

Systèmes de télécommunication

C. Poulliat

21 novembre 2011

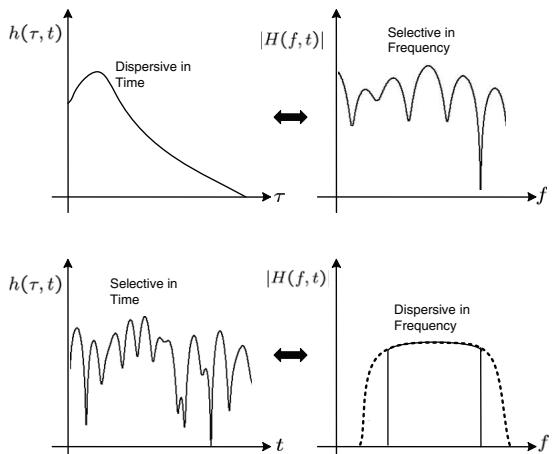


Plan

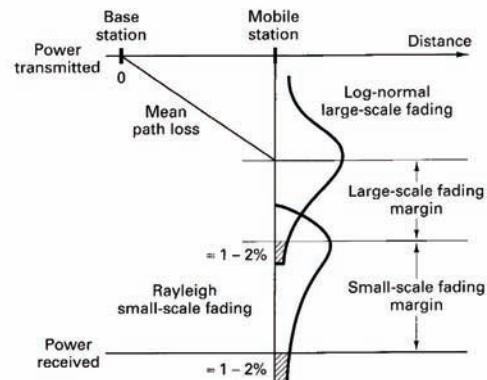
- 1 Canaux de propagation et modélisation
- 2 Système multi-utilisateurs : accès multiple et duplexage
- 3 GSM : un exemple de système basé FDMA/TDMA
- 4 Accès multiples par Répartition en fréquences : OFDMA et SC-FDMA
- 5 Mécanismes d'adaptation et de diversité
- 6 3GPP-LTE
- 7 UMTS : W-CDMA et HXPA

Canaux de propagation et modélisation

Effet



signal reçu =
atténuation
+ perte par effet de masquage
+ perte fading



bilan de liaison résultant

Canaux de propagation et modélisation

Effet de la propagation en espace libre : atténuation de puissance

Atténuation par propagation en espace libre

$$P_r = P_t \frac{\lambda^2 G_t G_r}{(4\pi d)^2}, \text{ avec } \lambda = c/f_c$$

$$\text{Path Loss (dB)} : P_L = 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right)$$

où P_r/P_t représente le gain moyen du canal

Modèle empirique d'atténuation en espace libre

$$P_r = P_t P_0 \left(\frac{d_0}{d} \right)^\alpha$$

$$\text{Path Loss (dB)} : P_L = 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right)$$

où P_0 représente la puissance émise à la distance de référence d_0 .

Canaux de propagation et modélisation

Effet de masquage de l'environnement : *shadowing*

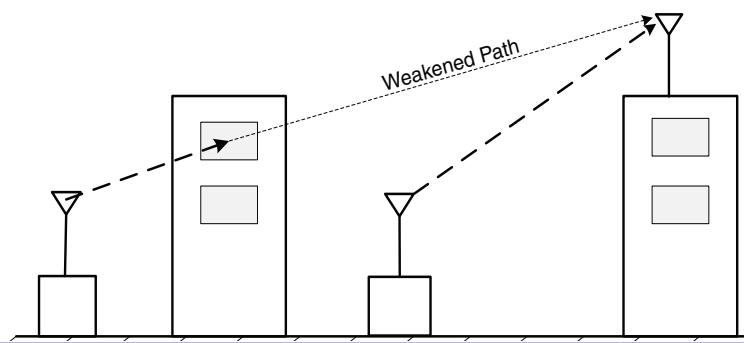
Atténuation due au *Shadowing* : *large scale fading*

$$P_r = P_t P_0 \chi \left(\frac{d_0}{d} \right)^\alpha$$

où $\chi = 10^{\frac{x}{10}}$ avec $x \sim \mathcal{N}(0, \sigma_x^2)$

Atténuation totale (en dB) = Path loss + shadowing

$$P_{db} = 10 \log_{10}(P_0) - 10\alpha \log_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + \chi_{db}$$



Canaux de propagation et modélisation

Effet des trajets multiples

Modèle du signal reçu équivalent en bande de base

$$y(t) = \sum_{n=0}^{L(t)} \alpha_n(t) e^{-j\phi_n(t)} x(t - \tau_n(t)) + b(t)$$

avec

$$\phi_n(t) = 2\pi f_c \tau_n(t) - \phi_{D_n}$$

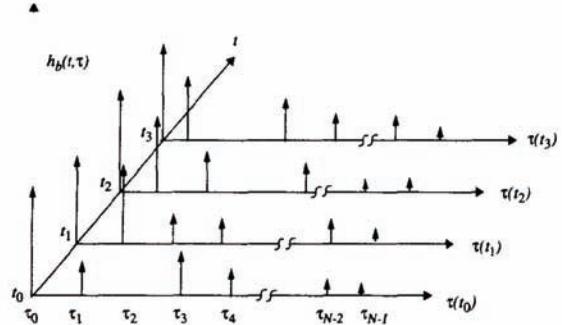
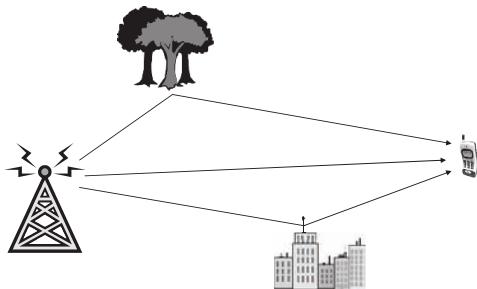
$$\phi_{D_n} = \int 2\pi f_{D_n}(t) dt, \text{ tel que } f_{D_n}(t) = v f_c \cos(\theta_n(t))/c$$

Canal équivalent en bande de base

$$h(t, \tau) = \sum_{n=0}^{L(t)} \alpha_n(t) e^{-j\phi_n(t)} \delta(\tau - \tau_n(t))$$

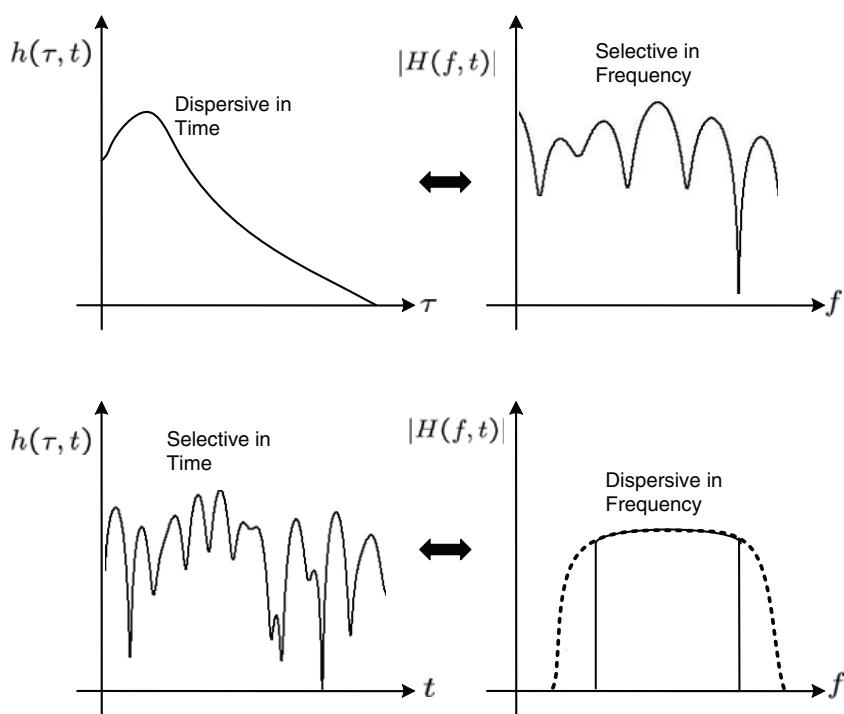
Canaux de propagation et modélisation

Effet des trajets multiples



Canaux de propagation et modélisation

Caractérisation du canal



Canaux de propagation et modélisation

Modélisation du comportement de $h(t, \tau)$

Autocorrélations

- Autocorrélation du canal temps/retard :
 $\rho_h(t_1, t_2; \tau_1, \tau_2) = E(h(t_1, \tau_1)h^*(t_2, \tau_2))$.
- Autocorrélation du canal temps/fréquence :
 $\rho_h(t_1, t_2; f_1, f_2) = E(H(t_1, f_1)H^*(t_2, f_2))$. avec
 $H(t, f) = TF_\tau(h(t, \tau))(f)$

WSSUS hypothesis

- Autocorrélation du canal temps/retard :

$$\rho_h(\Delta t; \Delta \tau) = E(h(t, \tau)h^*(t + \Delta t, \tau + \Delta \tau))$$

Canaux de propagation et modélisation

Modélisation du comportement de $h(t, \tau)$

Etalement temporel

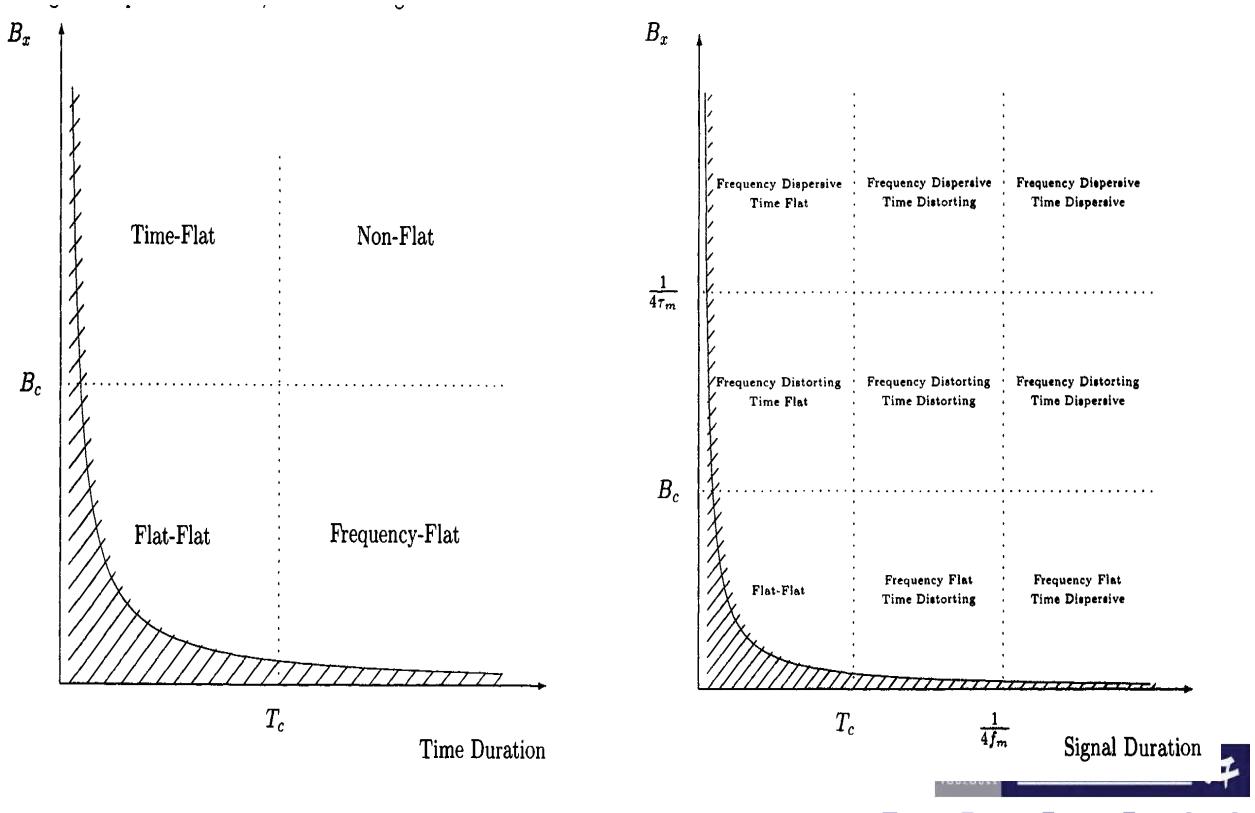
- Delay spread $T_d \approx \tau_{\max}$
- Coherence Bandwidth $B_c \approx 1/T_d$

Etalement fréquentiel

- Doppler spread $f_D \approx v f_c / c$
- Coherence time $T_c \approx 1/f_d$

Canaux de propagation et modélisation

Classification



Méthodes d'accès multiples

Généralités 1/3

Motivations

- Partager le canal radio (spectre et temps) entre différents utilisateurs,
- Permettre l'accès pour que les utilisateurs communiquent simultanément
⇒ création d'"un canal" ("channelization"), portion de temps et/ou de fréquence allouée temporairement à un utilisateur pour communiquer et transmettre ses données
- Servir le plus grand nombre d'utilisateurs (rentabilité) tout en garantissant une certaine qualité de service (QoS), ie. taux d'erreur, débits, connectivités, délai, etc....

Méthodes d'accès multiples

Généralités 2/3

Principales méthodes d'accès

- Méthodes Accès Multiples centralisées :

- *Frequency Division Multiple Access, FDMA,*
- *Time Division Multiple Access, TDMA,*
- *Code Division Multiple Access, CDMA,*
- *Space Division Multiple Access, SDMA,*

- *Orthogonale Frequency Division Multiple Access, OFDMA,*
- *Single-Carrier Frequency Division Multiple Access, SC-FDMA*

- Méthodes Accès Distribuées et/ou Aléatoires (*Packet Radio/Random Access*) :

- *méthodes basées sur ALOHA,*
- *Packet Reservation Multiple Acces, PRMA,*
- *Carrier Sense Multiple Access, CSMA*



Méthodes d'accès multiples

Généralités 3/3

Définitions et acronymes courants

- Emetteur-Récepteur :

- Station de base (*Base Station, access point, BS*) liée au réseau de l'opérateur (points d'entrée),
- Terminal Mobile (*Mobile terminal/Mobile Station, MS*)

- Voie descendante, VD (*downlink/forward link*) :
communication de BS vers MS

- Voie montante, VM (*uplink/reverse link*) :
communication de MS vers BS

- généralement débits sur voie VD bien supérieure à VM.

Duplexage

Duplexage

le duplexage permet de séparer les communications voies montante et descendante

Duplexage total ou partiel

- **Système de communication bidirectionnel (resp. mono-directionnel) :**
système pouvant émettre et recevoir (resp. émettre ou recevoir),
- **Duplexage total (*Full-Duplex*)** : le terminal peut émettre et recevoir des données de manière simultanée,,
- **Semi-Duplexage (*Half-Duplex*)** : le terminal peut émettre et recevoir des données de manière non simultanée (généralement séquentielle),
- **Mode Simplex** : pour les systèmes mono-directionnels.

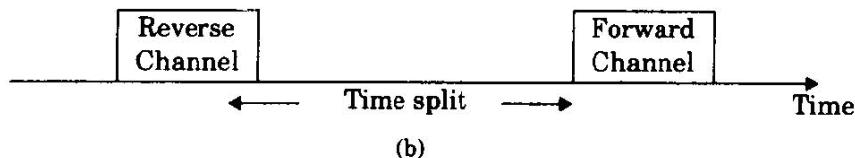


Duplexage en temps

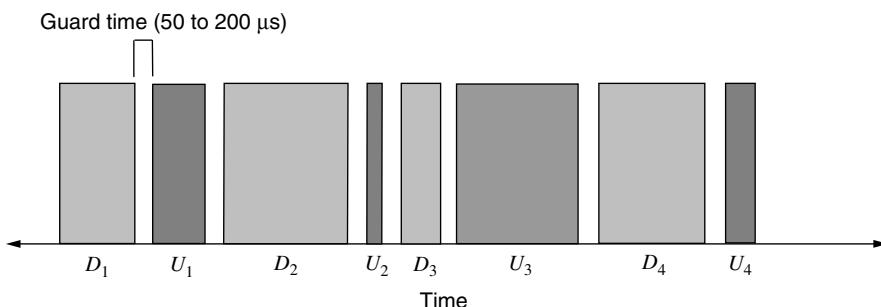
Duplexage en temps (*Time Division Duplex, TDD*)

- séparation des voies Down/Up en temps en assignant des slots temporels (*time-slots, TS*) différents pour la communication (même bande de fréquence),
- **temps/période de garde requis** pour minimiser interférence entre émission et réception, fonction du temps max. pour communication “aller-retour”,
- estimation de canal simplifiée par “réciprocité” (channel reciprocity assumption) si temps de duplage entre les TS inf. temps de cohérence du canal,
⇒ possible sur certains systèmes et certaines conditions de mobilités (canaux dits quasi-statiques)
- non *full-duplex* au sens strict.

