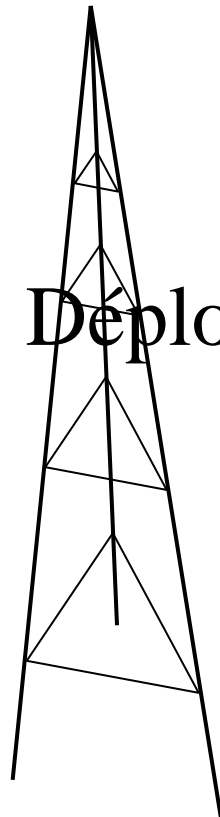
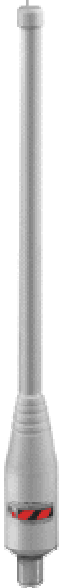


Communications Hertziennes (COH)



Quatrième partie :

Déploiement de réseaux cellulaires





Introduction

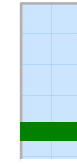
- Chap 12 : Principes des réseaux cellulaires
- Chap 13 : Partage des ressources
- Chap 14 : Ingénierie cellulaire
- Chap 15 : caractéristiques du GSM
- Chap 16 : caractéristiques des réseaux WiFi



Chap 12 : Principes des réseaux cellulaires

- Caractéristiques principales du GSM
 - Généralités : organisation cellulaire, ...
 - Décrire le lien radio dans la norme
- Organisation d'un réseau cellulaire
- Dimensionnement
- Planification : aide logicielle, les problèmes à prendre en compte

1- quelques systèmes cellulaires



Chapitre 12

- Systèmes cellulaires
 - 1970, développement des systèmes analogiques
- Systèmes sans cordon
 - Débute dans les années 80, dépasse le téléphone fixe
- Messagerie unilatérale
 - Débute dans les années 1990, en cours de disparition
- Quelques systèmes numériques :
 - GSM, DCS, IS95, IS95, UMTS : Grand public
 - TETRA/TETRAPOL : Professionnel
 - MOBITEX : WAN

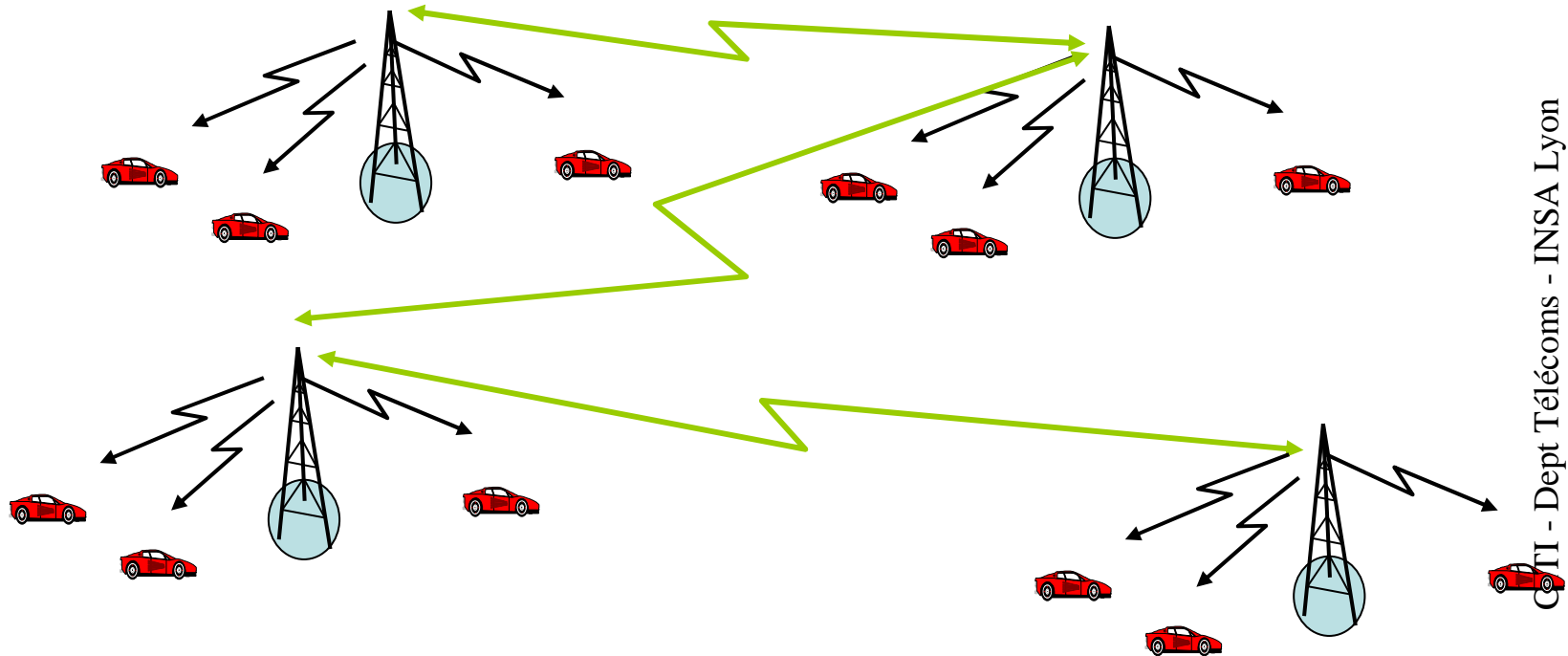
A lire ...



Chapitre 12

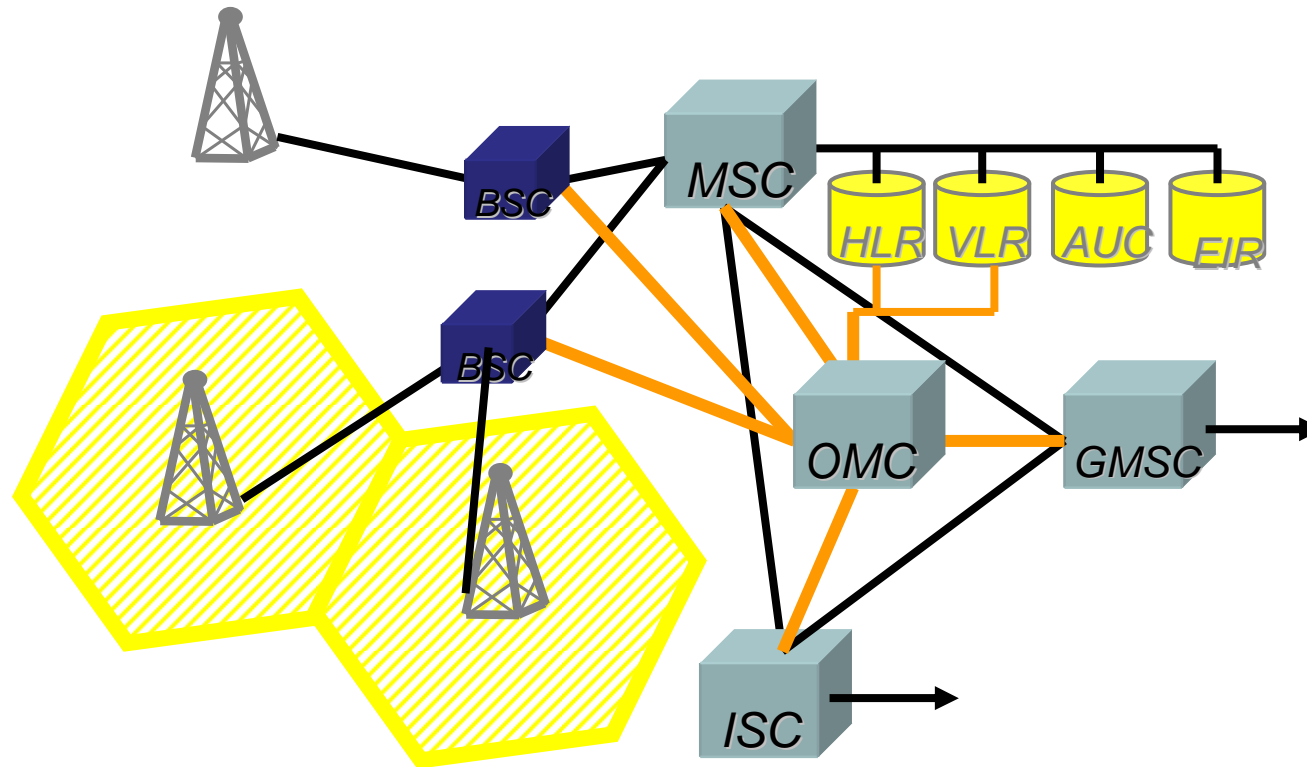
- Radiocommunications
 - Wireless Communications, Theodore Rappaport, Prentice Hall (1996).
- Réseaux radio-mobiles
 - réseaux radiomobiles, Sami Tabbane, HERMES
 - réseaux GSM/DCS, Lagrange, Godlewski & Tabbane, HERMES
- wLAN
 - mobile communications, Jochen Schiller, Addison-Wesley (2000)
 - Wireless LANs, Jim Geier, SAMS (2001).

2- architecture fixe (core network)



On utilise souvent des faisceaux hertziens

3- architecture logique



➔ Voir le cours Architecture des Réseaux Mobiles (ARM, 4TC, Sem2)

4- Définition d'une cellule



Chapitre 12

- La formule de Friis a conduit à un modèle d'affaiblissement qui dépend de la distance (et de la fréquence).

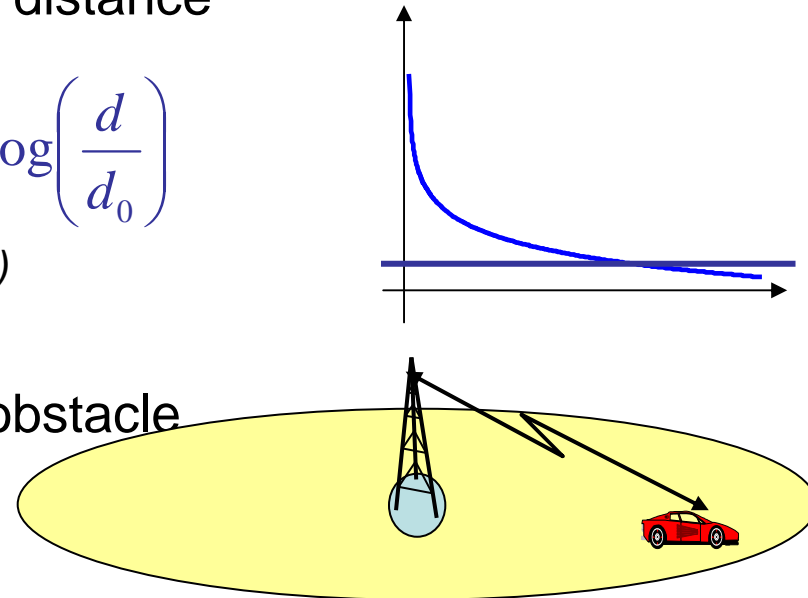
$$P_{dBm}(d) = P_{dBm}(d_0) - 20 \cdot \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

(avec l'effet de sol, on a un modèle à 2 pentes)

- Pour tenir compte des pertes par obstacle on peut généraliser à:

$$P_{dBm}(d) = P_{dBm}(d_0) - 10 \cdot n \cdot \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

- La taille de la cellule est limitée par le SNR, ou le SINR.





– 2 contraintes

$$\frac{C}{N+I} = SINR \geq S_{I+N}$$

$$\frac{C}{N} = SNR \geq 2 \cdot S_{I+N}$$

$$\frac{C}{I} = SIR \geq 2 \cdot S_{I+N}$$

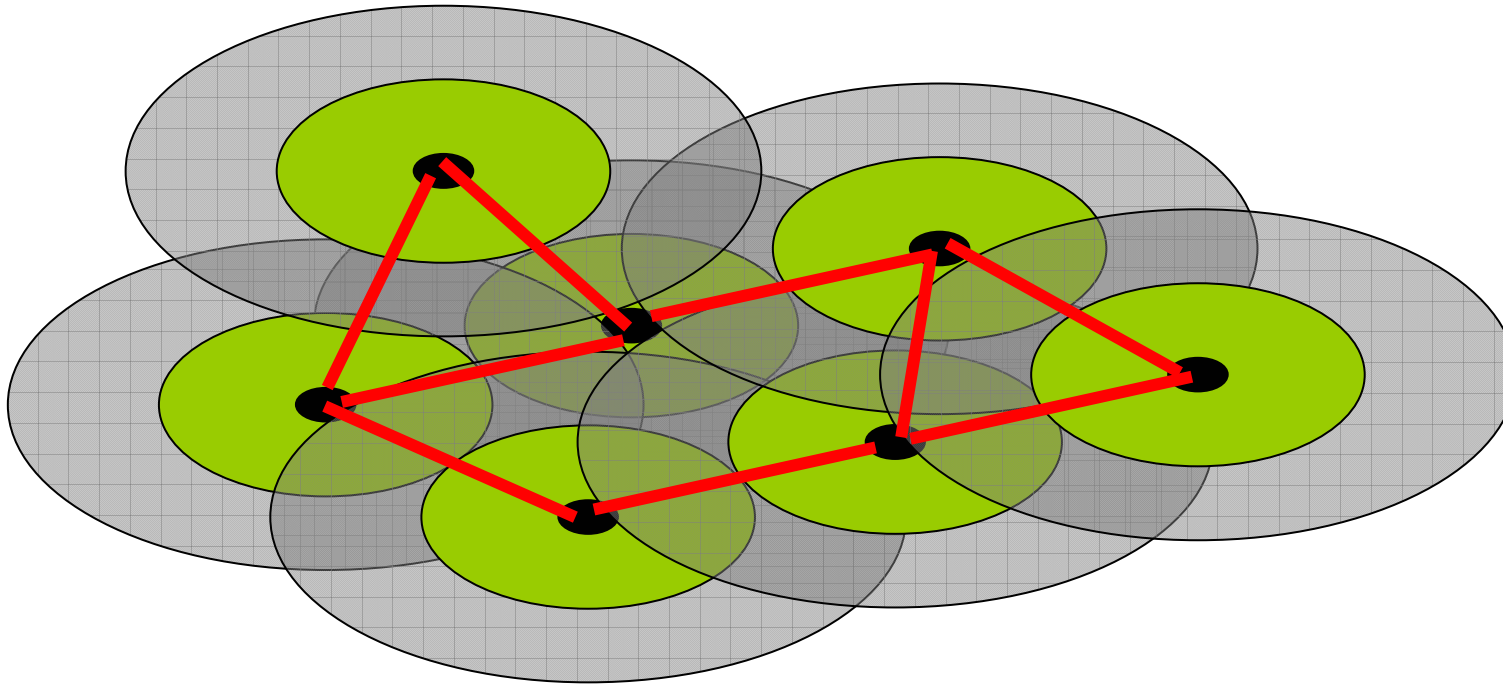
Soit en dB :

$$\frac{C}{N} \geq S_N = S_{I+N} + 3dB$$

$$\frac{C}{I} \geq S_I = S_{I+N} + 3dB$$

5- Affectation de ressources

– k ressources, N cellules (nœuds)



- ➔ coloriage de graphes, k -couleurs
- ➔ Affectation statique ou dynamique

6- Modèle hexagonal



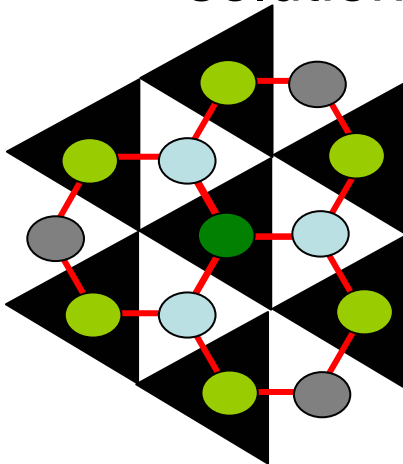
– problématique :

- théorique = espace libre = isotrope.
- Structure régulière = voisinage homogène
- 1 cellule = k voisines équidistantes

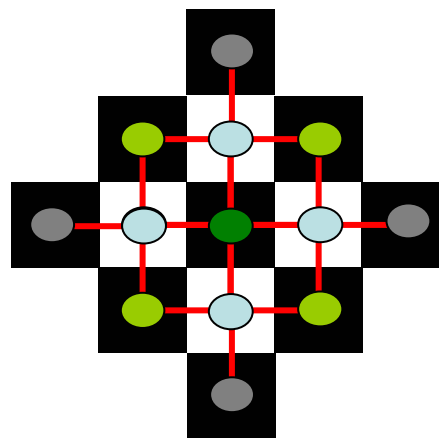
Positionnement de cercles avec recouvrement minimal

Zone de service : le plus fort signal

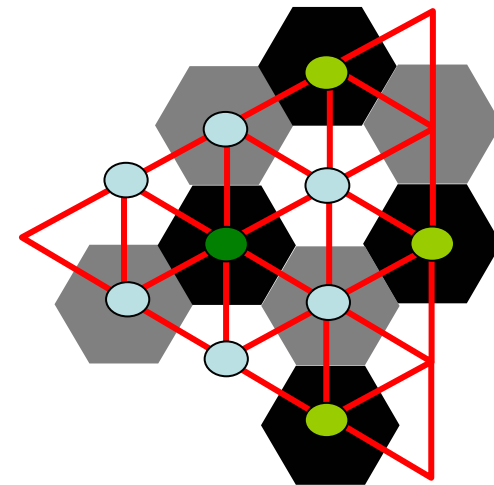
– solutions :



3-connexité
>12 voisines



4-connexité
>8 voisines



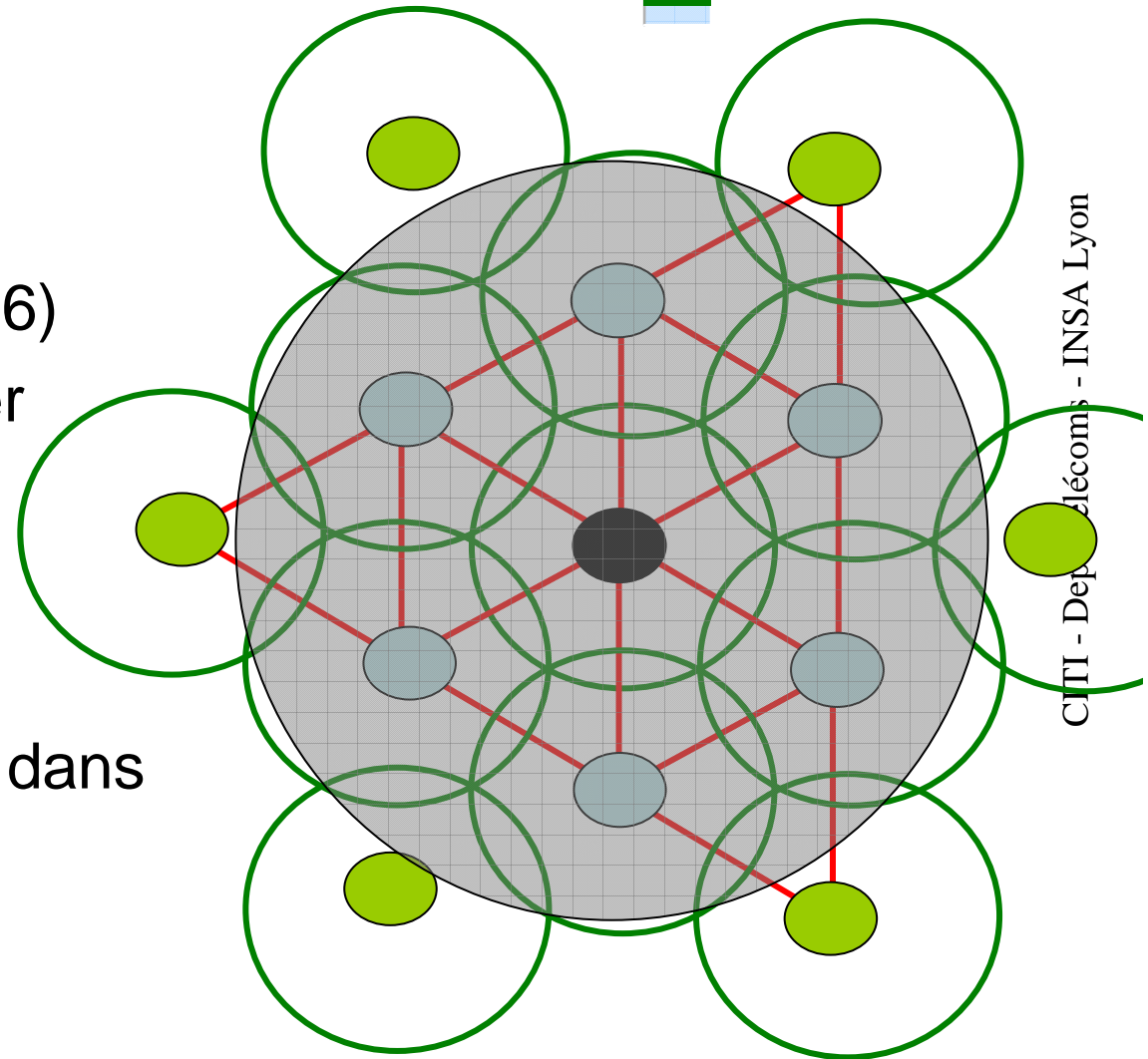
6-connexité
>6 voisines

IV-11

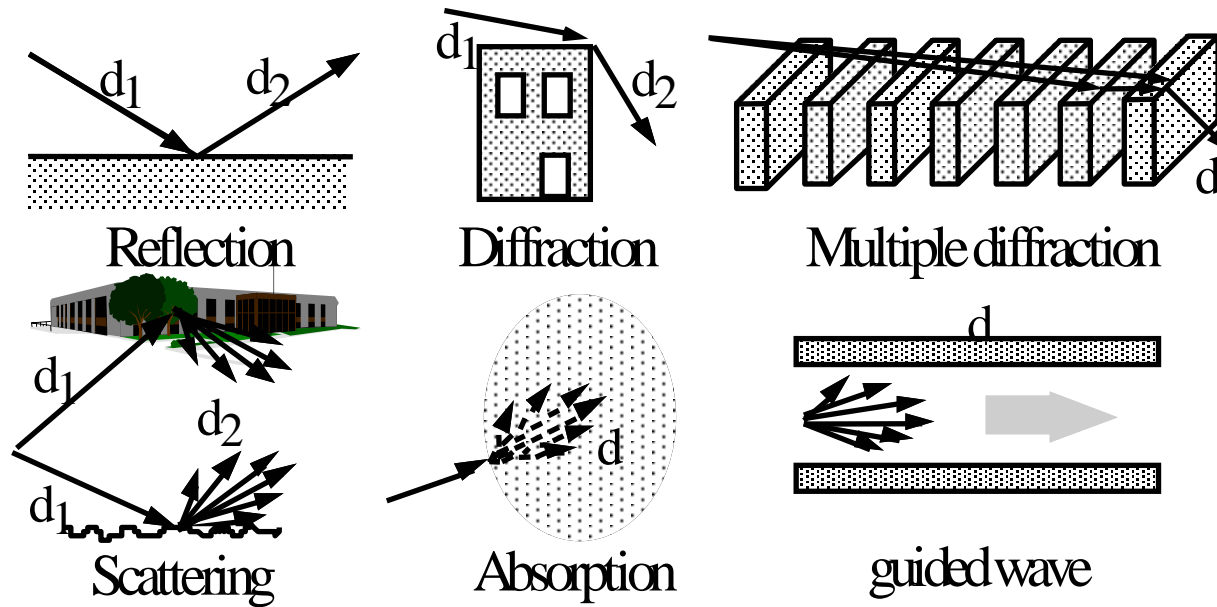
7- Voisinage

- 2 sens possibles
au sens réseau :
recouvrement (~6)
gestion handover

au sens signal :
brouillage (>12)
prise en compte dans
le SINR

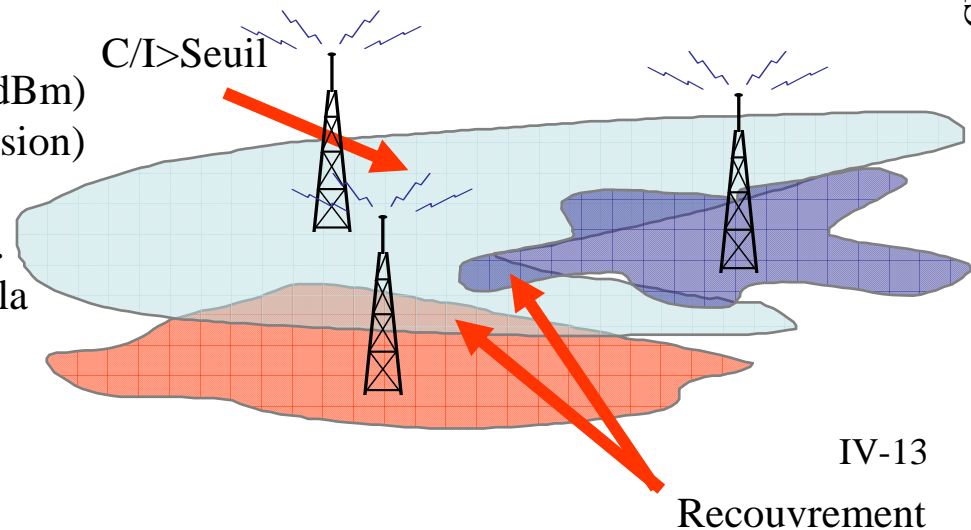


8- Cellule réelle



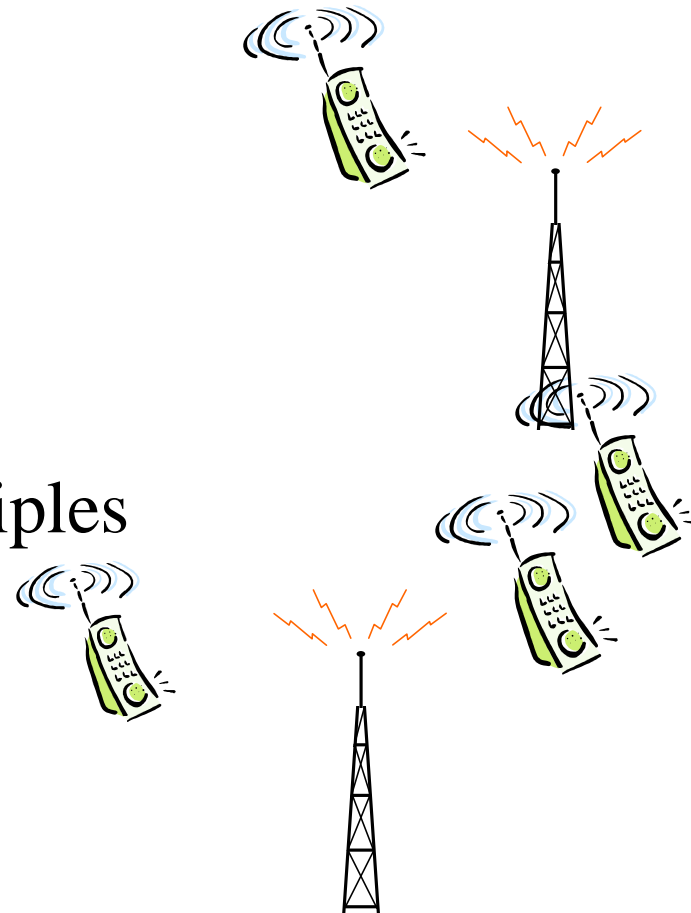
Définition de la zone de service :

- $C/N > \text{limite}$: $P_r > P_{\text{seuil}} (-96\text{dBm})$
(dépend de la puissance d'émission)
- $C/I > \text{limite}$ ($I = I_{\text{IS}} + I_{\text{IF}} + I_{\text{IC}}$)
- $\text{distance} < \text{dist_max temps AR.}$
- $\text{BER} < \text{limite} (< 10^{-3})$: définir la QoS



Chap 13: Partage des ressources

- Ressources
- Bande de fréquences
- Techniques d'accès multiples





Le spectre radio

Principes de modulation

Multiplexage

Notion de bruit

Capacité de canal

Interférences

- Capacité de canal : définition

la capacité d'un canal est le débit maximal admissible soit :

- sans erreur (théorique)
- pour un taux d'erreur donnée (pratique)

la capacité est égale au produit du débit symbole maximal par le nombre de bits/symbole.

$$C = \max(R_s) \cdot \max(Nb)$$

$$C = W \cdot \log_2(1 + SNR)$$

Dans un canal à bruit additif gaussien, il est possible de trouver une méthode de codage, telle que pour tout $R_b < C$, la transmission soit sans erreur

