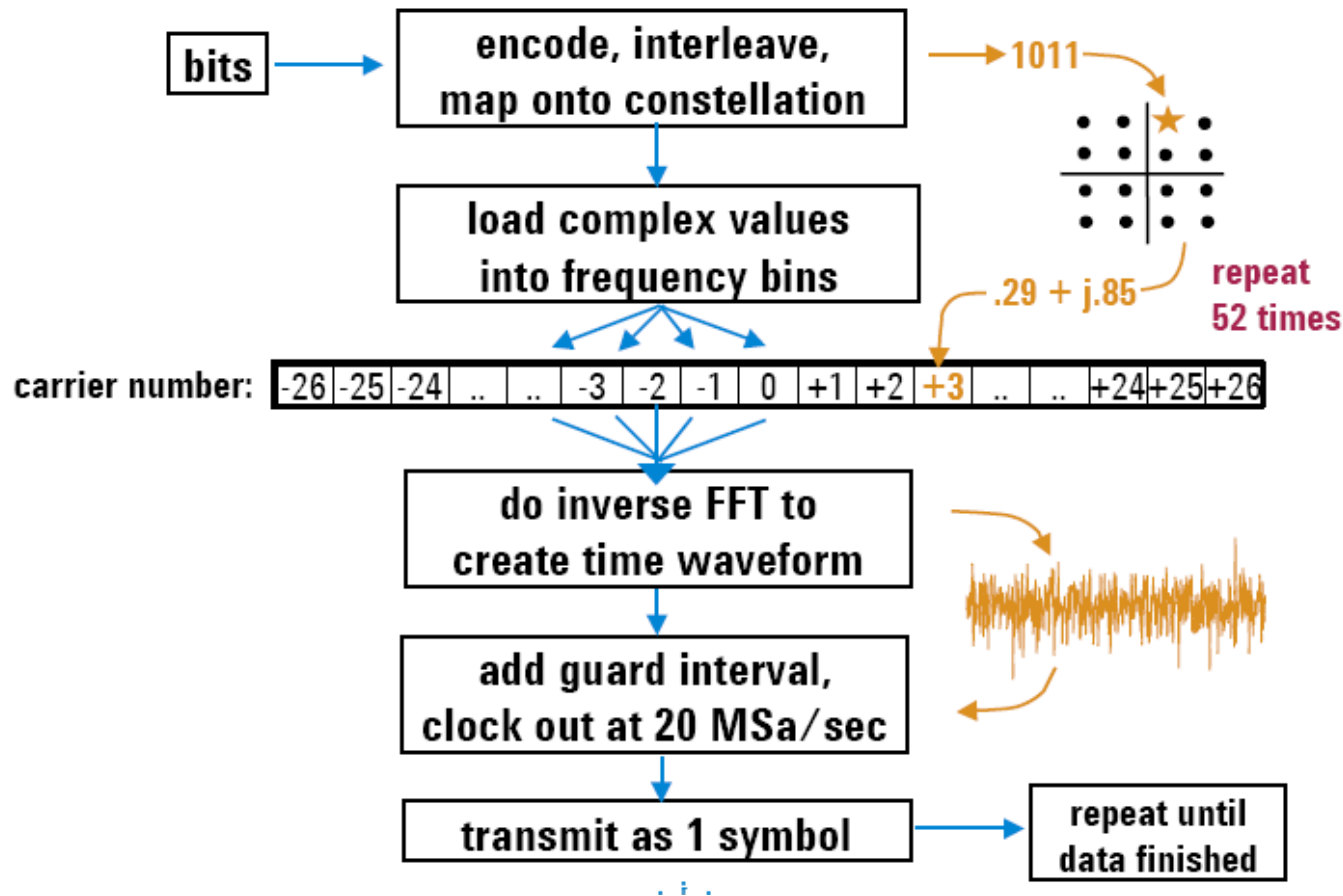
- **Carrier spacing creates orthogonality.**
- **Phase noise, timing, and frequency offsets decrease orthogonality.**



- **IEEE 802.11a and HiperLAN/2**
 - 52 carriers
 - 250 kHz symbol rate
 - 312.5 kHz spacing
 - 18 MHz bandwidth