Duplexage en temps



Principe générale du duplexage TDD



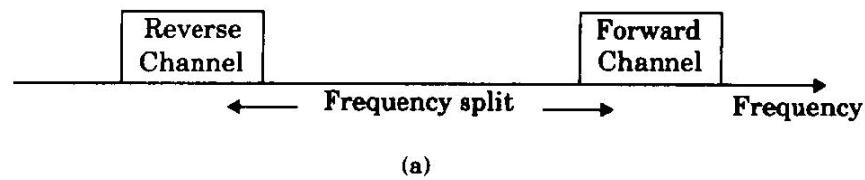
Cas de trafic asymétrique

Duplexage en fréquence

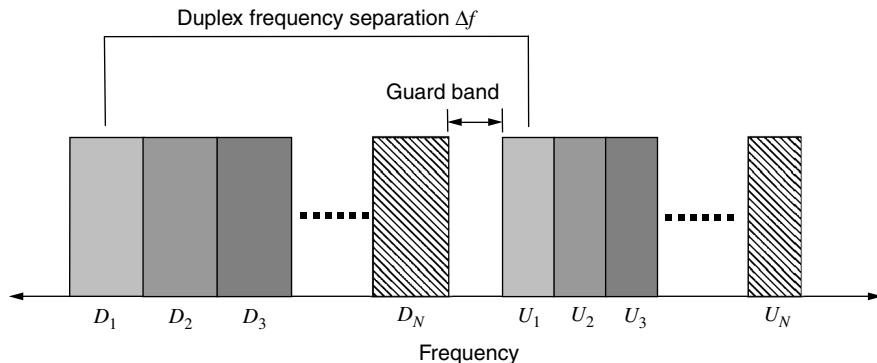
Duplexage en fréquence (*Frequency Division Duplex, TDD*) :

- séparation des voies Down/Up en fréquence en assignant des bandes de fréquence (frequency bands) de communication pendant la durée d'une communications,
 - Bande de garde requis pour réduire les interférences entre voies Down/Up.,
 - si séparation entre deux bandes sup. à la bande de cohérence du canal, gains fréquentiels différents,
⇒ toujours le cas en pratique, donc “réciprocité” du canal non valide
 - *full-duplex* au sens strict,
 - perte d'efficacité pour système fortement asymétrique en trafic,
 - duplexage le plus utilisé.

Duplexage en fréquence



Principe générale du duplexage FDD



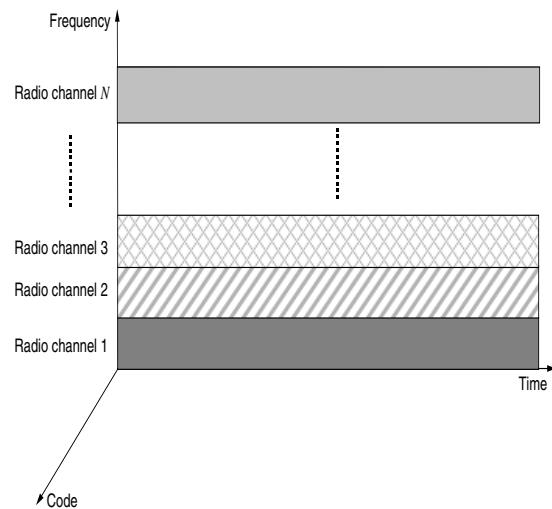
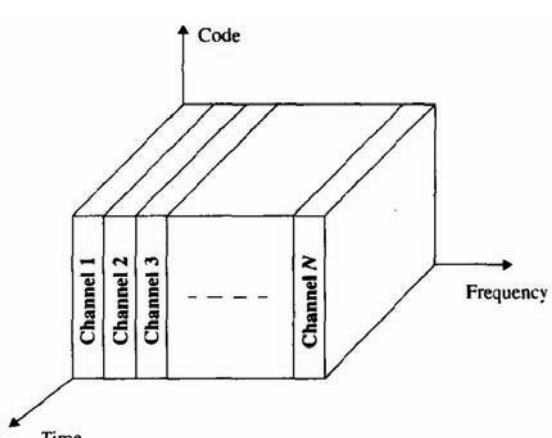
Cas de plusieurs canaux duplexés en fréquence

Accès Multiple Par Répartition en Fréquence

FDMA

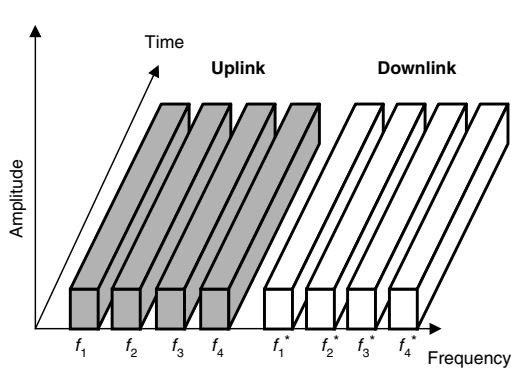
Principe générale

- chaque utilisateur se voit assigner une fréquence ou bande de fréquences (généralement contigues) pour la durée de sa communication,

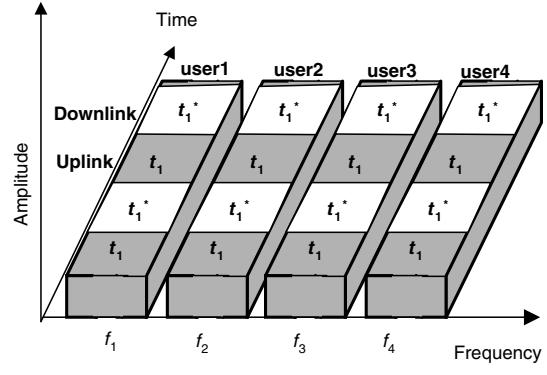


Accès Multiple Par Répartition en Fréquence

FDMA : duplexage associé



(a)



(b)

FDMA-FDD

FDMA-TDD

Accès Multiple Par Répartition en Fréquence

FDMA : avantages-inconvénients

Avantages

- Généralement, moins de traitement de signal requis (communications bandes étroites),
 - synchronisation temporelle facilité

Désavantages

- sensibilité au fading fréquentiel (pas de diversité fréquentielle),
 - interférence des canaux adjacents (en part. VM), produits d'intermodulation (BS),
 - nécessité éventuelle d'intervalle fréquentiel de garde

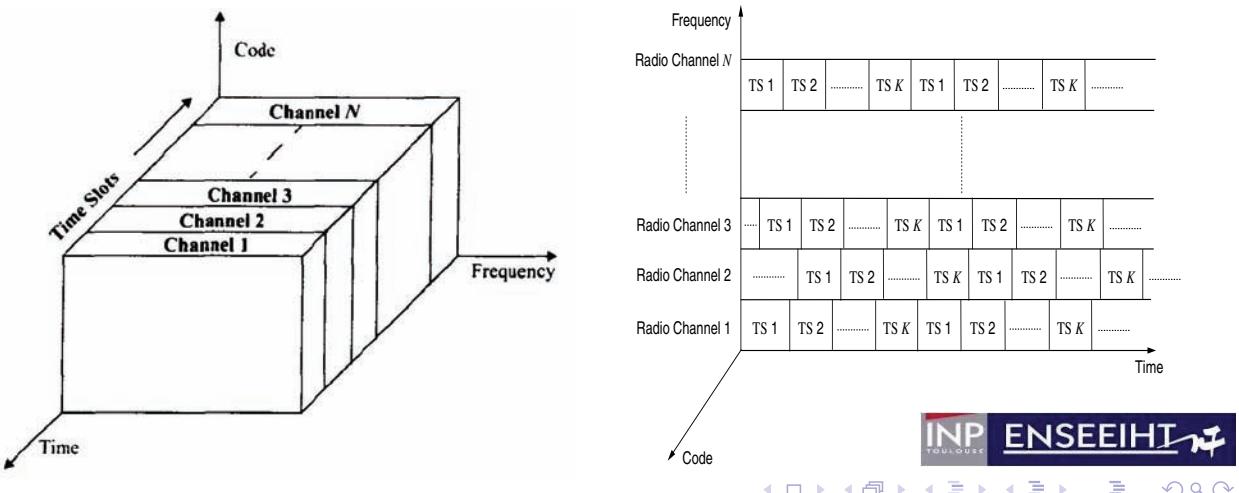
Type de systèmes utilisant le FDMA

- systèmes de communications analogiques,
 - utilisé souvent en combinaison avec d'autres méthodes d'accès (ex : GSM).

Accès Multiple Par Répartition en Temps

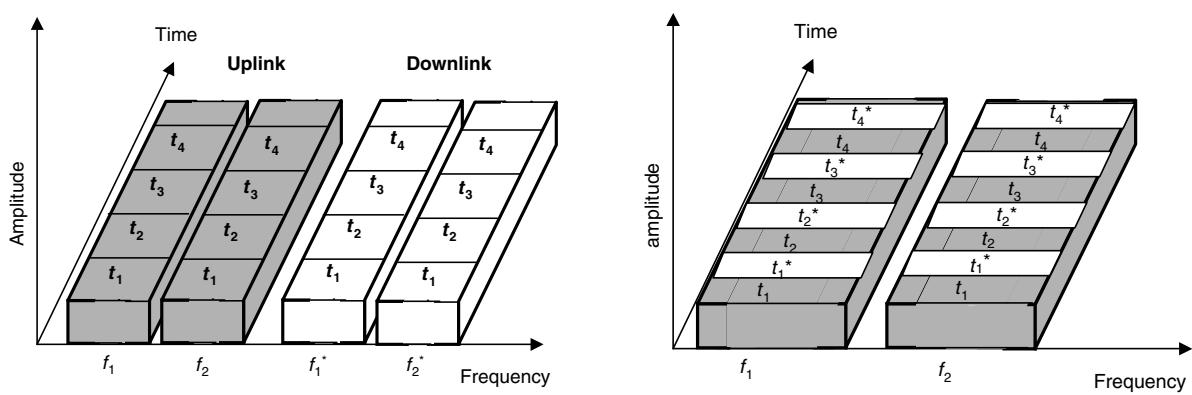
TDMA : Principe générale

- sur une même bande de fréquence, N utilisateurs communiquent sur un intervalle de temps fixe (Time-Slot, TS),
- sur chaque TS, un utilisateur unique peut communiquer en utilisant la bande allouée,
- le processus est répété dans le temps de manière périodique.
- Ex du GSM : $N = 8$ utilisateurs sur 200 kHz de bande.



Accès Multiples Par Répartition en Temps

TDMA : duplexage associé



TDMA-FDD

TDMA-TDD

Accès Multiples Par Répartition en Temps

TDMA : avantages-inconvénients

Avantages

- diversity fréquentielle possible,
- pas d'intervalle fréquentiel de garde,
- gestion de différents services par assignation de plusieurs TS,
- périodes d'écoute pendant la phase de silence (handover facilité).

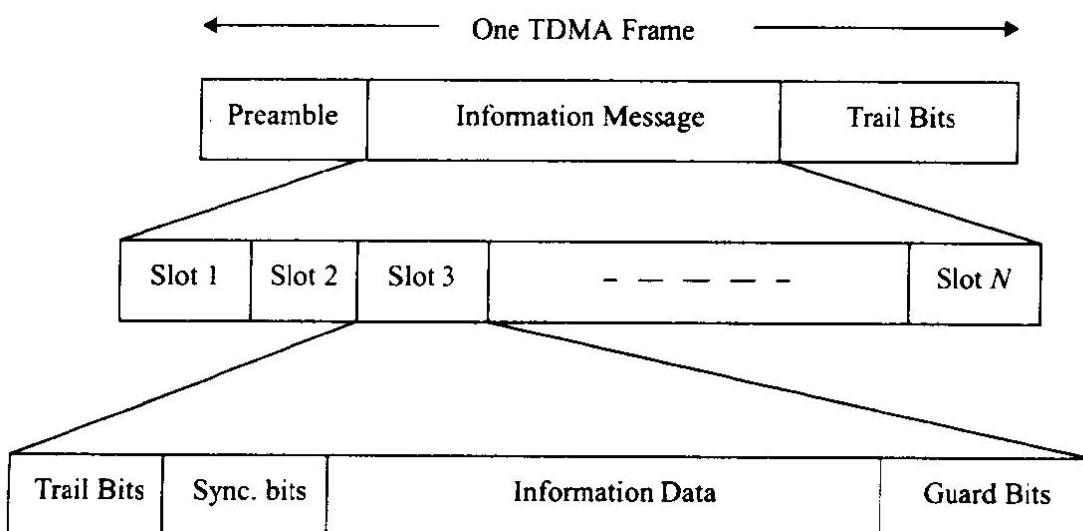
Désavantages

- interférence entre symbole : égalisation nécessaire,
- intervalle temporel de garde nécessaire (temps de montée et descente pour puissance d'émission+compensation des temps de trajets hétérogènes entre terminaux) pour synchronisation temporelle des utilisateurs (surtout uplink),
- estimation de canal pour chaque TS possiblement requises,
- overhead induit par ces traitements



Accès Multiples Par Répartition en Temps

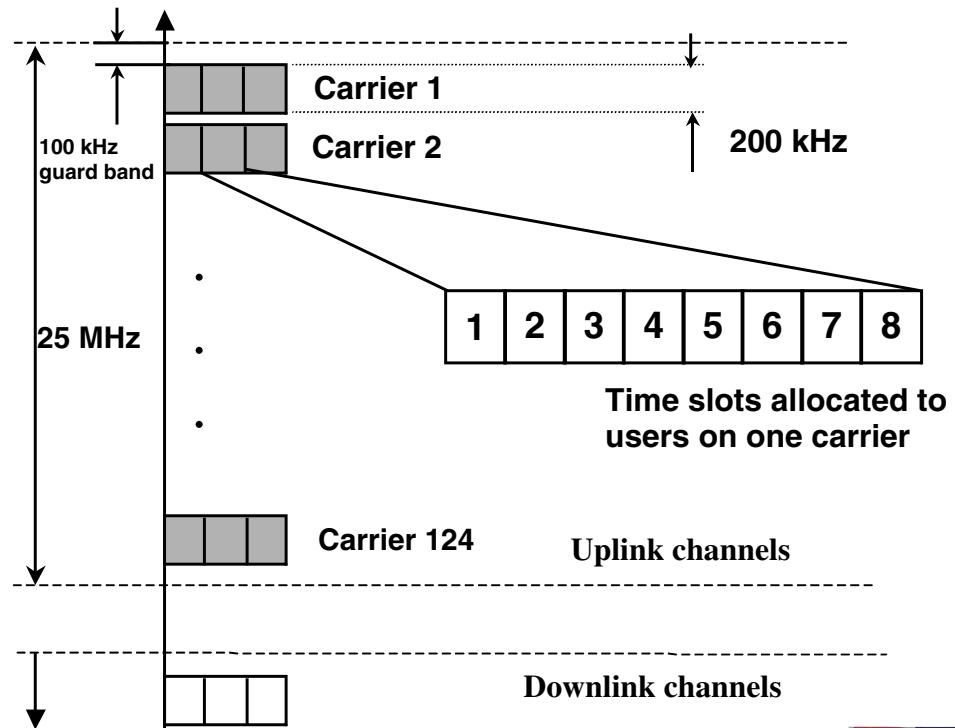
TDMA : trame générique



Exemple générique de trame TDMA

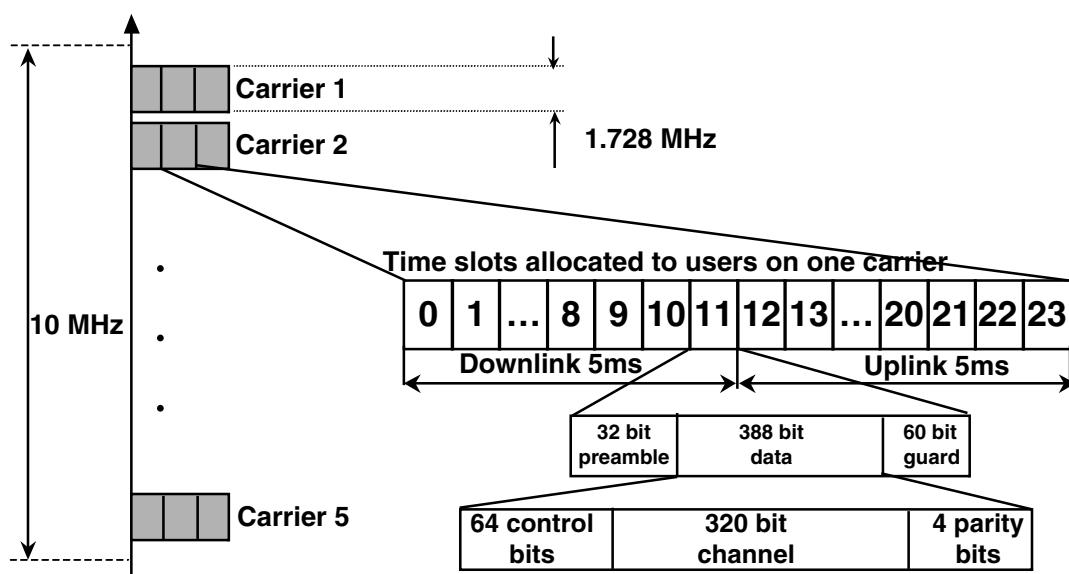
Accès Multiples : Schémas Hybrides FDMA/TDMA