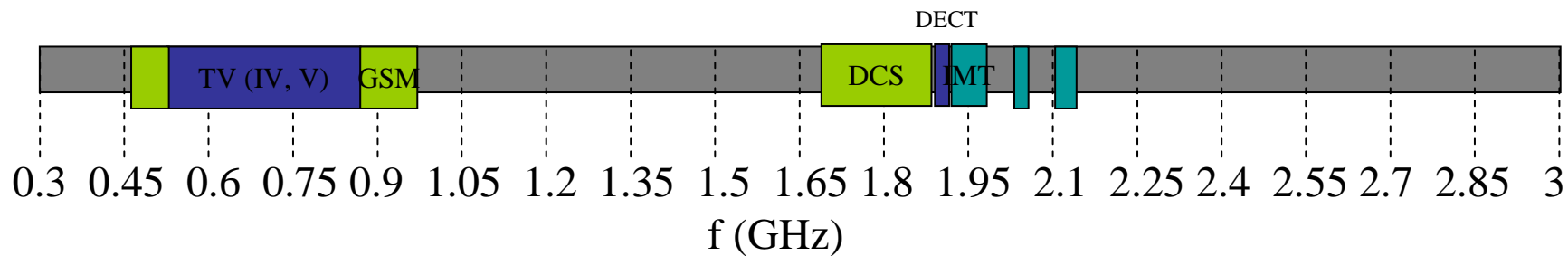
1- Bande de fréquences



Chapitre 13

Attribution de ressources globales

- la bande de fréquence est choisie en fonction :
 - de la portée voulue.
 - de la capacité souhaitée.
- GSM : 890-915/935-960 MHz
 - » (GSM étendu : 880-915MHz, 925-960MHz)
- DCS1800 : 1710-1785/1805-1880 MHz
- DECT : 1880-1900MHz
- wLAN : ISM ~2,4GHz



2- Duplexage

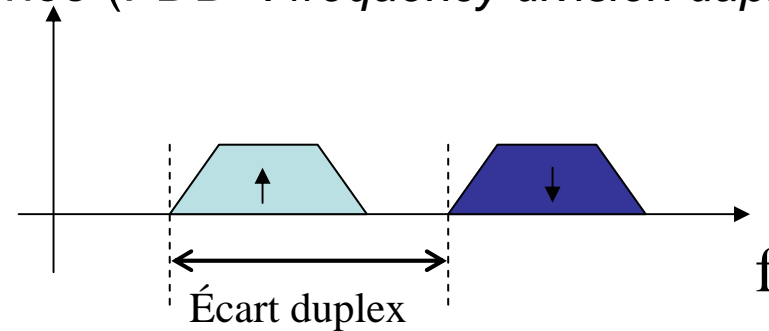


Chapitre 13

(voix montantes/descendantes)

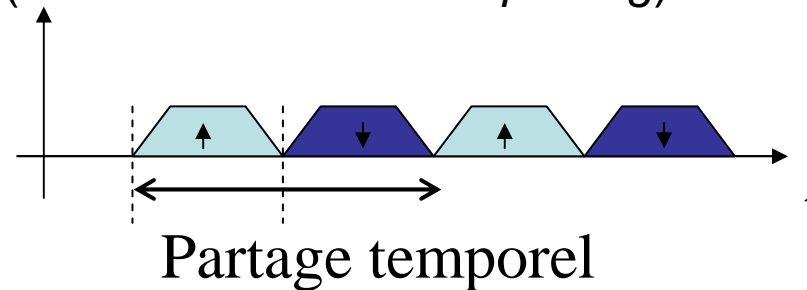
- Duplexage en fréquence (FDD : *frequency division duplexing*)

Intérêt : Eviter les interférences entre lien montant et lien descendant (signal en réception << signal en émission)



- Duplexage en temps (TDD : *time division duplexing*):

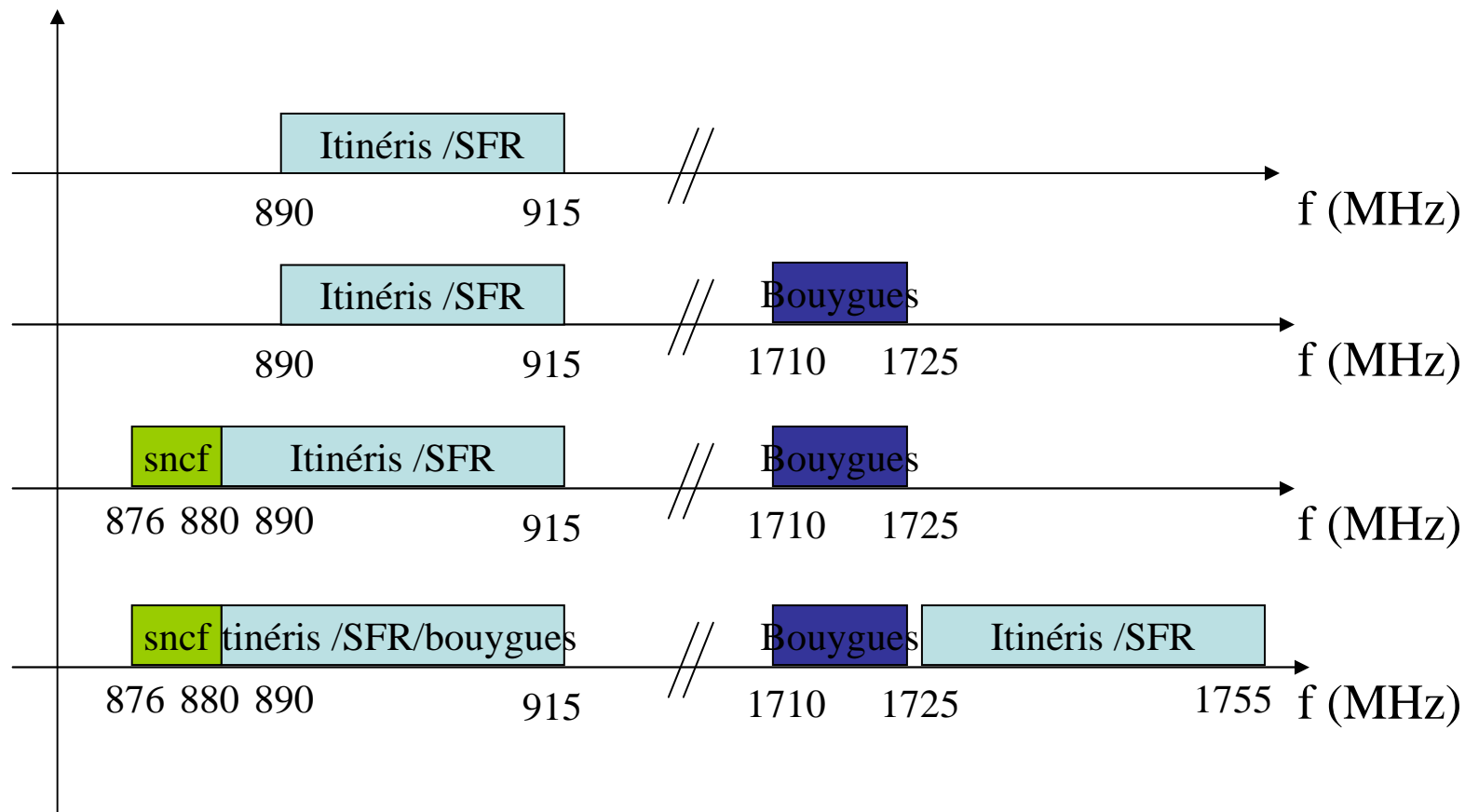
Intérêts : une seule porteuse à gérer. Débit relatif des voies montante/descendante est variable





- C) Partage entre réseaux indépendants
 - Approche centralisée :
 - réserver des ressources spécifiques à différents opérateurs
 - GSM, UMTS, IS-95 : bandes spécifiques à chaque opérateur =multiplexage fréquentiel.
 - Approche partagée
 - wLAN, DECT : mêmes bandes pour tous.
 - » Nécessite une technique pour limiter les interférences (codes aléatoires, saut de fréquence, ...).
 - » Interférences non contrôlables, QoS non garantie.

- Partage entre opérateurs pour le GSM
(représentation pour les fréquences montantes)

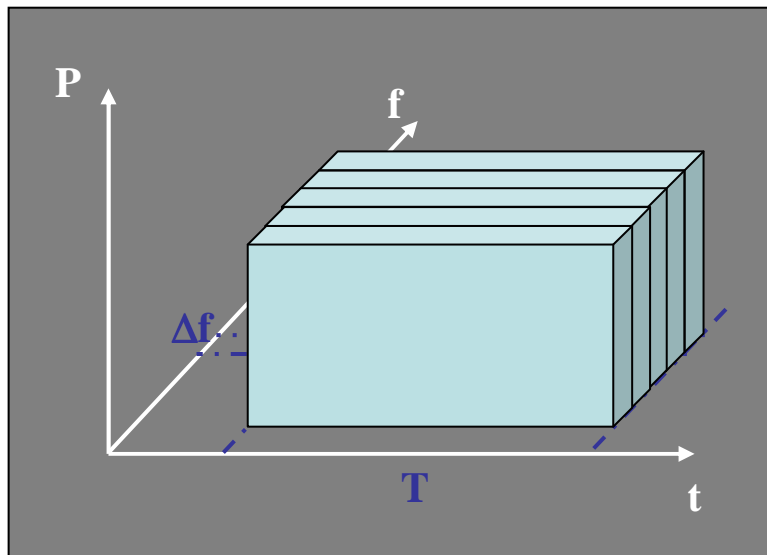


4- multiplexage multi-utilisateurs

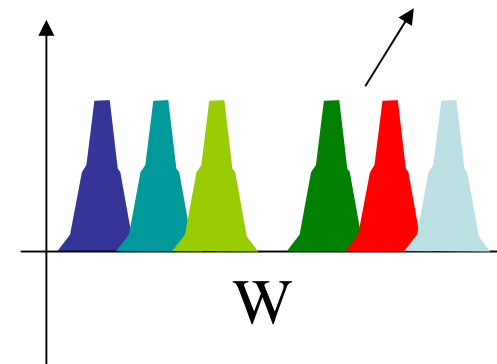


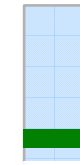
Chapitre 13

- A) FDMA
(Frequency Division Multiple Access)
 - découpage de la bande de fréquences en plusieurs porteuses
 - avantage : simplicité, proche d'un système analogique (radiocom2000).
 - Inconvénient majeur : faible utilisation spectrale / interf. élevées

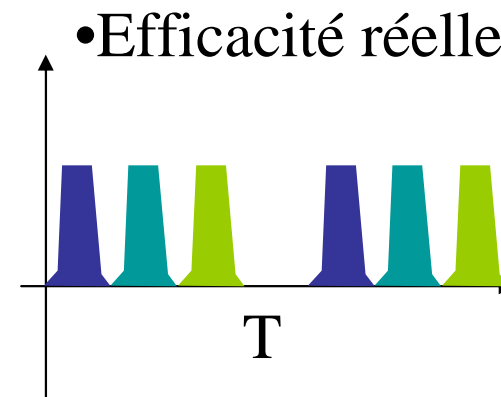
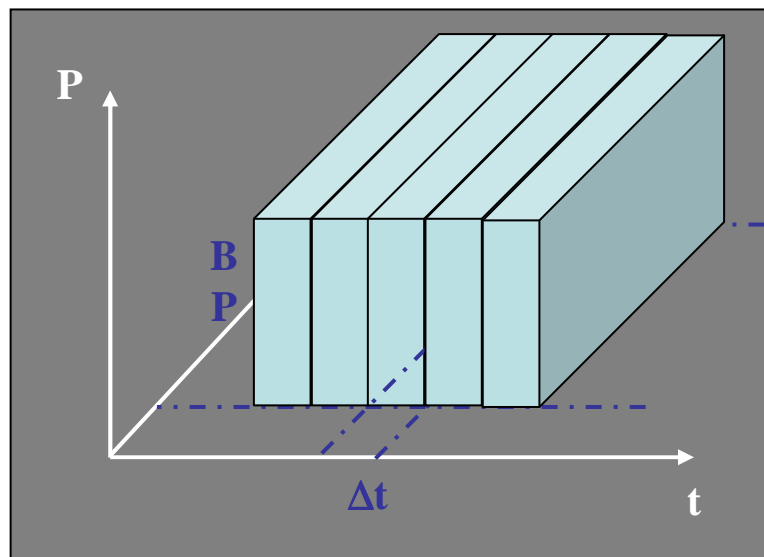


•Efficacité réelle





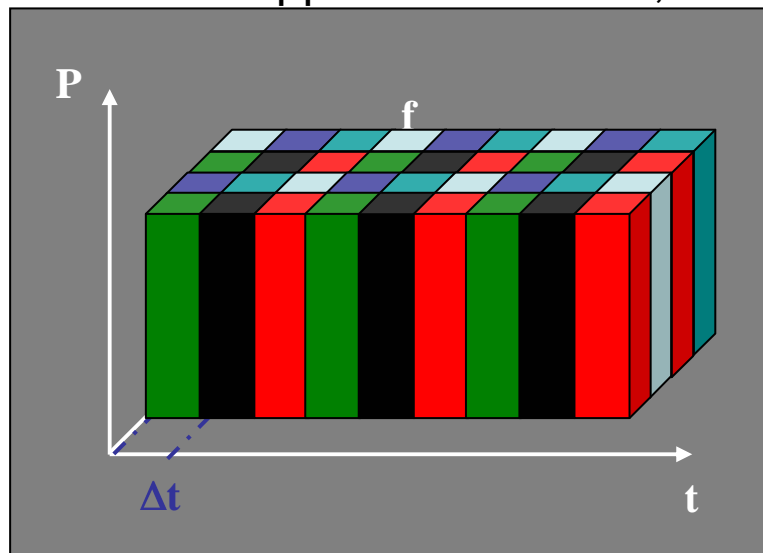
- B) TDMA (Time Division Multiple Access)
 - découpage du canal fréquentiel en trames (et slots)
 - avantage : 1 seule porteuse, simplifie la partie RF.
 - Inconvénients :
 - synchronisation temporelle fine
 - étalement temporel, délais (mobiles à distance différente).

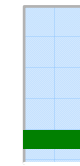




– C) FTDMA (TDMA)

- Le GSM est un système FTDMA, mais couramment appelé TDMA
- Définition de canaux fréquentiels à débit largement supérieur au débit d'une voie.
- Répartition de porteuses par cellule.
- Répartition dans le temps: trames et slots
- applications : GSM, DECT.

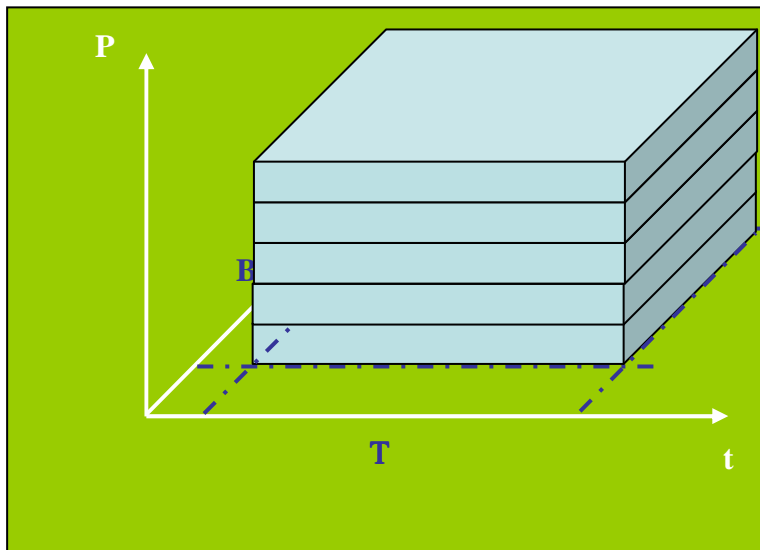




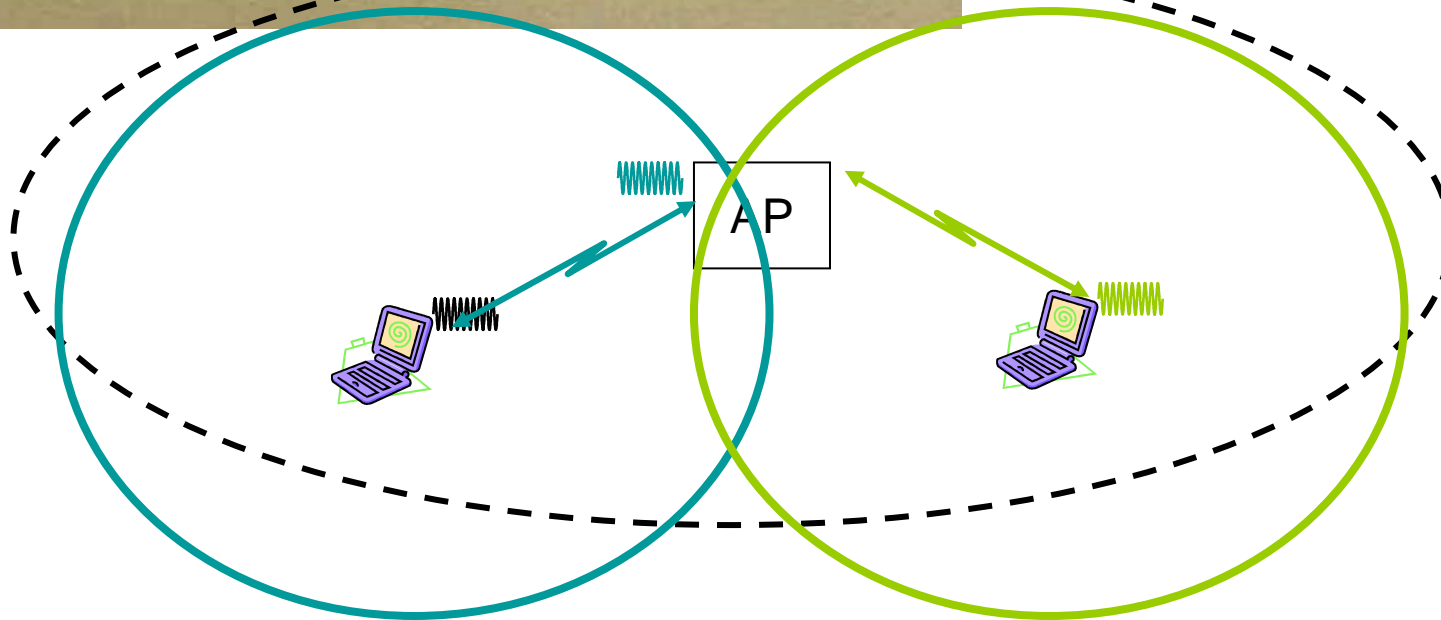
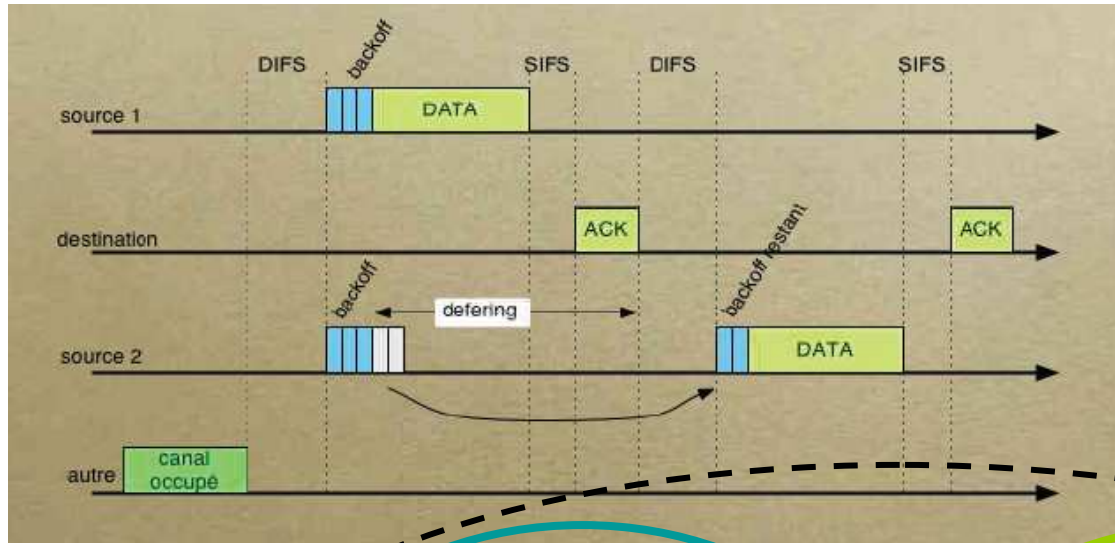
Chapitre 13

multiplexage

- D) CDMA (IS-95, IS-98, UMTS)
 - Le principe du DSSS est étendu avec l'utilisation de codes orthogonaux

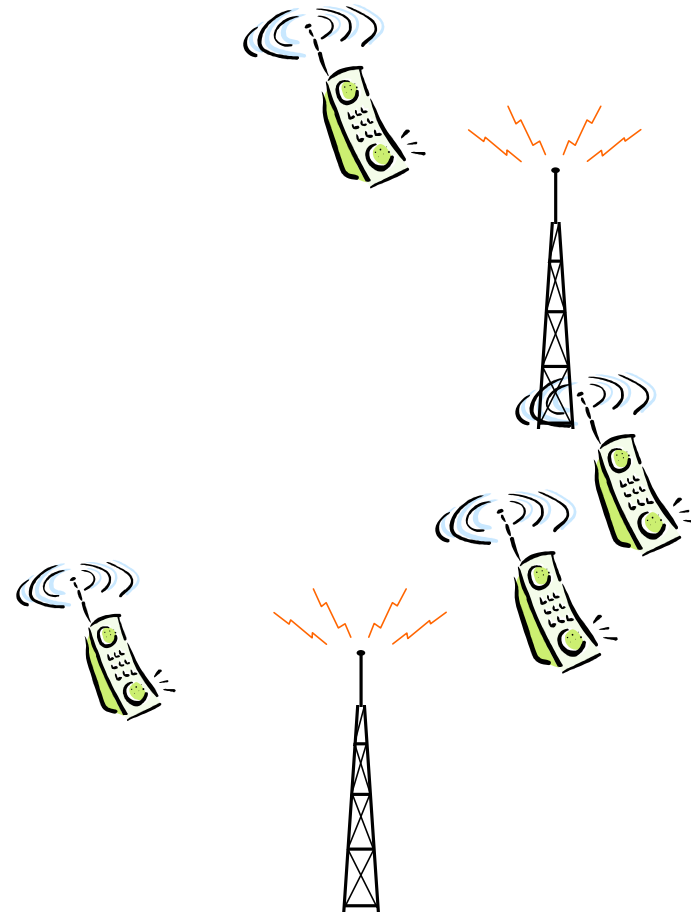


E) Cas particulier : CSMA/CA



Chap 14 : Ingénierie cellulaire

- **1. Dimensionnement**
- 2. Planification



1- Dimensionnement



Chapitre 14

dimension.mt

Estimation des ressources nécessaires (trafic)

Taux d'appel μ , durée d'appel moyen (H)

Intensité de trafic par utilisateur :
en Erlang : $A_u = \mu \cdot H$

Densité de population : d_h (hab/km²)

densité de trafic souhaité : $A = d_h \cdot A_u$ (erlang/km²)

(faible : 1 erlang, moyenne : 10 erlang, forte : 50 erlang)

Surface couverte : S

trafic à assurer : $A_{tot} = A \cdot S$ (en erlang)

Taux de blocage :

% appels bloqués (~2%)

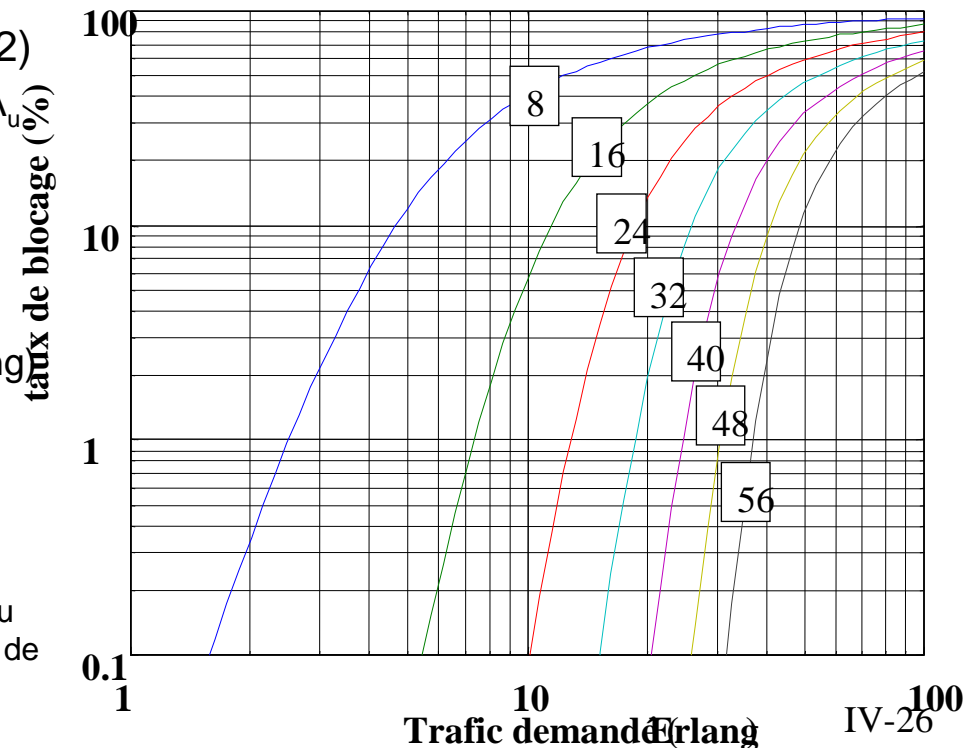
le taux de blocage dépend du nombre de canaux et du trafic.

i.e. le nombre de canaux requis dépend du trafic souhaité (densité.surface) et du taux de blocage requis.