III-5. Le mode 802.11a : OFDM à 5GHz

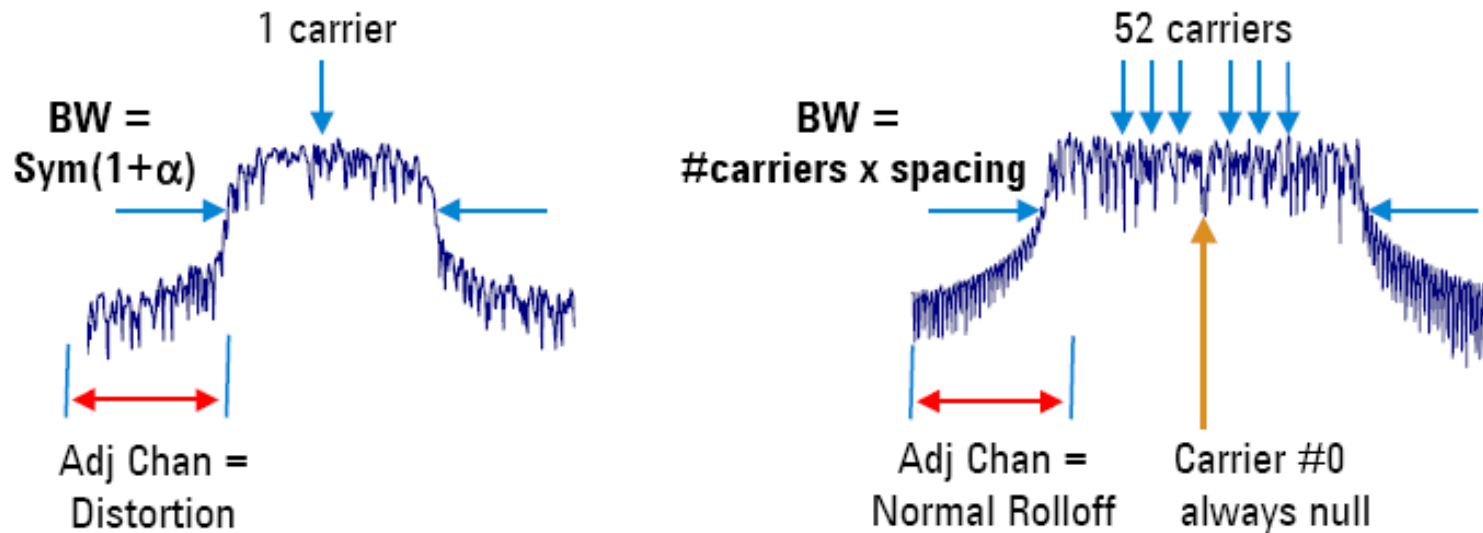
Generating OFDM



III-5. Le mode 802.11a : OFDM à 5GHz

OFDM versus Single Carrier Modulation

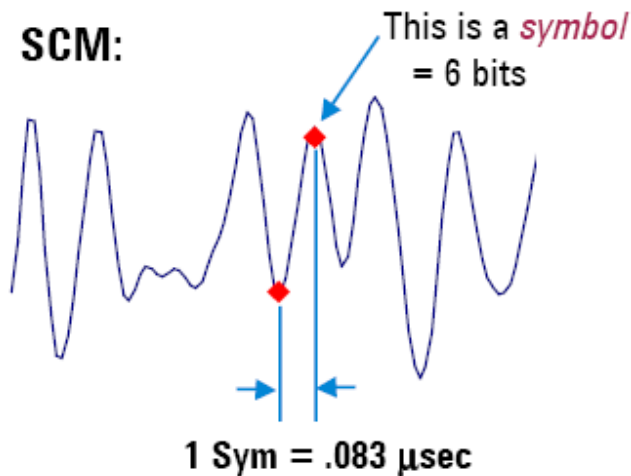
Frequency Domain View



III-5. Le mode 802.11a : OFDM à 5GHz

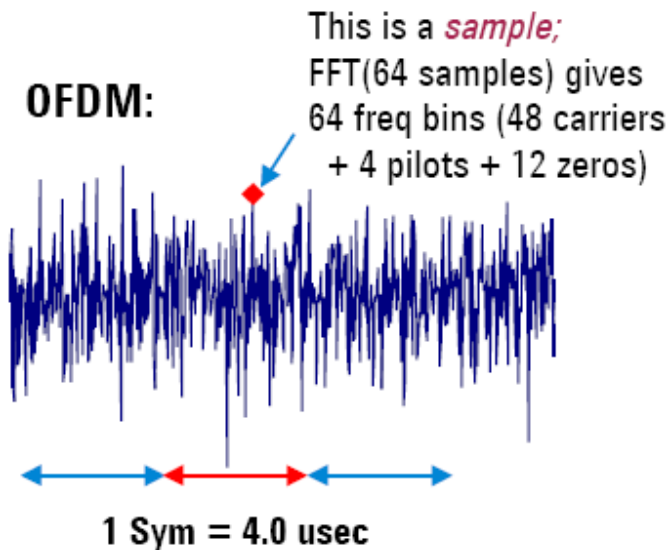
OFDM versus Single Carrier Modulation

Time Domain View



Data rate = 54 Mbits/sec
@ $\frac{3}{4}$ coding = 72 Mbits/sec
@ 64QAM = 12 MSym/sec