Exemple du GSM : FDMA/TDMA/FDD



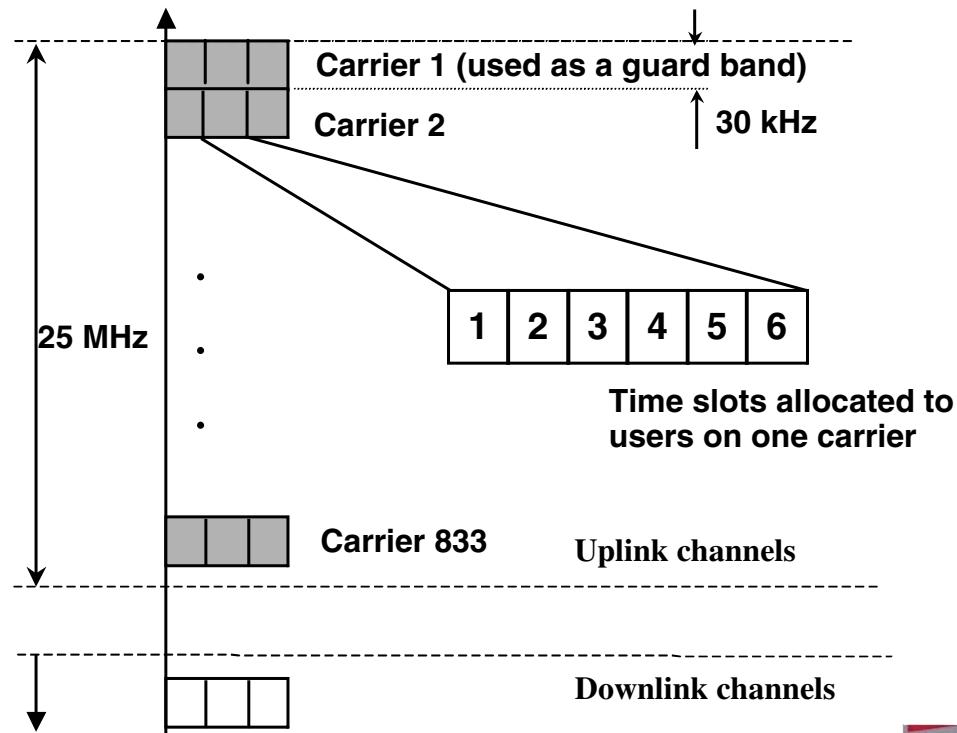
Accès Multiples : Schémas Hybrides FDMA/TDMA

Exemple du DECT : FDMA/TDMA/TDD



Accès Multiples : Schémas Hybrides FDMA/TDMA

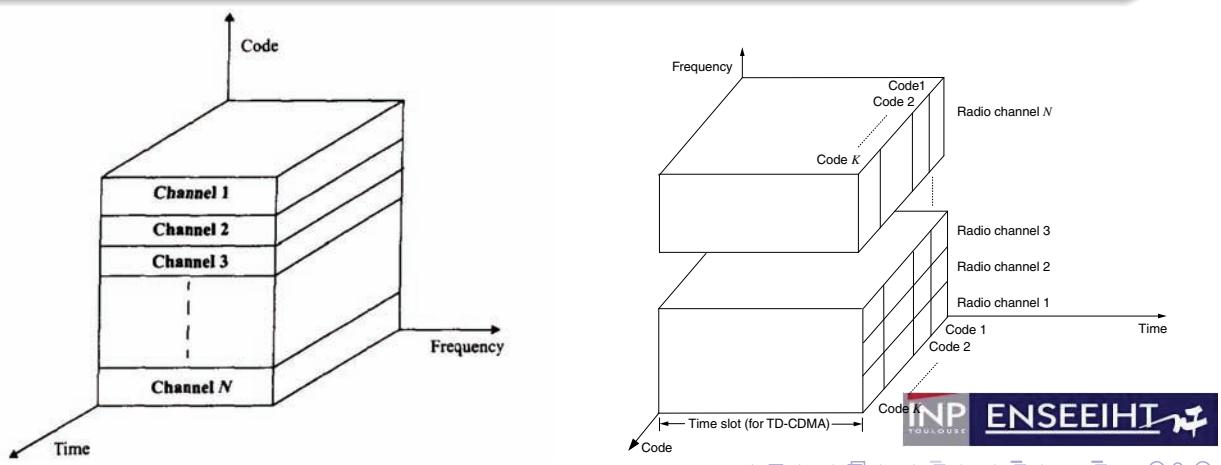
Exemple du standard IS-136 (US) : FDMA/TDMA/TDD



Accès Multiples Par Répartition de Codes

Principe générale

- On attribue à chaque utilisateur un code dit d'étalement pour moduler son signal d'information,
 - Les utilisateurs occupent la même bande au même instant,
 - Etalement par Séquences Directes (Direct Sequence) ou par saut de fréquences (Frequency Hopping)
 - Méthode d'accès orthogonale ou non-orthogonale



Accès Multiples Par Répartition de Codes

Propriétés

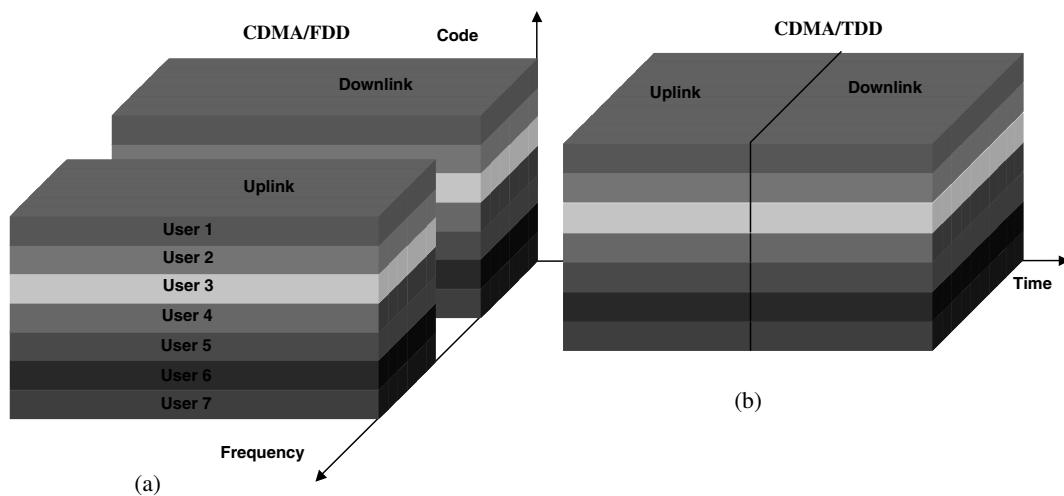
- Utilisation du code d'étalement pour séparer les utilisateurs en réception (détectio

Standards

- IS-95, CDMA-2000,
- UMTS-WCDMA/UMTS-HSPA



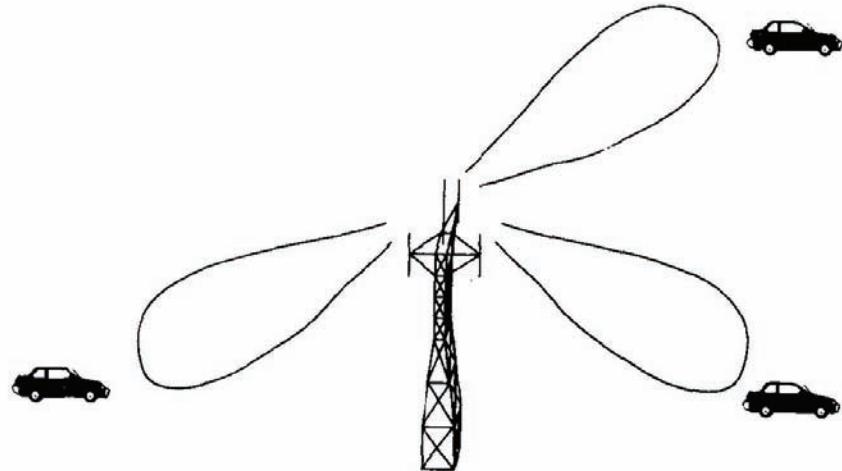
Accès Multiples Par Répartition de Codes



Accès Multiples Par Répartition Spatiale

Principe générale

- méthode d'accès pour améliorer l'efficacité des méthodes FDMA/TDMACDMA en utilisant la répartition spatiale
 - utilisation d'antennes multiples directionnelles pour créer des canaux orthogonaux



Global System for Mobile communications

GSM : Présentation générale

- standard *ouvert*,
 - 3 versions de GSM :
 - GSM-900,
 - GSM-1800 (DCS-1800),
 - GSM-1900(PCS1900), surtout USA.
 - Evolutions :
 - EDGE,
 - GPRS

Global System for Mobile communications

Interface Air

Duplexage FDD

- **GSM-900 :**

- Uplink : 890 to 915 Mhz,
- Downlink : 935 to 960 Mhz,
- séparation fréquentielle pour duplexage : 45Mhz,

- **GSM-1800 :**

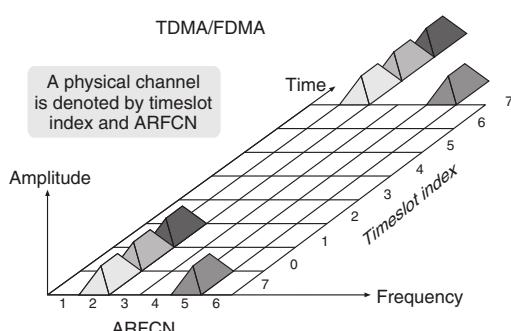
- Uplink : 1710 to 1785 Mhz,
- Downlink : 1805 to 1880 Mhz,
- séparation fréquentielle pour duplexage : 95Mhz,

Global System for Mobile communications

Interface Air

Accès multiple primaire : FDMA

- Partitionnement des bandes allouées pour uplink et downlink en 124 sous-bandes de 200 kHz,
- Bandes de garde fréquentielles de 100 kHz au deux bords de chaque sous-bande,
- les sous bandes de 200 kHz sont numérotés de manière consécutive en utilisant la numérotation *Absolute Radio Frequency Channel Numbers, ARFCNs*.



Global System for Mobile communications

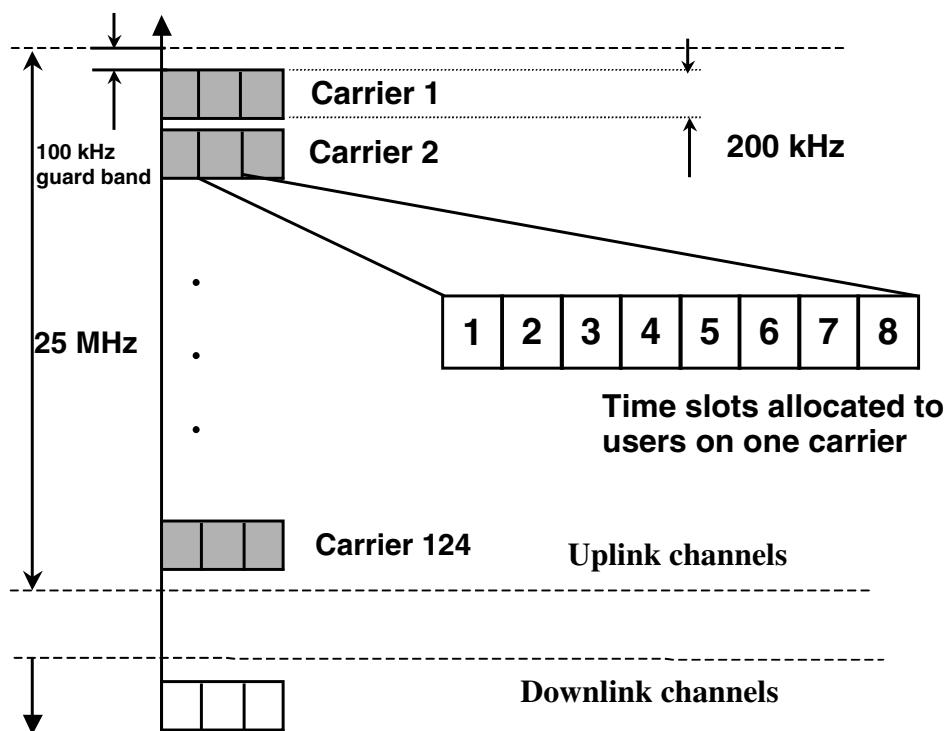
Interface Air

Accès multiple secondaire : TDMA

- Chaque sous-bande de 200 kHz permet des débits de 271 kbit/s,
- Chaque sous-bande est divisée en 8 time-slots de env. de 156 bits, qui sont allouables périodiquement,
- Une *frame* (trame) est composée de 8 time-slots, numéroté 0 à 7,
- un utilisateur accède périodiquement à un time-slot spécifique de chaque trame d'une bande de fréquence.
- *Canal Physique* : numéro de time-slot +bande de fréquence,
- les données transitant sur un canal physique proviennent de canaux dits logiques
- les sous bandes de 200 kHz sont numérotées de manière consécutives en utilisant la numérotation *Absolute Radio Frequency Channel Numbers, ARFCNs*.

Global System for Mobile communications

Interface Air : exemple

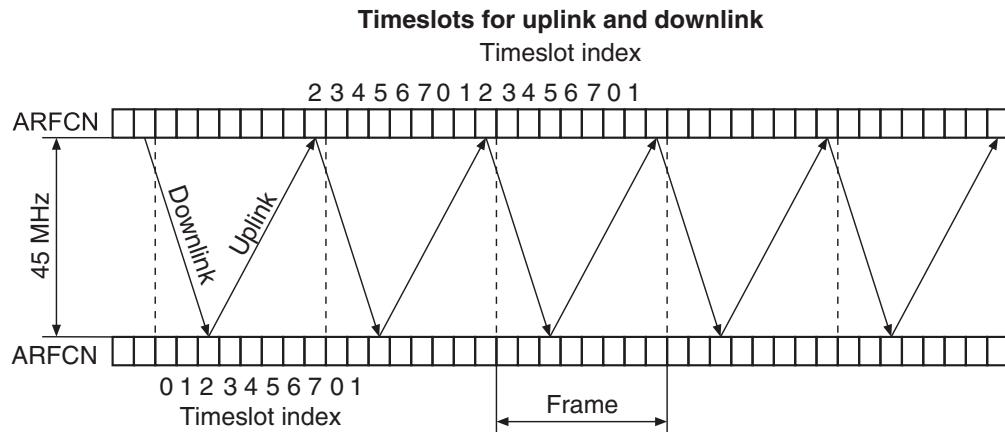


Global System for Mobile communications

Interface Air : fonctionnalités

Numérotation des time-slots en uplink et downlink

- Même indexes de time-slot entre UP et DOWN links, mais décalage de 3 slots en liaison montante

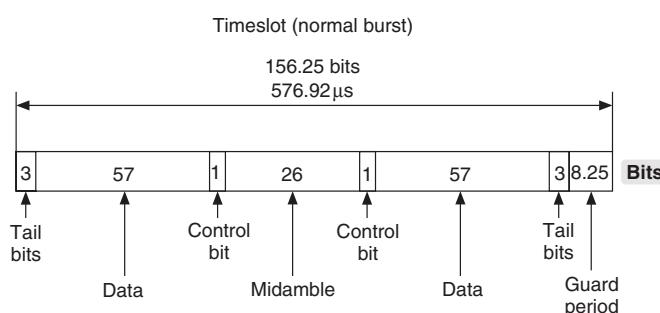


Global System for Mobile communications

Interface Air : fonctionnalités

Structure d'un time-slot (burst)

- *Payload* transmise dans 2 time-slots de 57 bits,
 - *Midamble* : séquence CAZAC de synchronisation d'apprentissage de 26 bits, servant également d'identifiant pour la BS,
 - d'autres types de bursts ont été définis : access bursts, frequency correction burst, synchronization burst,...

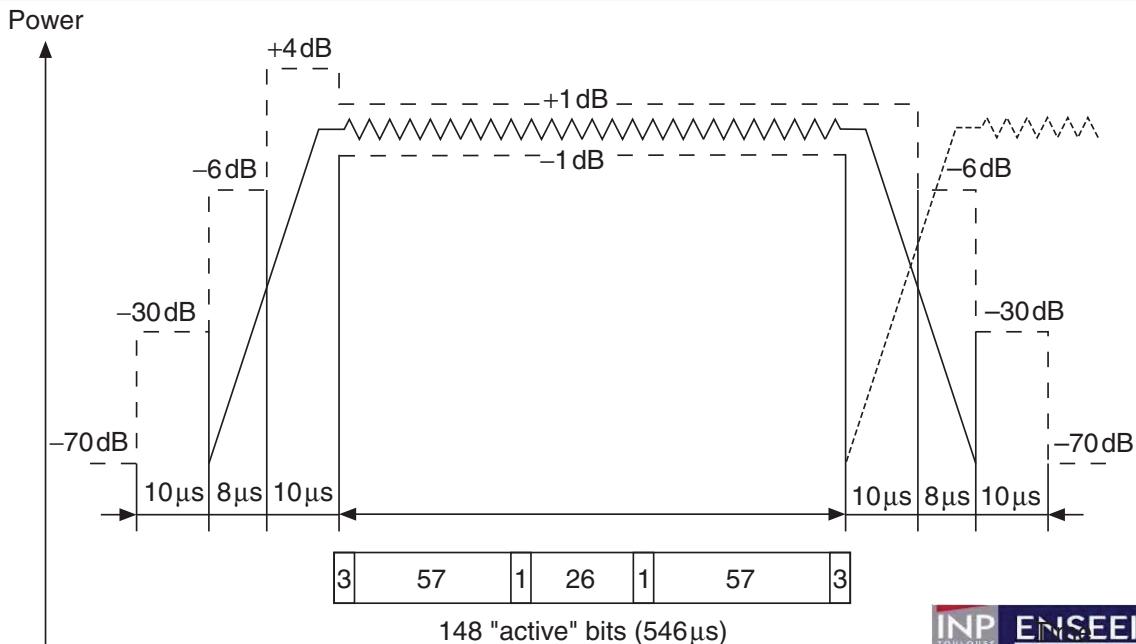


Global System for Mobile communications

Interface Air : fonctionnalités

Power Ramping : gabarit dynamique en puissance

- définition d'un masque en puissance associé au time-slot

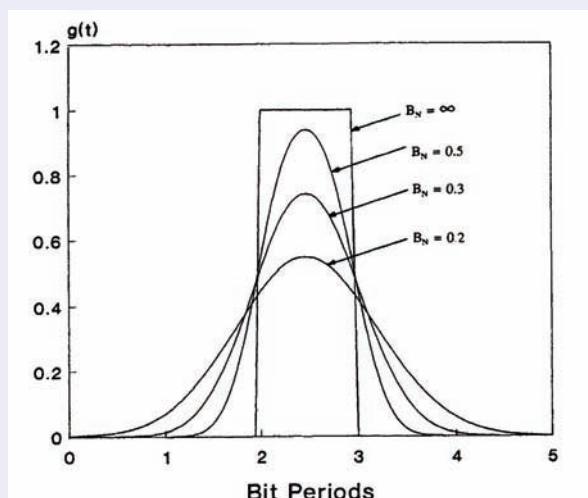


Global System for Mobile communications

Interface Air : chaîne

Modulation et traitements en réception

- GMSK ($B_N T = 0.3$),



- Egalisation requise,
- Contrôle adaptatif de puissance : reduction jusqu'à 30dB de la puissance émise, par pas de 2 dB,
- Saut de fréquence pour diversité fréquentielle