Les lois d'Erlang

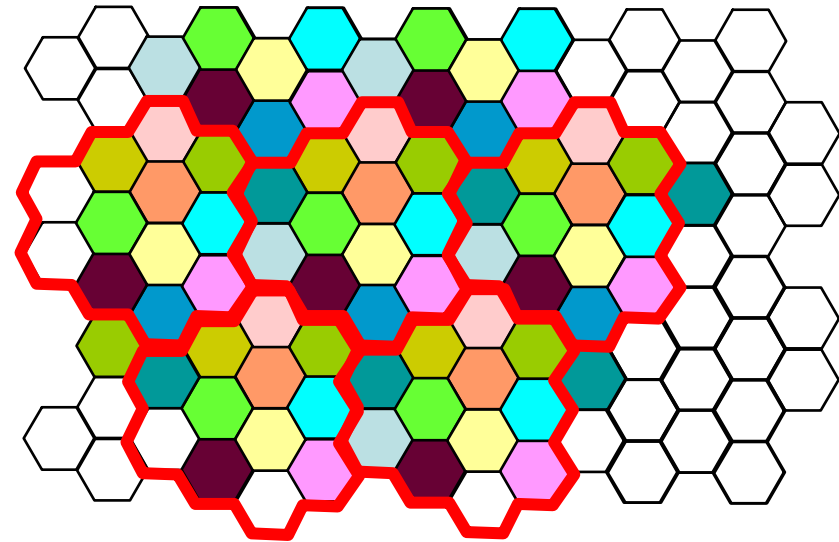
$$P_c = \frac{A_{tot}^{N_c} \frac{1}{N_c!}}{\sum_{n=0}^{N_c} A^n \frac{1}{n!}}$$

Etude du taux d'erreur en fonction du nombre de canaux de données





- Capacité cellulaire
 - Système avec S canaux
 - Canaux alloués à un cluster de N cellules
 - k canaux par cellule
 - Un motif utilise les $S=kN$ canaux
 - Motif répété M fois
 - Capacité du réseau $C=MkN$
 - Réduire la taille N du cluster, augmente capacité
 - Réduire la surface de la cellule, augmente M et donc la capacité



Notion de cluster

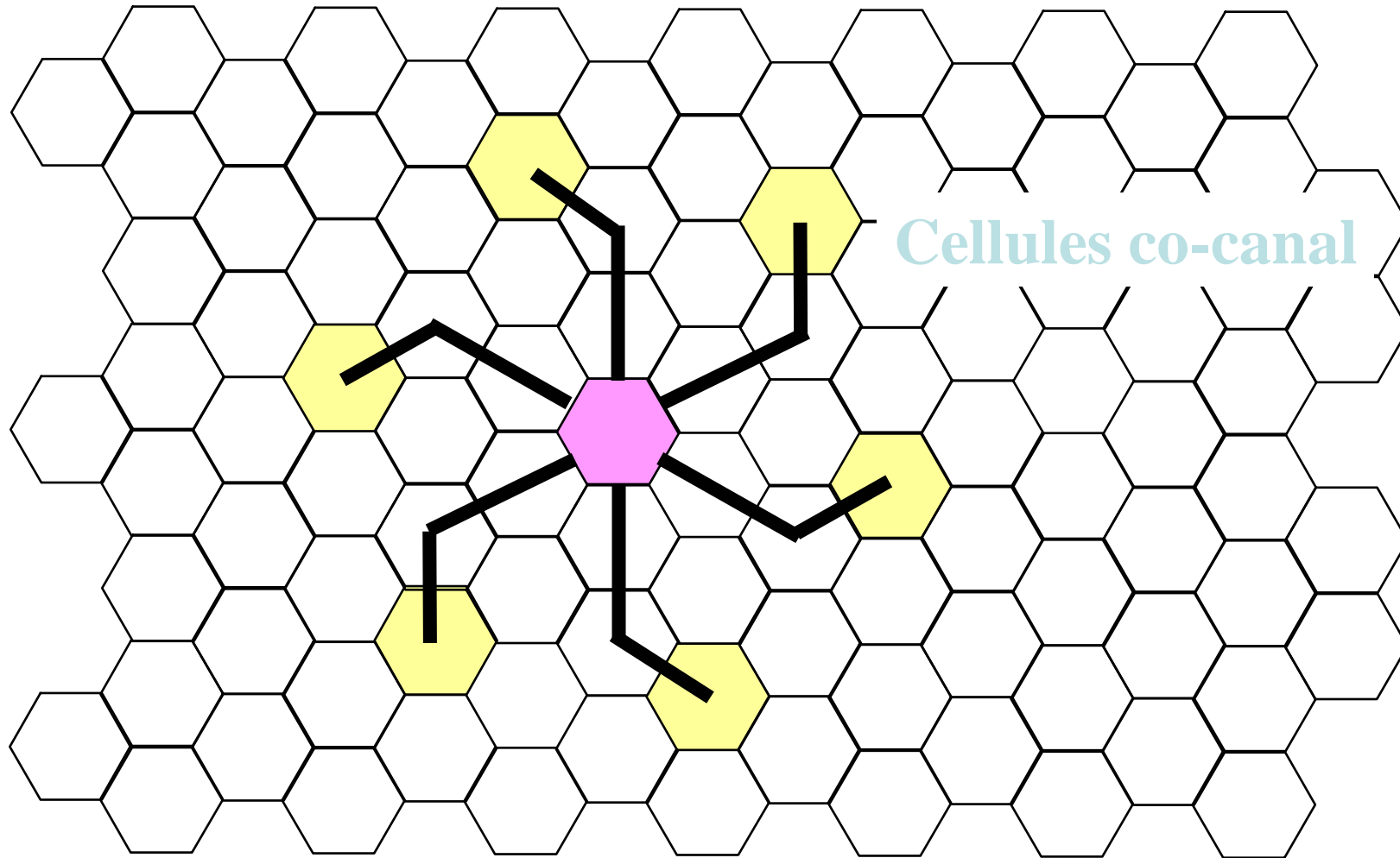


- Interférence co-canal
 - Cellules utilisant le même ensemble de fréquences (ou temps ou codes)
 - rem : impossible de réduire ces interférences en augmentant la puissance d'émission

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{\sum_{i=1}^{i_0} I_i}$$

Puissance de la cellule co-canal i







– Puissance moyenne reçue

- n est le facteur d'atténuation

$$P_r = P_0 \left(\frac{d}{d_0} \right)^{-n}$$

Estimation du C/I, pire cas :

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-n}}{\sum_{i=1}^{i_0} (D_i)^{-n}}$$



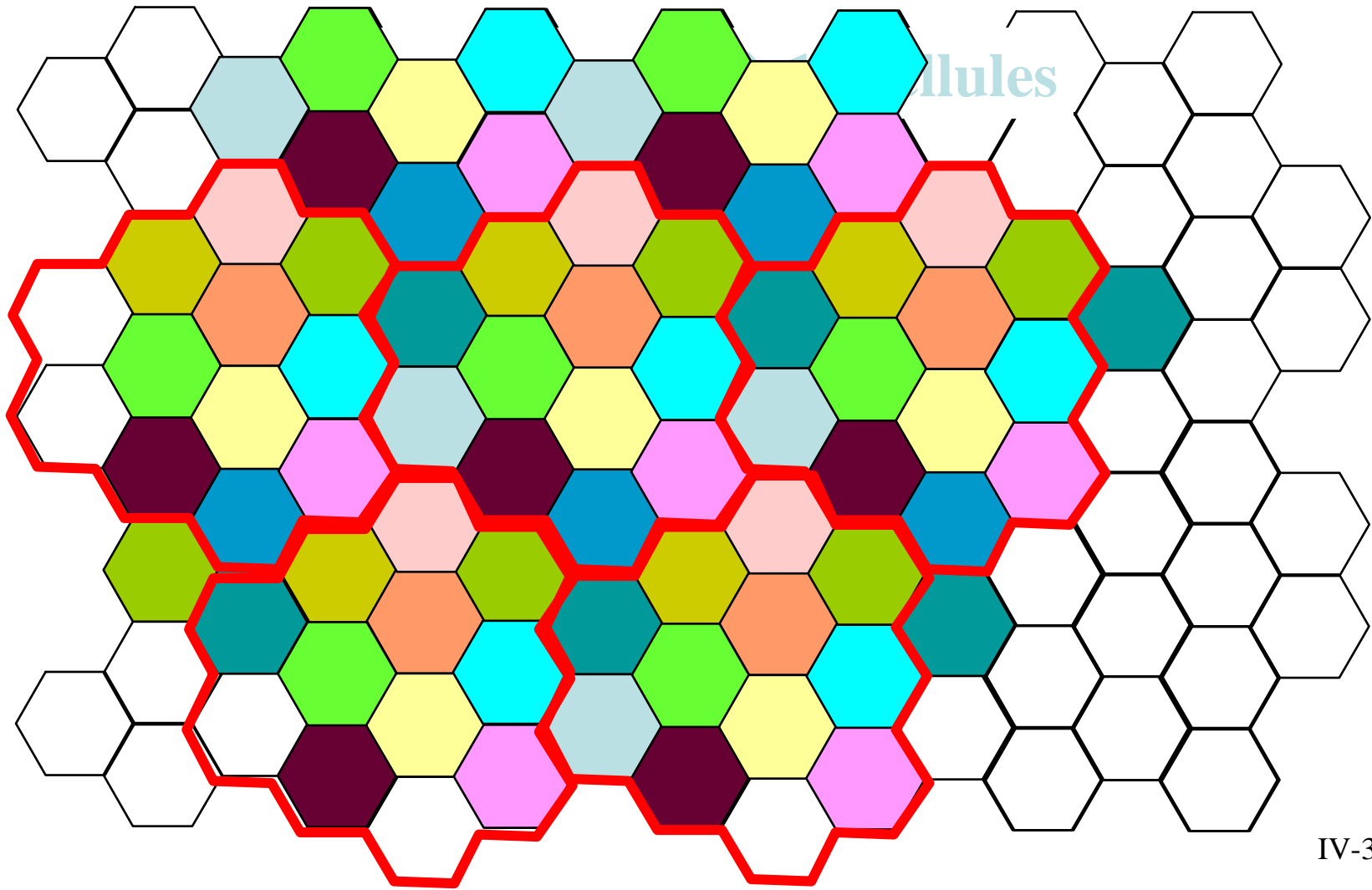
- Facteur de réutilisation (de canal)
 - Facteur $Q=D/R$
 - Géométrie hexagonale
 - 6 cellules co-canal
 - $N=i^2+ij+j^2$

	1	2	3	4
1	3	7	13	21
2	7	12	19	28
3	13	19	27	37
4	21	28	37	48



Chapitre 14

planification





– Facteur de réutilisation co-canal (cellules de même taille)

$$\frac{C}{I} = \frac{(D/R)^n}{6} = \frac{(\sqrt{3N})^n}{6}$$

- n est le facteur d'atténuation en milieu urbain n=2 à 4

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3N}$$

	N	1	3	4	7	9	12	13	19
n=3	C/I	-0.6	6,5	8,4	12	13,6	15,5	16	18,5
n=4	C/I	1,75	11	13,8	18,7	20,8	23,3	24	27,3

Rem : marge de 3dB implique N=7 pour n=3



- La norme GSM défini également des rapports de protection entre canaux adjacents

ACIP : Adjacent Chanel Interference Protection

Interférences co-canal (fo)	C/Ic	9dB
Interférences 1er canal adjacent	C/Ia1	-9dB
Interférences 2ième canal adjacent	C/Ia1	-41dB
Interférences 3ième canal adjacent	C/Ia1	-49dB

Impossible d'utiliser 2 fréquences adjacentes sur la même cellule en GSM.

Non recommandé pour des fréquences à $n+2$

Au-delà, négligé la plupart du temps

2- Amélioration du réseau



Chapitre 14

planification

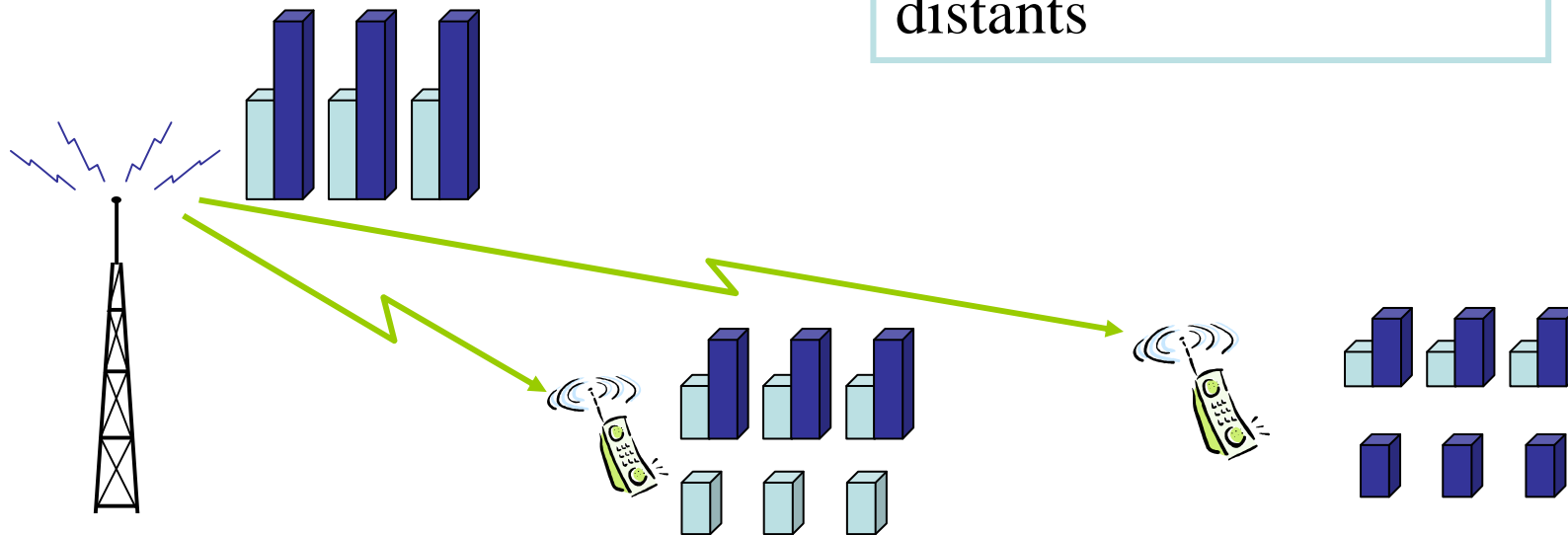
- Augmentation de la capacité
 - Par la planification
 - Contrôle de puissance
 - Sectorisation
 - » utilisation d'antennes directives
 - Reuse partitionning
 - » Superposer deux schémas cellulaires
 - Division cellulaire
 - Par la qualité du lien radio
 - Saut de fréquence, étalement de spectre
 - Contrôle de puissance
 - Changement de niveau de modulation



– Contrôle de puissance

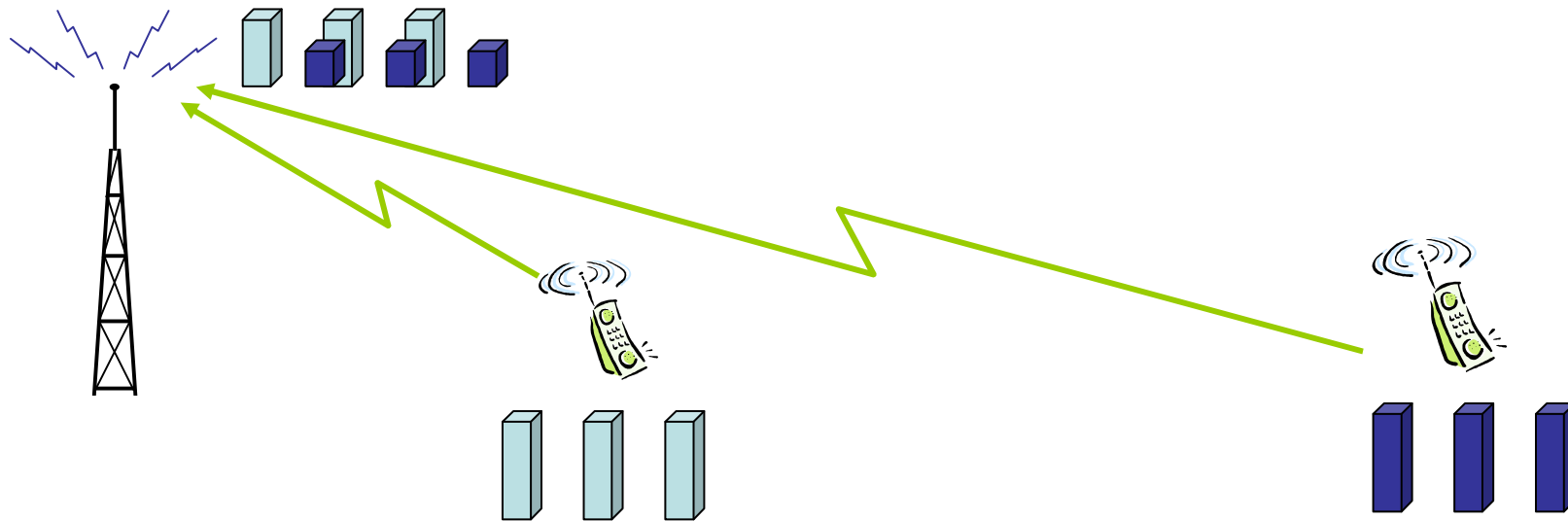
– sur lien descendant

Privilégierait les mobiles
distants





- sur lien montant
 - réduit les interférences
 - contrôle de puissance et 'time advance'

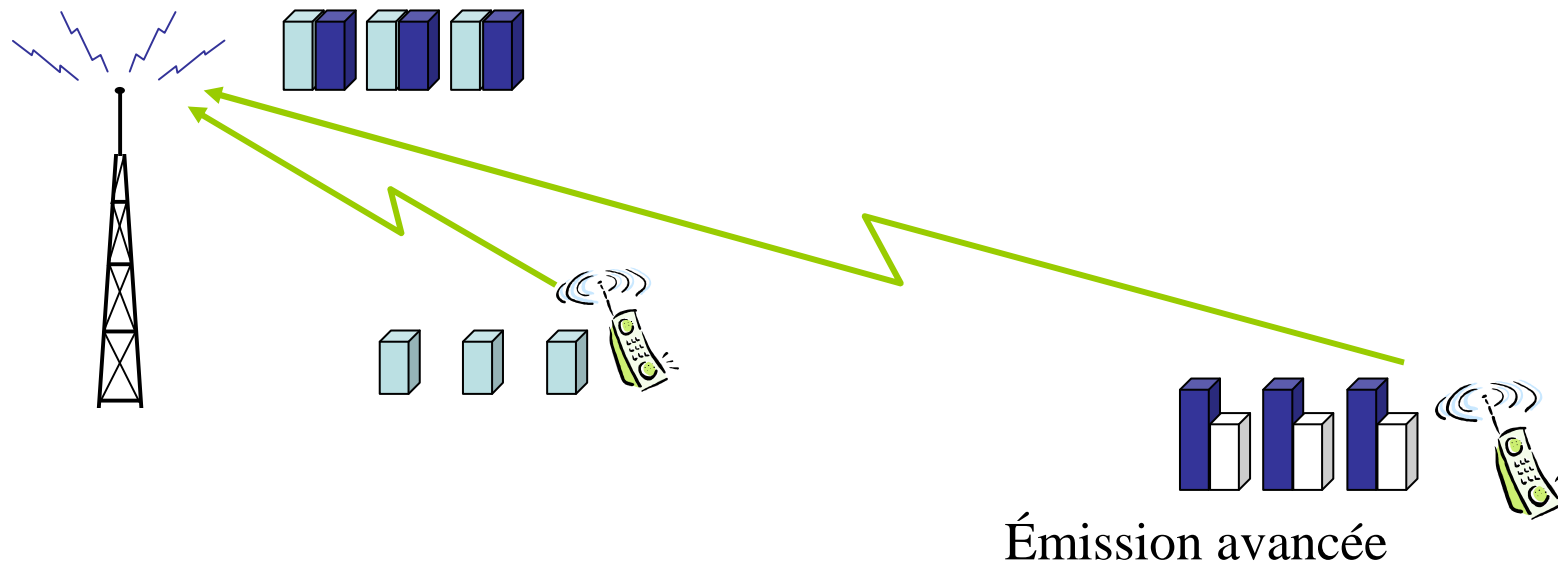


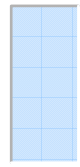


Chapitre 14

planification

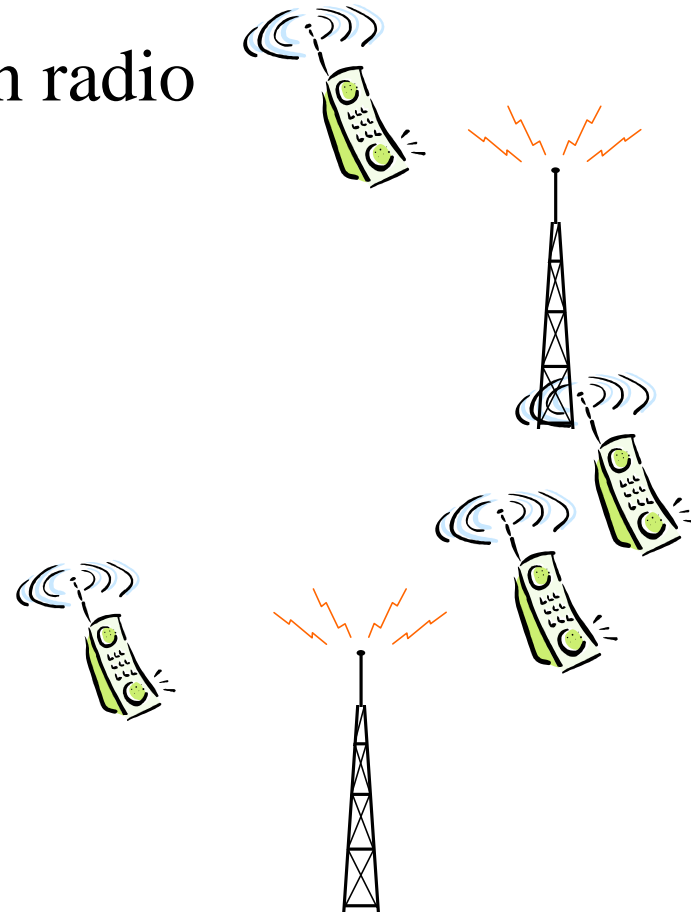
Chaque mobile estime le temps de trajet entre lui et la station de base et la puissance nécessaire





Chap 15 - Caractéristiques du GSM

- 1. Caractéristiques du lien radio
- 2. Les canaux logiques



1- Caractéristiques du lien radio



Chapitre 15

Lien radio

– Caractéristiques générales

A Lyon

	GSM	DCS
Bande de fréquence	890-915 MHz (up) 935-960 MHz (down)	1710-1785 MHz (up) 1805-1880 MHz (down)
Nombre d'intervalles de temps par trame TDMA	8	8
Nombre de porteuses	124	374
Fréquences porteuses	$f_d=935+0,2.n$, pour $1 \leq n \leq 124$	$f_d=1805,2+0,2.(n-512)$, pour $512 \leq n \leq 885$
Ecart Duplex	45 MHz	95MHz
Rapidité de modulation	271kbit/s	271kbit/s
Débit de la parole	13 kbit/s (5,6kbit/s)	13 kbit/s (5,6kbit/s)
Débit après codage d'erreur	22,8 kbit/s	22,8 kbit/s
Débit max de données	12 kbit/s	12 kbit/s
Accès multiple	Multiplexage fréquentiel et temporel, duplexage fréquentiel	Multiplexage fréquentiel et temporel, duplexage fréquentiel
Rayon des cellules	0,3 à 30 km	0,1 à 4 km
modulation	GMSK	GMSK



– Duplexage fréquentiel (FDD)

	GSM	DCS
Bande de fréquence	880-915 MHz (up)	1710-1785 MHz (up)
	925-960 MHz (down)	1805-1880 MHz (down)
Ecart Duplex	45 MHz	95MHz

– Capacité réelle

- débit 1 canal logique 116bit/trame
- débit 1 canal fréquentiel : 8x116bit/trame
- débit réel : $D_i = 116/577 \cdot 10^{-6} \sim 200 \text{ kb/s}$

- capacité globale : $124 \times 200 \text{ kb/s} = 24,8 \text{ Mb/s}$
 - à comparer à $C_{\text{theo}} = 50 \text{ Mb/sec}$
- efficacité spectrale : $\eta \sim 1 \text{ b/s/Hz}$

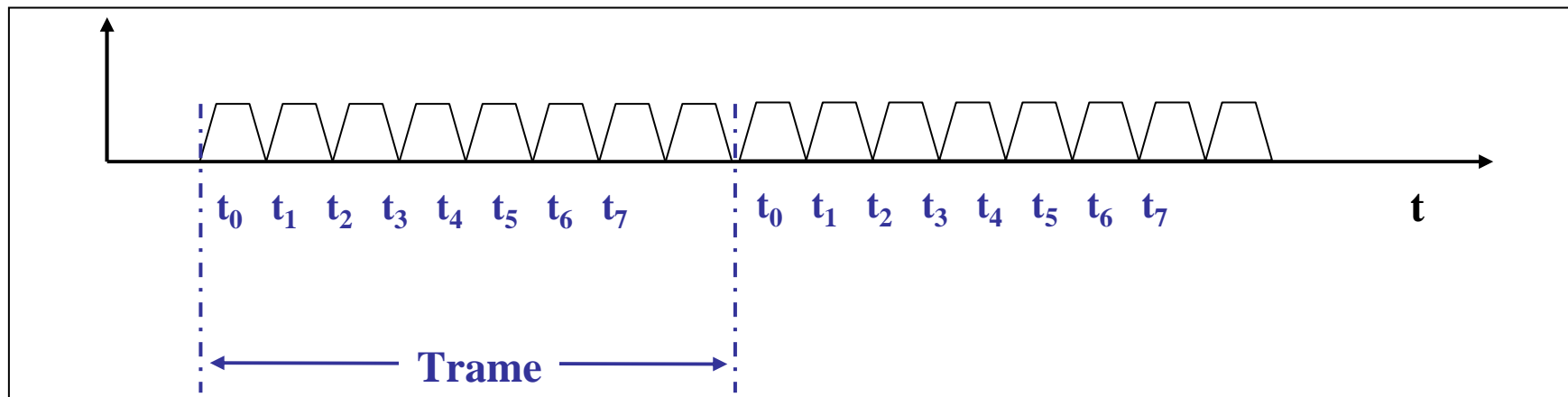


Accès partagé en temps : TDMA

Le GSM est un système synchronisé

Regroupement de voies : multiplexage temporel

- augmentation de la cadence d'émission
- si synchronisés : pas d'interférences entre voies.
- Facile sur lien descendant
- Problème en lien montant (intervalle de garde, ou paramètre TA, contrôle de puissance)



1 canal en fréquence = 1 porteuse = 1 fréquence

1 canal physique = 1 slot par trame

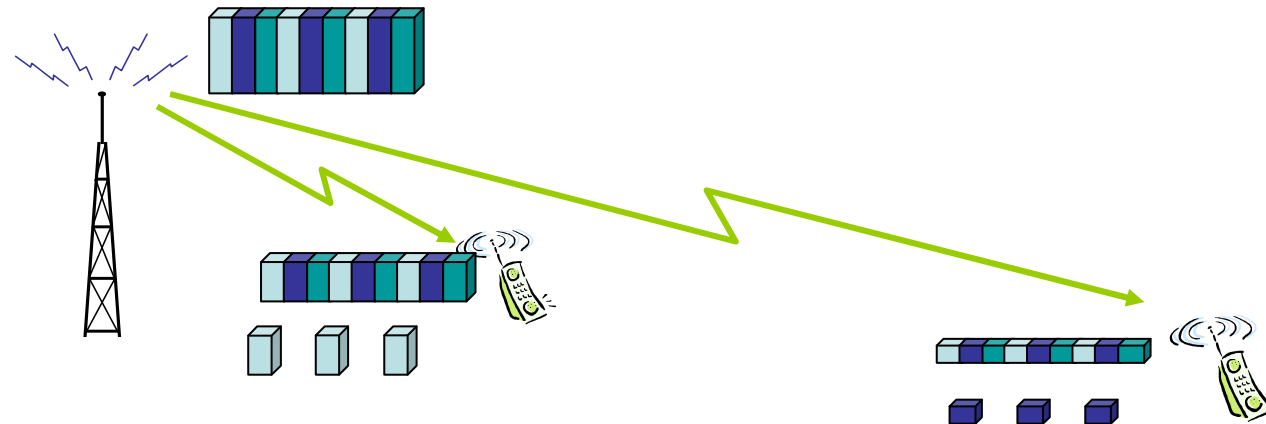
1 canal logique = n canaux physiques (ex n=1; n=0,5; n=4,...)