1 symbol = one point in time
1 point in time = 1 symbol

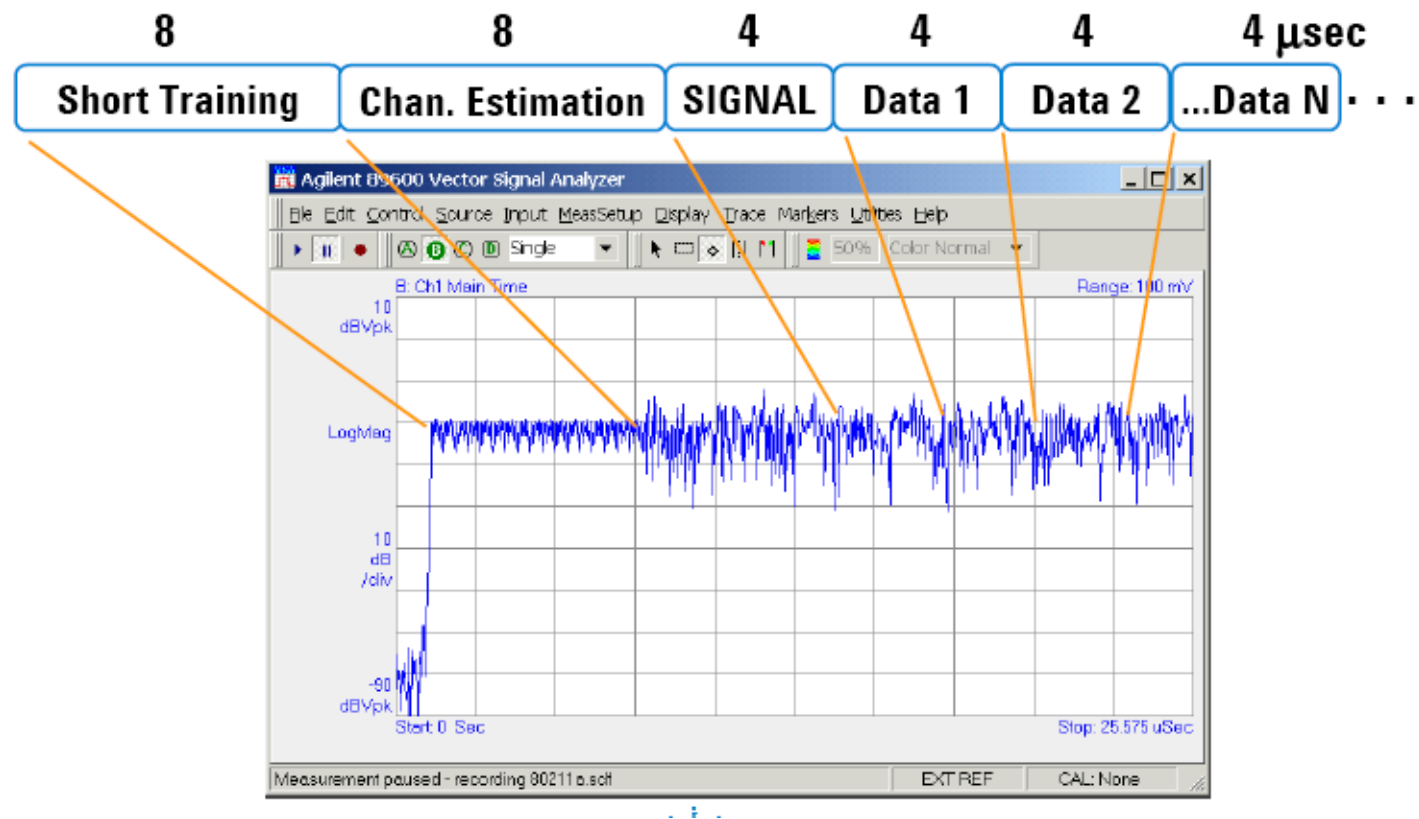


Data rate = 54 Mbits/sec
@ $\frac{3}{4}$ coding = 72 Mbits/sec
@ 48 carriers = 1.5 Mbits/sec
@ 64QAM = 250 kSym/sec

1 symbol = 1 point in frequency *and* time
1 point in time = ~meaningless

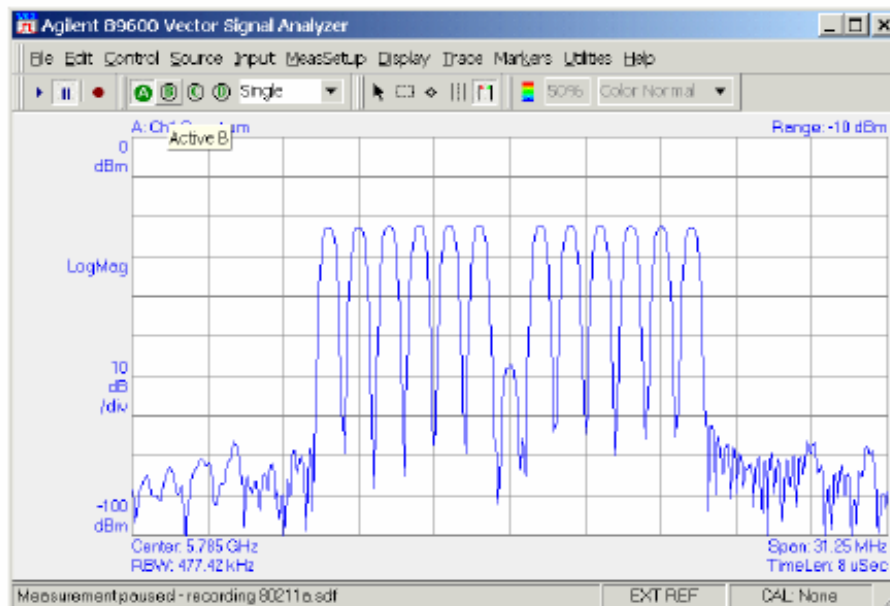
III-5. Le mode 802.11a : OFDM à 5GHz

Structure of IEEE 802.11a OFDM Frame (= Burst)



III-5. Le mode 802.11a : OFDM à 5GHz

Structure of IEEE 802.11a OFDM Frame (= Burst)

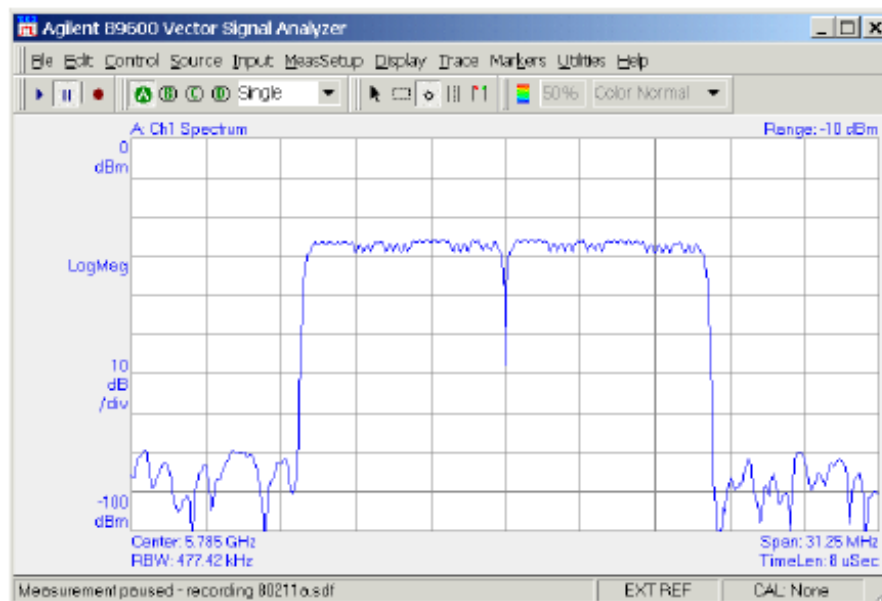


Short Training Seq.

- 8 μ Sec length
- Every 4th carrier, equal amplitude/phase
- Signal detect, AGC, timing synchronization, coarse freq. estimation.