Global System for Mobile communications

Mapping entre canaux logiques et physiques

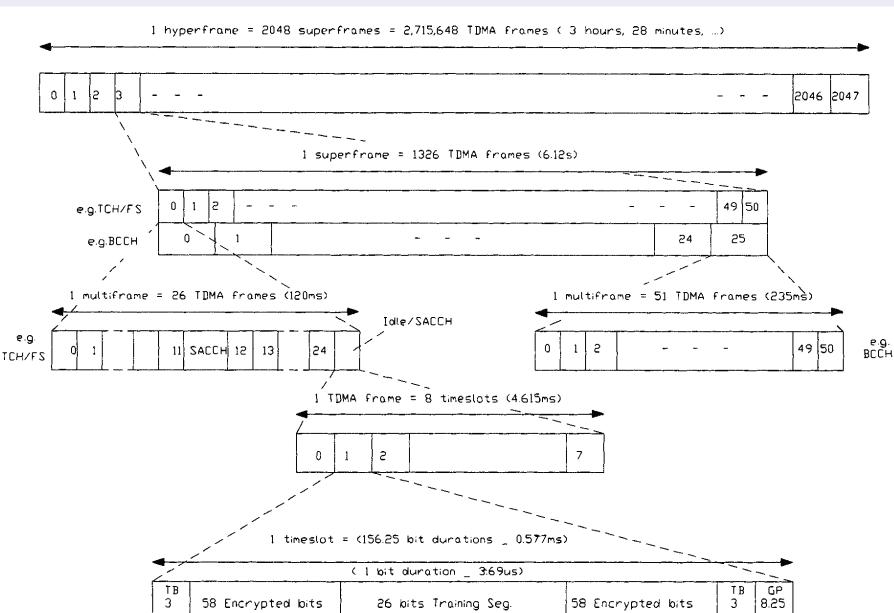
Canaux logiques du GSM

Logical channels					
Duplex BS ↔ MS Traffic channels: TCH		Control channels: CCH			
FEC-coded Speech	FEC-coded Data	Broadcast CCH BCCH BS → MS	Common CCH CCCH		Stand-alone Dedicated CCH SDCCH BS ↔ MS
	TCH/F9.6 TCH/F4.8 TCH/F2.4 22.8 kbit/s	Freq.Corr.Ch: FCCH	Paging Ch: PCH BS → MS	SDCCH/4	
TCH/H 11.4 kbit/s	TCH/H4.8 TCH/H2.4 11.4 kbit/s	Synchron. Ch: SCH	Random Access Ch: RACH MS → BS	SDCCH/8	Fast ACCH: FACCH/F FACCH/H
		General Inf.	Access Grant Ch: AGCH BS → MS		Slow ACCH: SACCH/TF SACCH/TH SACCH/C4 SACCH/C8

Global System for Mobile communications

Mapping entre canaux logiques et physiques

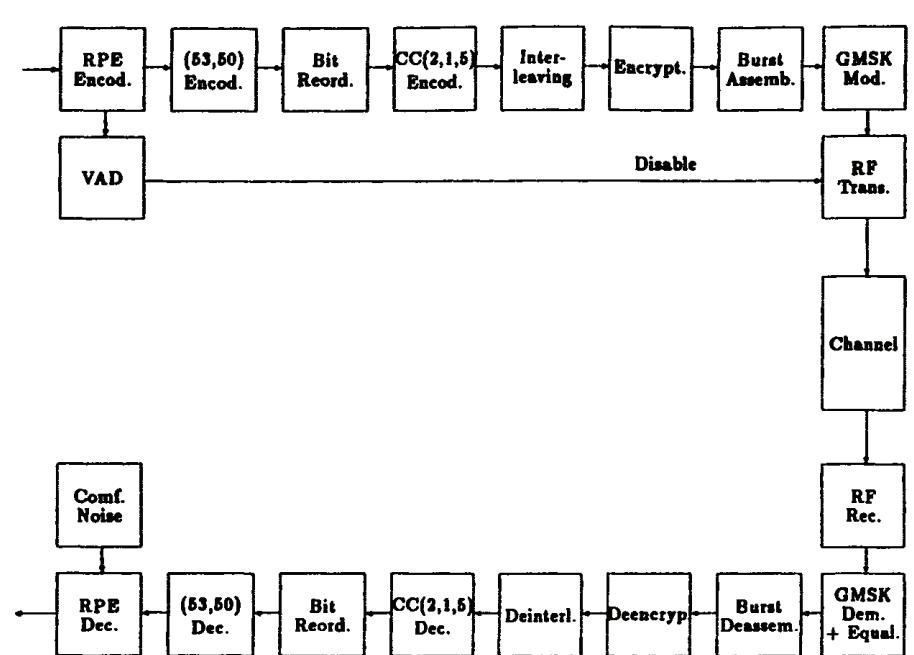
Structure multi-trame



Global System for Mobile communications

Schéma traitement couche physique

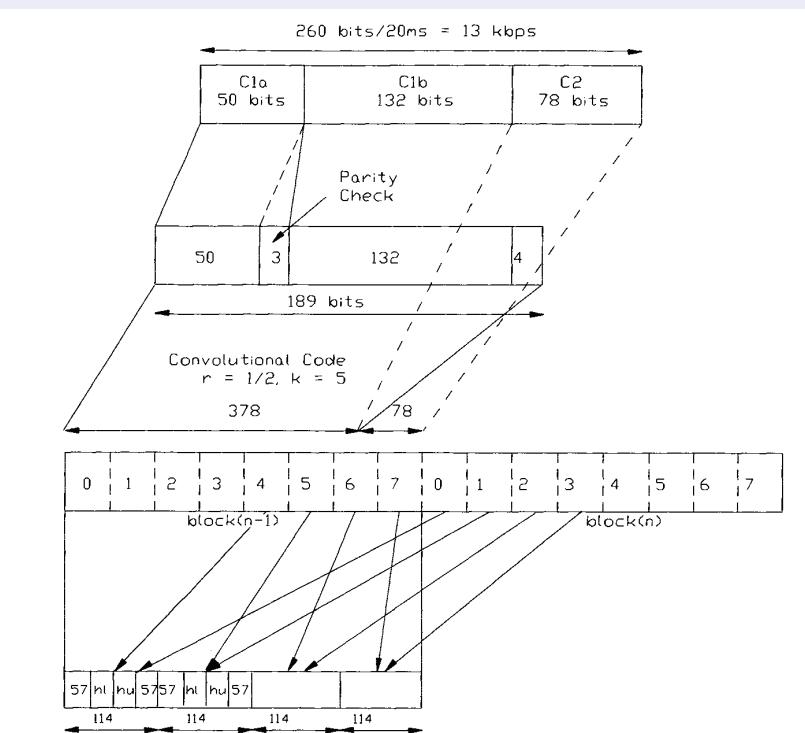
Structure émetteur-récepteur



Global System for Mobile communications

Codage canal pour la voix

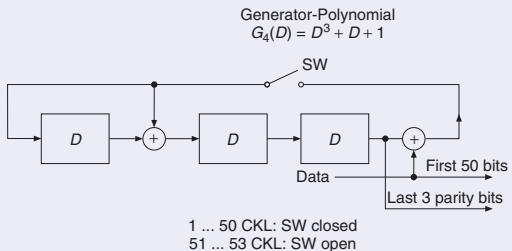
Codage avec protection inégale contre les erreurs



Global System for Mobile communications

Schémas de codage canal et détection d'erreur

- Code détecteur d'erreur :

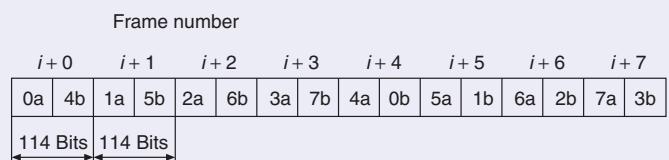


- Code Fire : $G(D) = D^{40} + D^{26} + D^{23} + D^{17} + D^3 + 1$

- Code convolutif :

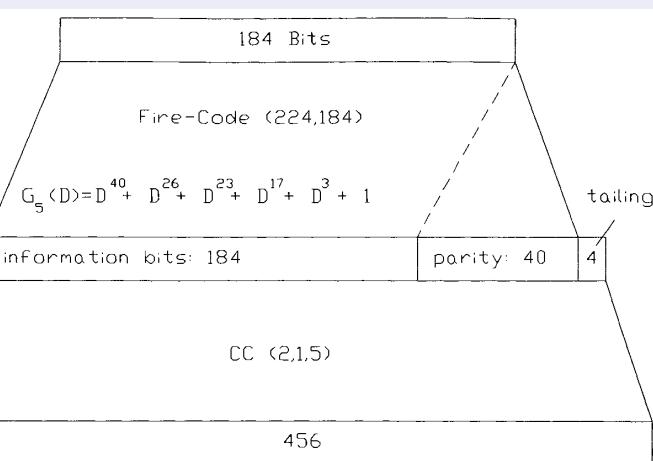
$$\left. \begin{array}{l} G1(D) = 1 + D + D^3 + D^4 \\ G2(D) = 1 + D^3 + D^4 \end{array} \right\}$$

- Entrelacement :



Global System for Mobile communications

Schéma de codage canal pour les données de signalisation



Global System for Mobile communications

Structure des bursts de contrôle et signalisation

Normal

3 start bits	58 data bits (encrypted)	26 training bits	58 data bits (encrypted)	3 stop bits	8.25 bits guard period
--------------	--------------------------	------------------	--------------------------	-------------	------------------------

FCCH burst

3 start bits	142 zeros	3 stop bits	8.25 bits guard period
--------------	-----------	-------------	------------------------

SCH burst

3 start bits	39 data bits (encrypted)	64 training bits	39 data bits (encrypted)	3 stop bits	8.25 bits guard period
--------------	--------------------------	------------------	--------------------------	-------------	------------------------

RACH burst

8 start bits	41 synchronization bits	36 data bits (encrypted)	3 stop bits	68.25 bits extended guard period
--------------	-------------------------	--------------------------	-------------	----------------------------------

Dummy burst

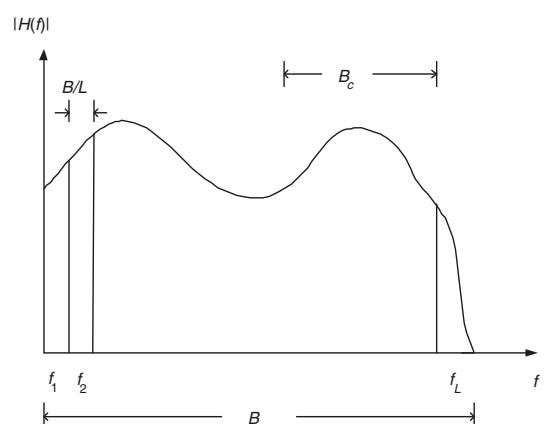
3 start bits	58 mixed bits	26 training bits	58 mixed bits	3 stop bits	8.25 bits guard period
--------------	---------------	------------------	---------------	-------------	------------------------

Accès multiples par Répartition en fréquences :OFDMA et SC-FDMA

OFDM : principe de base

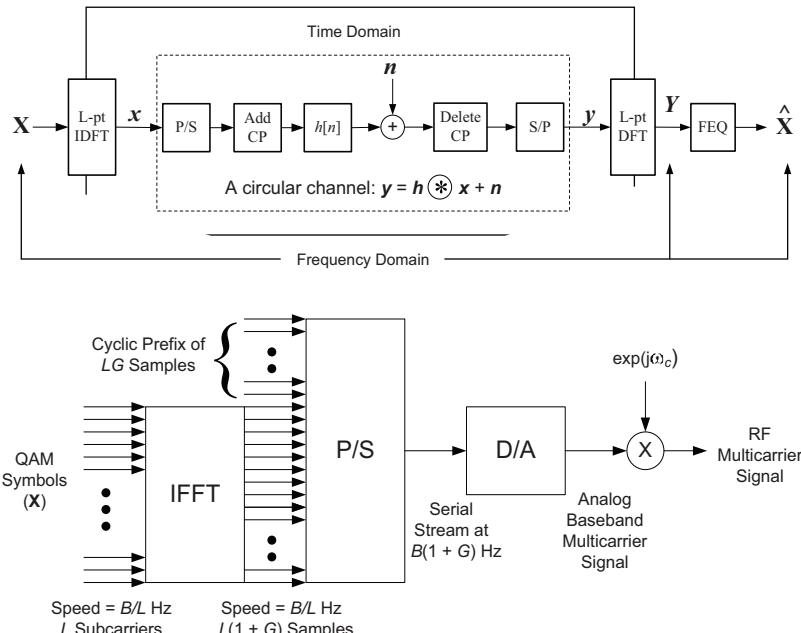
Orthogonal Frequency Division Multiplexing

- Originellement introduit pour traiter efficacement les interférences entre symboles pour les canaux fortement dispersifs,
- Principe : transformer un canal large bande en un certains nombre de canaux bande étroite de largeur plus petite que la bande de cohérence du canal.
⇒ *flat fading* sur chaque canal



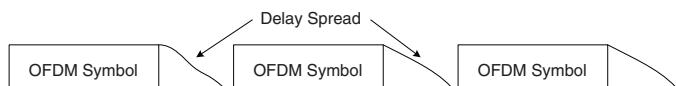
Accès multiples par Répartition en fréquences :OFDMA et SC-FDMA

OFDM : principe du préfixe cyclique

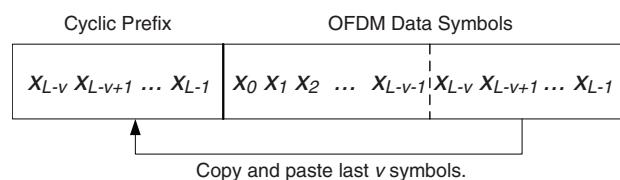


Accès multiples par Répartition en fréquences :OFDMA et SC-FDMA

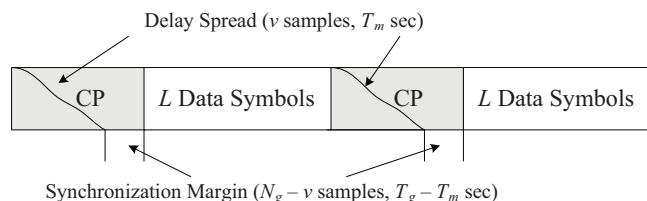
OFDM : structure émetteur-récepteur en mono-utilisateur



Intervales de garde \Rightarrow pas d'IES inter-symboles OFDM



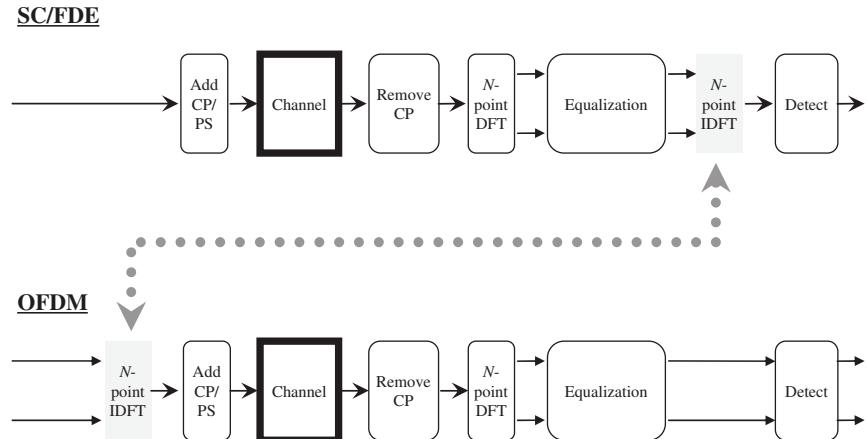
Préfixe cyclique : rendre la convolution avec le canal circulaire



Ajout Préfixe cyclique : plus IES intra symbole OFDM

Accès multiples par Répartition en fréquences :OFDMA et SC-FDMA

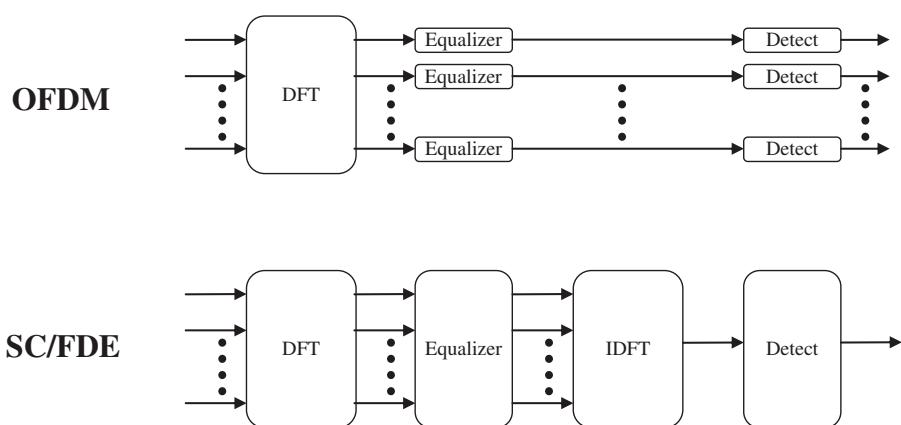
Egalisation Monoporteuse dans le domaine fréquentiel : SC-FDE vs OFDM