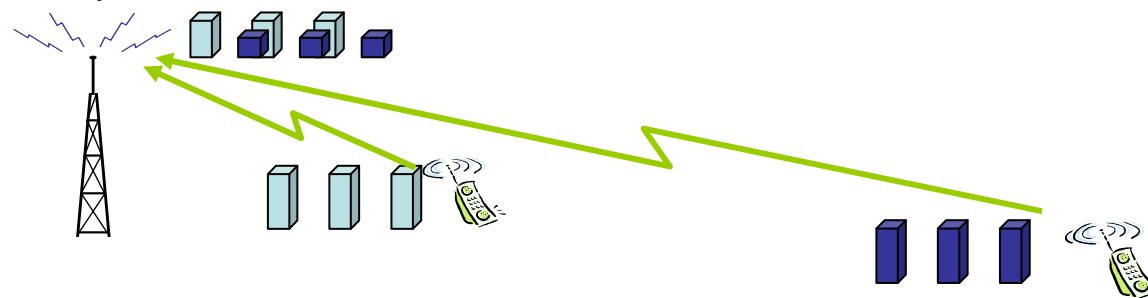
Chapitre 15

Lien radio

- sur lien descendant : synchro évidente
 - pas de problème particulier car 1 seule source
 - il faut juste synchroniser les récepteurs



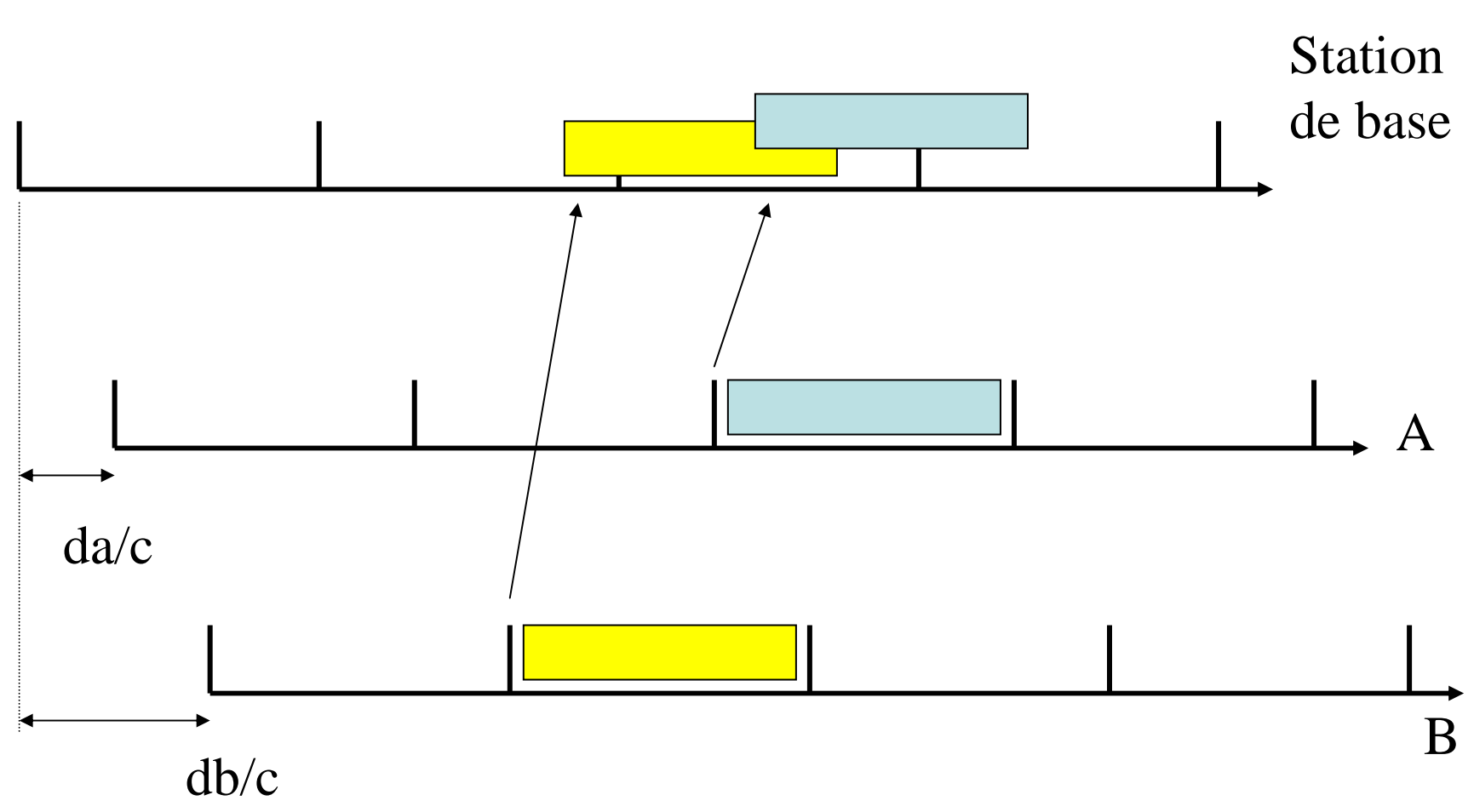
- sur lien montant : plus difficile
 - problème de temps de vol
 - problèmes de puissance





Chapitre 15

Lien radio

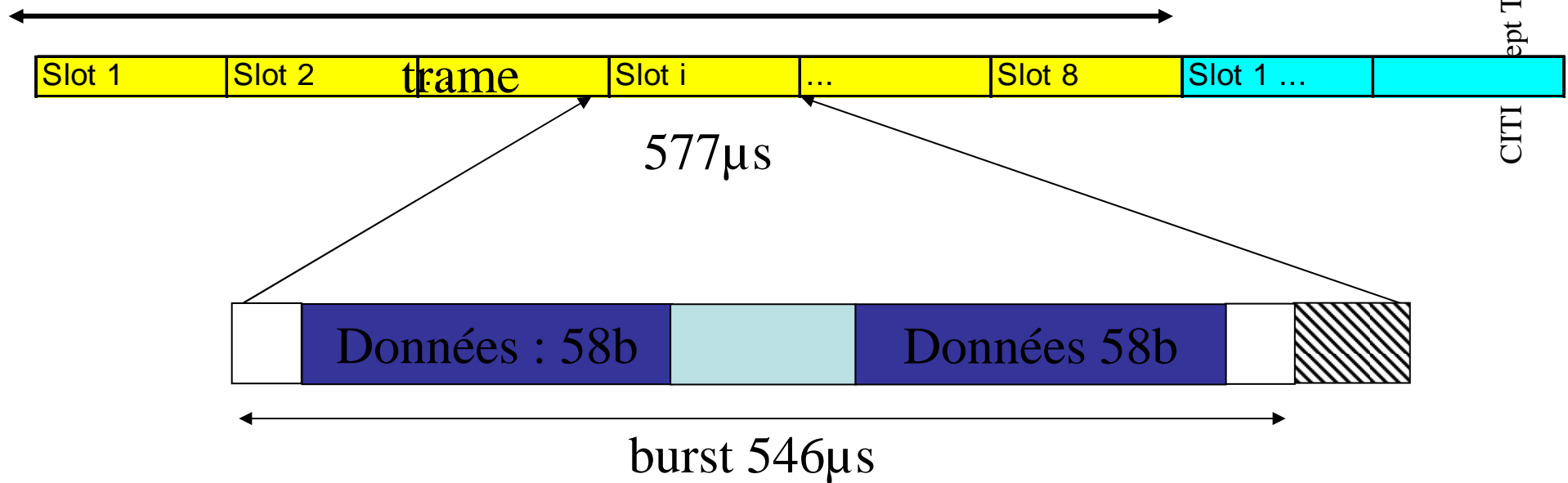


CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon



– Partage : F-TDMA

- largeur totale : 25MHz. $C_{\text{theo}}=50\text{Mb/sec}$
- canaux fréquentiels : 124c, 200kHz; 271kb/sec
- trames de 8 slots



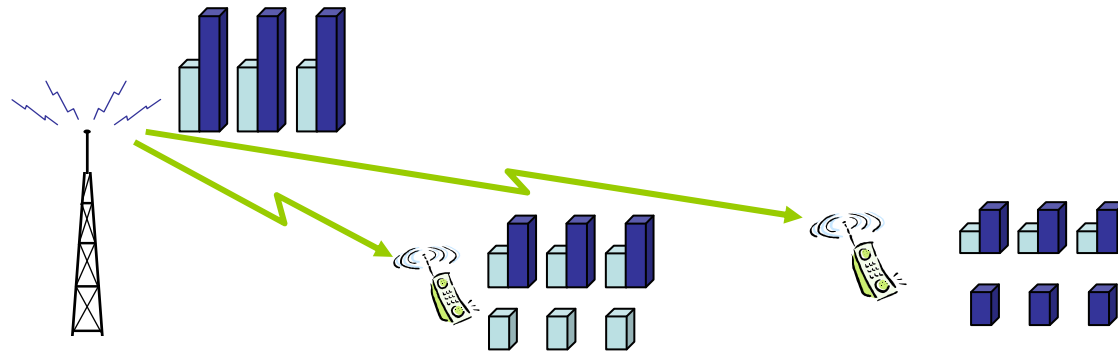


Chapitre 15

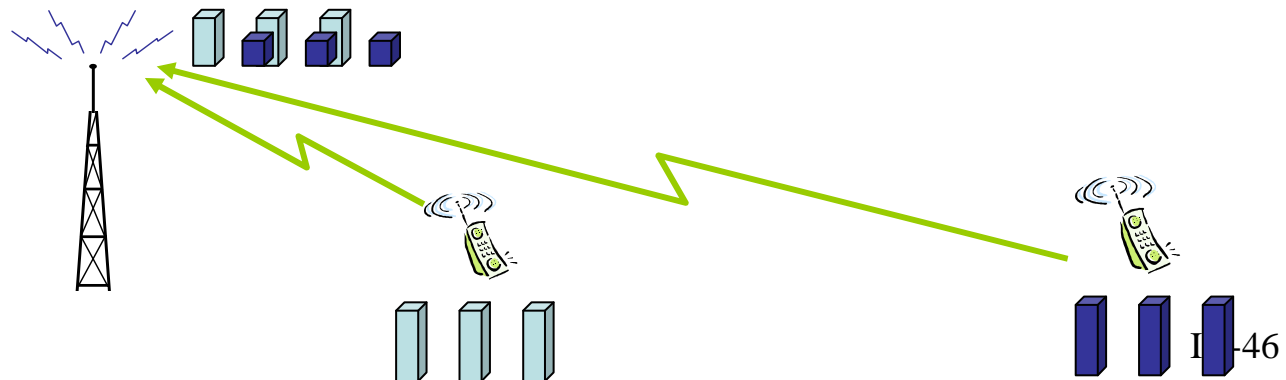
Lien radio

- Contrôle de puissance
 - sur lien descendant

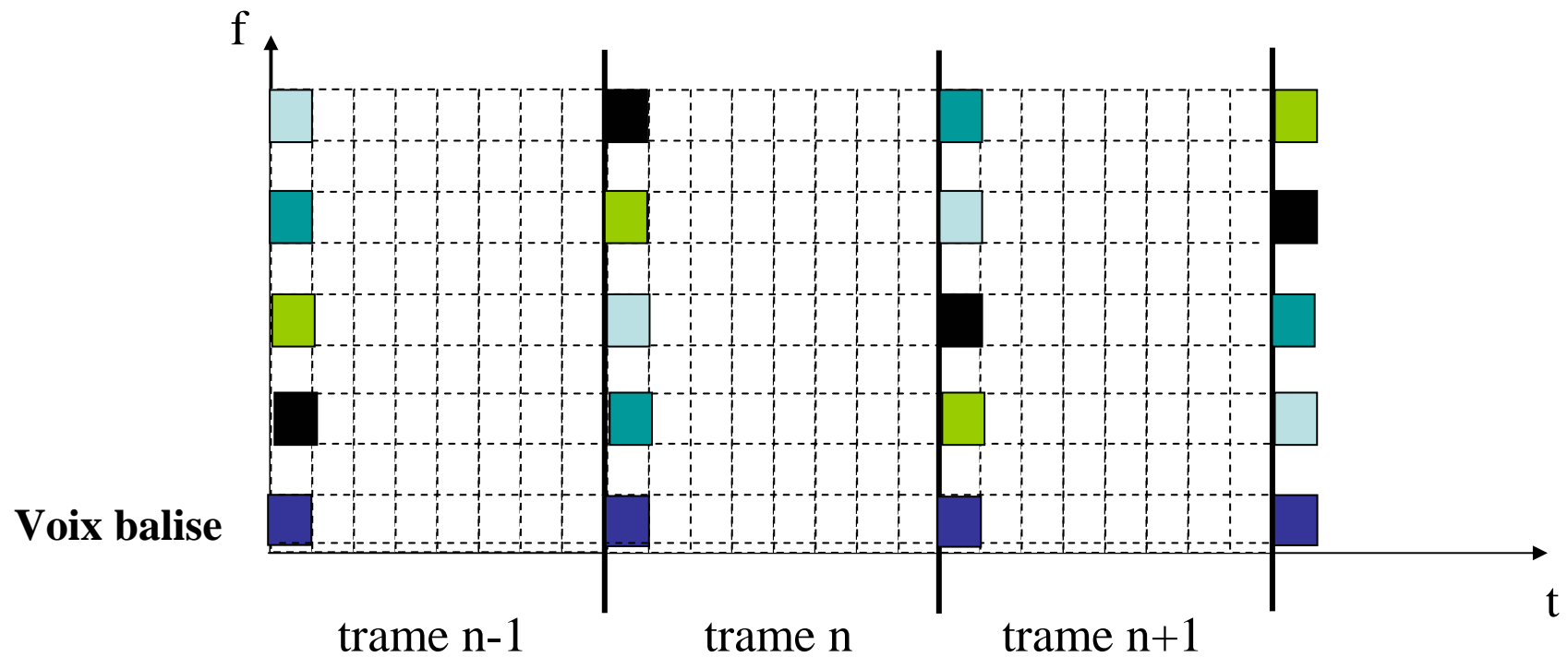
!! Privilégie les mobiles distants



- sur lien montant
 - » réduit les interférences
 - » contrôle de puissance et 'time advance'



- Saut de fréquence
 - lutter contre les évanouissements (fast fading)

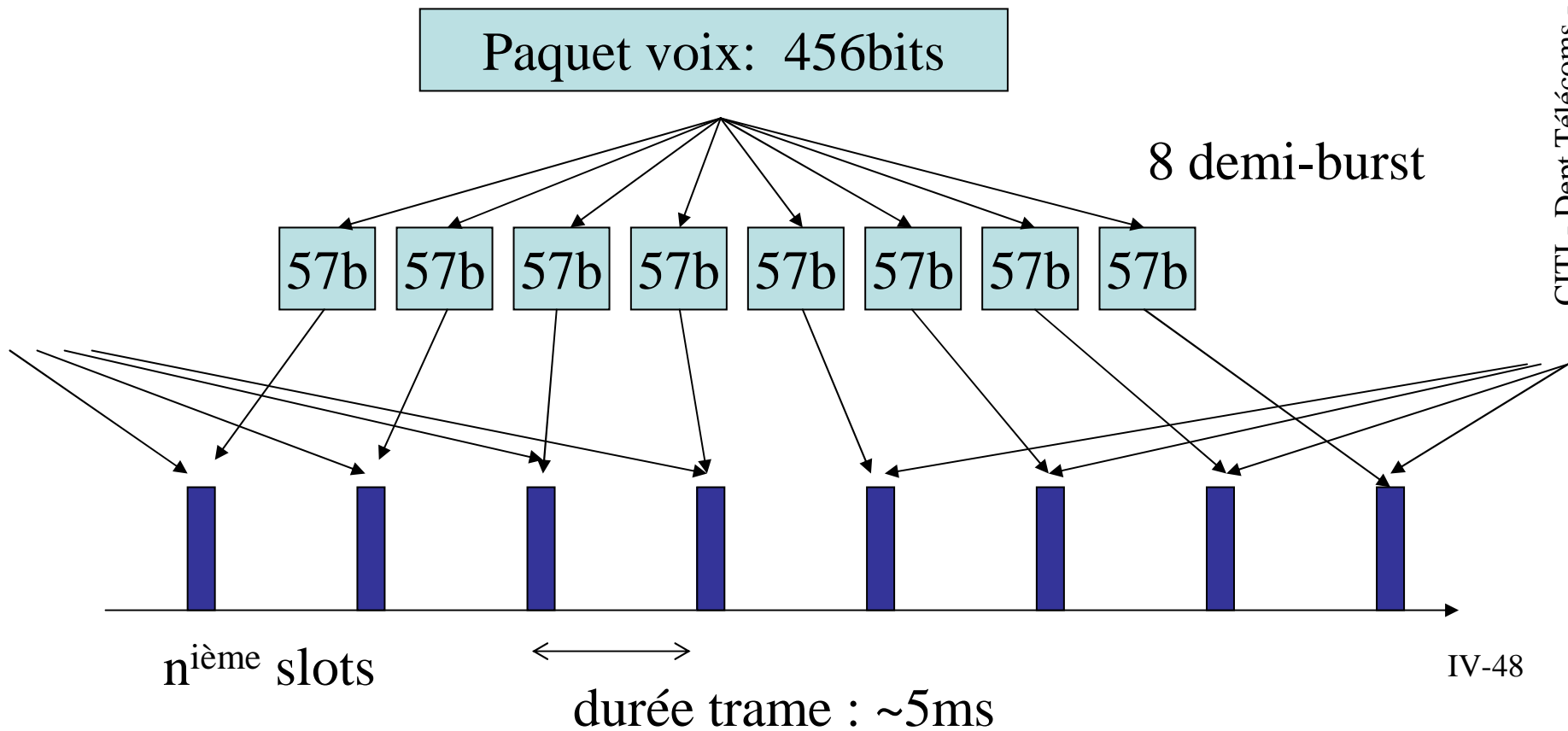


(diversité en fréquence)



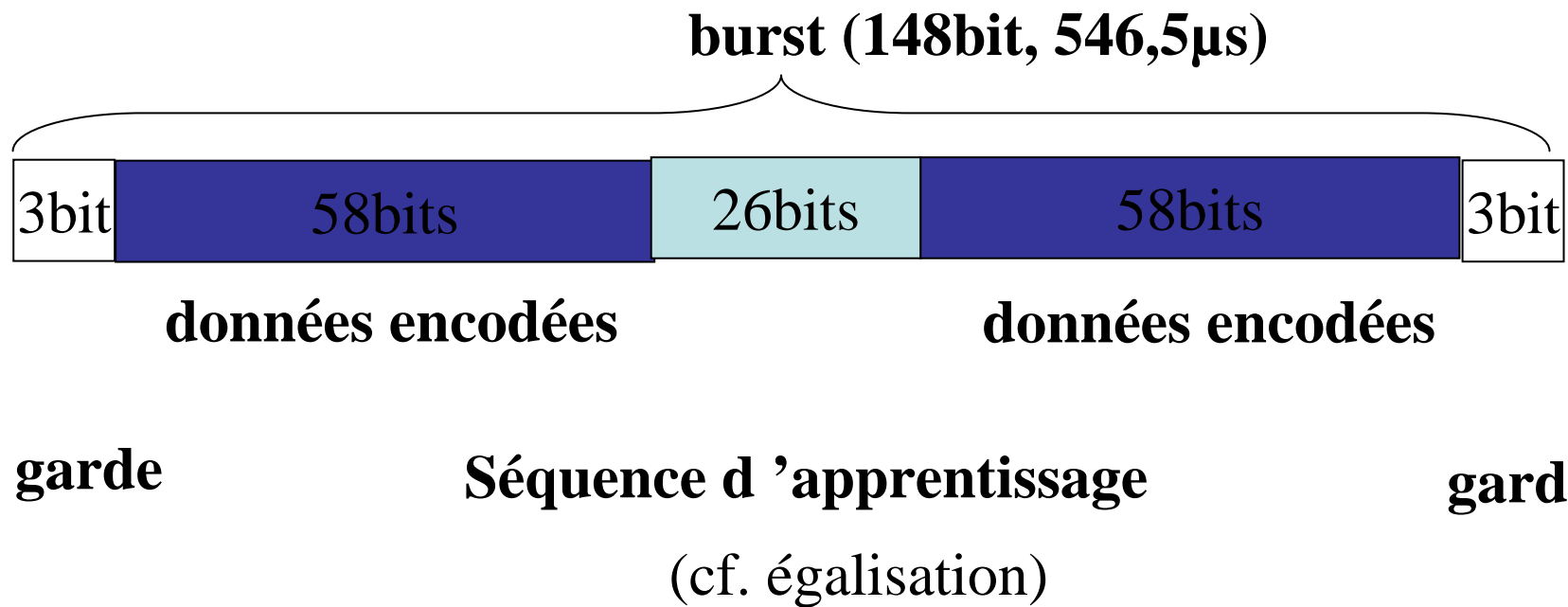
- Codage temporel de la parole :

(diversité en temps par le codage)



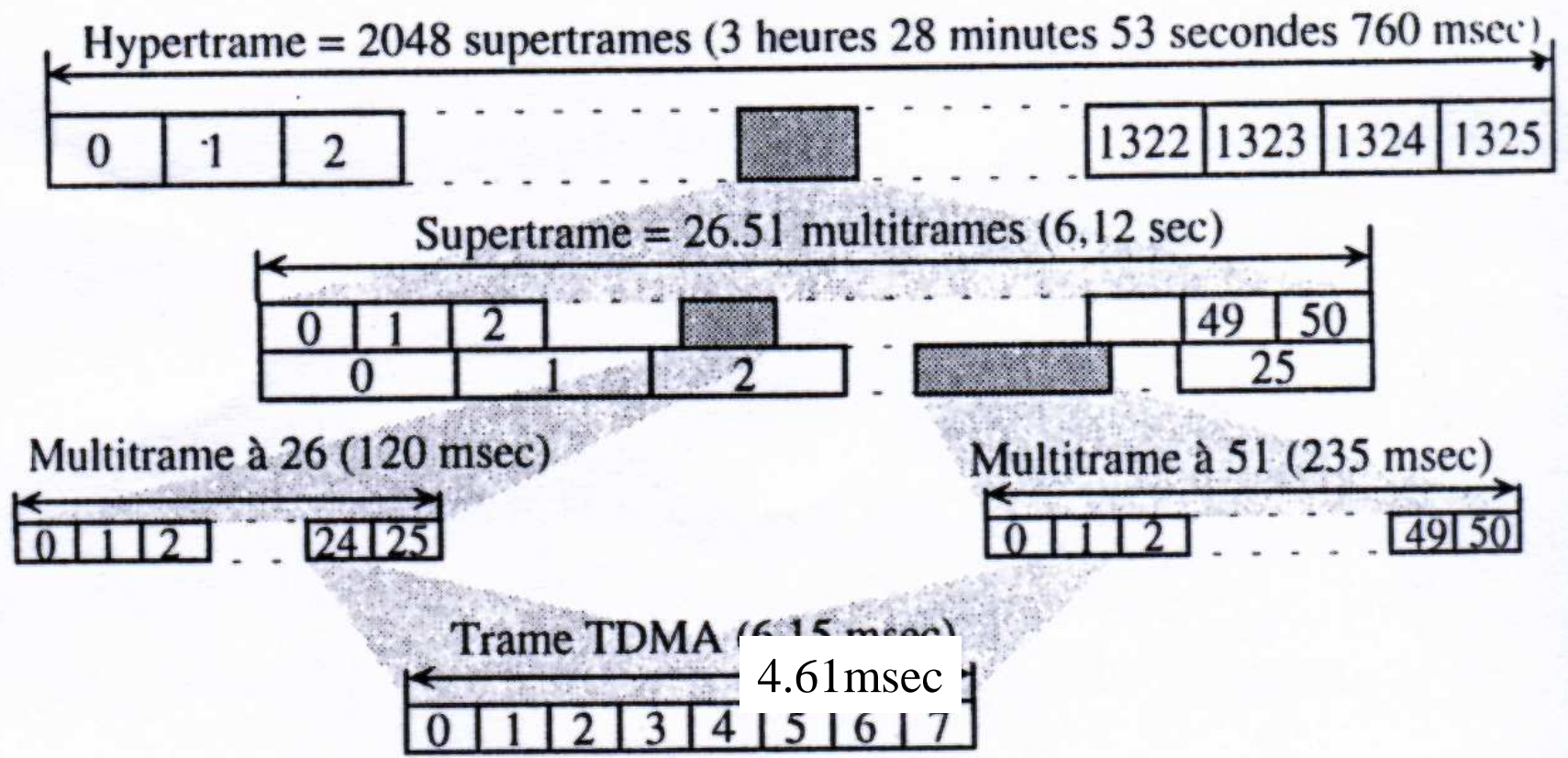


– Contenu d'un slot « voix »
= séquence numérique



2- canaux logiques

- Tramage hiérarchique





– A) Voie balise

réservation d'une fréquence descendante complète (slot 0) pour chaque base.

- Émission d'un signal modulé permanent pour tests de lien radio (bourrage)
- ensemble de canaux logiques en diffusion, implantés sur cette fréquence, slot 0 :

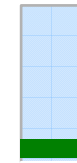
canal FCCH (frequency correction channel)

canal SCH (synchronisation channel)

canal BCCH (broadcast control channel)

Voix balise





- canal FCCH

il est utilisé pour effectuer le calage en fréquence.

il est composé de 148 bits à 0 (signal sinusoïdal, porteuse pure légèrement décalée)

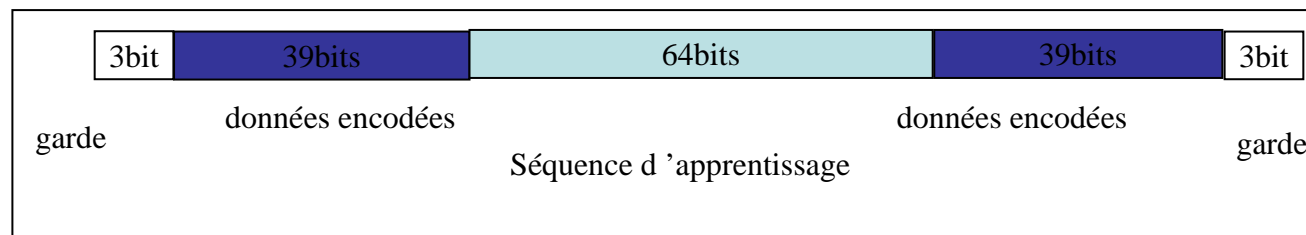
il est présent sur le slot 0, dans les trames 0, 10, 20, 30, 40 d'une multiframe à 51 trames (20fois/sec).

- Le canal logique n'utilise donc qu'une partie d'un canal physique

- canal SCH

il est utilisé pour la synchronisation. (contient des identifiants de la station de base)

Rem : séquence d'apprentissage longue :



il est présent sur le slot 0, dans les trames qui suivent le FCCH



Chapitre 15

Canaux log.

- canal BCCH

il est utilisé pour la diffusion de données caractéristiques de la cellule :

- paramètres de sélection de la cellule
- numéro de zone de localisation
- règles d'accès aléatoire
- description des canaux de contrôle
- description des cellules voisines (fréquences balises des voisines, par ex)

il est présent sur le slot 0, et éventuellement sur les slots 2,4,6.



– B) Canaux de contrôle communs (CCCH)

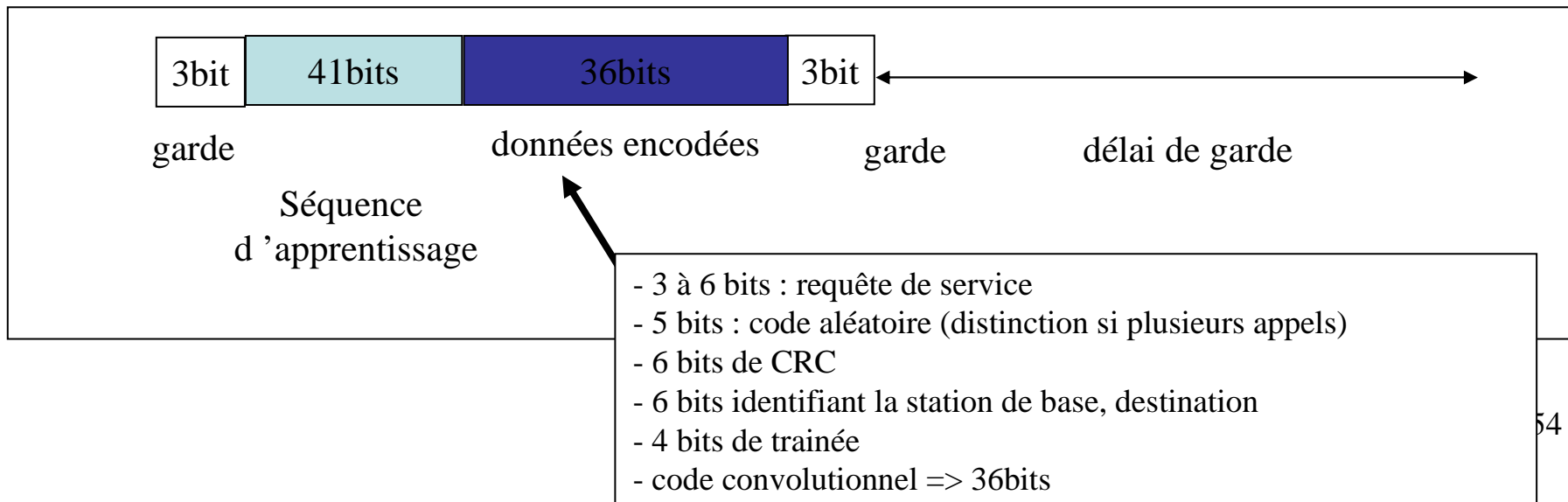
canaux montants ou descendants, utilisés pour l'échange d'information mobiles-base.

- canal RACH

grâce aux infos transmises par le BCCH, le mobile sait identifier ce canal.

il est utilisé pour demander une connexion, l'envoi d'un message,...

Le burst est court car on ne peut compenser le délai de propagation (position inconnue a priori :
délai de garde max: $252\mu\text{s} \Rightarrow 37.8\text{km}$)





Chapitre 15

Canaux log.

- canal AGCH

utilisé par la station de base pour analyser la requête du mobile et informer un mobile du canal qui lui est réservé pour la com.

Un canal de signalisation est alors réservé avec un message codé classiquement.

- canal PCH

utilisé par l'infrastructure pour diffuser un message de recherche d'un mobile. Elle diffuse sur ce canal son identité

- canal CBCH

canal descendant de diffusion d'informations :

- météo, trafic routier...



- C) Canal physique de transmission
 - décomposition du canal physiques en canaux logiques dédiés (*par opposition aux canaux communs*) .
 - ensemble de canaux logiques utilisé pour 1 communication spécifique :
 - canal TCH (transmission channel)
 - canal SDCCH (stand-alone dedicated channel)
 - canal SACCH (slow associated control channel)
 - canal FACCH (fast associated control channel)



Chapitre 15

Canaux log.