III-5. Le mode 802.11a : OFDM à 5GHz

Structure of IEEE 802.11a OFDM Frame (= Burst)

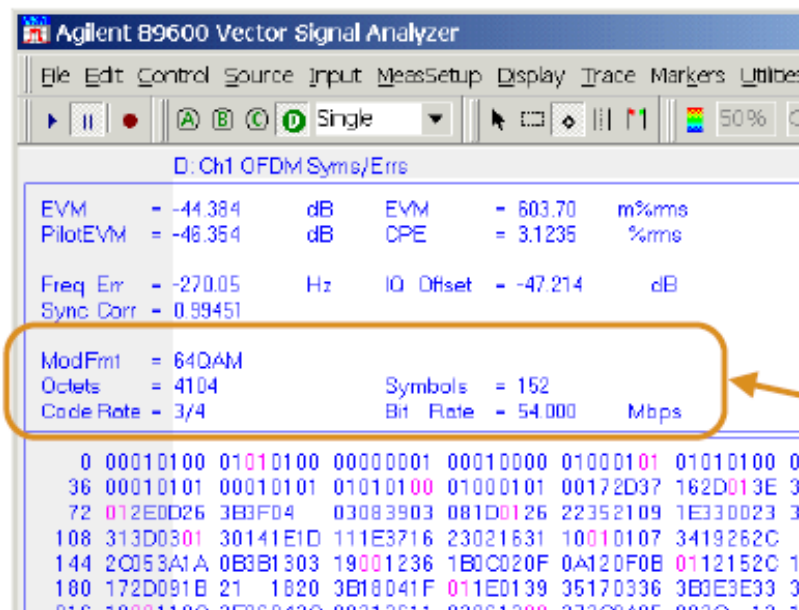


Channel Estimation

- 8 μSec length
- Every carrier, equal amplitude and phase.
- Channel equalization, fine freq. estimation.

III-5. Le mode 802.11a : OFDM à 5GHz

Structure of IEEE 802.11a OFDM Frame (= Burst)



SIGNAL Symbol

- 4 μ Sec length
- Always BPSK.
- Describes this frame's rate, length.

These parameters
are read from signal
under test.
(IEEE802.11a only)

III-5. Le mode 802.11a : OFDM à 5GHz

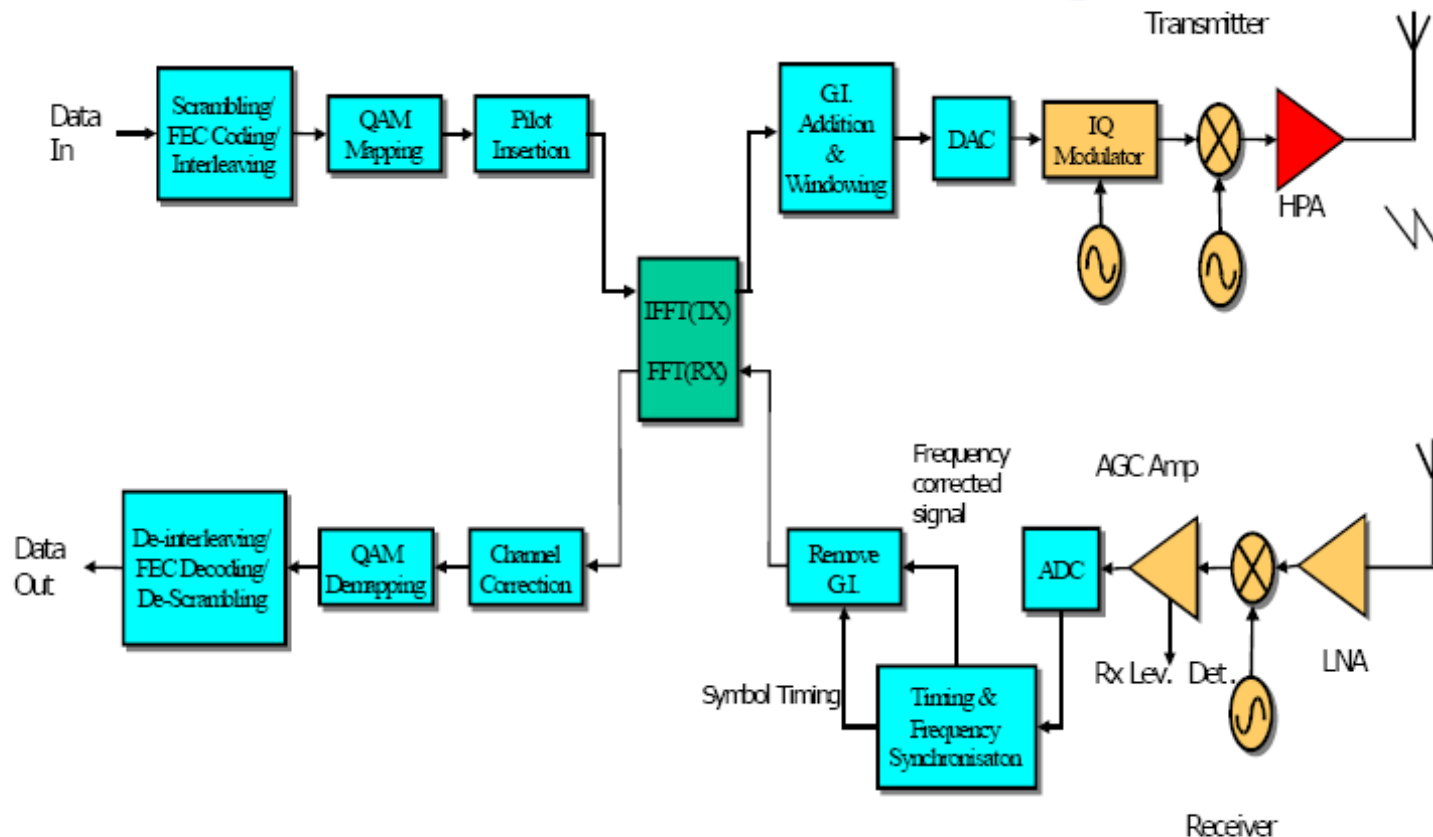
Structure of IEEE 802.11a OFDM Frame (= Burst)

Short Training	Chan. Estimation	SIGNAL	Data 1	Data 2	...Data N . . .
Data Rate	Mod. Format	Coding Rate	Data Symbols		
6 Mbits/sec	BPSK	1/2	• 1 symbol = 4 uSec length 1 FFT 52 carriers (48 + 4) 52 constellation dots		
9	BPSK	3/4	• Format varies		
12	QPSK	1/2	• Coding varies		
18	QPSK	3/4	• Max 4096 bytes per frame.		
24	16QAM	1/2	• <i>MAC layer starts here.</i>		
36	16QAM	3/4			
48	64QAM	2/3			
54	64QAM	3/4			

Also: 54-108 – Atheros chipset “Turbo Mode”