* CP: Cyclic Prefix, PS: Pulse Shaping

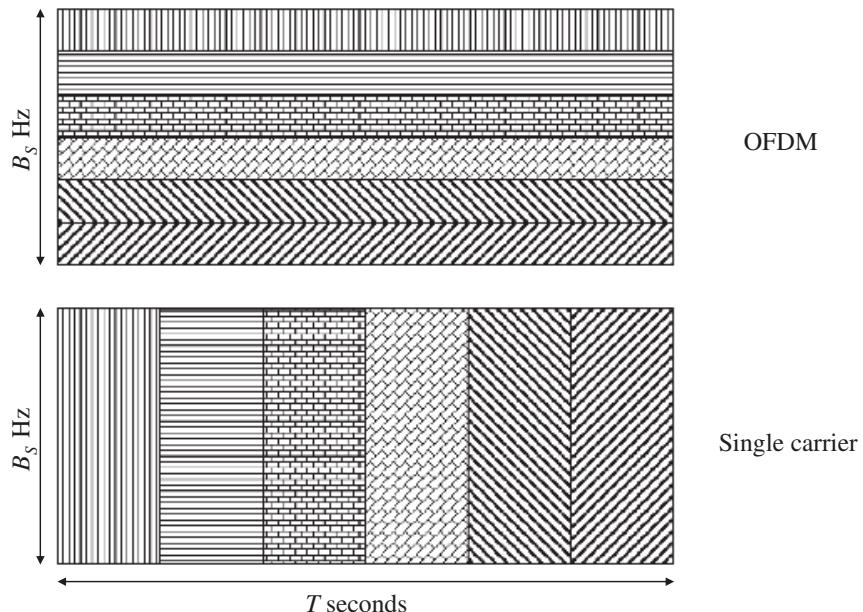
Accès multiples par Répartition en fréquences :OFDMA et SC-FDMA

SC-FDE vs OFDM : récepteurs



Accès multiples par Répartition en fréquences :OFDMA et SC-FDMA

SC-FDE vs OFDM : interprétation dans le plan temps-fréquence

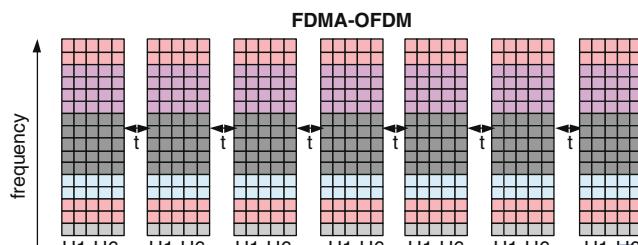


Accès multiples par Répartition en fréquences :OFDMA et SC-FDMA

Accès multiples basés OFDM

OFDM-FDMA

- On assigne différentes sous-porteuses à chaque utilisateurs,
 - La façon d'allouer varie suivant la stratégie d'optimisation mise en oeuvre :
 - *Localized FDMA/ Block FDMA (LFDMA)* : les sous-porteuses sont attribuées par sous-blocs,
 - *Interleaved FDMA (IFDMA)* : les sous-porteuses sont attribuées de manière entrelacée,
 - Allocation dynamique des porteuses possible pour gain en diversité en utilisant des algorithmes de *scheduling*

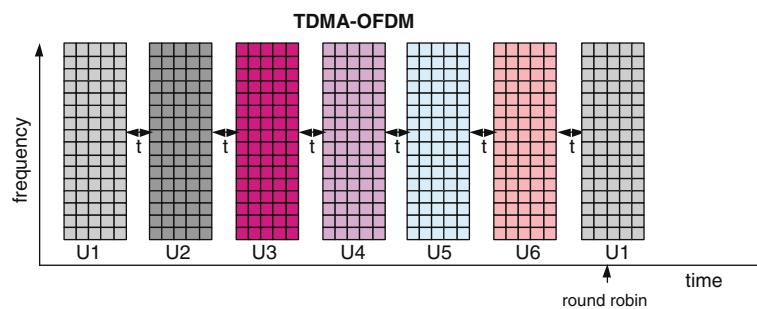


Accès multiples par Répartition en fréquences :OFDMA et SC-FDMA

Accès multiples basés OFDM

OFDM-TDMA

- Les utilisateurs sont slottés,
 - Un utilisateur utilise toute la bande pendant un ou plusieurs symboles OFDM puis attend à nouveau son tour,
 - Approprié pour des applications à débits constants,
 - Allocation TDMA Statique : *Round Robin scheduling*

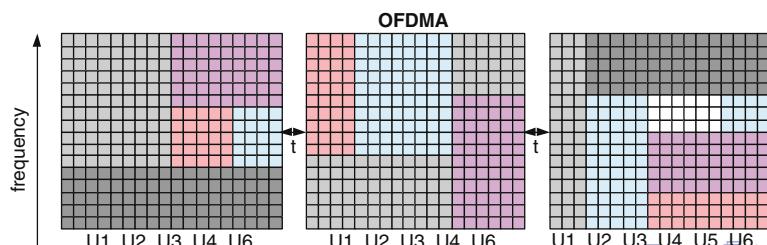


Accès multiples par Répartition en fréquences : OFDMA et SC-FDMA

Accès multiples basés OFDM

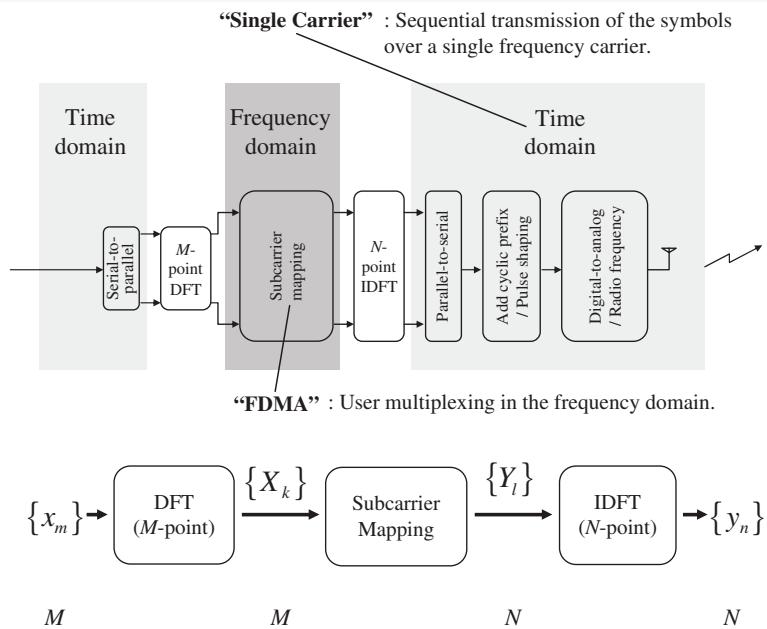
QFDMA

- Combinaison d'un accès FDMA et TDMA,
 - On alloue un "pavé" temps-fréquence (*slice, resource grids*) : N_{mc} sous porteuses sur N_s symboles OFDM consécutifs,
 - Différents types d'allocation :
 - distribuée (*distributed/comb/diversity allocation*), type IFDMA,
 - localisée (*localized/block/grouped/band AMC cluster*), type LFDMA.
 - utilisé pour WIMAX et 3GPP-LTE liaison descendante



Accès multiples par Répartition en fréquences :OFDMA et SC-FDMA

SC-FDMA : principe générale



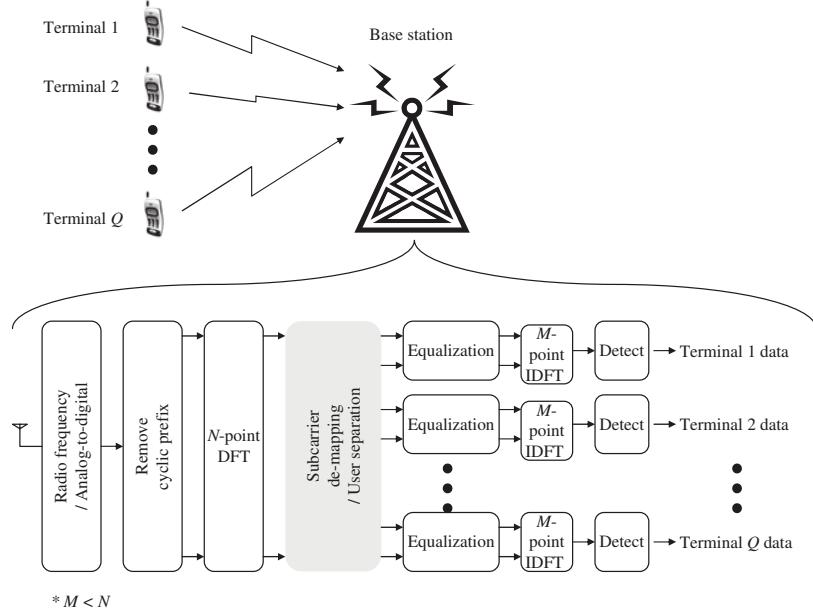
* M, N : number of data symbols



structure à l'émetteur

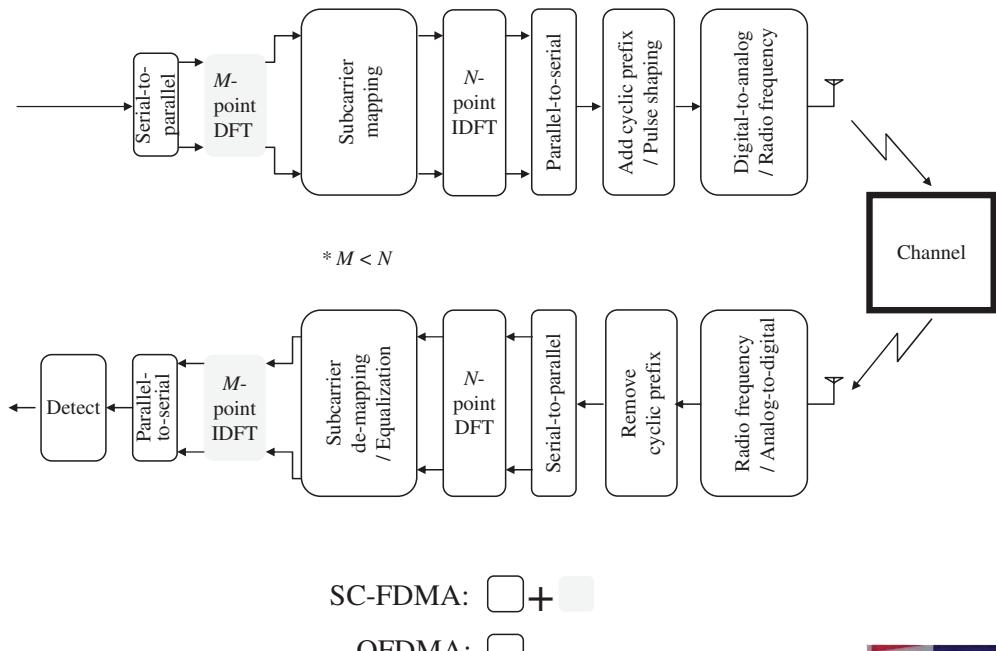
Accès multiples par Répartition en fréquences :OFDMA et SC-FDMA

SC-FDMA : architecture récepteur



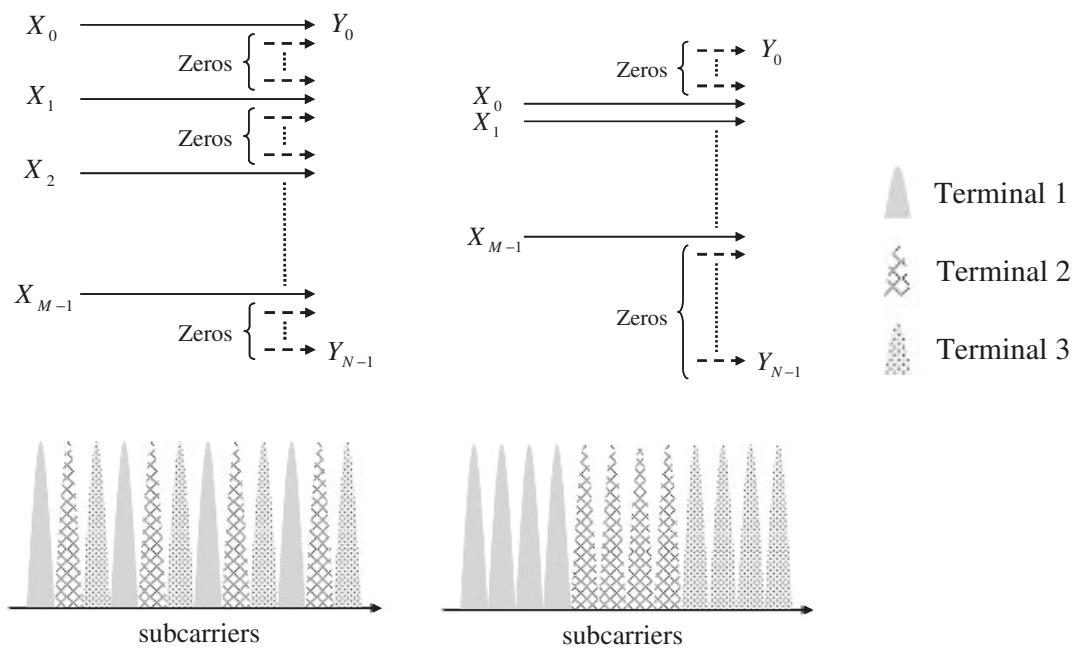
Accès multiples par Répartition en fréquences :OFDMA et SC-FDMA

Comparaison OFDMA vs SC-FDMA : structure



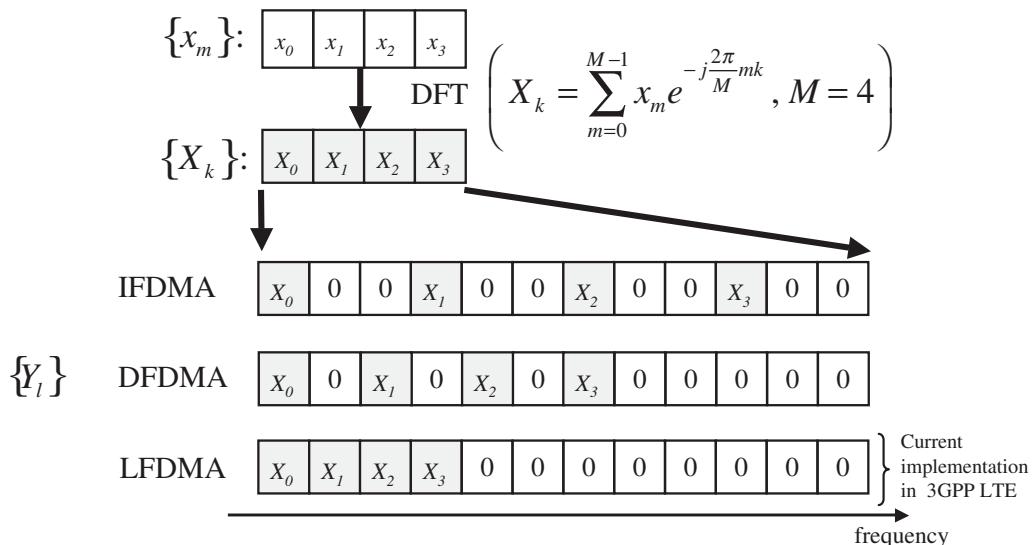
Accès multiples par Répartition en fréquences :OFDMA et SC-FDMA

SC-FDMA : allocation de sous porteuses



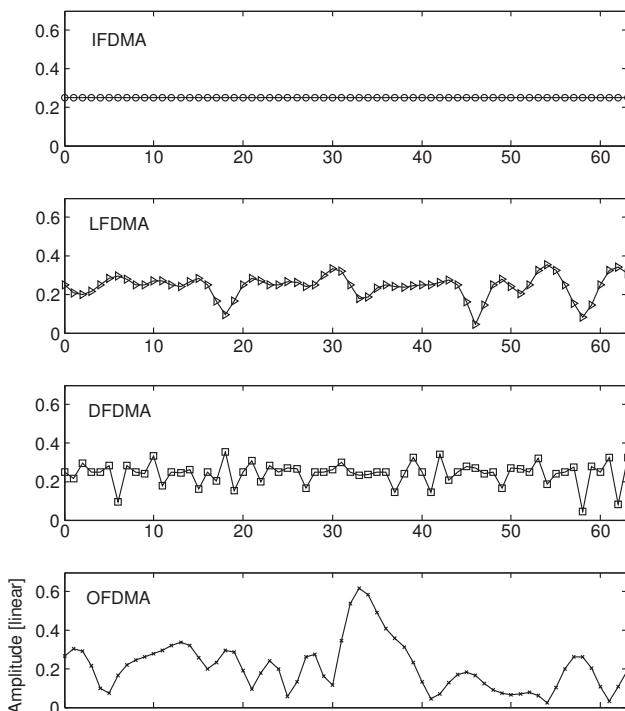
Accès multiples par Répartition en fréquences :OFDMA et SC-FDMA

SC-FDMA : allocation de sous-porteuses



Accès multiples par Répartition en fréquences :OFDMA et SC-FDMA

Dynamique des signaux : SC-FDMA vs OFDMA



Accès multiples par Répartition en fréquences :OFDMA et SC-FDMA

SC-FDMA vs OFDMA

● SC-FDMA :

- PAPR faible,
- Moins sensible aux offsets de fréquence,
- Robustesse face aux évanouissements fréquentiels,
- bit-loading non possible,

● OFDMA :

- PAPR plus important,
- Plus sensible aux offsets de fréquence,
- Sensible face aux évanouissements fréquentiels,
- bit-loading possible

⇒ SC-FDMA plus adapté pour la liaison montante

Mécanismes d'adaptation et de diversité

Principes généraux

Principe

- Adapter de manière dynamique les paramètres de transmission pour s'adapter aux variations temporelles du canal,
- Exploiter la diversité due aux variations du canal

Principaux paramètres d'adaptation

- puissance d'émission,
- taille de constellation,
- type de codage canal et rendement associé,

Principales techniques de diversité

- Techniques de diversité temporelle, fréquentielle ou spatiale : OFDMA/SC-FDMA, MIMO, coopération,
- Codage de canal et mécanismes de retransmission (H-ARQ),
- Diversité multi-utilisateurs : mécanismes de scheduling, sélection

Mécanismes d'adaptation et de diversité

Principes généraux

Notions de QoS

- Adaptation et mécanismes de diversité visent à garantir une QoS aux couches OSI supérieures.
- Différents types de contraintes peuvent être imposées pour garantir la QoS souhaitée : délai, Taux d'erreur paquet résiduel lors de la présentation aux couches supérieures,
- en générale, on traduit les contraintes QoS comme une contrainte de taux d'erreur paquet sur la couche physique

Qui gère quoi ?