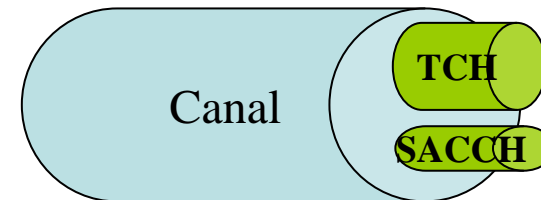
- canal TCH

transmission de la voix : 24 slots sur 26 (débit voix complète)

- canal SACCH

canal de contrôle de la qualité de transmission : infos sur la compensation du délai de propag, contrôle de puissance d'émission, qualité lien radio

1 slot de repos: temps utilisé par le mobile pour scruter les voies balises des cellules voisines.



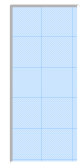
- canal SDCCH

Le canal SDCCH est un canal à accès partagé.

On lui attribue des ressources au moment du design du réseau.

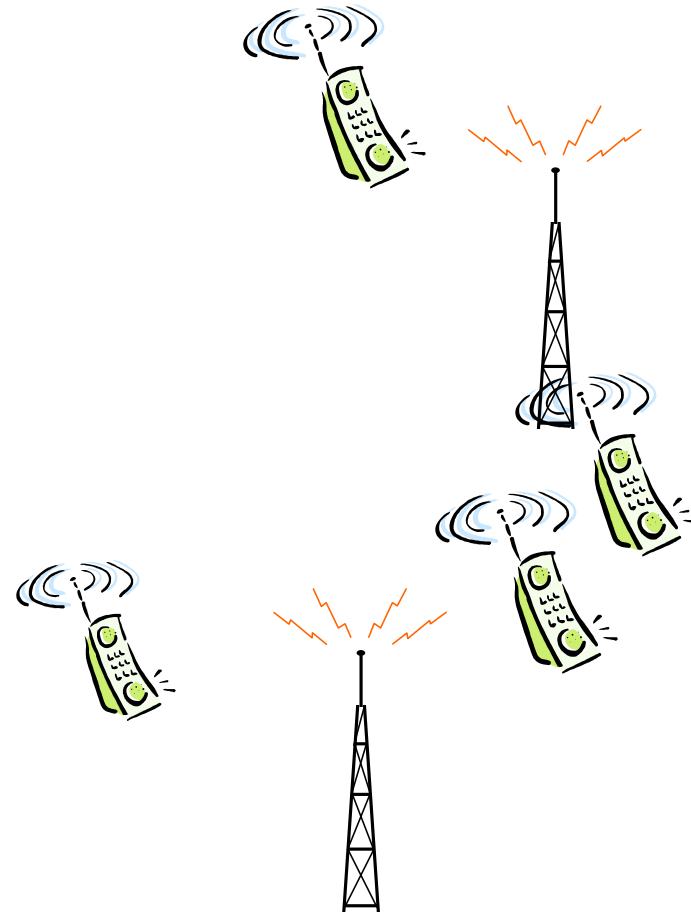
On estime qu'il faut approximativement 1/8ième du débit des canaux physiques.

Il possède également un SACCH



Chap 16 - Caractéristiques du WiFi

- 1. généralités
- 2. Les canaux logiques





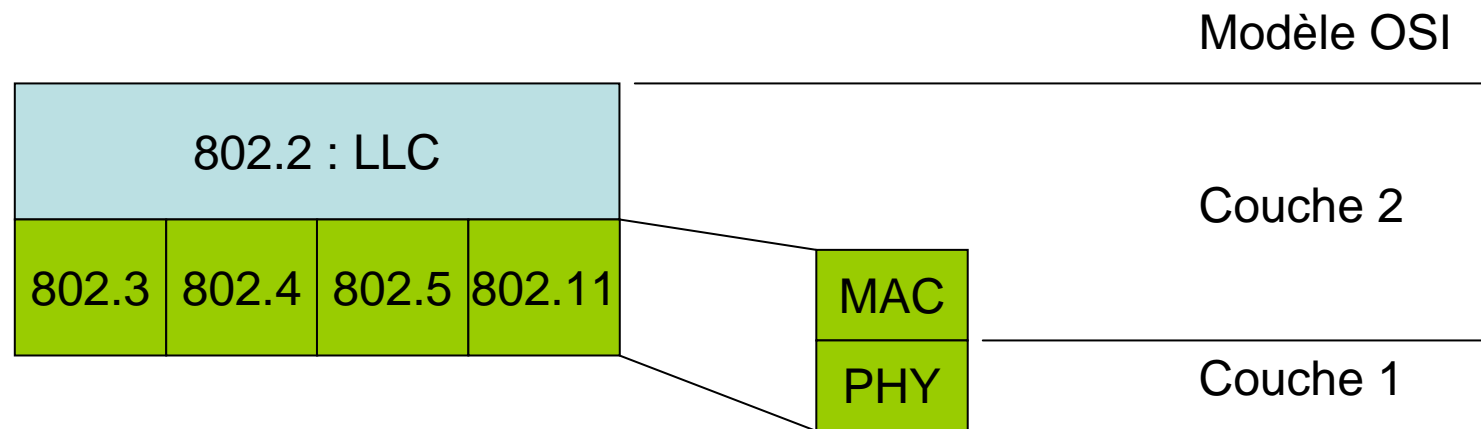
- IEEE : Institute for Electrical and Electronic Engineer (ieee.org)
 - Organisation professionnelle non commerciale, fondée en 1884
→ maîtriser les technologies de l'électricité
 - Sponsorise, organise des conférences, des journaux et le développement de standards
 - Exemple 802.3 (ethernet).
 - Fonctionne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

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

- Intérêt
 - Interopérabilité
 - Développement rapide de produits



- La famille des standards 802



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

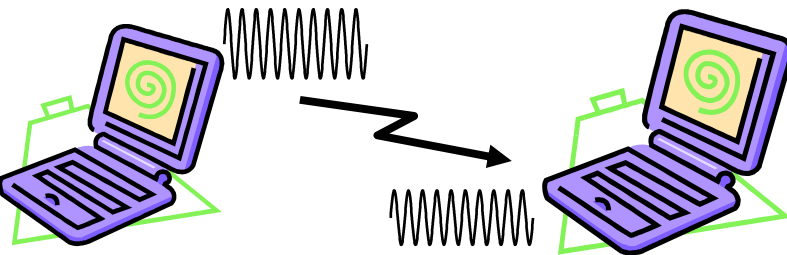
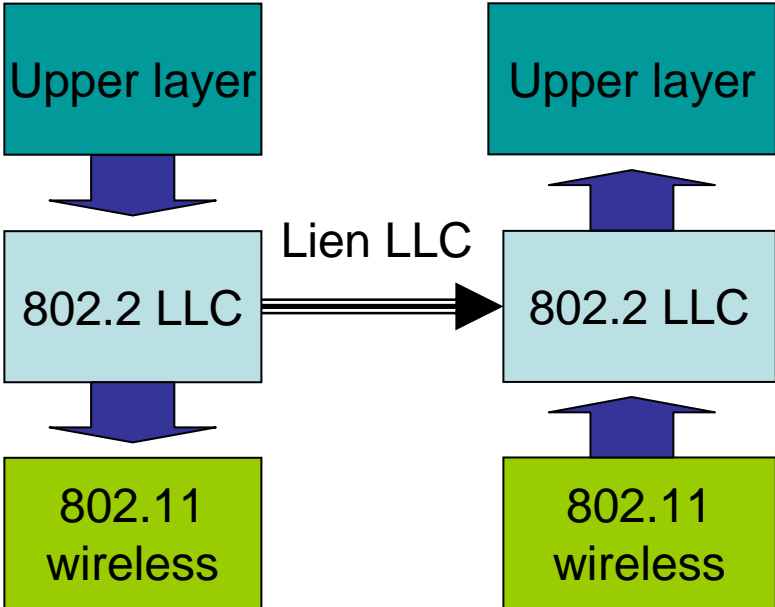
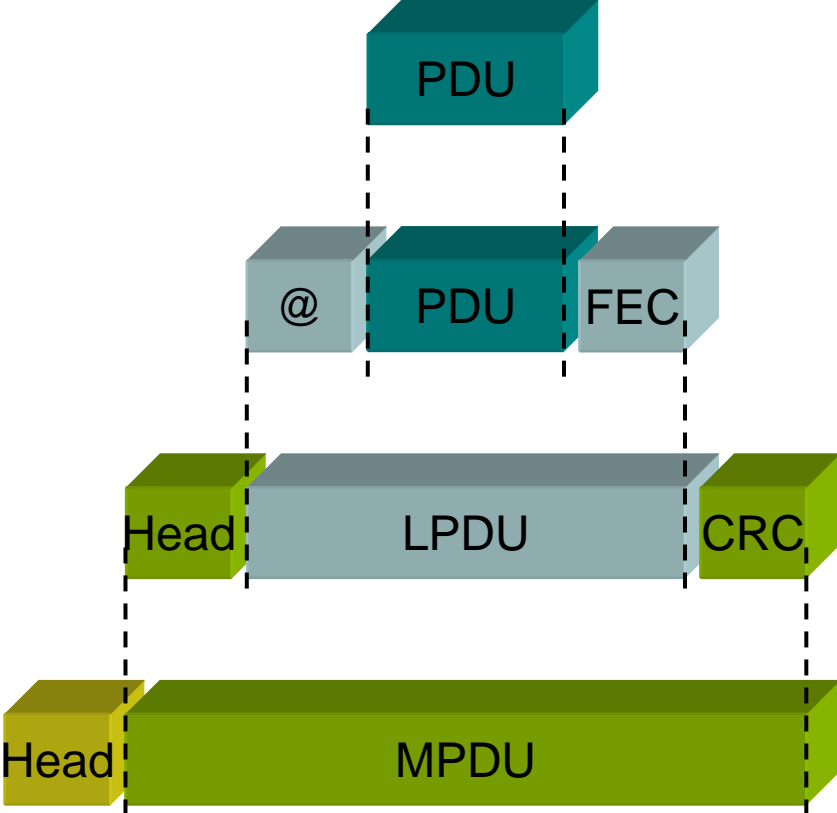
- 802.11 vs WiFi
 - WiFi : alliance de constructeurs pour la réalisation d'équipement radio, exploitant la norme 802.11

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

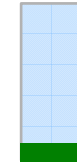


Chapitre 16

généralités



CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

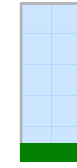


- Objectifs

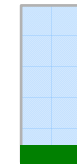
- « the scope of the proposed [wireless LAN] standard is to develop a specification for wireless connectivity for fixed, portable, and moving stations within a local area ».

- IEEE Standard for wireless LAN Medium Access (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications

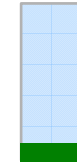
- Fourni un service de transmission de MSDUs (MAC Service Data Units) entre couches LLC



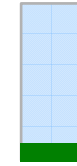
- Les caractéristiques majeures de 802.11
 - Service de transmission à délai maîtrisé et synchrone
 - Continuité de service à travers un système de distribution de type Ethernet
 - Adaptation à plusieurs débits (1Mb/s → 54Mb/s → XX Mb/s)
 - Multicast
 - Services de gestion du réseau
 - Services d'authentification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



- 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



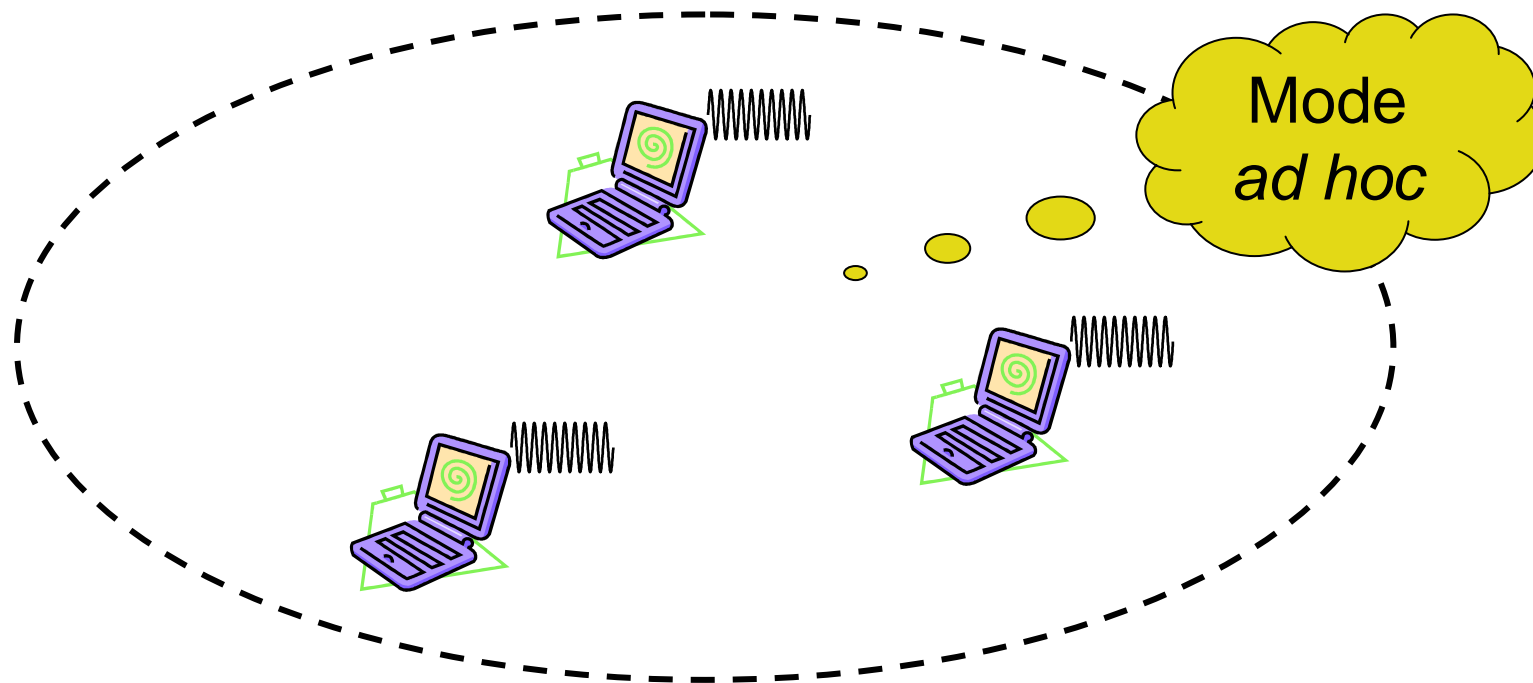
- Historique
 - *Version initiale (1997)*
 - *Couches physique radio et infrarouge*
 - *Débit allant jusqu'à 2 Mbit/s en radio*
 - *Bande de fréquence de 900 MHz*
 - *De nombreuses extensions ont été publiées depuis*
 - *802.11 (v. 1999) : bande ISM de 2.4 GHz*
 - *FHSS : Débits allant jusqu'à 2 Mbit/s*
 - *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*



- 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*

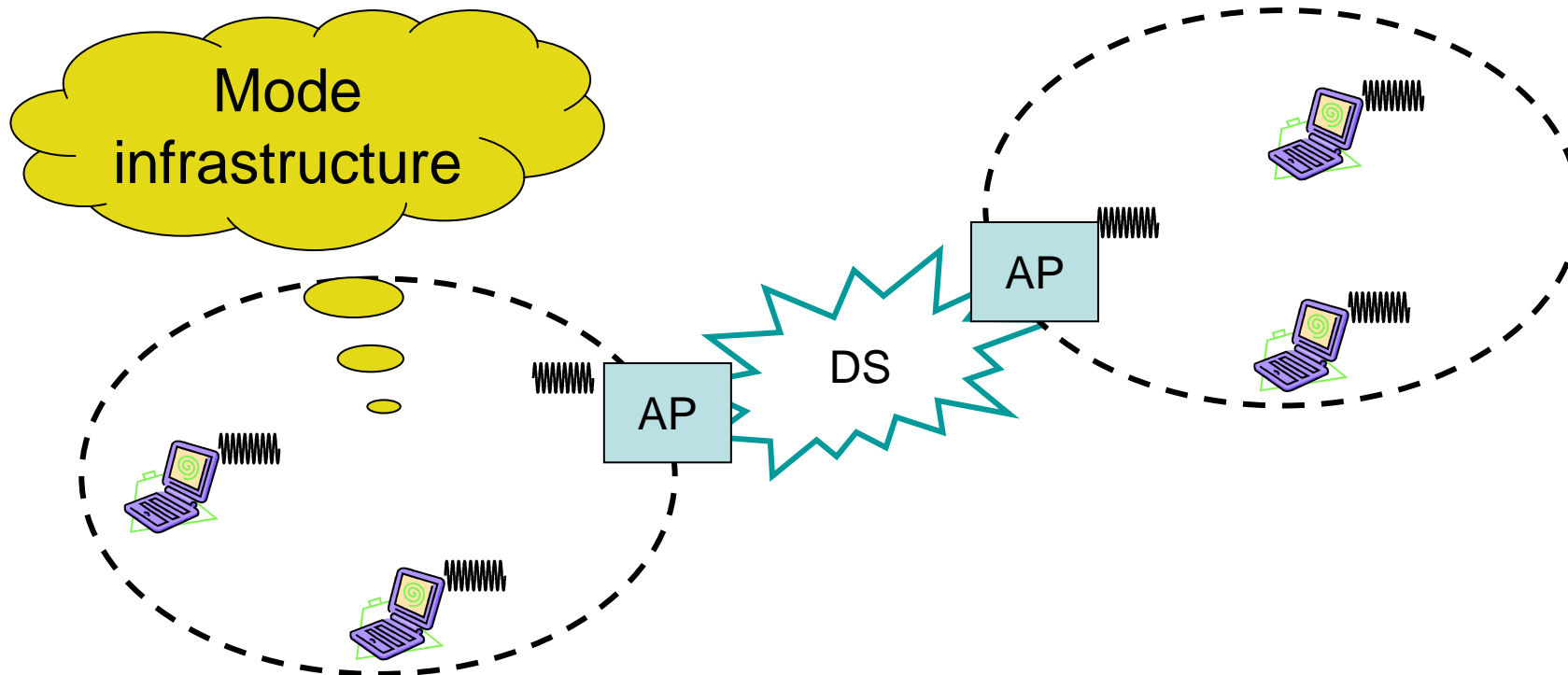


- Topologies 802.11
 - IBSS (Independent Basic Service Set)

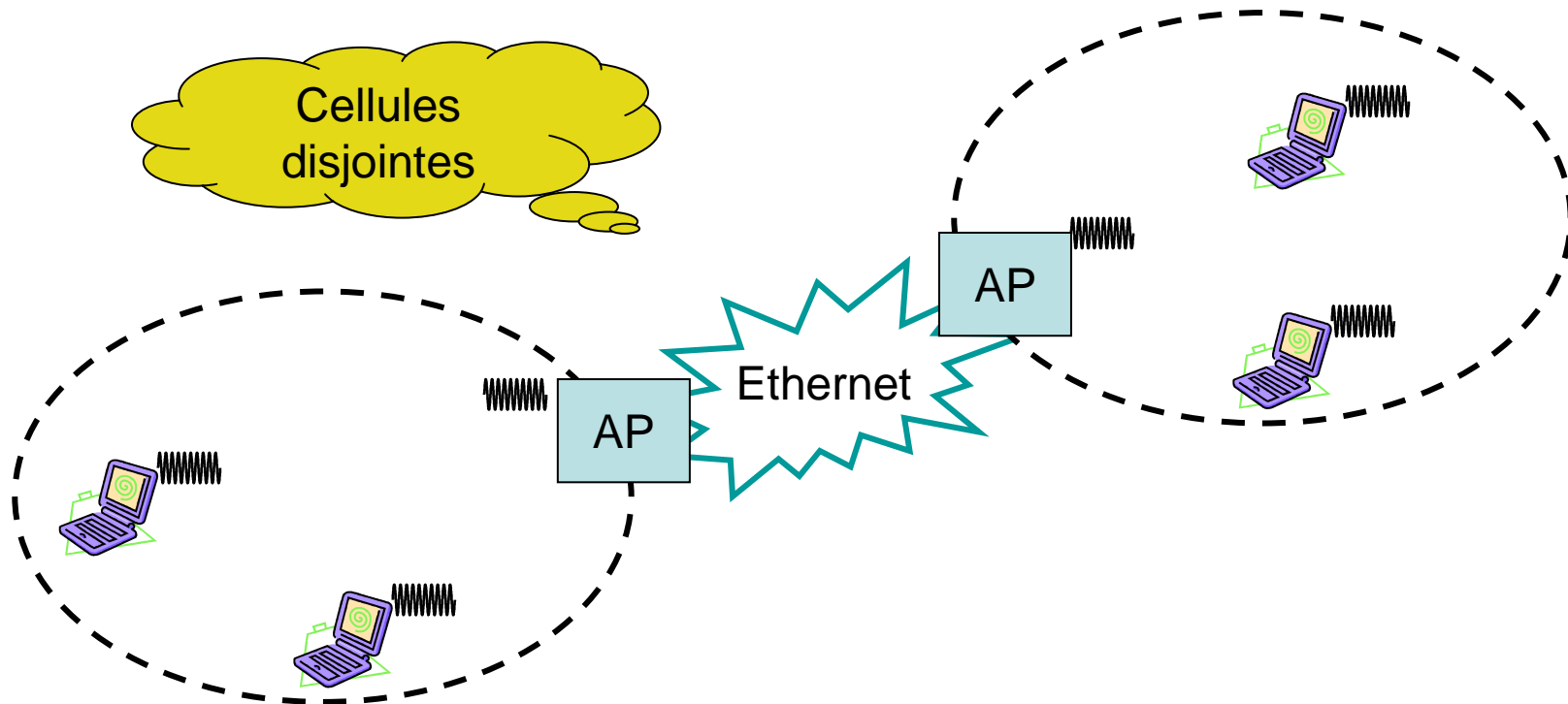




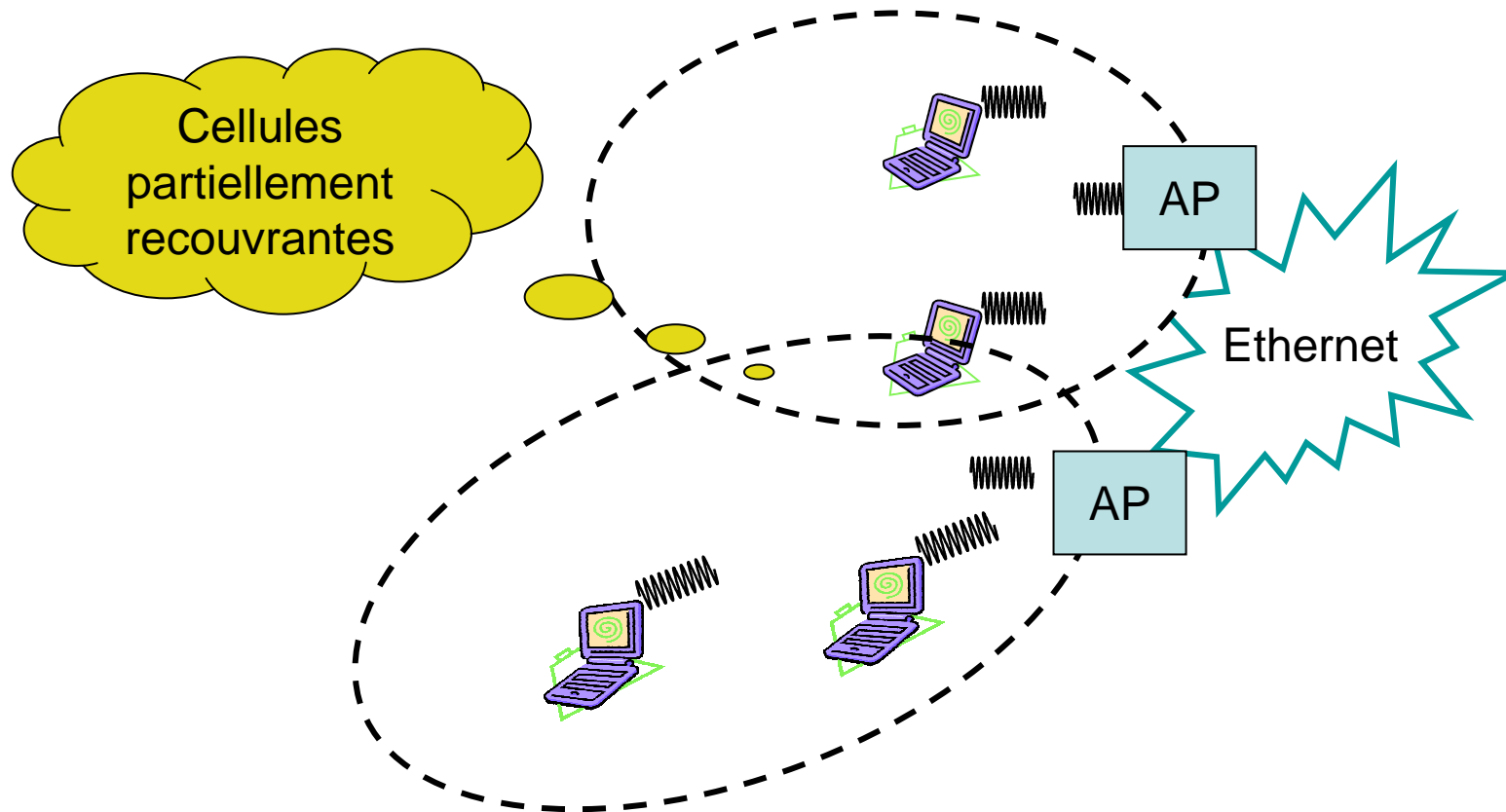
- Topologies 802.11
 - ESS (Extended Service Set)