III-5. Le mode 802.11a : OFDM à 5GHz

OFDM Transmission and Receiving



III-5. Le mode 802.11a : OFDM à 5GHz

WLAN Burst Structure

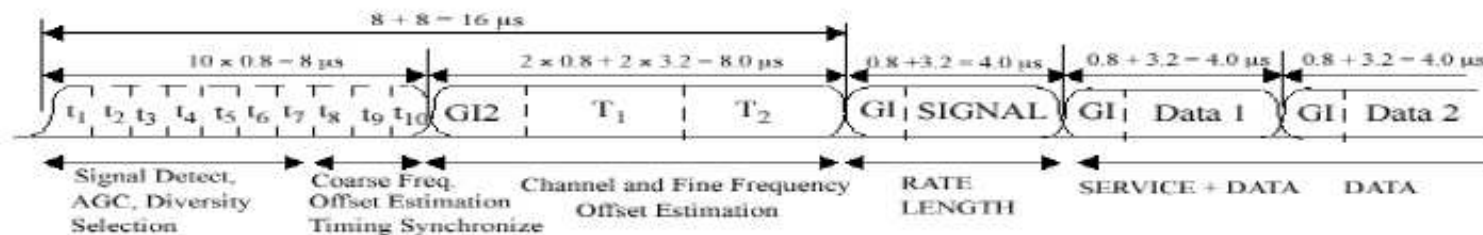


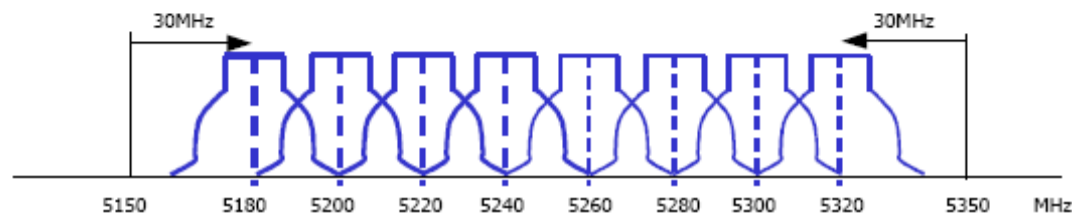
Table 79—Timing-related parameters

Parameter	Value
N_{SD} : Number of data subcarriers	48
N_{SP} : Number of pilot subcarriers	4
N_{ST} : Number of subcarriers, total	52 ($N_{SD} + N_{SP}$)
Δ_f : Subcarrier frequency spacing	0.3125 MHz (=20 MHz/64)
T_{FFT} : IFFT/FFT period	3.2 μs ($1/\Delta_f$)
$T_{PREAMBLE}$: PLCP preamble duration	16 μs ($T_{SHORT} + T_{LONG}$)
T_{SIGNAL} : Duration of the SIGNAL BPSK-OFDM symbol	4.0 μs ($T_{GI} + T_{FFT}$)
T_{GI} : GI duration	0.8 μs ($T_{FFT}/4$)
T_{GI2} : Training symbol GI duration	1.6 μs ($T_{FFT}/2$)
T_{SYM} : Symbol interval	4 μs ($T_{GI} + T_{FFT}$)
T_{SHORT} : Short training sequence duration	8 μs ($10 \times T_{FFT}/4$)
T_{LONG} : Long training sequence duration	8 μs ($T_{GI2} + 2 \times T_{FFT}$)