- **Couche physique** : gère l'ensemble des éléments de traitements physiques des données à transmettre (puissance, modulations et codage) en fonction des éléments fournis par la couche MAC,
- **Couche liaison donnée (MAC layer)** : gère l'ensemble des éléments de traitements logiques et décisionnels sur les données à transmettre, ie. gestion des mécanismes et paramètres d'adaptation et allocation (diversité multi-utilisateurs)



Mécanismes d'adaptation

Techniques d'adaptation

- Adaptive Modulation and coding (AMC),
- Hybrid Automatic Repeat reQuest (HARQ),
- Allocation/contrôle de puissance,
- Allocation de porteuses/scheduling des utilisateurs,
- contrôle d'admission

Hypothèses système

- Connaissance a priori des caractéristiques du canal à l'émetteur (Channel Side Information),
- Voie de retour pour que l'émetteur informe le récepteur,
- Données de contrôle et de signalisation pour informer le récepteur des mécanismes utilisés à l'émission,
- Mécanismes de prédiction pour traquer les variations du canal,



Adaptation de lien (link adaptation) par AMC

Principe

- Eviter de surdimensionner un système par considération du pire cas,
- Utiliser un lien physique de la manière la plus efficace qui soit de manière instantanée,
- Critère d'optimisation possible : maximisation du débit instantané sous contraintes de taux d'erreur paquet cible en réception,

Mécanismes AMC pour adaptation de lien

- Principe : adapter de manière conjointe à l'émetteur le couple codeur canal + modulation afin de garantir un taux d'erreur paquet cible après décodage pour les couches plus hautes,
- Une combinaison (code+modulation) est appelée *Modulation and Coding Scheme, MCS*



Adaptation de lien (link adaptation) par AMC

Critère d'optimisation

$$\text{throughput} : \eta = R \log_2(M)(1 - PER)$$

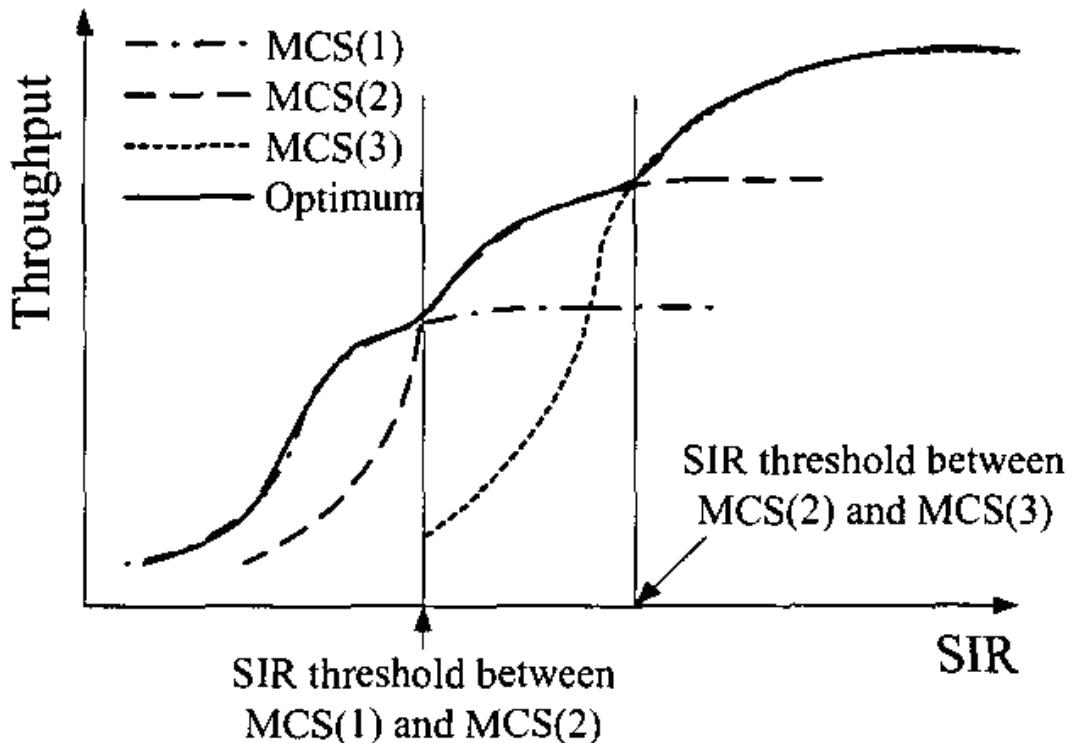
avec

- PER : le taux d'erreurs paquets en sortie de décodage canal,
- R le rendement du code canal,
- $\log_2(M)$ le nombre de bit par symbole modulé,

- le mécanisme d'AMC sélectionne le MCS qui maximise le débit instantané sous certaines contraintes de QoS
- Si la QoS est donnée par un PER cible en sortie de codage canal alors le problème de décision est un problème à seuils (*switching thresholds*) qui déterminent les rapport signaux à bruit pour lesquels on utilise le MCS(k).
- Marges à considérer pour robustesse aux erreurs d'estimation.

Adaptation de lien (link adaptation) par AMC

Switching thresholds



Adaptation de lien (link adaptation) par AMC

Méthodologie

- A l'émetteur, seule la statistique du canal basé sur un SINR "équivalent" est nécessaire pour choisir le MCS.

$$\text{PER} = f(\text{MCS}, \text{SINR}, N)$$

où N est la taille du mot de code.

- En pratique, seul l'index du MCS est fourni. Ce dernier est calculé au récepteur en fonction des estimations du canal disponible. Cet index est appelé CQI (*channel quality index*),
- Ensuite, déterminer une relation entre $CQI = g(\mathbf{h}, N)$, où \mathbf{h} est un vecteur qui dépend du canal en réception.
- Cette relation est déterminer en utilisant une mesure de qualité du lien (*Link Quality Metric, LQI*). On a alors la relation

$$\text{PER} = f(\text{MCS}, \text{LQI}, N)$$



Adaptation de lien (link adaptation) par AMC

Link Quality Metrics

Effective SINR Mapping

- Le SINR (Signal to Interférence plus Noise Ratio) effectif est donné par

$$SNR_{eff} = \alpha_1 I^{-1} \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N I \left(\frac{SINR_k}{\alpha_2} \right) \right)$$

où $I(\cdot)$ est une fonction qui lie le SINR à une mesure LQI,

- Mesures LQI possibles :

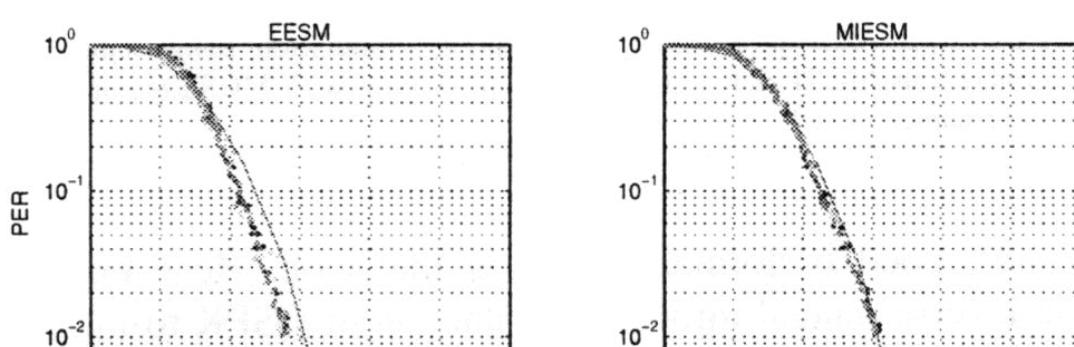
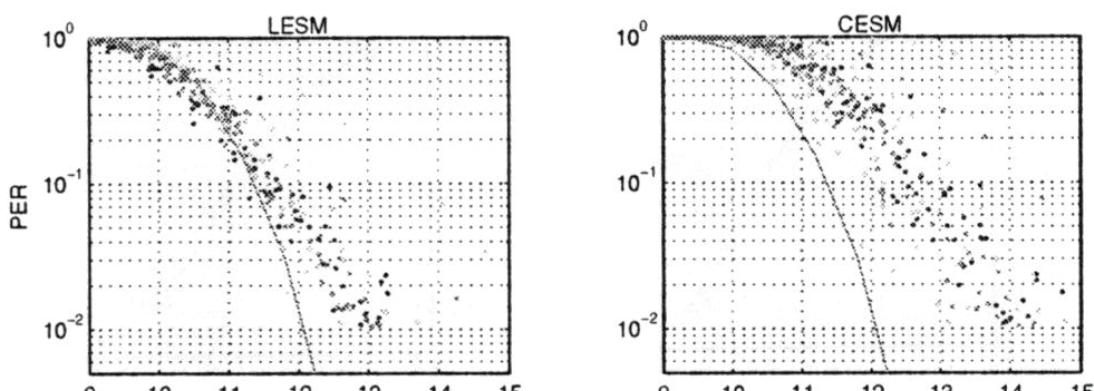
- Identité (SINR moyen, (LESM)) : $I(\gamma) = \gamma$,
- Capacité de Shannon (CESM) : $I(\gamma) = \log_2(1 + \gamma)$,
- EESM (Exponential Effective SINR mapping) : $I(\gamma) = e^{-\gamma}$,
- MIESM (Mutual Information Equivalent SINR Mapping) :

$$I(\gamma) = \log_2(M) + \frac{1}{2\pi M} \sum_{m=1}^{M-1} \int e^{-\gamma(y-x_m)^2} \log_2 \left(\frac{e^{-\gamma(y-x_m)^2}}{\sum_{m=1}^{M-1} e^{-\gamma(y-x_k)^2}} \right) dy$$



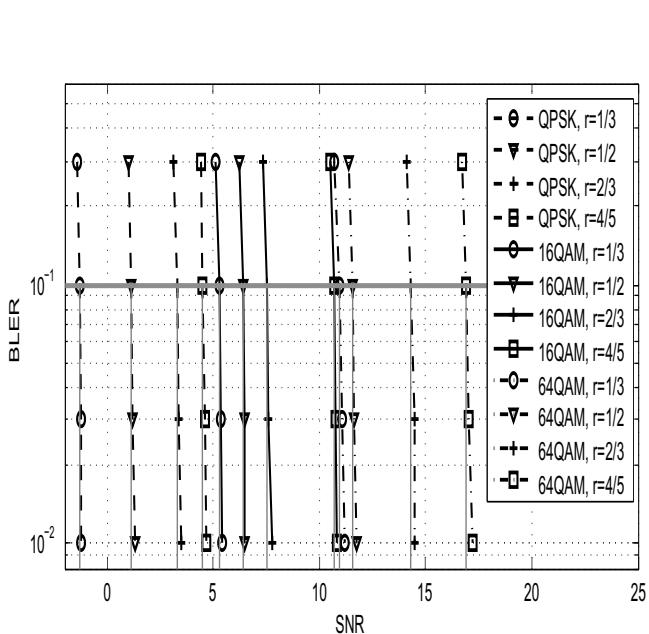
Adaptation de lien (link adaptation) par AMC

Link Quality Metrics : performances



Adaptation de lien (link adaptation) par AMC

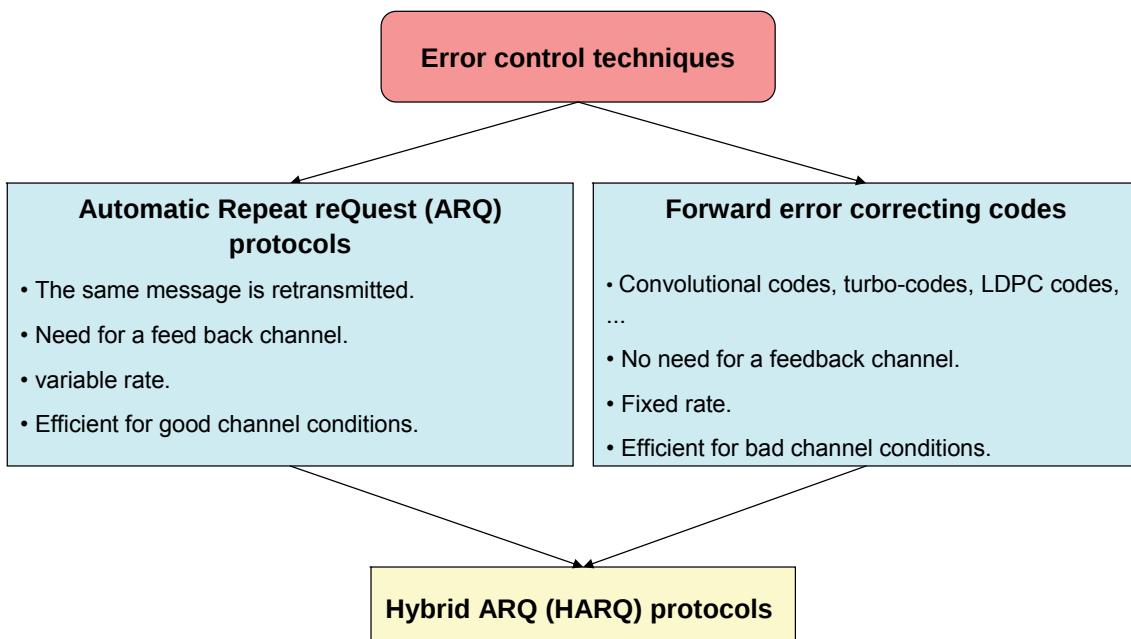
AMC pour LTE



CQI index	Modulation	Approximate code rate (information bits per symbol)	Efficiency
0	No transmission	—	—
1	QPSK	0.076	0.1523
2	QPSK	0.12	0.2344
3	QPSK	0.19	0.3770
4	QPSK	0.3	0.6016
5	QPSK	0.44	0.8770
6	QPSK	0.59	1.1758
7	16QAM	0.37	1.4766
8	16QAM	0.48	1.9141
9	16QAM	0.6	2.4063
10	64QAM	0.45	2.7305
11	64QAM	0.55	3.3223
12	64QAM	0.65	3.9023
13	64QAM	0.75	4.5234
14	64QAM	0.85	5.1152
15	64QAM	0.93	5.5547