- Topologies 802.11
 - ESS : types de cellules supportées

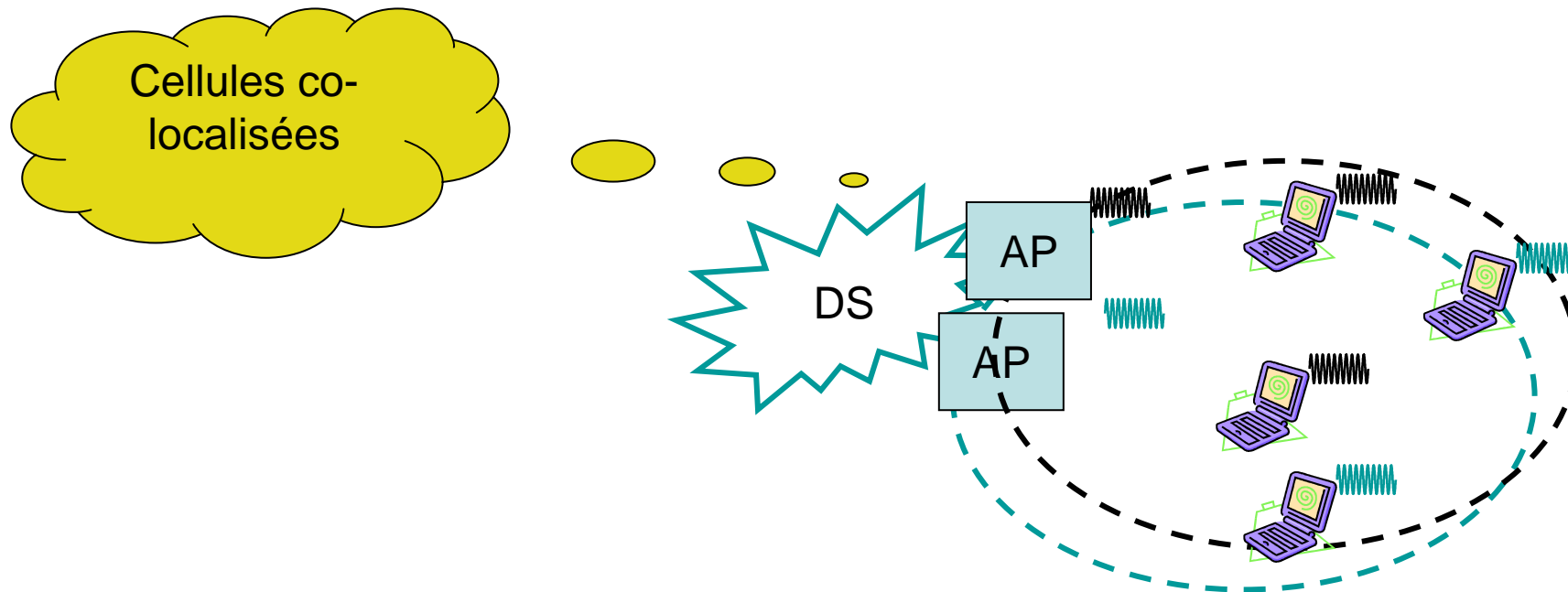


- Topologies 802.11
 - ESS : types de cellules supportées



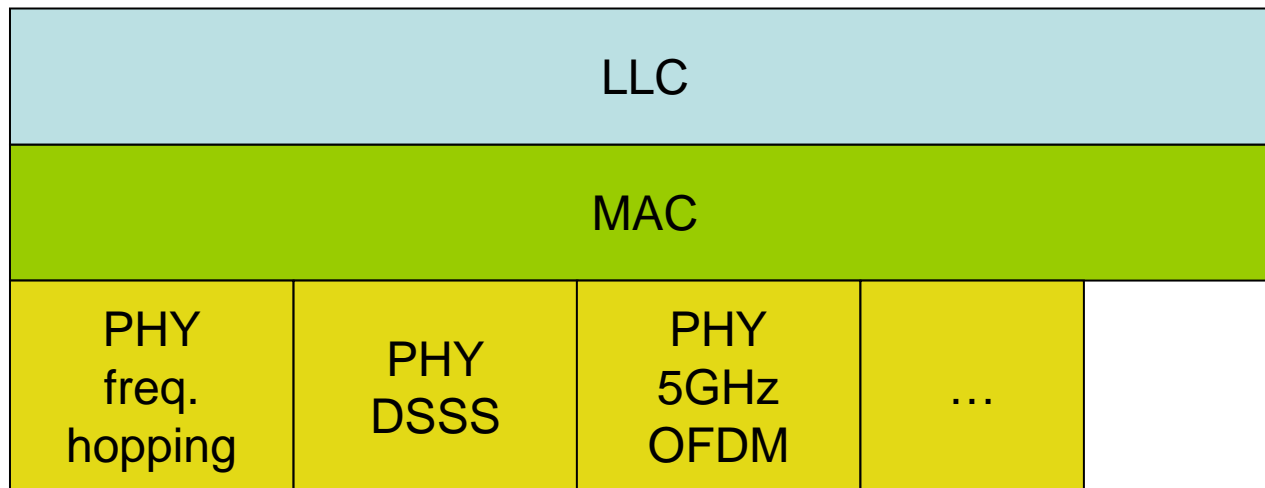


- Topologies 802.11
 - ESS : types de cellules supportées





- Architecture logique

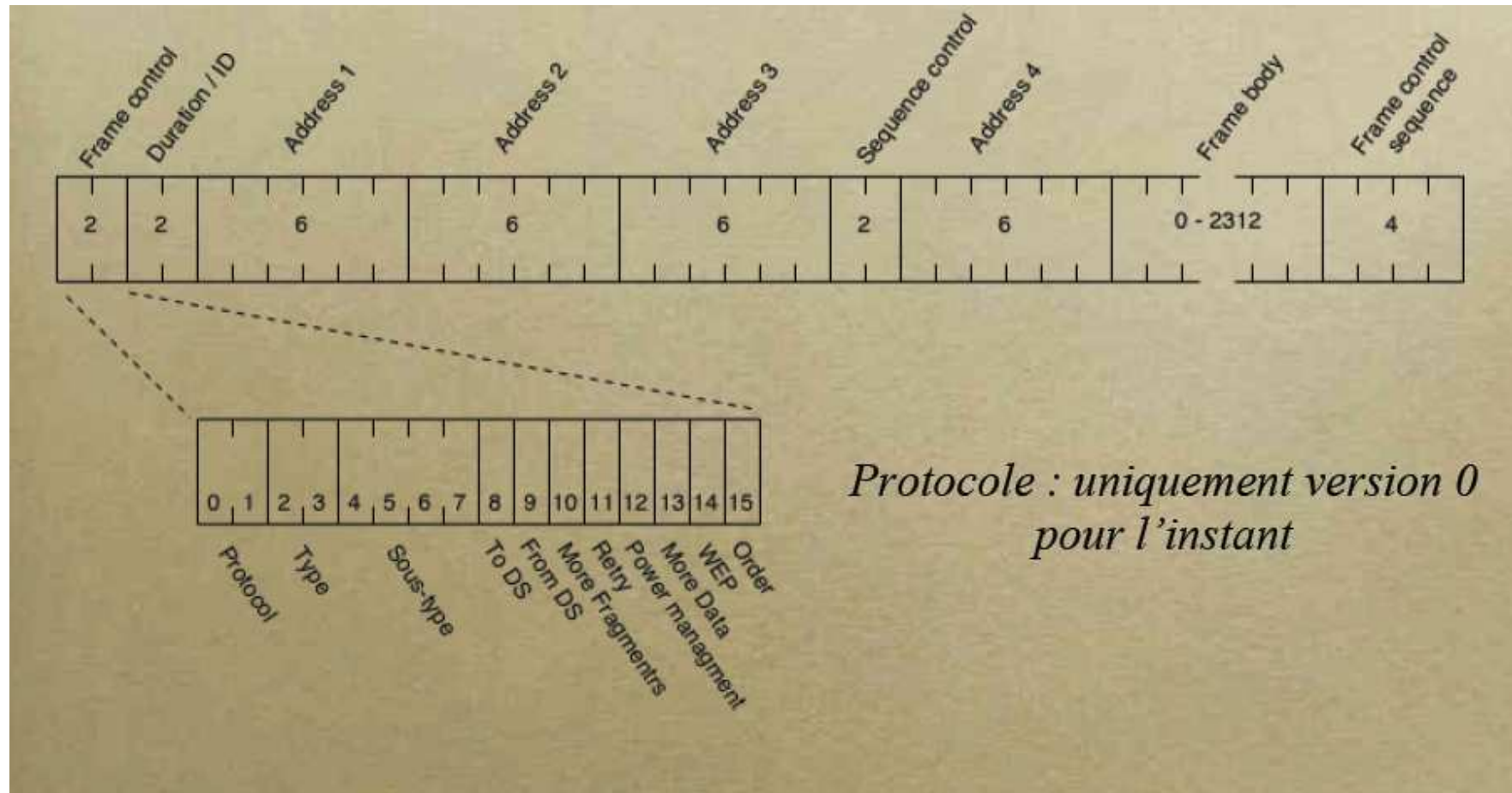




- Son rôle
 - Fournir l'accès au medium physique
 - *Le comportement radio rend difficile l'accès au medium.*
 - *La détection de collisions est impossible.*
 - *La notion de medium occupé n'est pas facile à définir.*
 - *Le canal est partagé entre tous les équipements du sous-réseau et entre plusieurs sous-réseaux*
 - Permettre de s'associer à un réseau
 - Allumer station → phase de découverte
 - » Découvrir l'AP et/ou les autres stations
 - » Écoute passive vs active
 - Présence détectée → rejoindre le réseau
 - » Récupère les paramètres (SSID & autres)
 - » Synchronisation
 - » Récupération des paramètres de PHY
 - Fournir les services d'authentification et de confidentialité



- Format général d'une trame MAC





- Format des beacon

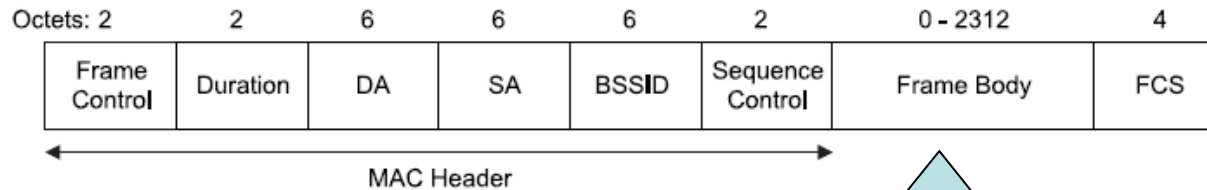
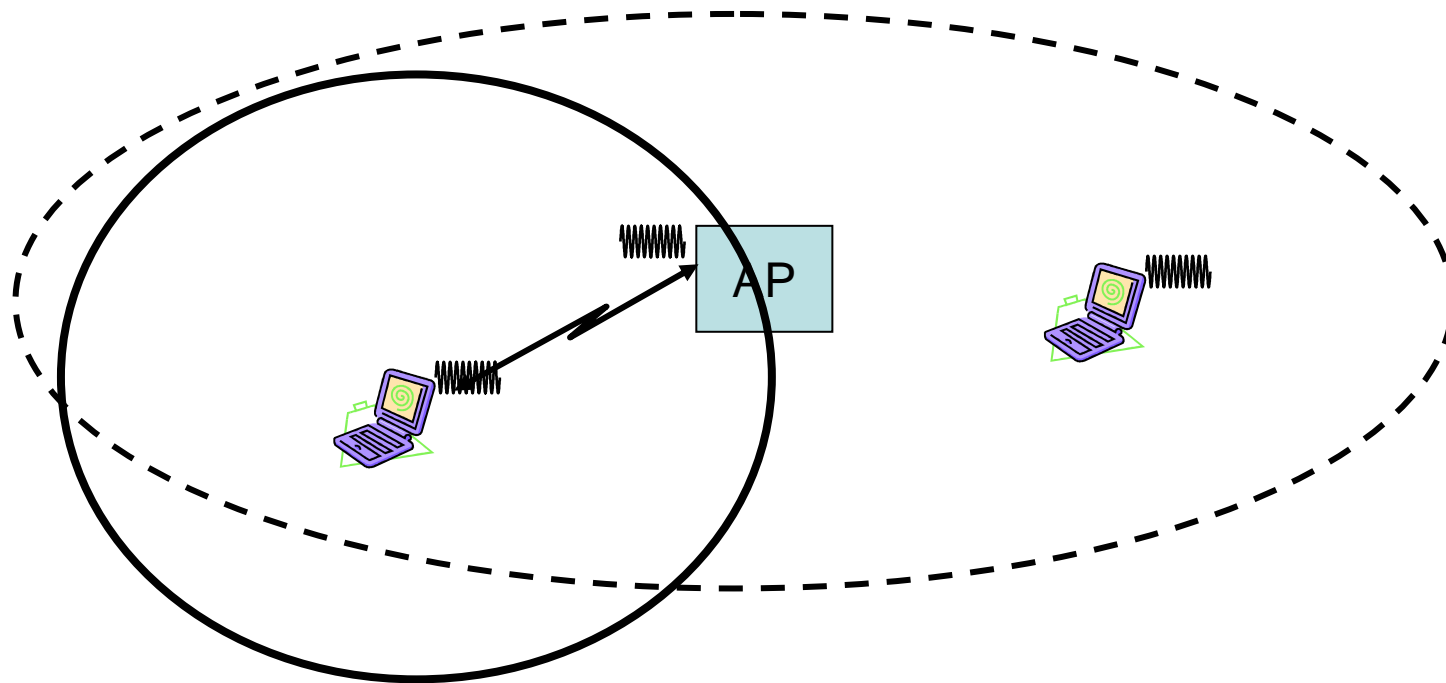


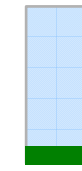
Table 5—Beacon frame body

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.

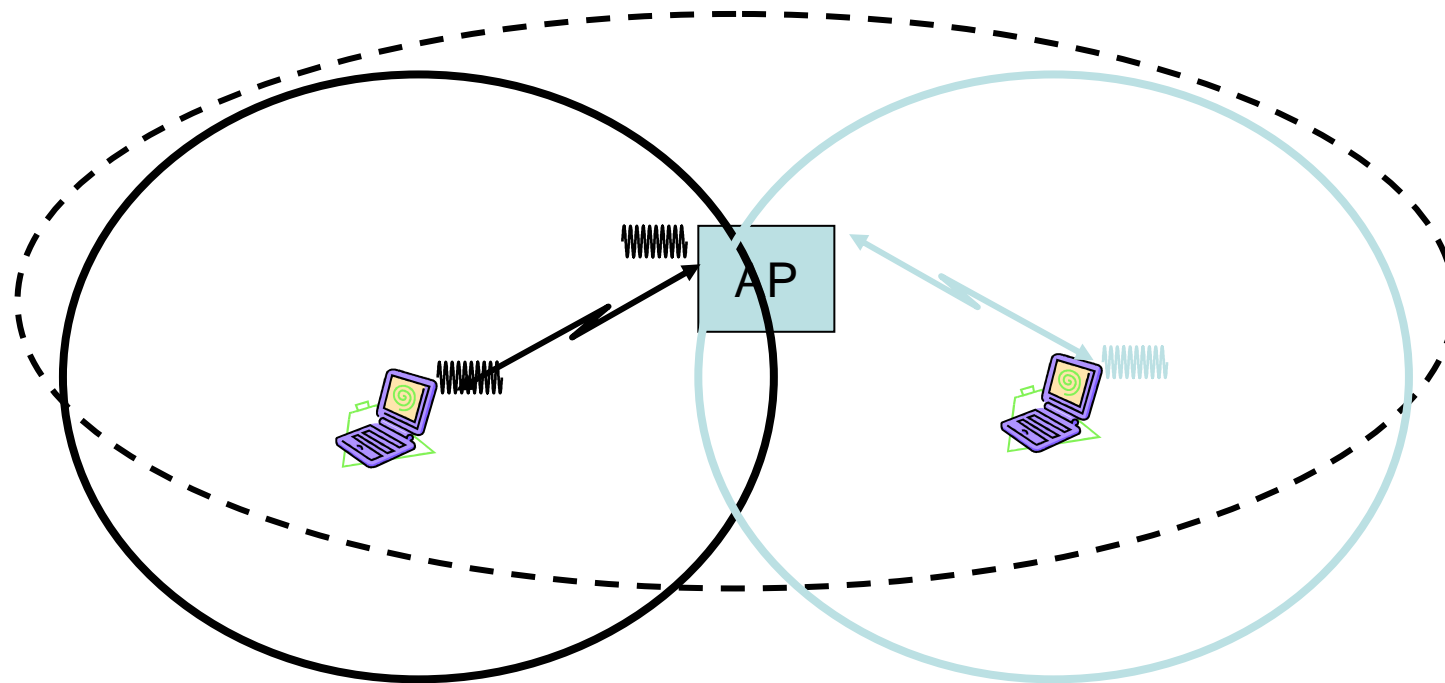


- Mode DCF (Distributed Coordination Function)
 - Protocole de contention → CSMA/CA





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





- Principe du CSMA/CA
 - 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)



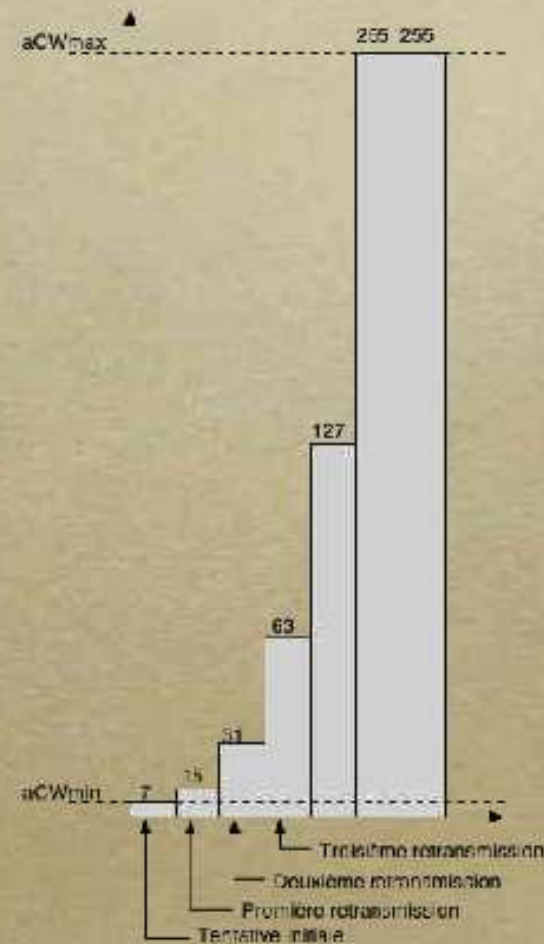
- Les collisions sont limitées par l'utilisation d'un backoff



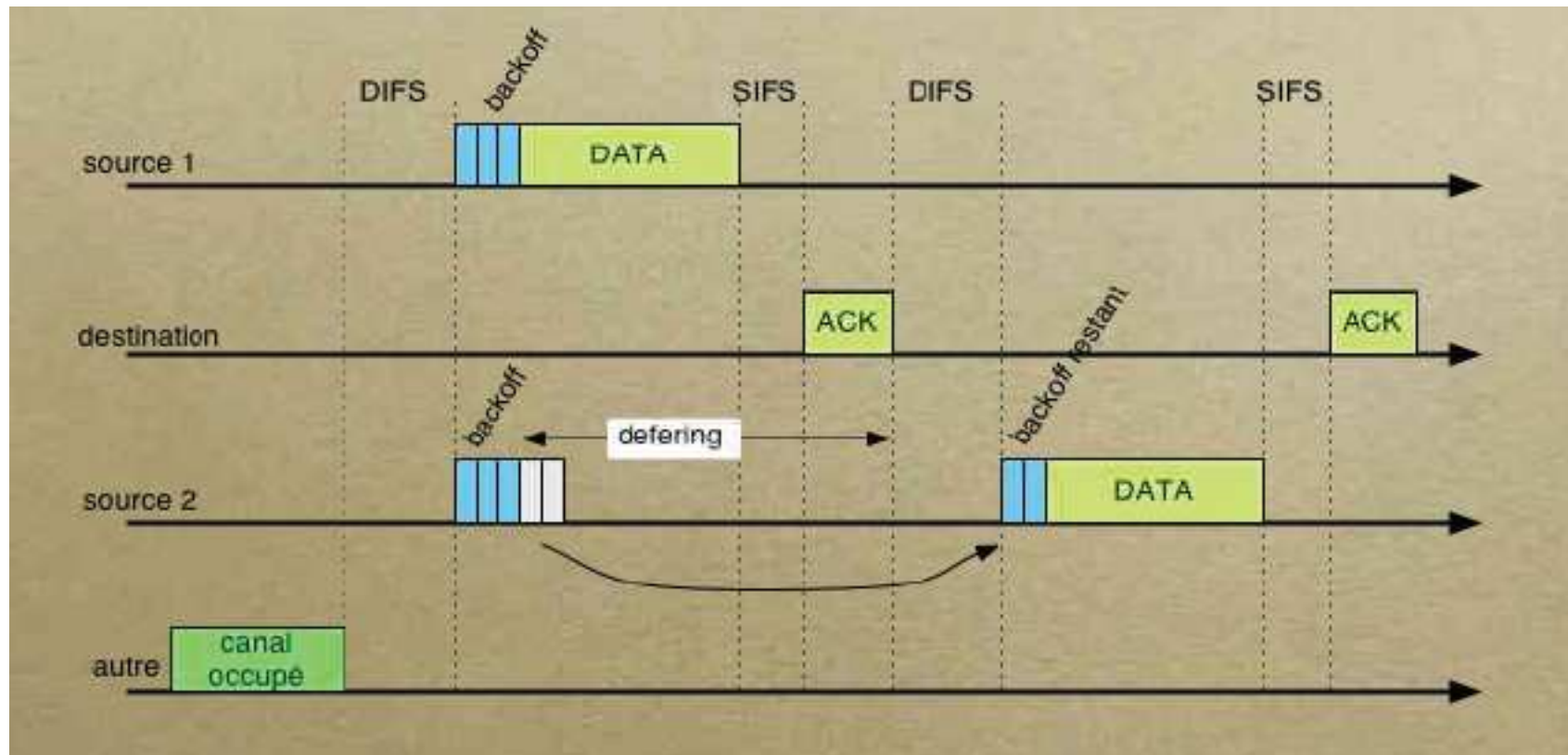
Chapitre 16

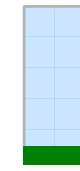
MAC

- “time slots” de $20 \mu\text{s}$
- “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