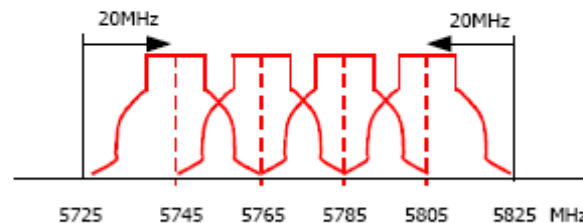
III-5. Le mode 802.11a : OFDM à 5GHz

Output RF Spectrum

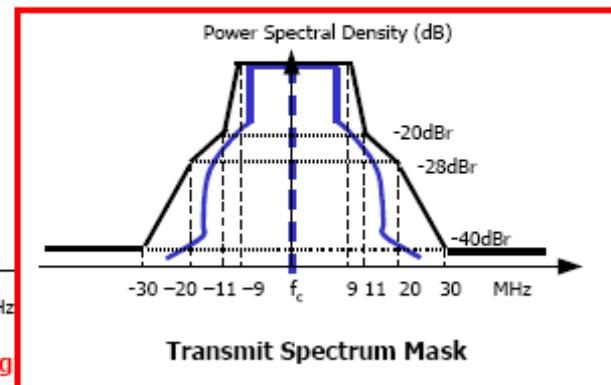
OFDM Signal Spectrum



Lower and Middle U-NII Band – 8 carriers in 200MHz / 20MHz spacing



Upper U-NII Band – 4 carriers in 100MHz / 20MHz spacing



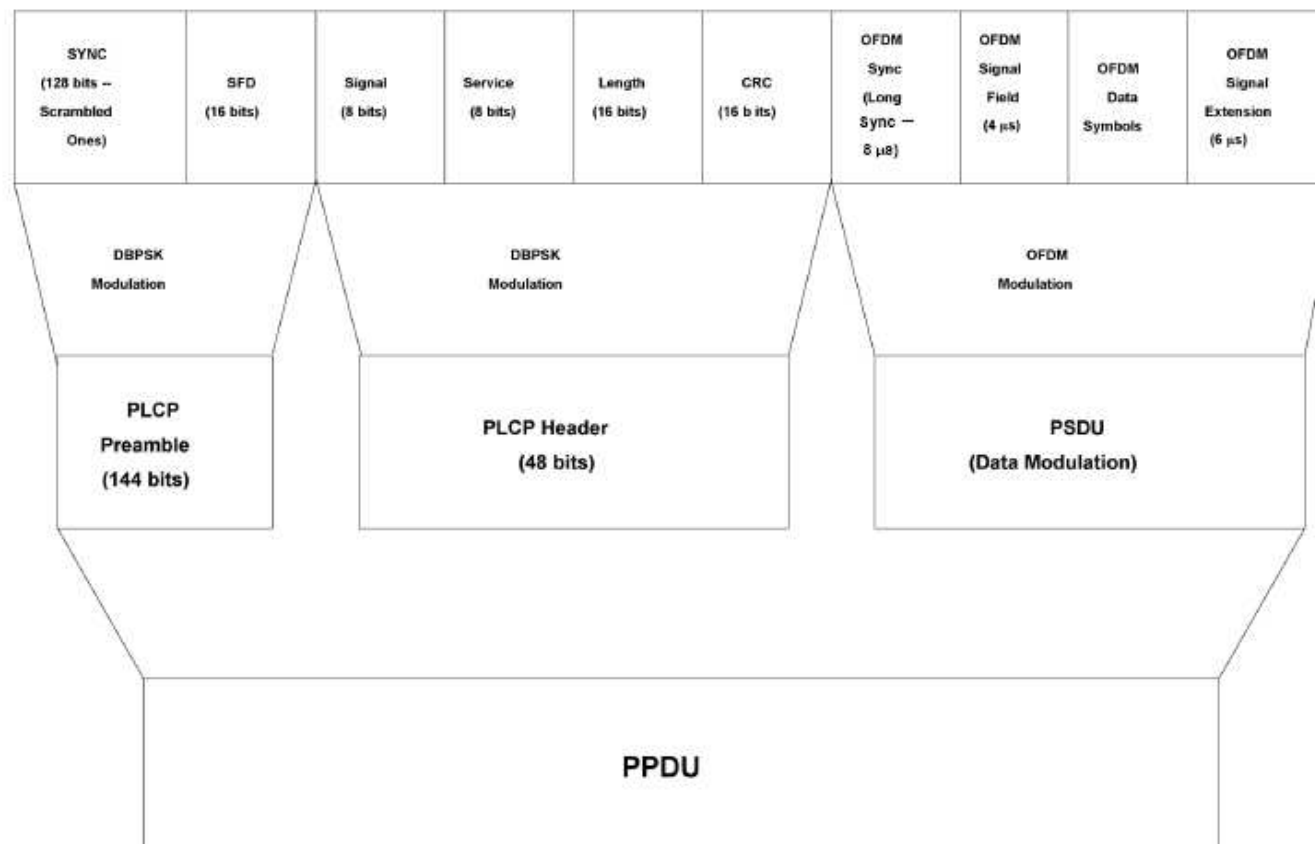
III-6. Le mode 802.11g : OFDM 2.4GHz

- Objectif : faire profiter de la couche PHY obtenue à 5GHz pour la bande ISM à 2,4GHz
 - ❑ Option de compatibilité ascendante
 - ❑ Basé sur la même norme que 802.11a
 - ❑ Attention, les canaux sont fortement recouvrant

- ❑ Principe : garder les principes de 802.11a, mais avec la gestion d'une entête compatible avec 802.11b.
- ❑ Le préambule ne peut donc être en 802.11g.