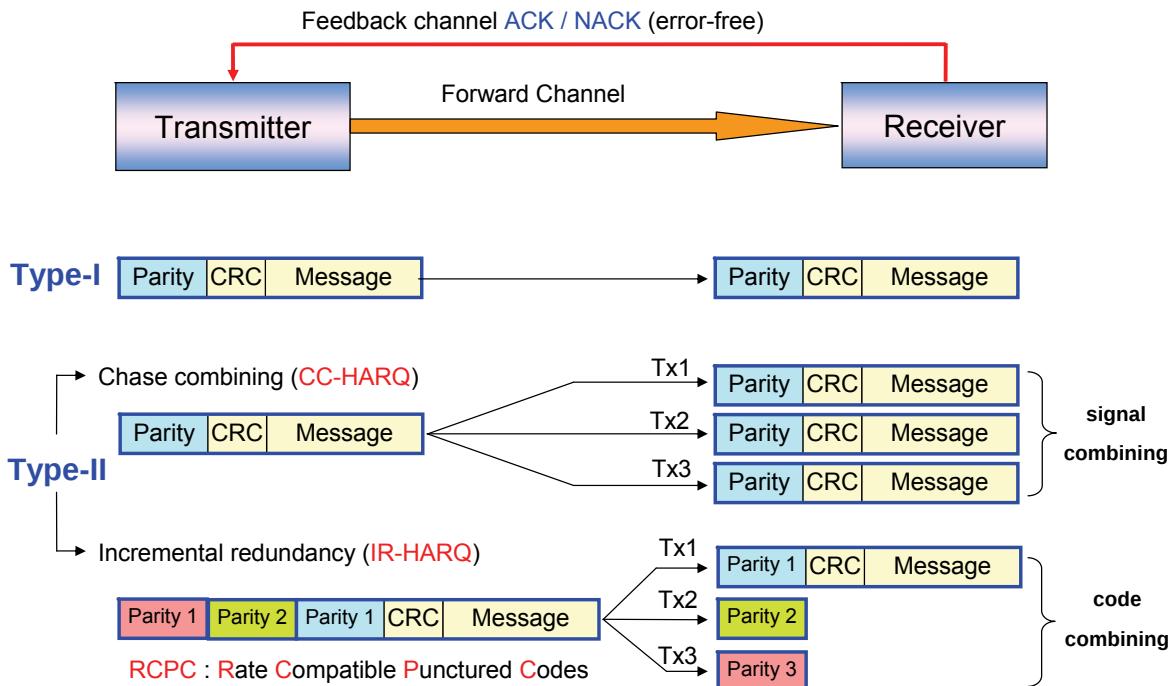
Contrôle d'erreur

Mécanismes HARQ



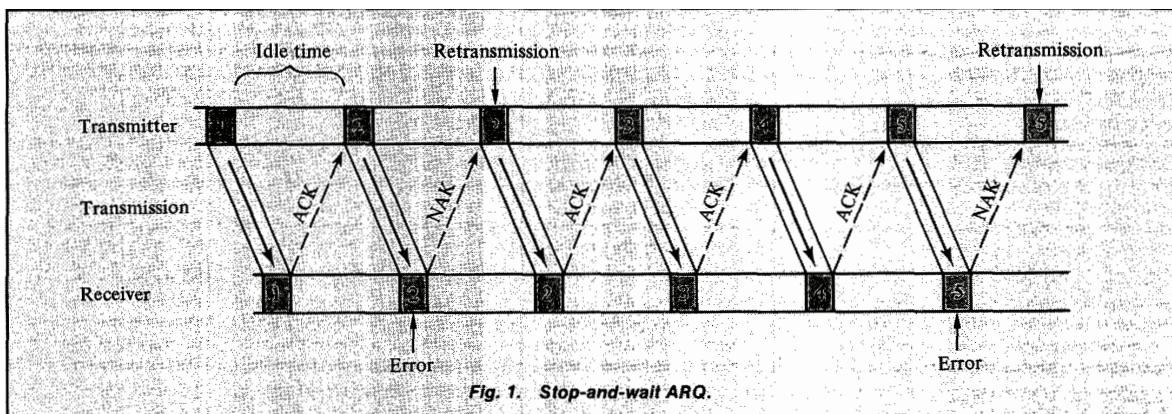
Contrôle d'erreur

Mécanismes HARQ



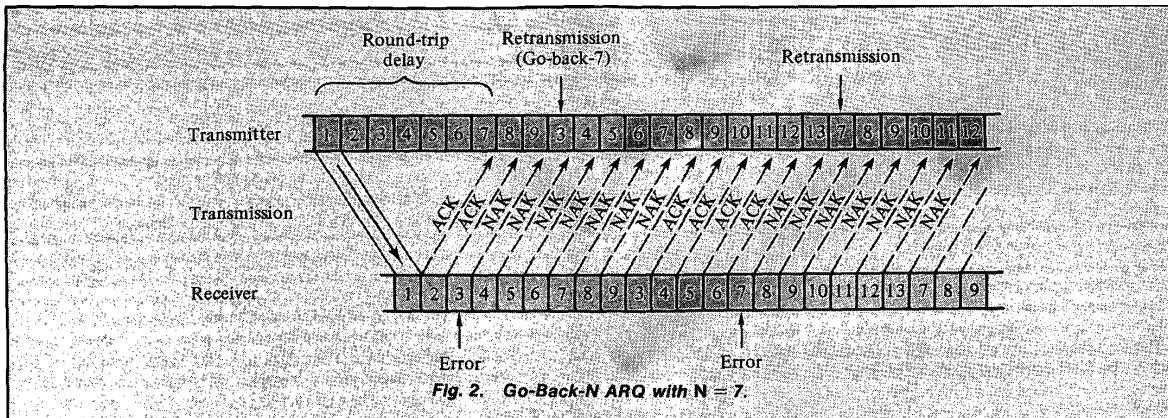
Contrôle d'erreur

Protocoles Stop-and-Wait



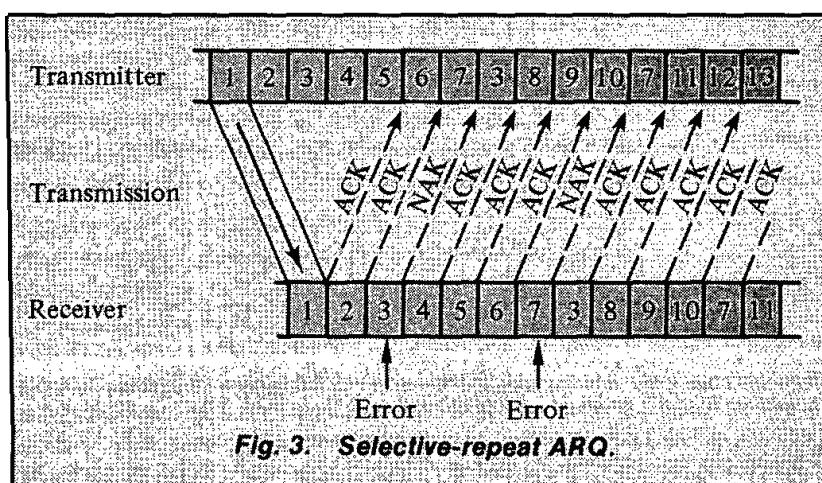
Contrôle d'erreur

Protocoles Go-Back-N



Contrôle d'erreur

Protocoles Selective Repeat



Long Term Evolution

Généralités

Principales Fonctionnalités MAC et couche physique

- Accès multiple : OFDMA (DL) et SC-FDMA (UL),
- Duplexage : FDD et TDD possible,
- scheduling/diversité multi-utilisateurs,
- AMC et HARQ,
- technologies MIMO,
- mitigation de l'interférence inter-cellule,
- Applications multicast et broadcast,

Long Term Evolution

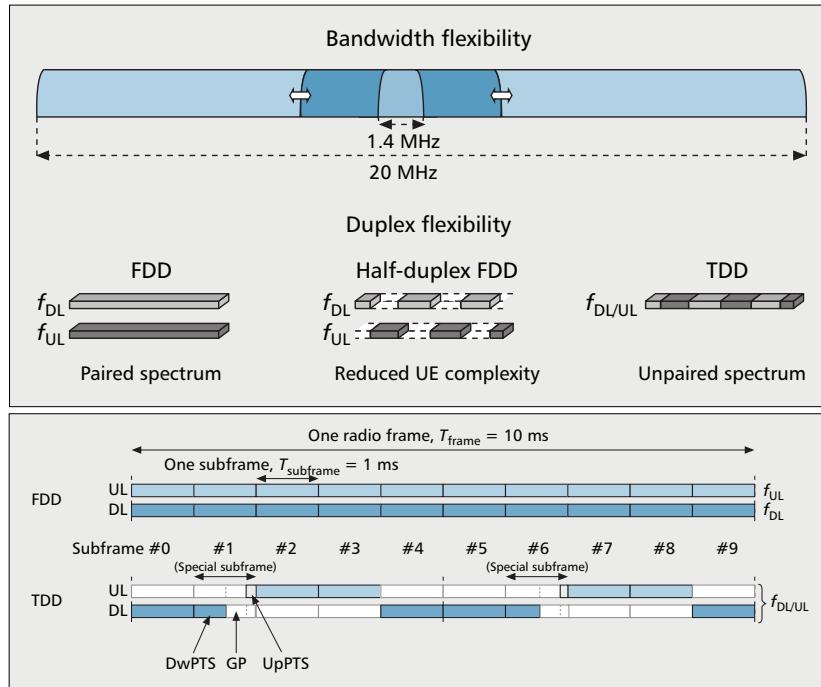
Bandes allouées

Table 27.2 Bands for FDD operation of LTE

Operating band	UL (MHz)	DL (MHz)	Bandwidth	1.4	3	5	10	15	20	
1	1920–1980	2110–2170			✓	✓	✓	✓	✓	Europe, Asia
2	1850–1910	1930–1990	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	America
3	1710–1785	1805–1880	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Europe, Asia
4	1710–1755	2110–2155	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	America
5	824–849	869–894	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	America
6	830–840	875–885			✓	✓				Japan
7	2500–2570	2620–2690			✓	✓	✓	✓	✓	Europe, Asia
8	880–915	925–960	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Europe, Asia
9	1750–1785	1845–1880			✓	✓	✓	✓	✓	Japan
10	1710–1770	2110–2170			✓	✓	✓	✓	✓	Americas
11	1428–1453	1476–1501			✓	✓	✓	✓	✓	Japan
12	698–716	728–746	✓	✓	✓	✓	✓			Americas
13	777–787	746–756	✓	✓	✓	✓	✓			Americas
14	788–798	758–768	✓	✓	✓	✓	✓			Americas
17	704–716	734–746	✓	✓	✓	✓	✓			Americas

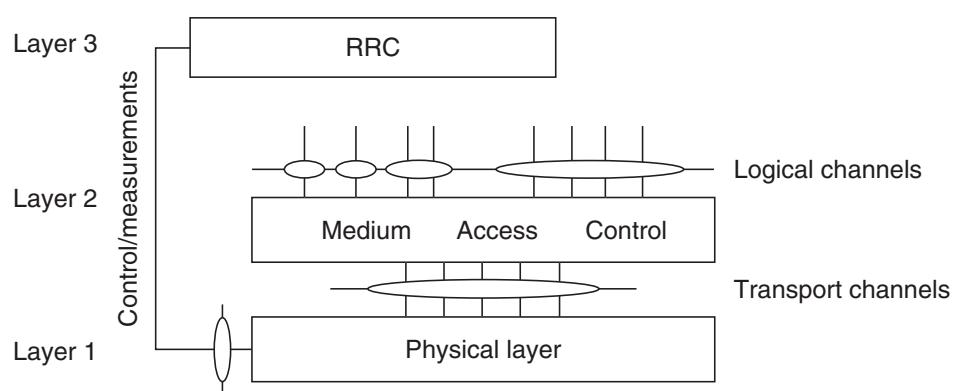
Long Term Evolution

Duplexage



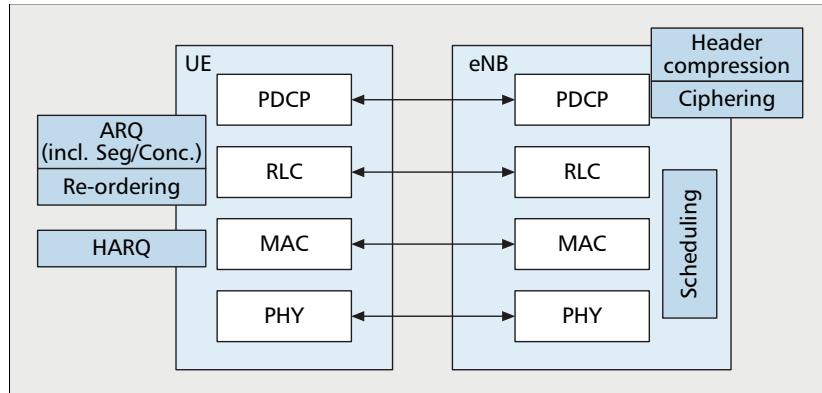
Long Term Evolution

Architecture L1-L3



Long Term Evolution

Pile protocolaire de l'interface radio



Long Term Evolution

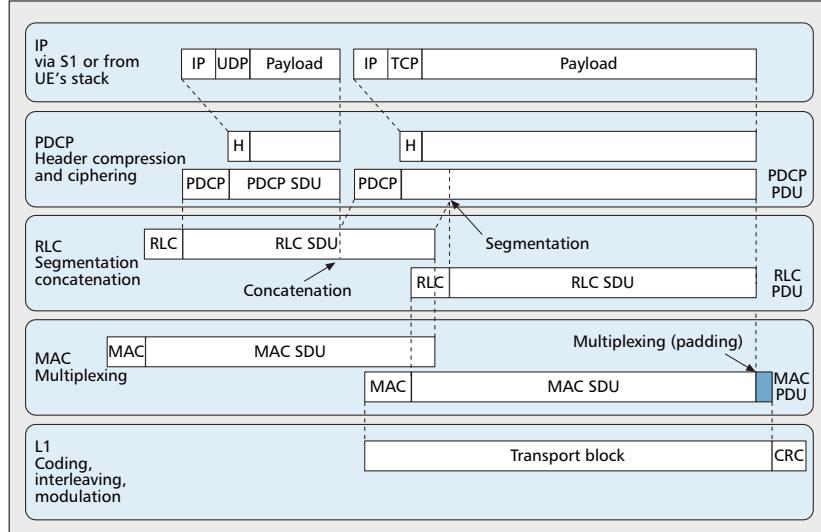
Pile protocolaire de l'interface radio

Protocoles de l'interface radios

- Radio Ressource Control (RRC),
 - Packet Data Convergence Protocol (PDCP) : ROHC + chiffrement,
 - Radio Link Control (RLC) (3 modes disponibles : transparent, non-acquitté et acquitté) : segmentation et concaténation des PDCP PDU et gestion RLC ARQ,
 - Médium Access Control (MAC) : H-ARQ, mapping entre canaux logiques et physiques, multiplexing
 - Couche physique (PHY)

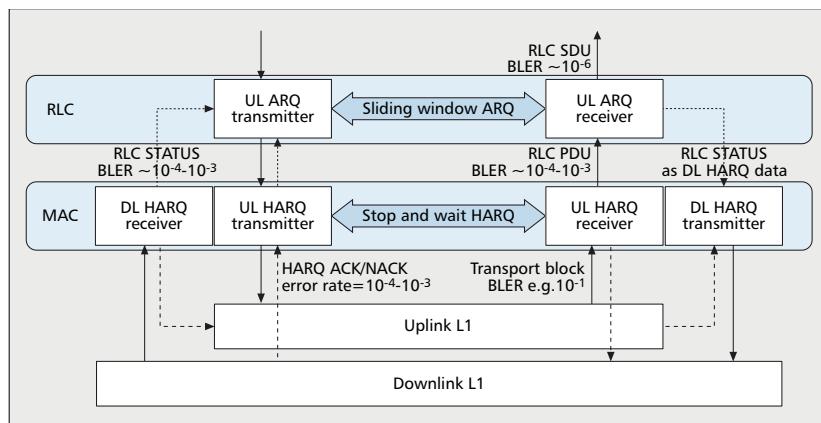
Long Term Evolution

Packet flow



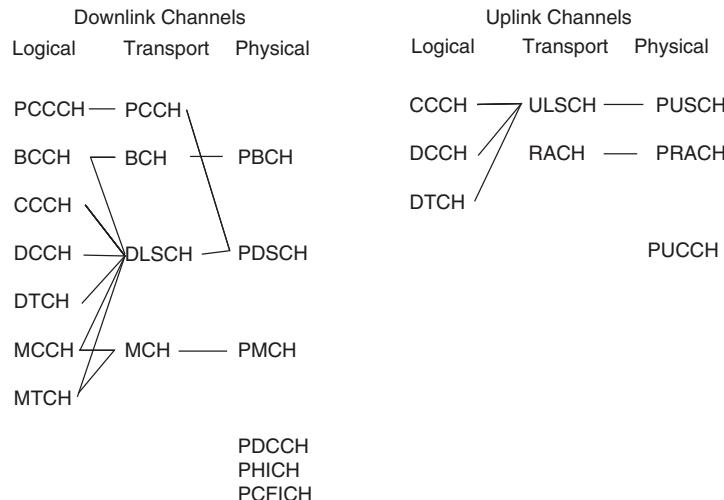
Long Term Evolution

Link layer : contrôle d'erreur



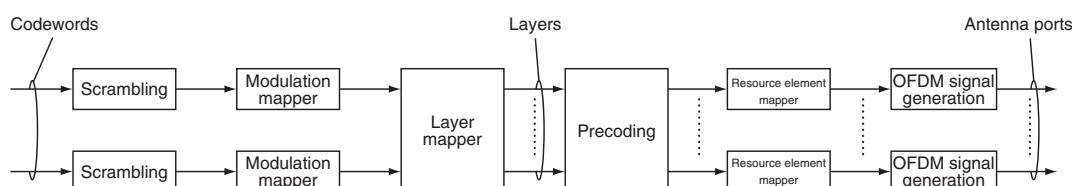
Long Term Evolution

Canaux logiques, de transports et physiques



Long Term Evolution

Couche PHY

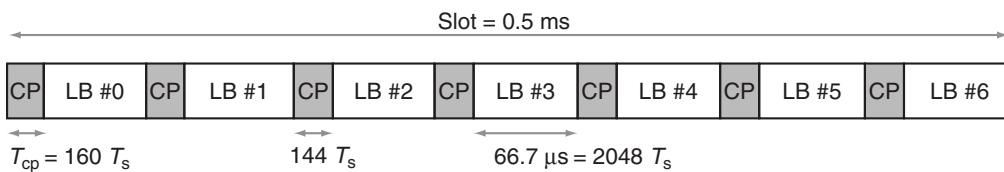
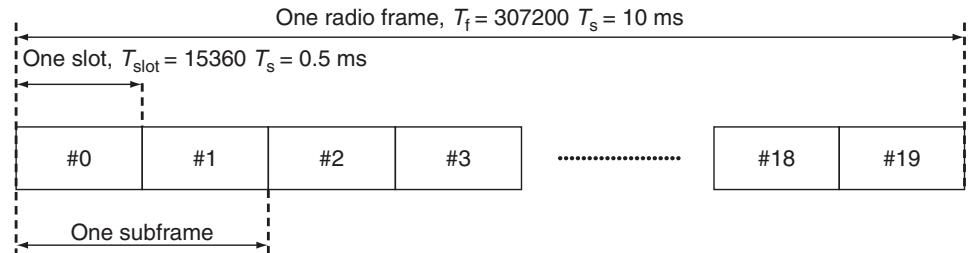


Principaux éléments

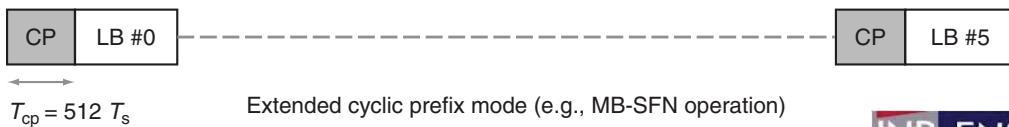
- Codage canal convolutionel et turbo-codes,
 - Scrambling,
 - Modulation MQAM, $M=(4,16,64)$,
 - Médium Access Control (MAC) : H-ARQ, mapping entre canaux logiques et physiques, multiplexing
 - MIMO,
 - Mapping des symboles sur les *Resource Elements* (assignation des pavés temps-fréquence).