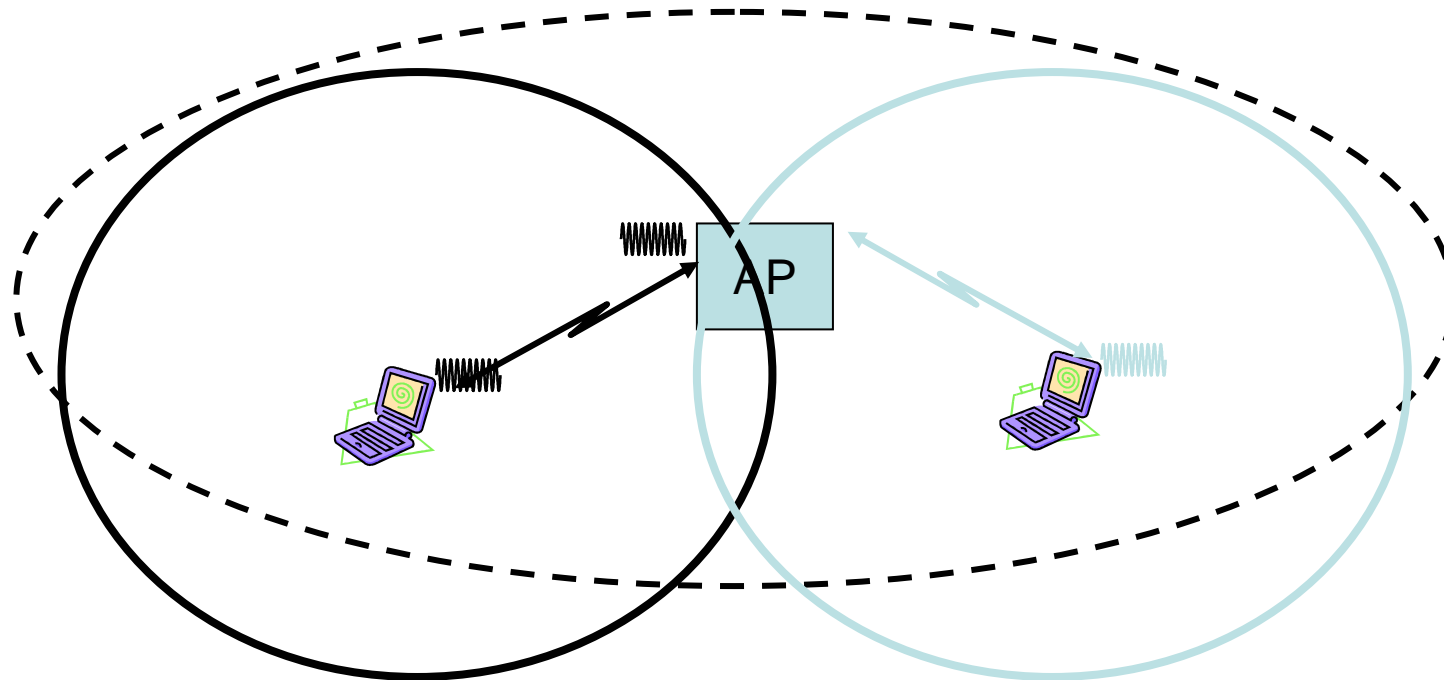


- Exemple d'accès avec IFS et backoff

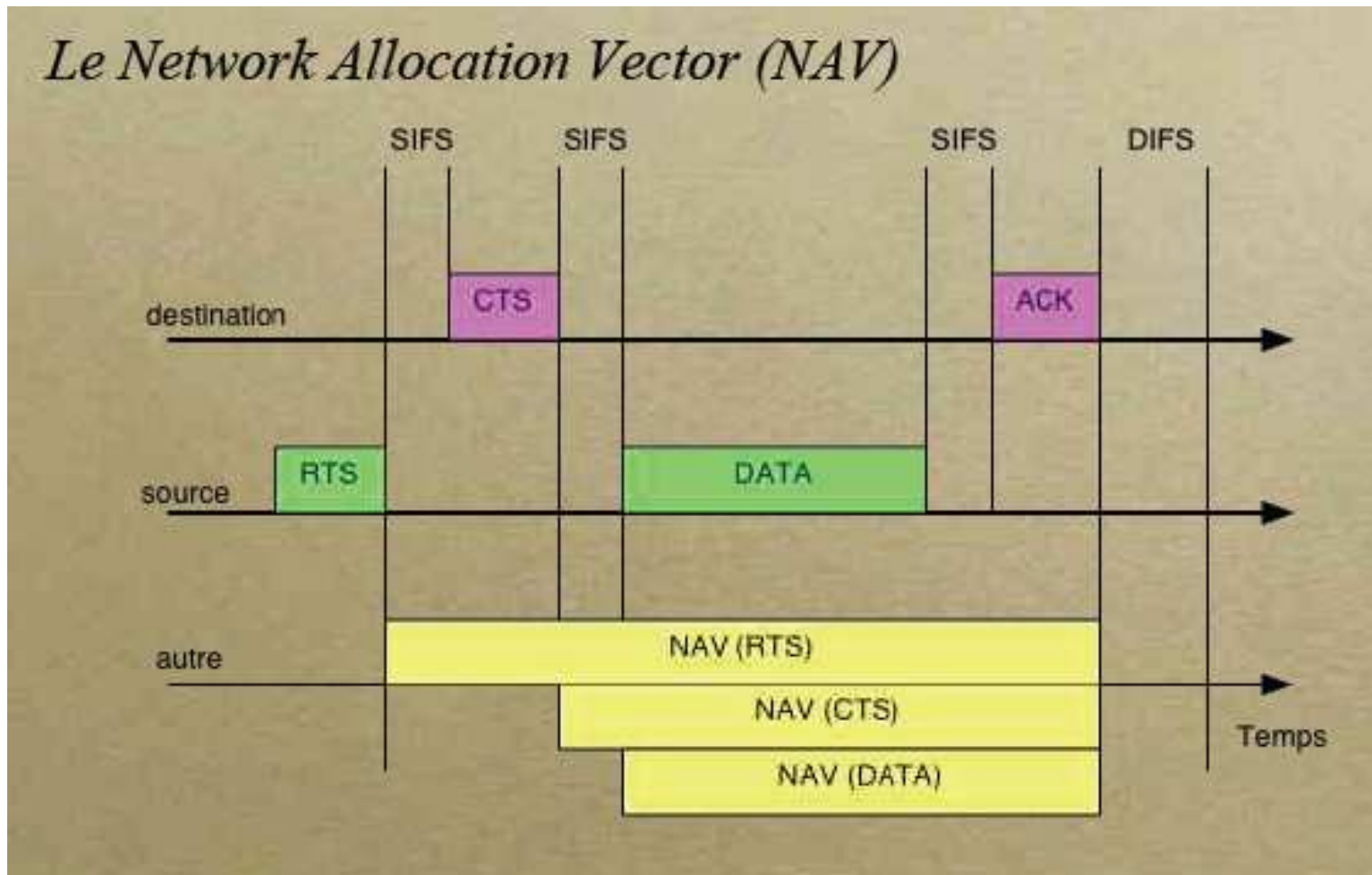




- Problème des nœuds cachés → collision

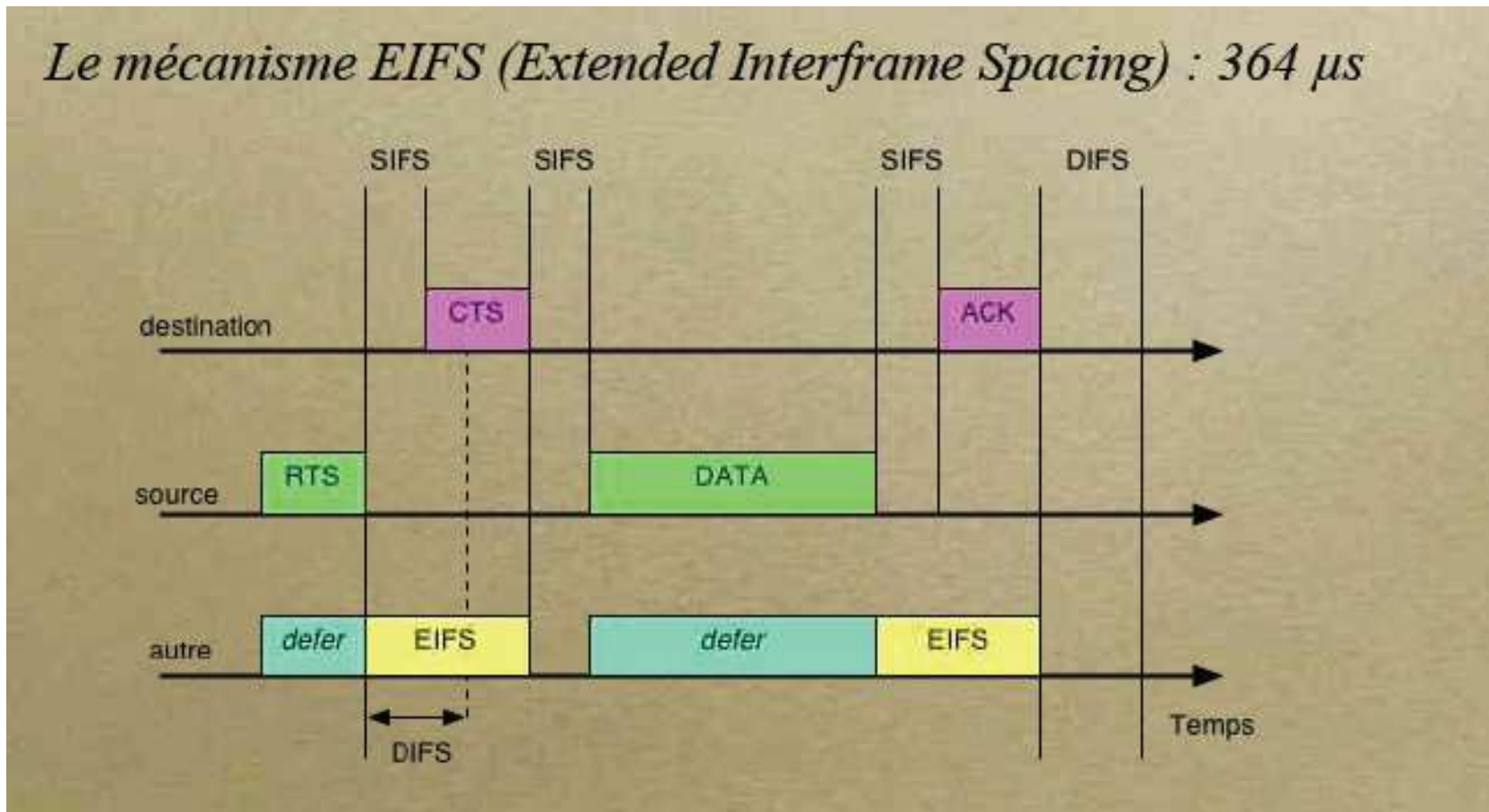


- Mécanisme RTS/CTS avec NAV



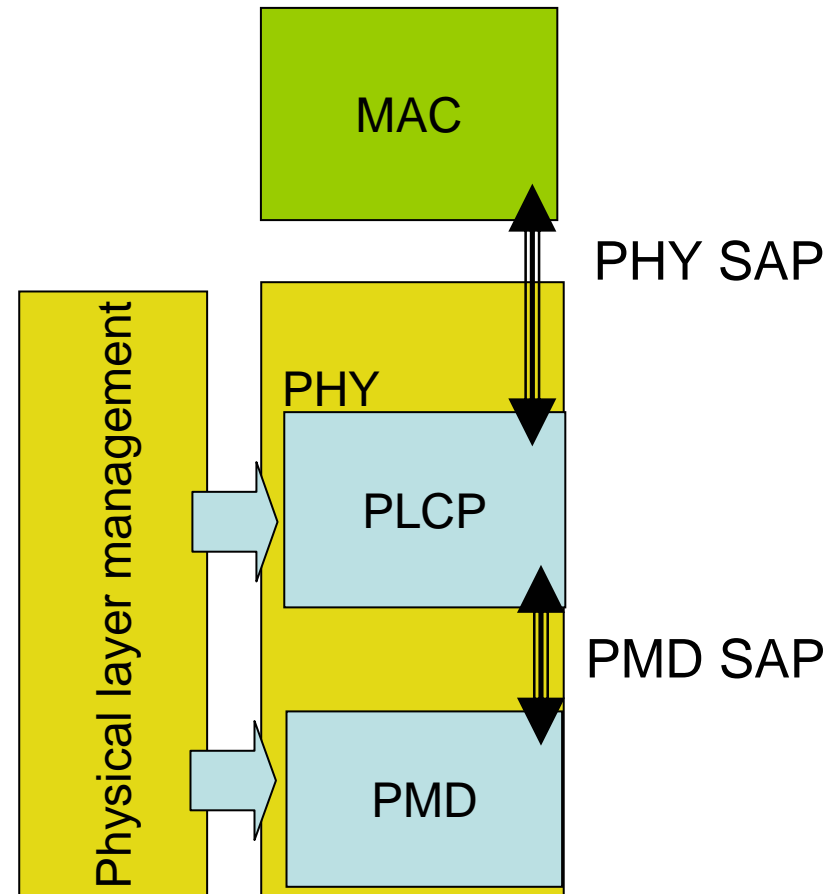


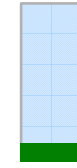
- Mécanisme RTS/CTS avec EIFS



2- couche PHY

- 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)





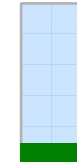
- Couches physiques
 - Plusieurs couches physiques
 - La mise en œuvre des fonctions PLCP utilise une machine à état
 - 3 fonctions principales
 - Carrier Sense : donne l'état du medium
 - Transmit : envoie les octets d'un paquet de données
 - Receive : Reçoit les octets d'un paquet de données



- 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



- 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



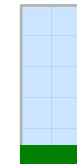
- C) fonctions de base

- 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



- A) Format d'une trame physique

PLCP Preamble		PLCP Header			Whitened PSDU
Sync	Start Frame Delimiter	PLW	PSF	Header Error Check	
80 bits	16 bits	12 bits	4 bits	16 bits	Variable number of octets

0000 1100 1011 1101

Séquence quelconque de 0 et de 1

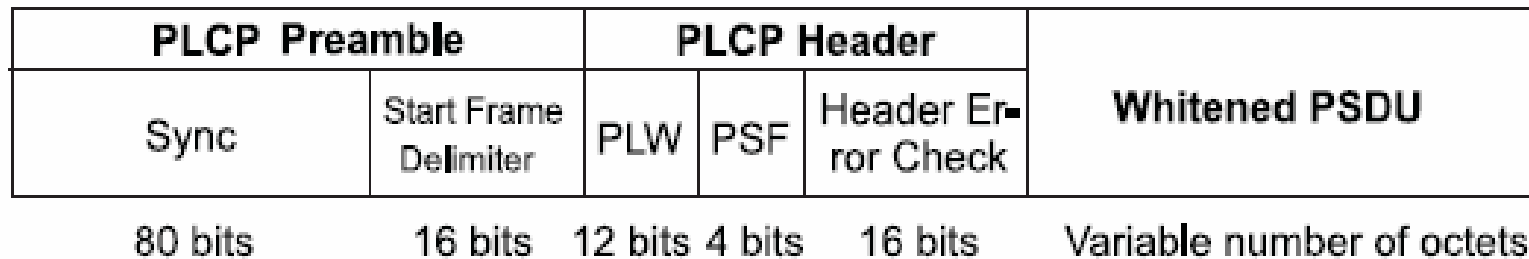
3- mode 802.11 (FH)



Chapitre 16

802.11 (FH)

A) Format d'une trame physique



Longueur du paquet (0-4095)

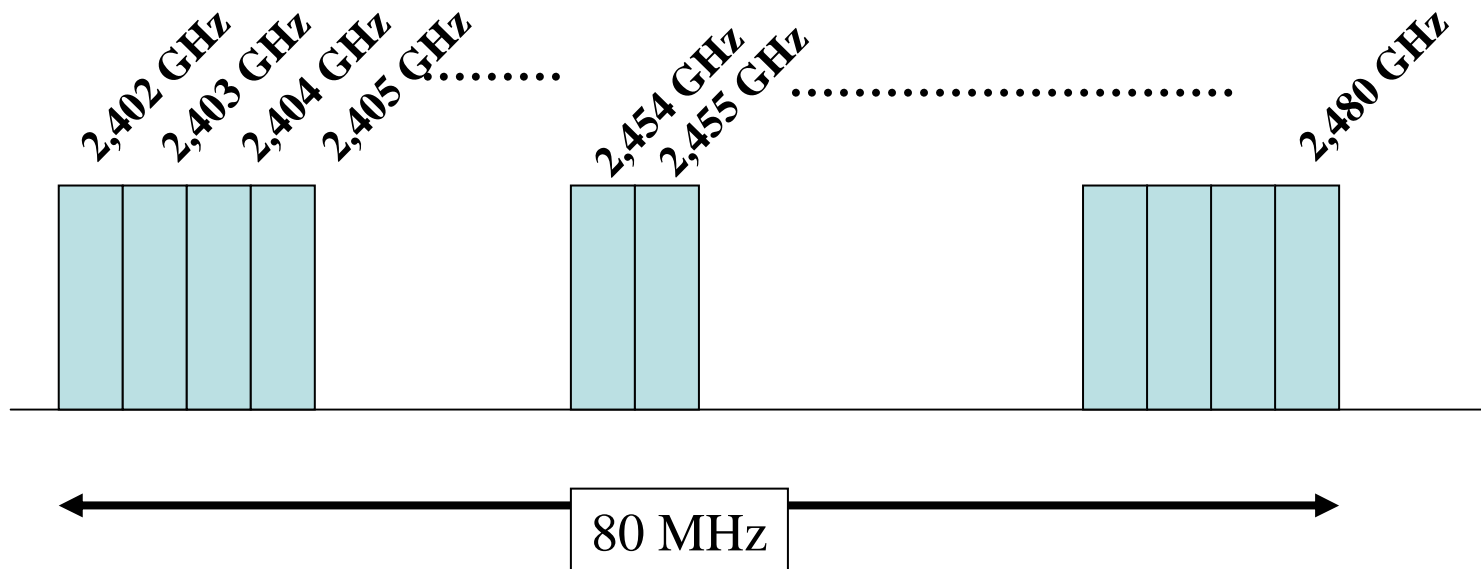
CRC-16

Bit	Parameter name	Parameter values	Description																																				
0	Reserved	Default = 0	Reserved																																				
1:3	PLCP_BITRATE	<table border="0"> <tr> <td><u>b1</u></td> <td><u>b2</u></td> <td><u>b3</u></td> <td>= <u>Data Rate</u></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>	<u>b1</u>	<u>b2</u>	<u>b3</u>	= <u>Data Rate</u>	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.
<u>b1</u>	<u>b2</u>	<u>b3</u>	= <u>Data Rate</u>																																				
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																																				



B) Modulation :

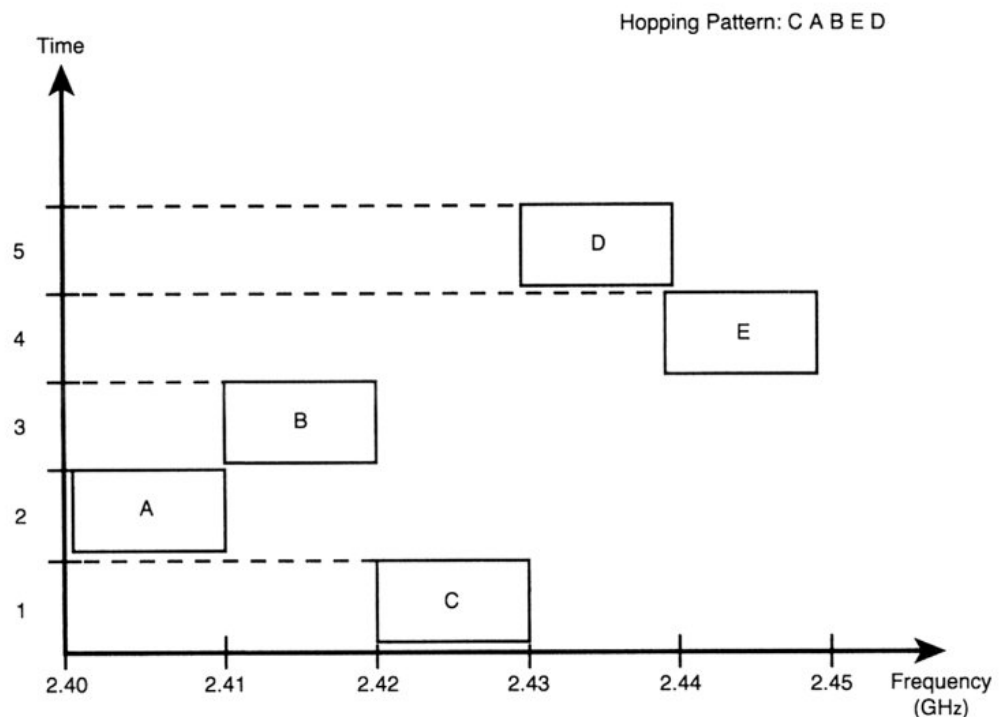
- Supporte des débits de 1 ou 2 Mbps avec une modulation 2- ou 4- GFSK * (Gaussian Frequency Shift Keying)
- 79 canaux de 2.402 à 2.480 GHz (in U.S. and most of EU countries) avec 1 espacement de 1 MHz

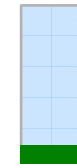


$$*f = f_c \pm \Delta f, \Delta f_{nom} = 160 \text{ kHz}$$



- Le 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,





- A) Format d'une trame physique

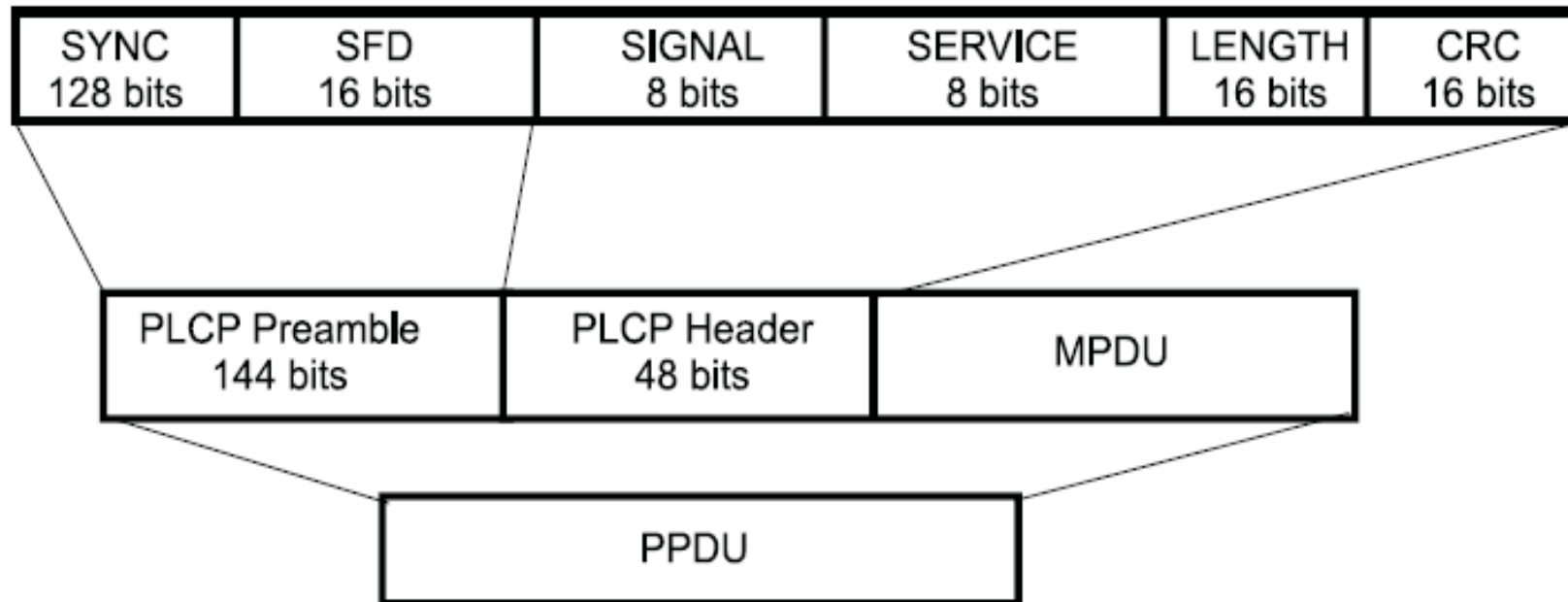
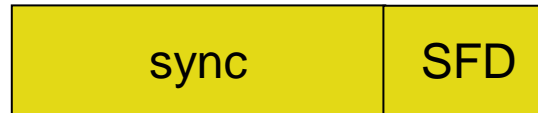


Figure 86—PLCP frame format



– 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

– L'en-tête

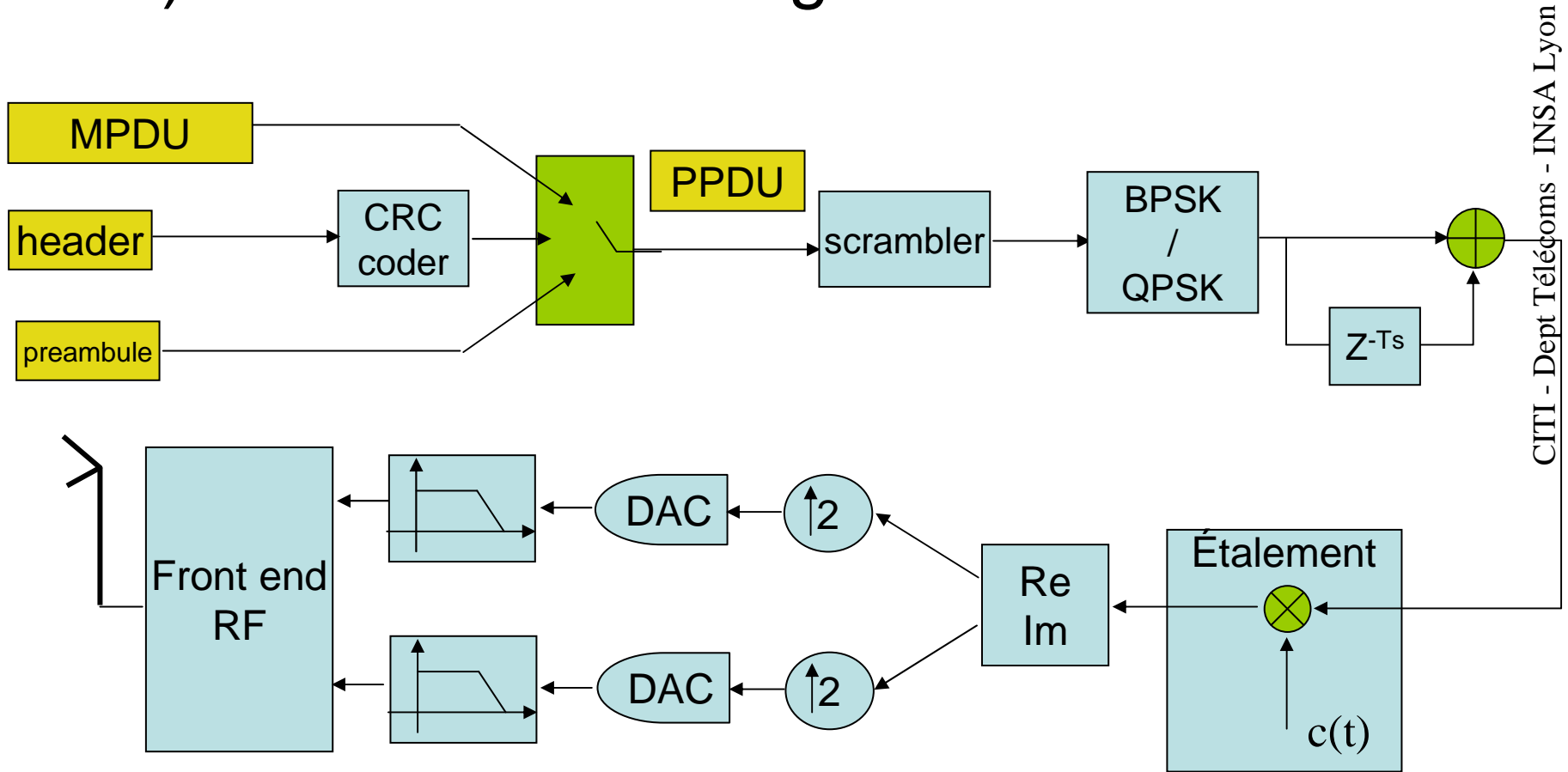


- Signal : débit codé sur 8 bits (1 ou 2Mbps)
- Service : réservé, mais non utilisé
- Longueur : longueur de la trame codée
- CRC : codage pour la protection des 3 champs précédents
 - Polynôme générateur

$$x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$



- B) La formation du signal radio



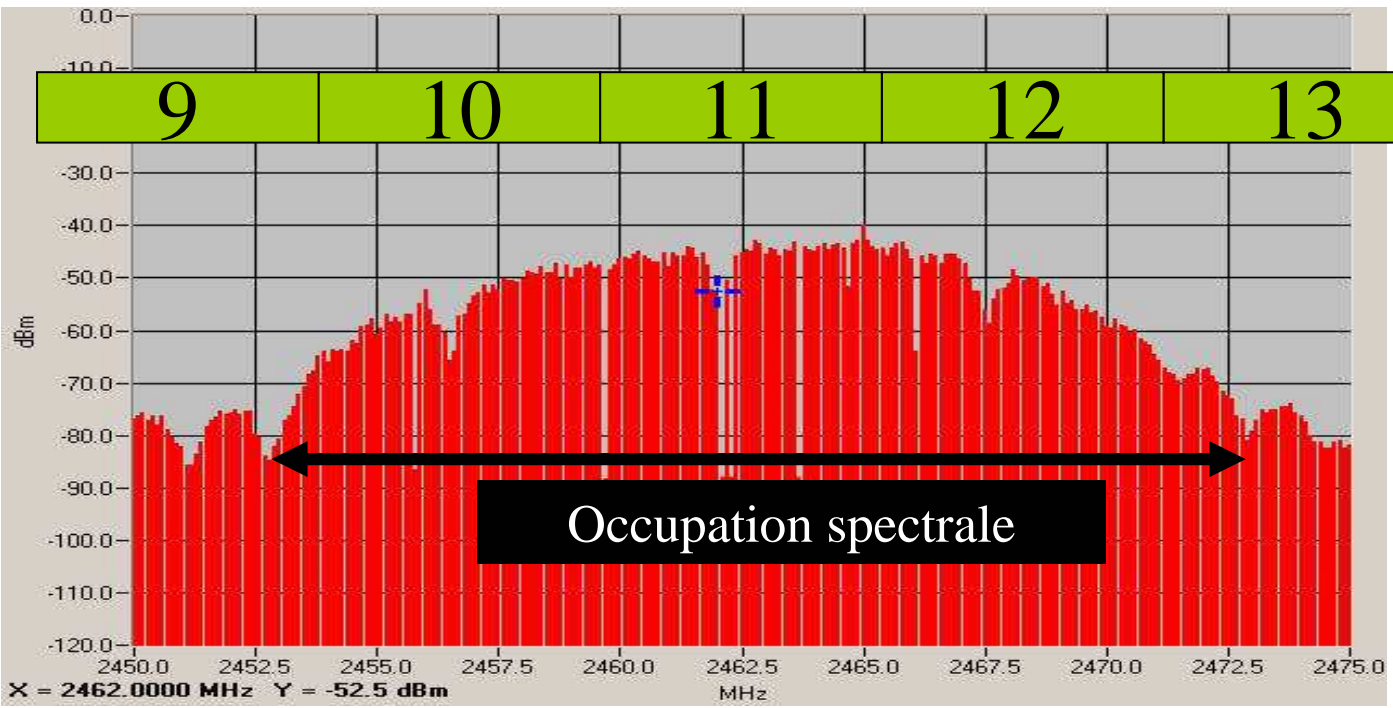
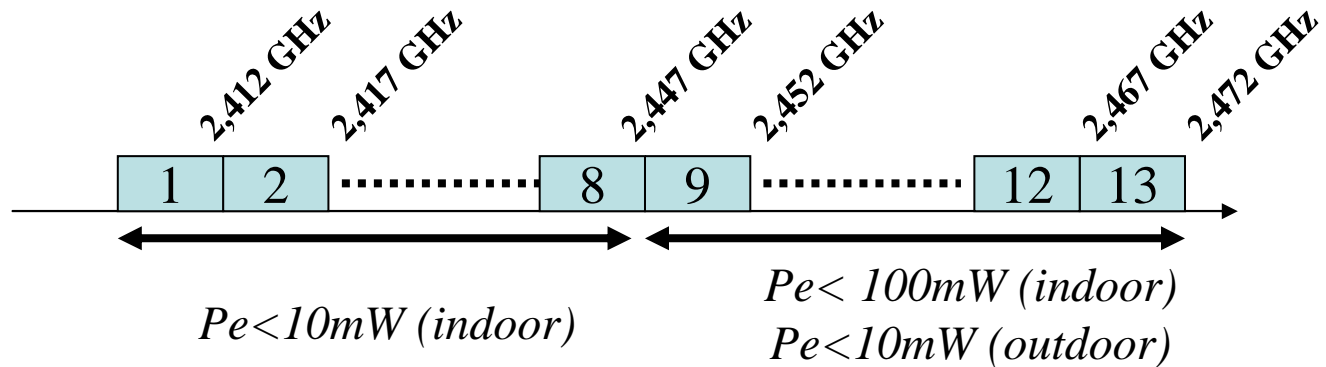
CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

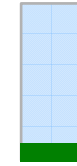


Chapitre 16

802.11 (DSSS)

– conséquences :
diminution du nombre de canaux





Chapitre 16

802.11 (DSSS)

- Ce qui change avec 802.11b
 - HS = higher speed
 - introduction des vitesses de modulation plus élevées
 - réduction du nombre de canaux
 - adaptation du format des trames
 - options de compatibilité ascendante



- A) Format d'une trame physique

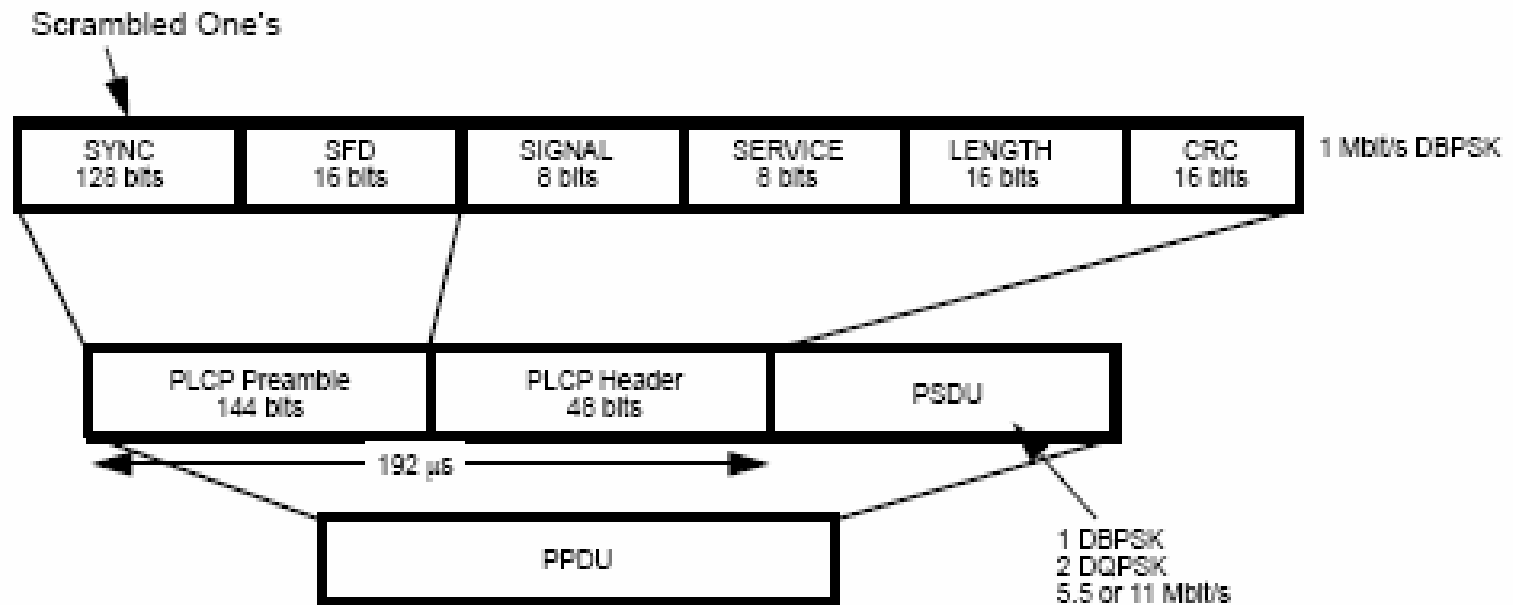


Figure 127 – Long PLCP PDU format



- A) Format d'une trame physique

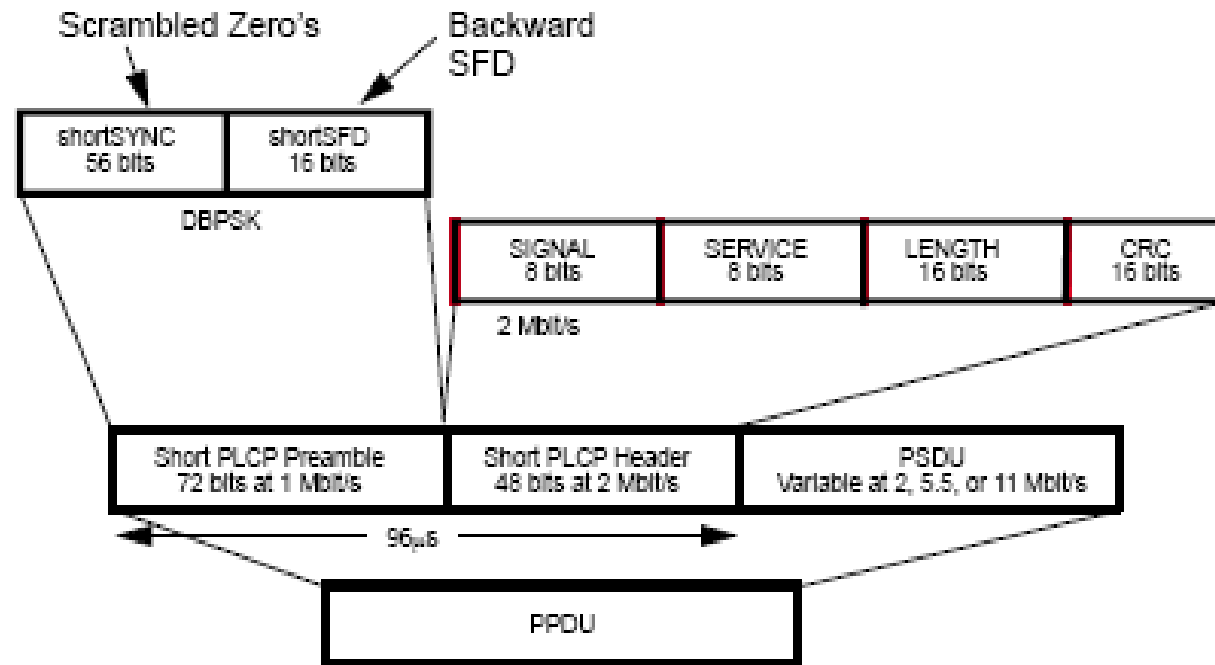


Figure 128 – Short PLCP PDU format



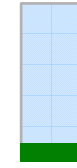
- B) le codage CCK
 - Augmenter le débit, sans augmenter la bande passante (garder au moins 3 canaux indépendants)
 - Si codage direct : 11Mbps à 11Mcps → 1bit/chip : on n'a plus d'étalement, donc pas robuste et détection difficile.
 - Choix d'une technique peu utilisée en radio : CCK
 - Issu de la théorie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