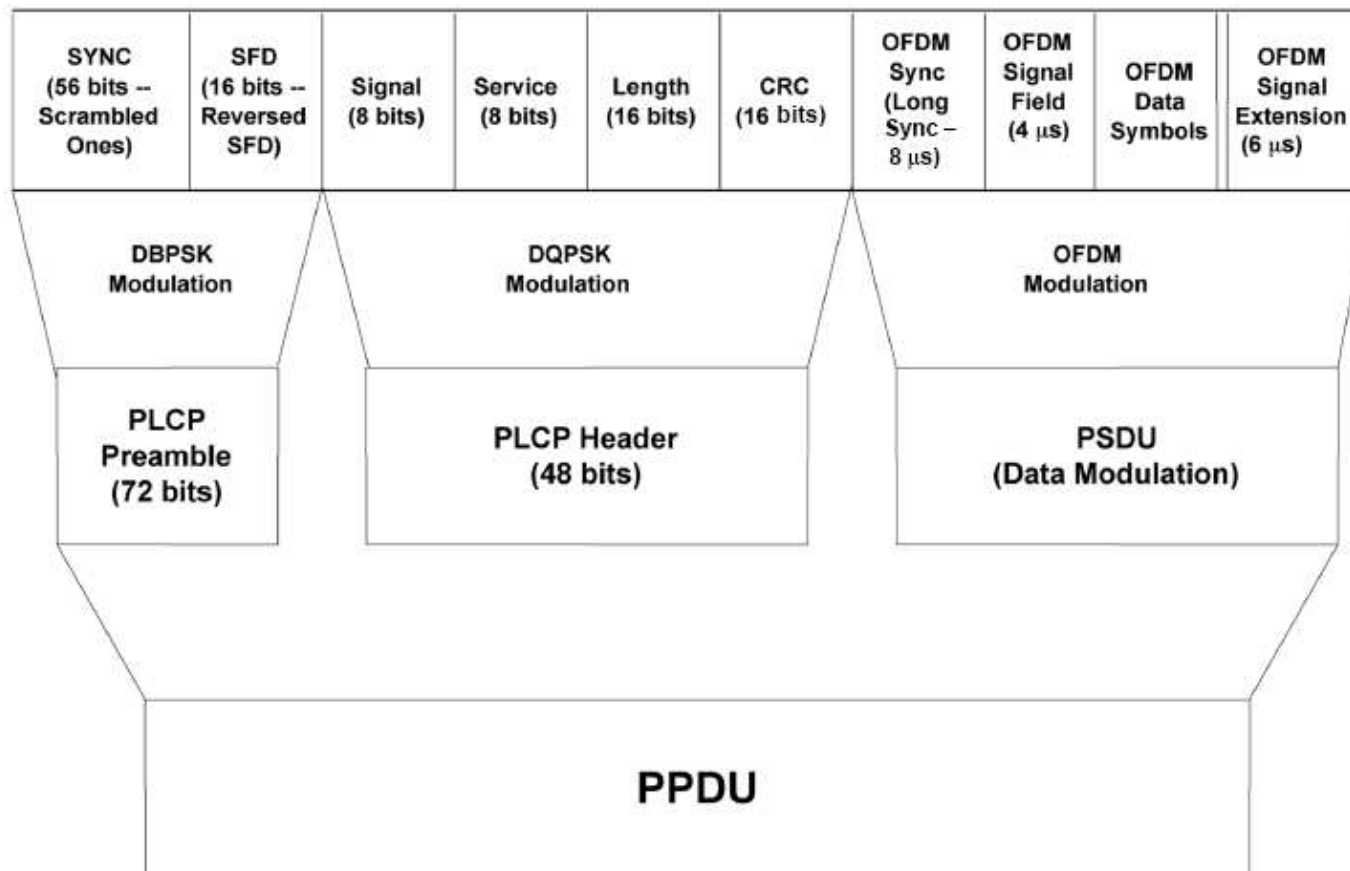
III-6. Le mode 802.11g : OFDM 2.4GHz

- A) le format des trames : format long
 - Préambule b/g



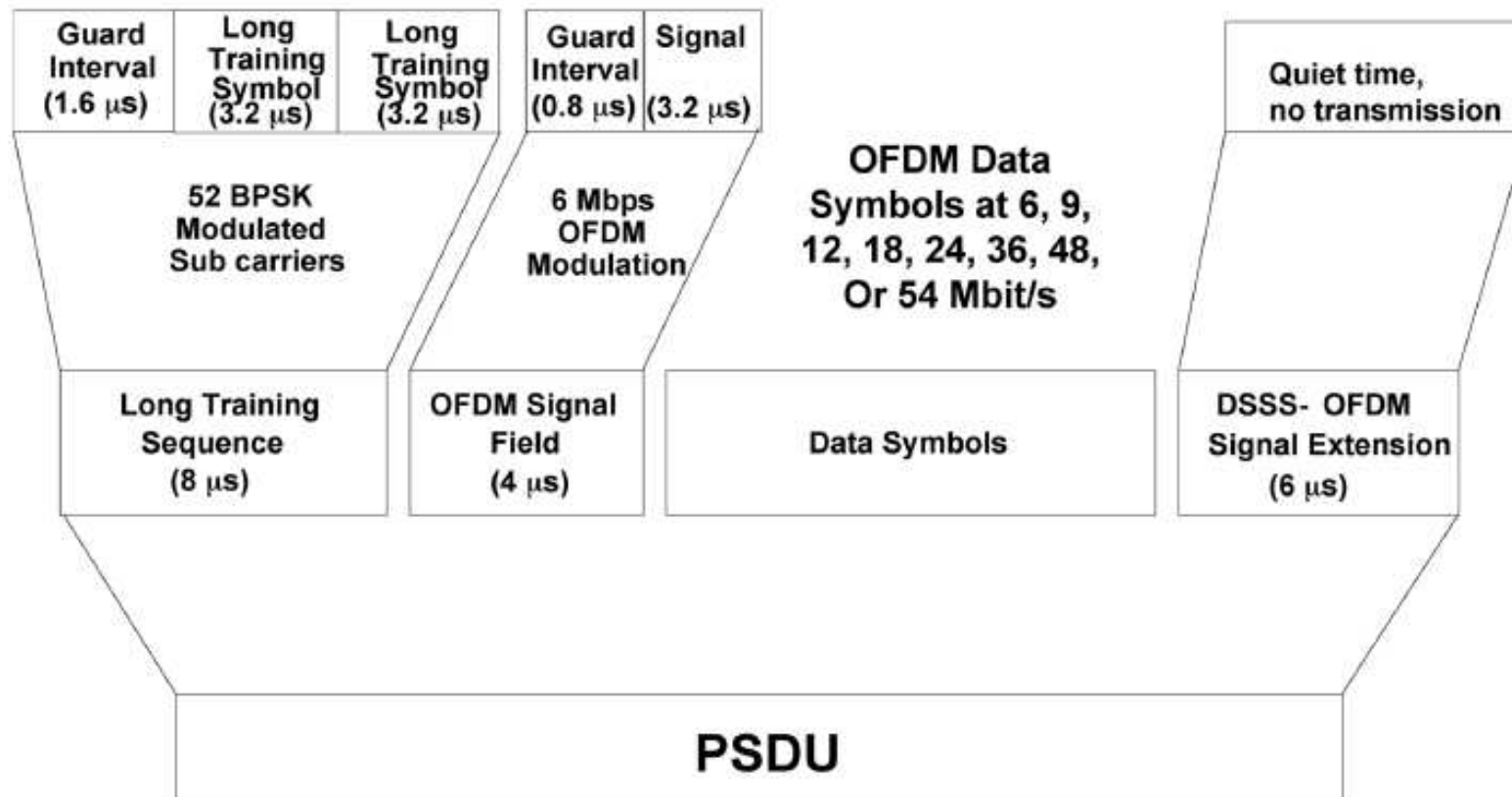
III-6. Le mode 802.11g : OFDM 2.4GHz

- A) le format des trames : format court
 - Préambule b/g



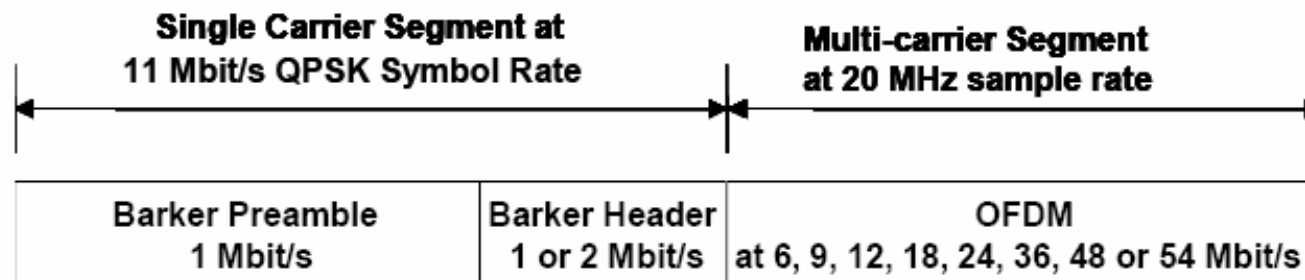
III-6. Le mode 802.11g : OFDM 2.4GHz

- A) le format des trames : pur 802.11g



III-6. Le mode 802.11g : OFDM 2.4GHz

■ B) Transition BPSK / OFDM



Ideal Transition Specification

- **Constant Power**
- **Constant Spectrum**
- **Constant Frequency and Phase**
- **Constant Timing**