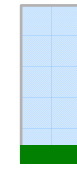
PAIR SEPARATION	SEQUENCE 1		SEQUENCE 2	
	LIKE	UNLIKE	LIKE	UNLIKE
1	4	3	3	4
2	4	3	3	4
3	1	5	5	1



- 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	$-\pi/2$

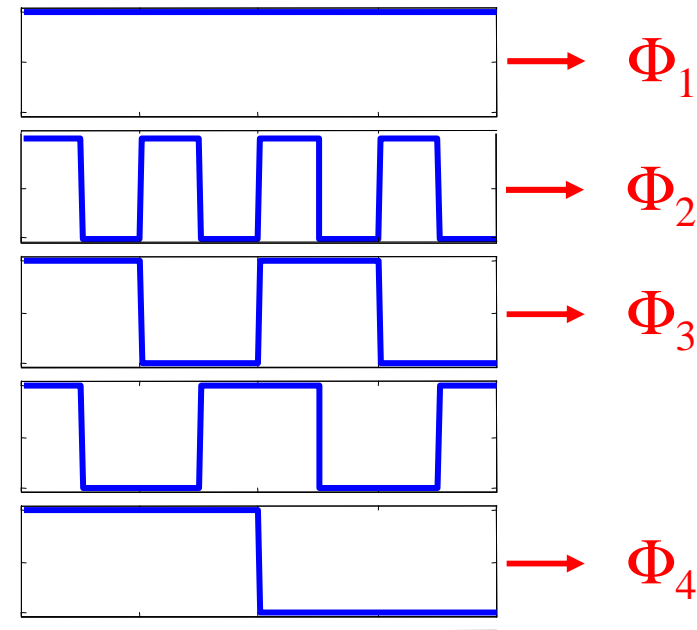


- Choix des codes
 - Comment est construit le code ?

codes de Walsh / matrices de Hadamard

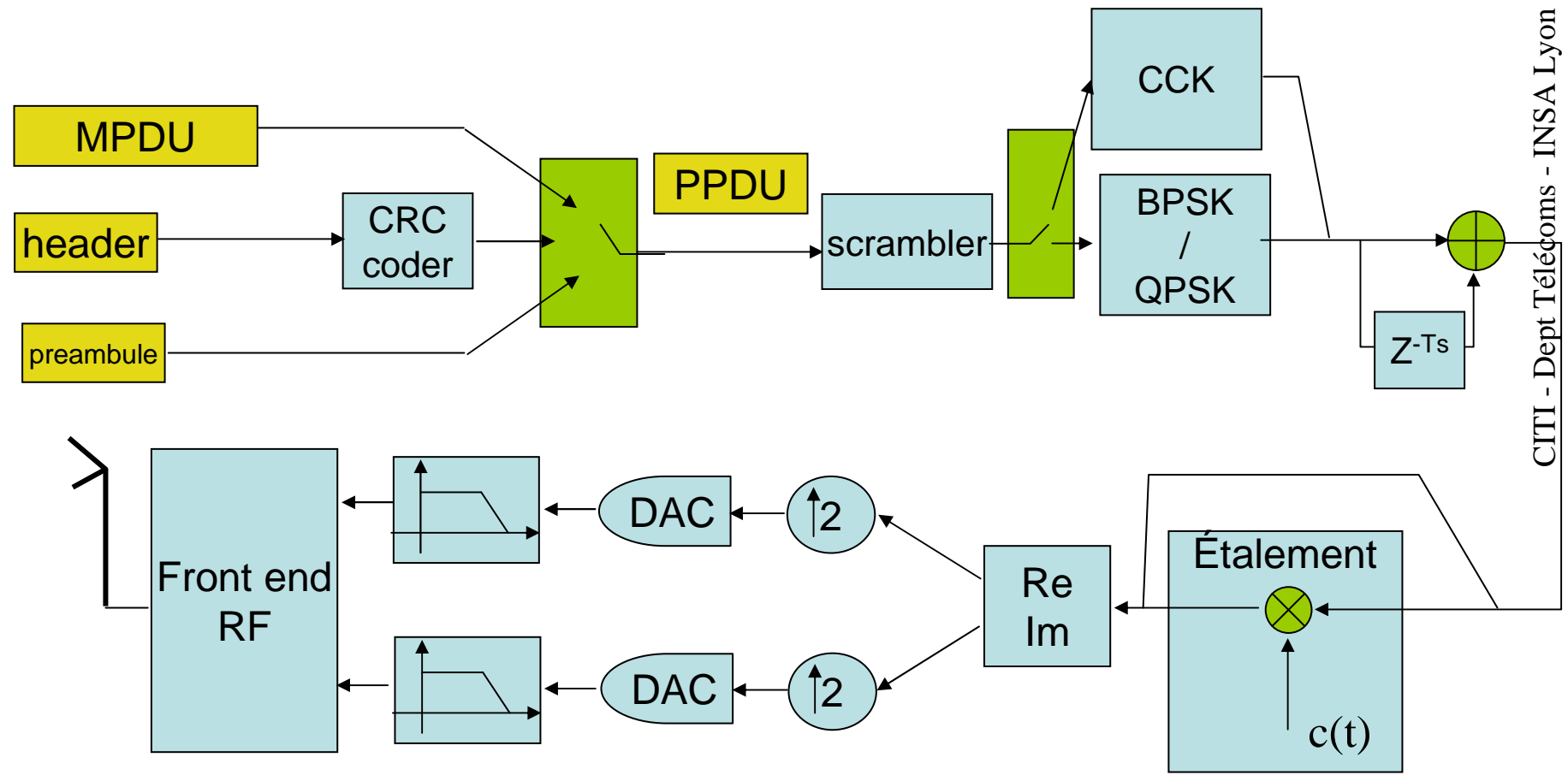
$$H_0 = [0] \quad ; \quad H_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad ; \dots \quad H_{N+1} = \begin{bmatrix} H_N & H_N \\ H_N & \overline{H_N} \end{bmatrix}$$

$$H_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$





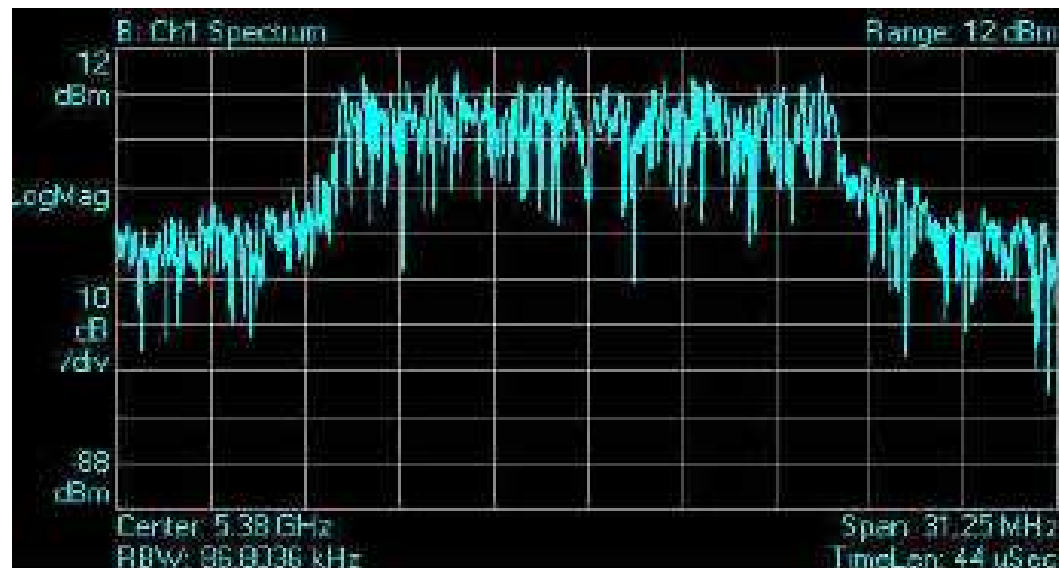
- C) La formation du signal radio



CITI - Dept Télécoms - INSA Lyon

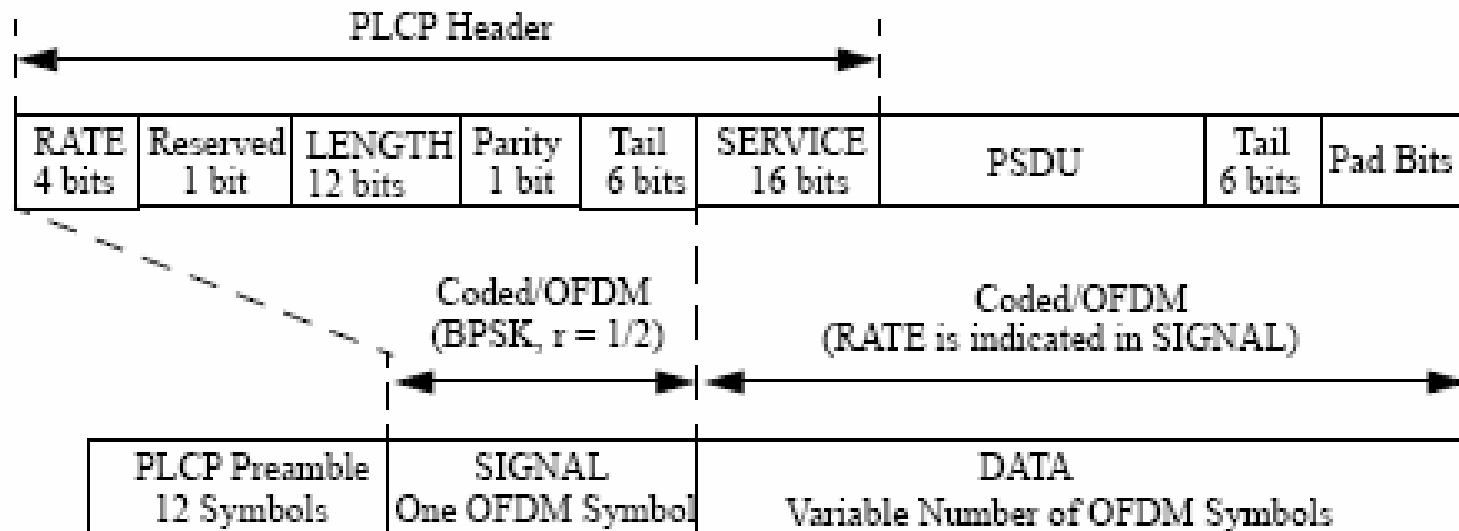


- Motivations
 - Augmenter le débit à courte distance
 - Augmenter la robustesse au fading
 - Exploiter les techniques multi-porteuses
 - Exploiter la bande des 5GHz.





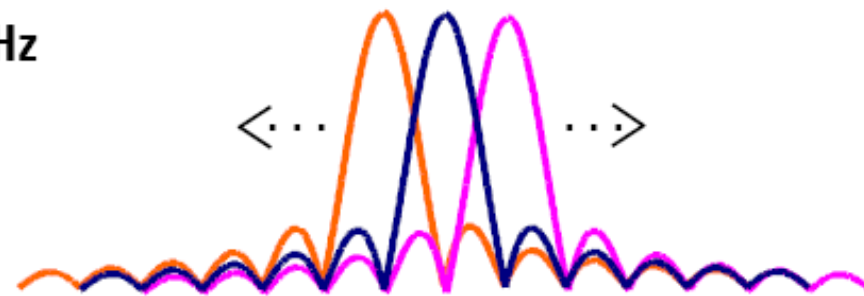
- A) format des trames





OFDM – Review of Basic Concepts

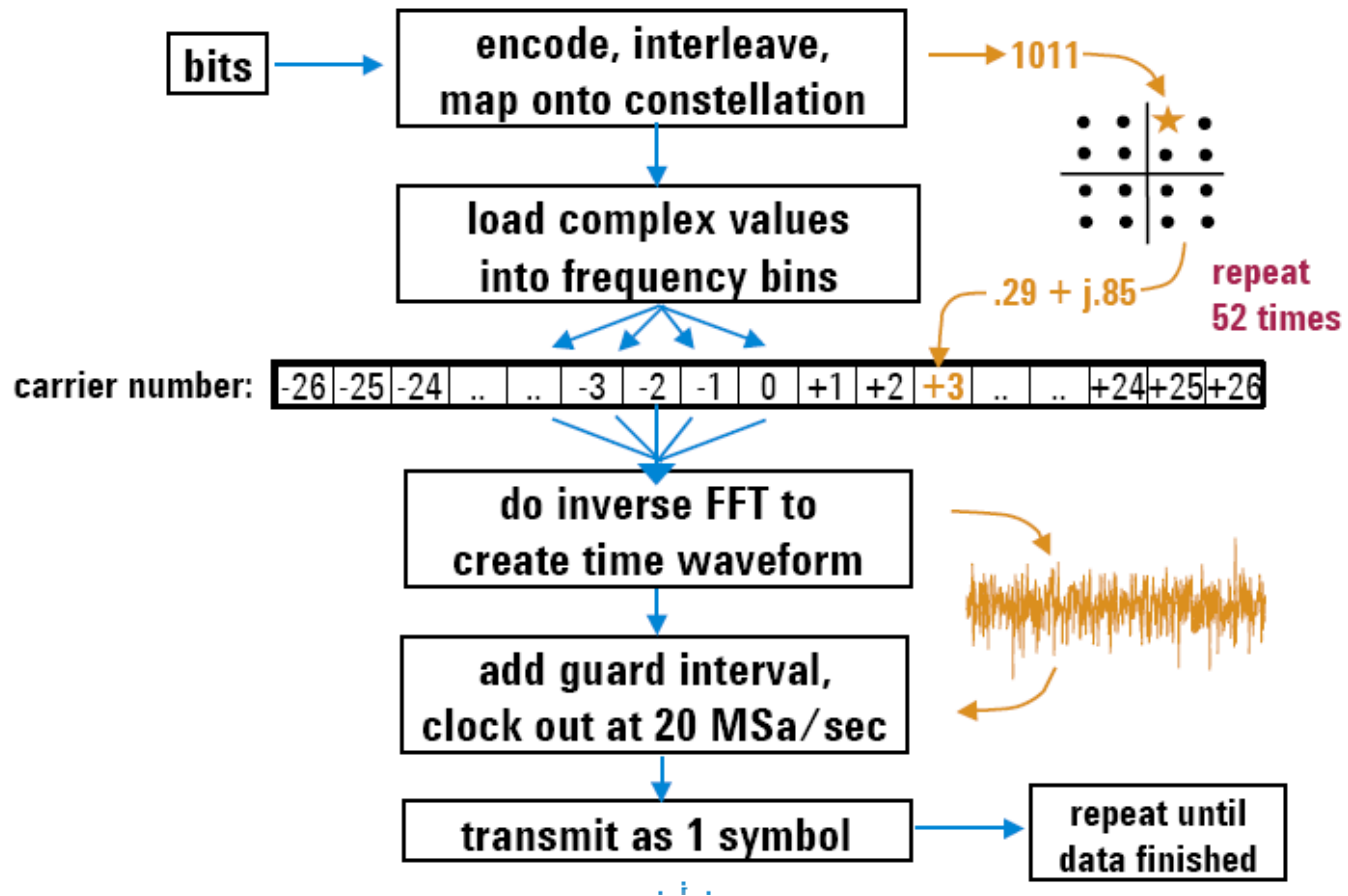
- **Slower symbol rate x multiple carriers = similar bits/sec/Hz**
- **Less susceptible to:**
 - **single freq. interference**
 - **multipath dropouts**
 - **impulse noise**
- **Carrier spacing creates orthogonality.**
- **Phase noise, timing, and frequency offsets decrease orthogonality.**



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



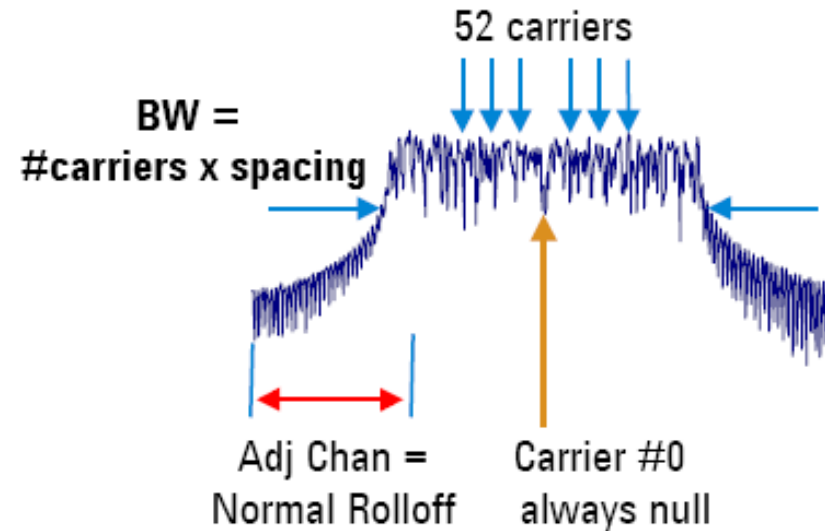
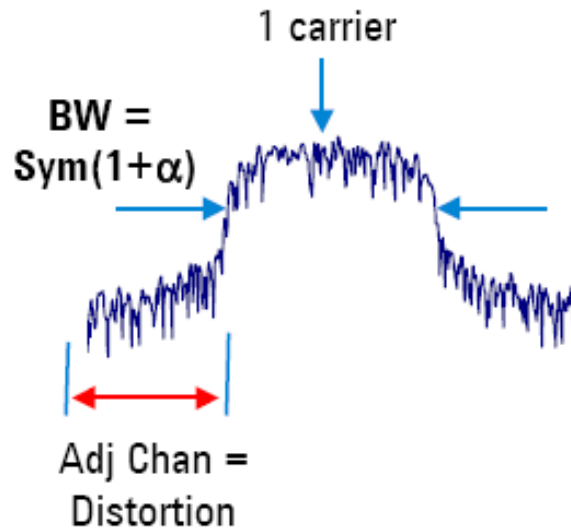
Generating OFDM





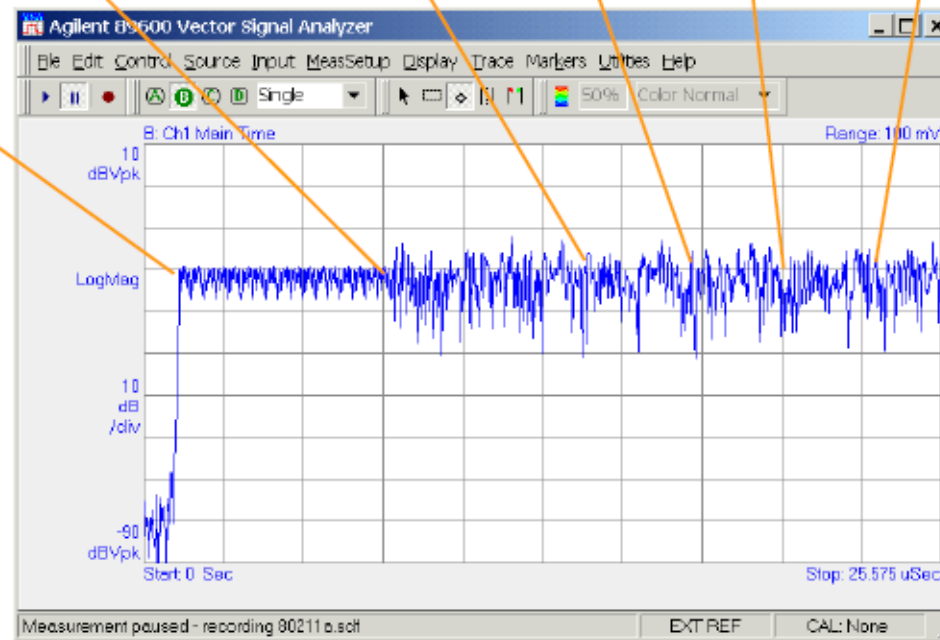
OFDM versus Single Carrier Modulation

Frequency Domain View





Structure of IEEE 802.11a OFDM Frame (= Burst)





Structure of IEEE 802.11a OFDM Frame (= Burst)



Data Rate	Mod. Format	Coding Rate	Bits per Symbol
6 Mbits/sec	BPSK	1/2	24
9	BPSK	3/4	36
12	QPSK	1/2	48
18	QPSK	3/4	72
24	16QAM	1/2	96
36	16QAM	3/4	144
48	64QAM	2/3	192
54	64QAM	3/4	216

Data Symbols

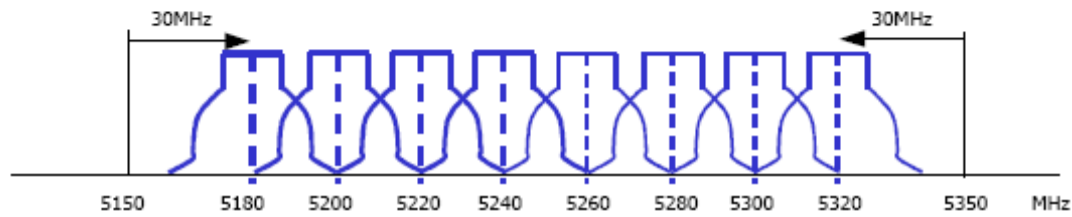
- 1 symbol =
 - 4 uSec length
 - 1 FFT
 - 52 carriers (48 + 4)
 - 52 constellation dots
- Format varies
- Coding varies
- Max 4096 bytes per frame.
- *MAC layer starts here.*

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

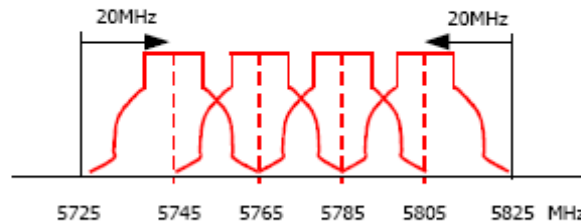


Output RF Spectrum

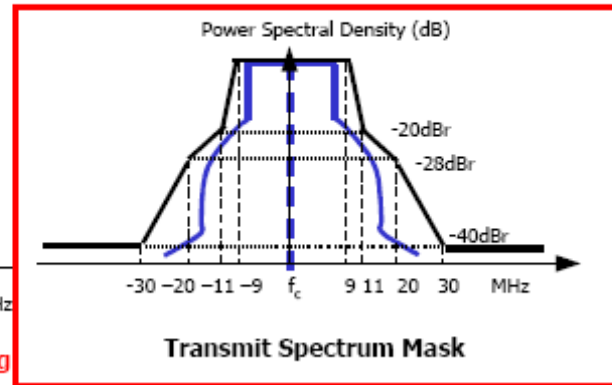
OFDM Signal Spectrum



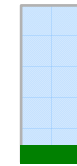
Lower and Middle U-NII Band – 8 carriers in 200MHz / 20MHz spacing



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



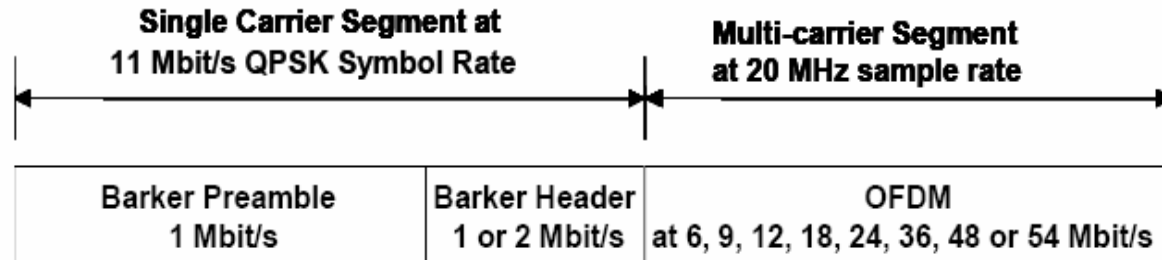
5- mode 802.11g : OFDM



Chapitre 16

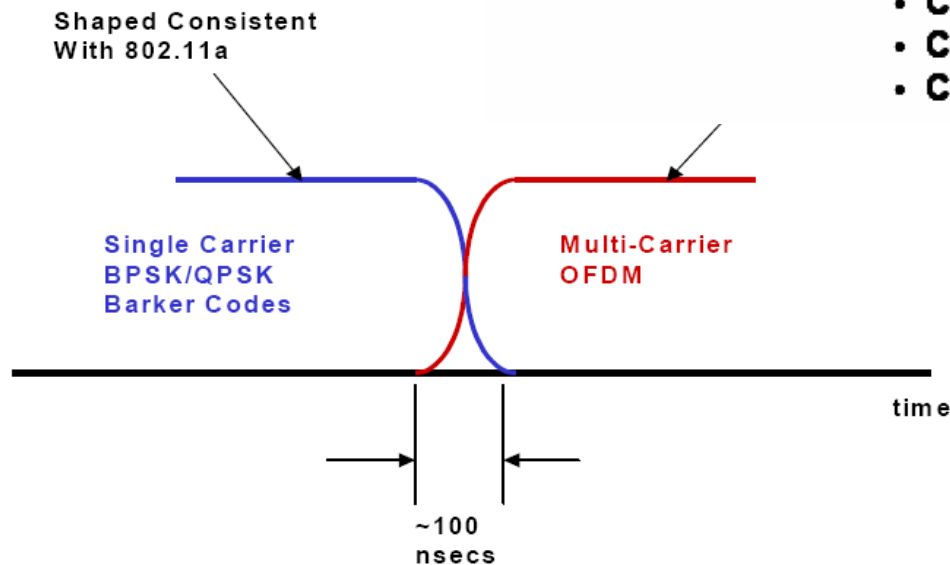
802.11g

- Pour le 802.11g, transition BPSK / OFDM



Ideal Transition Specification

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





- 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 (Msps)	Symbol Rate Per Subcarrier (Msps)
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



Chapitre 16

résumé

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