III-6. Le mode 802.11g : OFDM 2.4GHz

■ B) Transition BPSK / OFDM

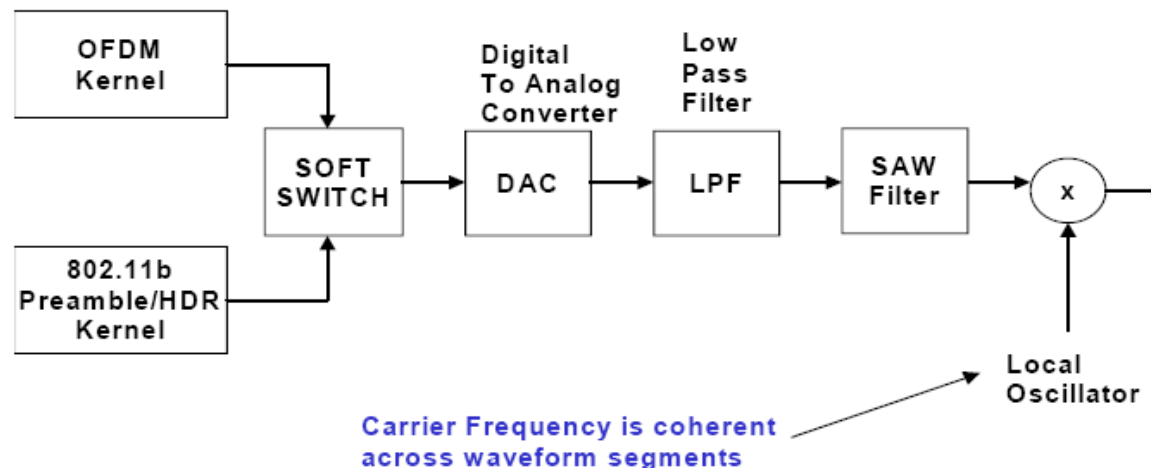
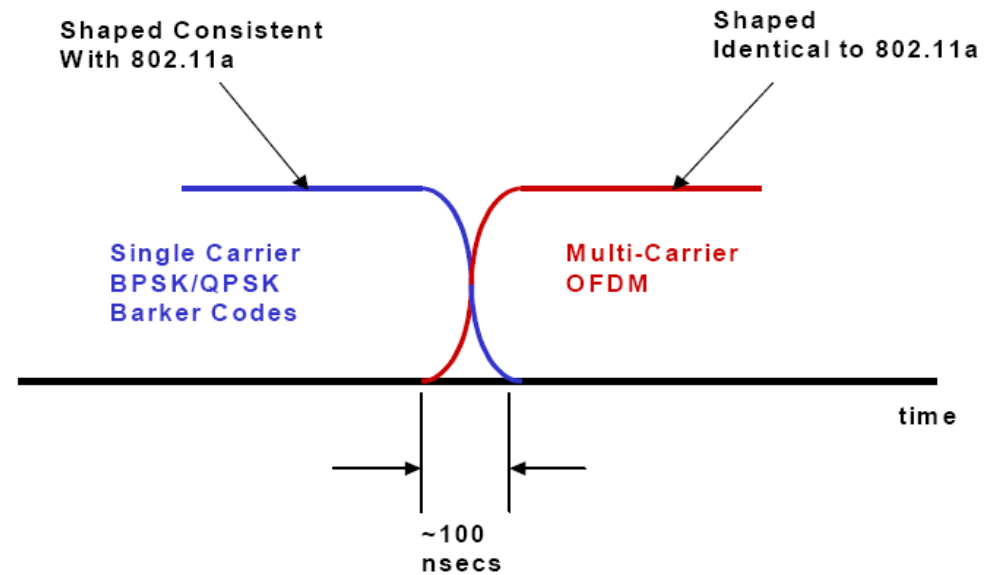


Figure 153S—Carrier frequency coherency shall be maintained

III-6. Le mode 802.11g : OFDM 2.4GHz

■ D) Les modes existants (# 802.11a)

Data Rate (Mbps)	Data Rate per subcarrier (Mbps)	Modulation Type	Coded Bits per subcarrier	Data Bits per OFDM symbol	FEC coding rate (n/m)	Coded Bits per OFDM symbol	Symbol Rate (Mps)	Symbol Rate Per Subcarrier (Mps)
6	0.1250	BPSK	1	24	1/2	48	12	0.2500
9	0.1875	BPSK	1	36	3/4	48	12	0.2500
12	0.2500	QPSK	2	48	1/2	96	24	0.5000
18	0.3750	QPSK	2	72	3/4	96	24	0.5000
24	0.5000	16-QAM	4	96	1/2	192	48	1.0000
36	0.7500	16QAM	4	144	3/4	192	48	1.0000
48	1.0000	64-QAM	6	192	2/3	288	72	1.5000
54	1.1250	64-QAM	6	216	3/4	288	72	1.5000

III-7. Les normes en cours

Rate, Mbps	Single/Multi Carrier	802.11b @2.4 GHz		802.11g @2.4 GHz		802.11a @5.2 GHz	
		Mandatory	Optional	Mandatory	Optional	Mandatory	Optional
1	Single	Barker		Barker			
2	Single	Barker		Barker			
5.5	Single	CCK	PBCC	CCK	PBCC		
6	Multi			OFDM	CCK-OFDM	OFDM	
9	Multi				OFDM, CCK-OFDM		OFDM
11	Single	CCK	PBCC	CCK	PBCC		
12	Multi			OFDM	CCK-OFDM	OFDM	
18	Multi				OFDM, CCK-OFDM		OFDM
22	Single				PBCC		
24	Multi			OFDM	CCK-OFDM	OFDM	
33	Single				PBCC		
36	Multi				OFDM, CCK-OFDM		OFDM
48	Multi				OFDM, CCK-OFDM		OFDM
54	Multi				OFDM, CCK-OFDM		OFDM