Long Term Evolution

Couches PHY : trame FDD



Normal cyclic prefix mode

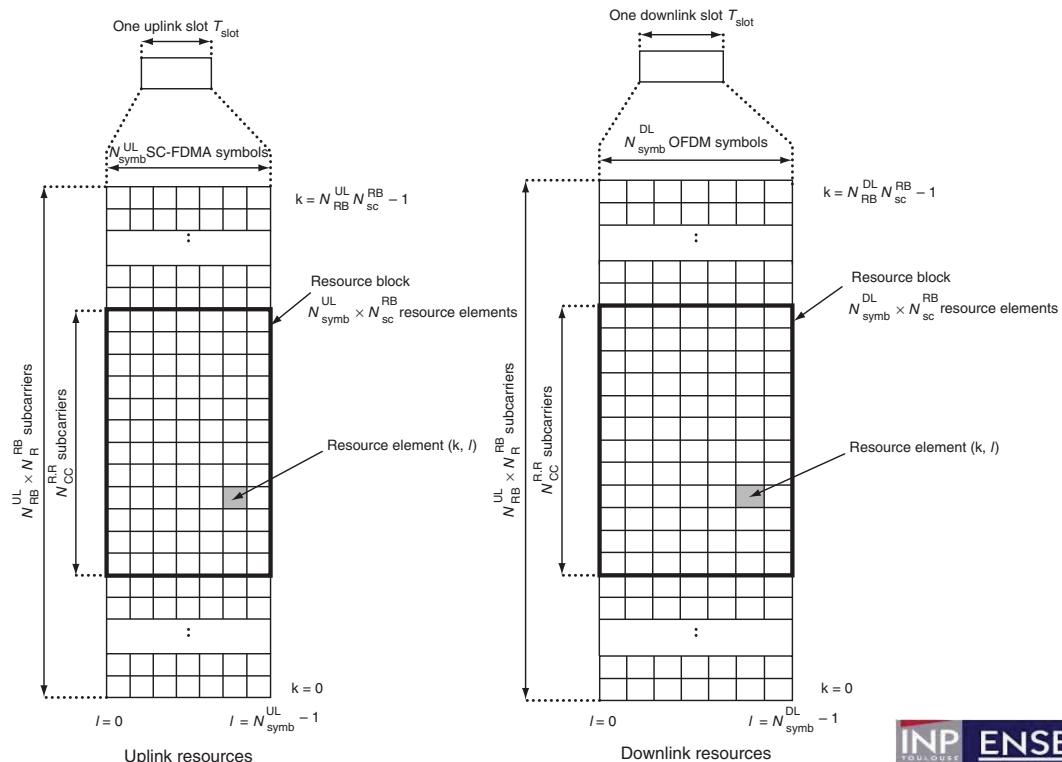


Extended cyclic prefix mode (e.g., MB-SFN operation)



Long Term Evolution

Couches PHY : grille d'allocation



UMTS : W-CDMA

Généralités

- Accès multiple basés CDMA : DS-CDMA (*Direct-Sequence*),
- duplexage : FDD le plus déployé,
 - FDD : 2 bandes de 5 Mhz (DOWN et UP)
 - TDD : une seule bande de 5 Mhz

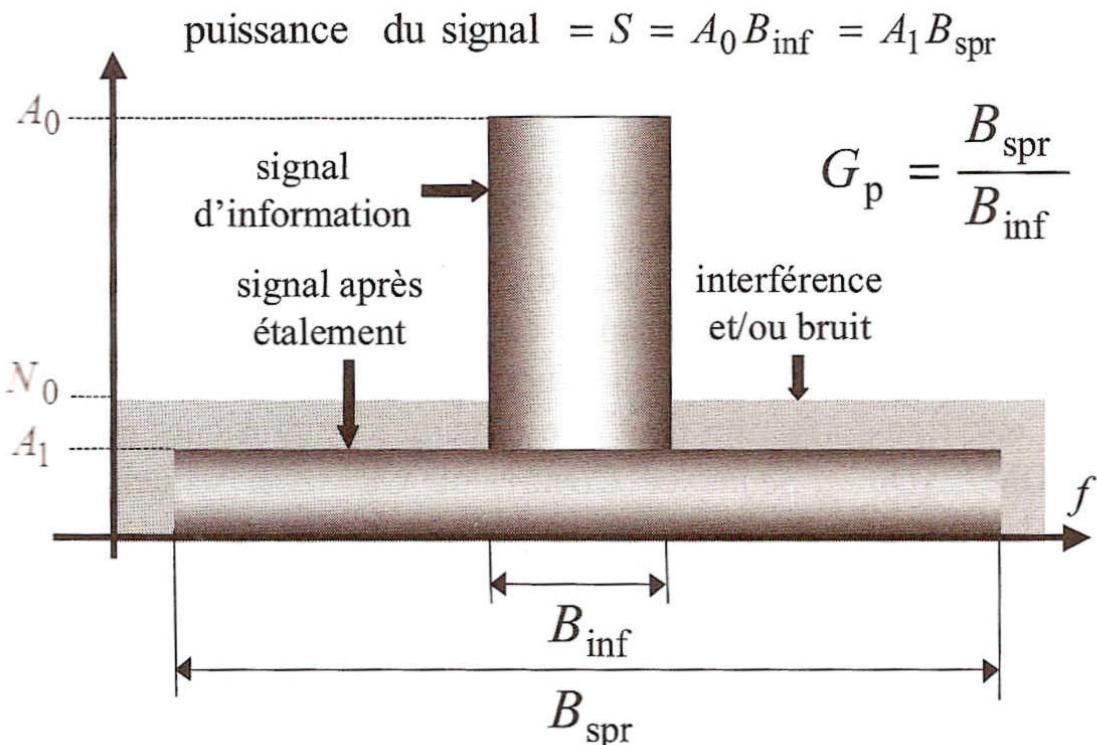
UMTS : W-CDMA

Généralités

	GSM	UTRA/FDD	UTRA/TDD																
Technique d'accès multiple	FDMA/TDMA	FDMA/CDMA	TDMA/CDMA																
Mode de duplexage	FDD	FDD	TDD																
Séparation entre porteuses (kHz)	200	5 000	5 000																
Spectre de fréquences (MHz) <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center; width: 33%;">880-915 (VM)</td> <td style="text-align: center;">1 720-1 785 (VM)</td> <td style="text-align: center;">1 920-1 980 (VM)</td> <td style="text-align: center;">1 900-1 920 (VM et VD)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">925-960 (VD)</td> <td style="text-align: center;">1 805-1 880 (VD)</td> <td style="text-align: center;">2 110-2 170 (VD)</td> <td style="text-align: center;">2 010-2 025 (VM et VD)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1 850-1 910 (VM)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1 930-1 990 (VD)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				880-915 (VM)	1 720-1 785 (VM)	1 920-1 980 (VM)	1 900-1 920 (VM et VD)	925-960 (VD)	1 805-1 880 (VD)	2 110-2 170 (VD)	2 010-2 025 (VM et VD)	1 850-1 910 (VM)				1 930-1 990 (VD)			
880-915 (VM)	1 720-1 785 (VM)	1 920-1 980 (VM)	1 900-1 920 (VM et VD)																
925-960 (VD)	1 805-1 880 (VD)	2 110-2 170 (VD)	2 010-2 025 (VM et VD)																
1 850-1 910 (VM)																			
1 930-1 990 (VD)																			
Type de modulation des données	GMSK	BPSK (VM) QPSK (VD)	QPSK																
Périodicité du contrôle de puissance	2 Hz	1 500 Hz	100 à 750 Hz																
Durée d'une trame	4,615 ms	10 ms	10 ms																
Durée d'un slot (ms)	4,615/8 ≈ 0,577	10/15 ≈ 0,667	10/15 ≈ 0,667																
Débit chip		3,84 Mcps	3,84 Mcps																
Synchronisation		Asynchrone																	

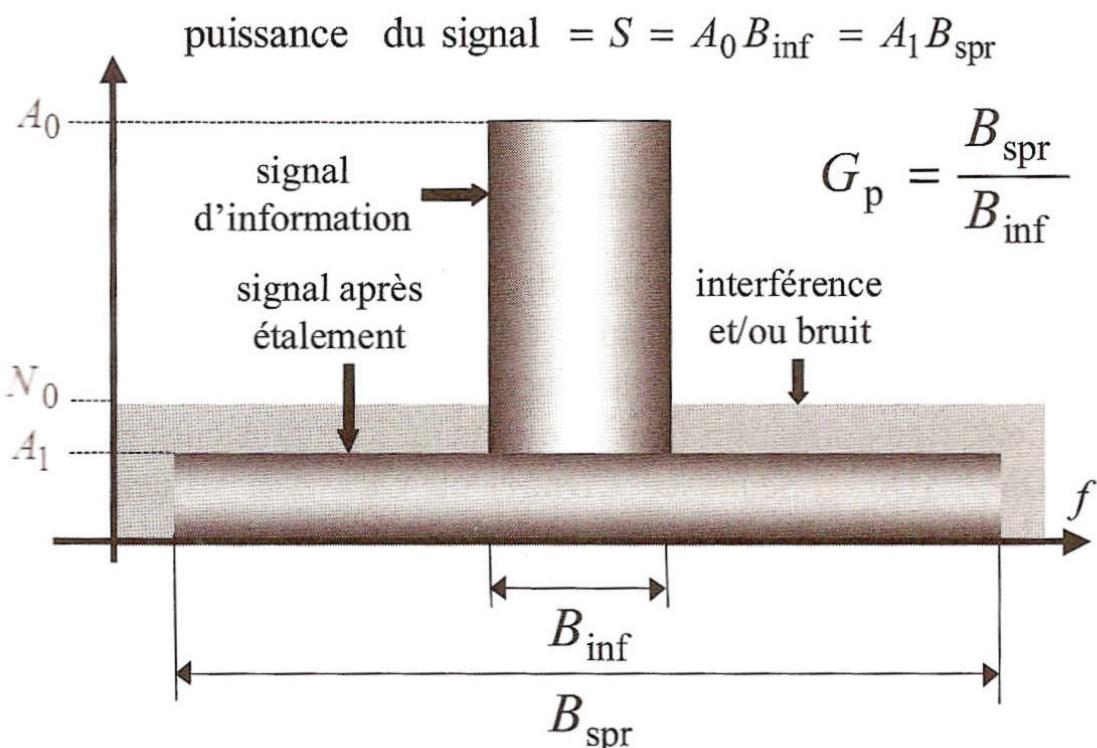
UMTS : W-CDMA

CDMA et étagement de spectre



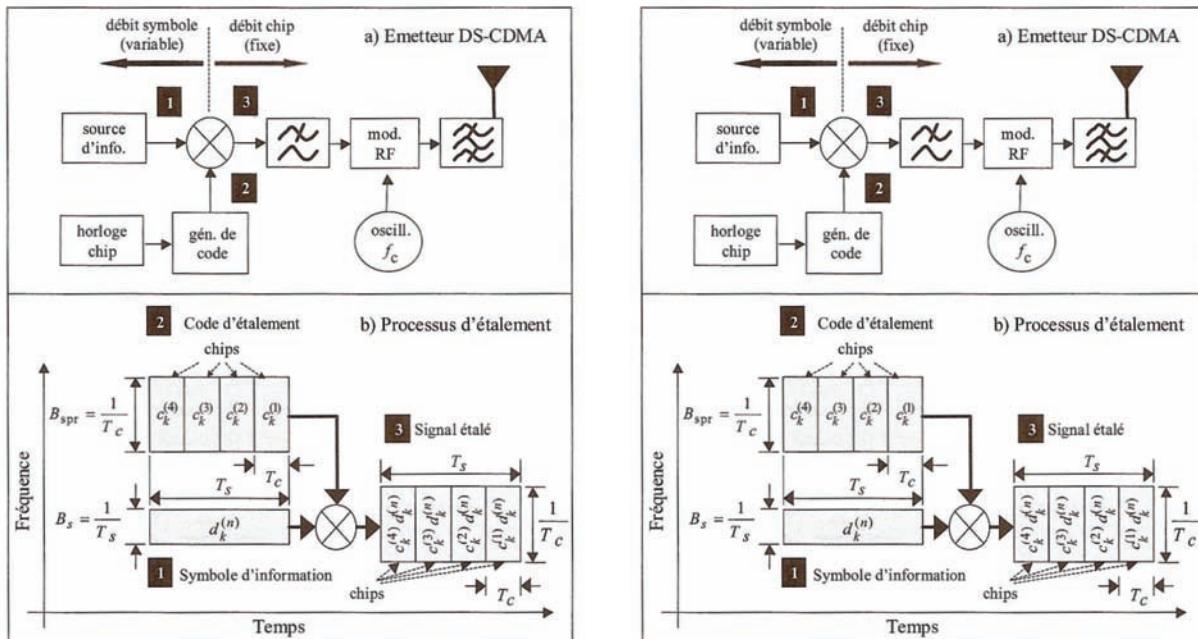
UMTS : W-CDMA

CDMA et étagement de spectre



UMTS : W-CDMA

CDMA et étalement de spectre



UMTS : W-CDMA

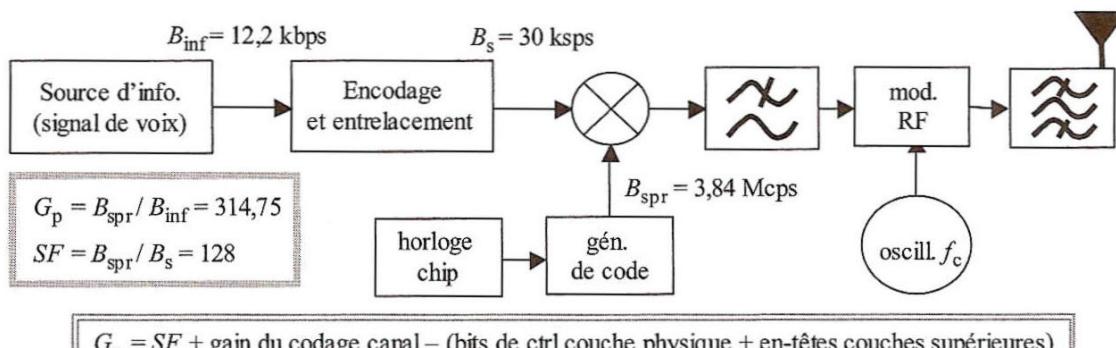
Gain de traitement et d'étalement

● Gain d'étalement :

$$SF = \frac{T_s}{T_c} \frac{B_{spr}}{B_S}$$

● Gain de traitement :

$$G_p = \frac{B_{spr}}{B_{inf}} \sim \text{SF} + G_c$$



UMTS : W-CDMA

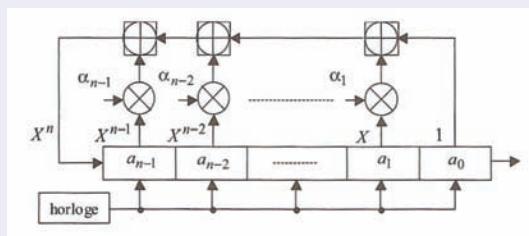
DS-CDMA : codes d'étalement

• Codes de Hadamard :

$$H_{2M} = \begin{pmatrix} H_M & H_M \\ H_M & -H_M \end{pmatrix} \Rightarrow H_1 = [+1], \quad H_{2M} = \begin{pmatrix} +1 & +1 \\ +1 & -1 \end{pmatrix}$$

• Codes pseudo- aléatoires :

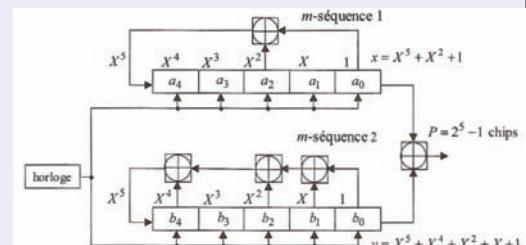
m-séquences



LFSR de taille n

Si période de taille $2^n - 1$,
m-séquence (maximal length sequ.)

Codes de Gold



XOR de deux m -séqu.
+ décalages possibles



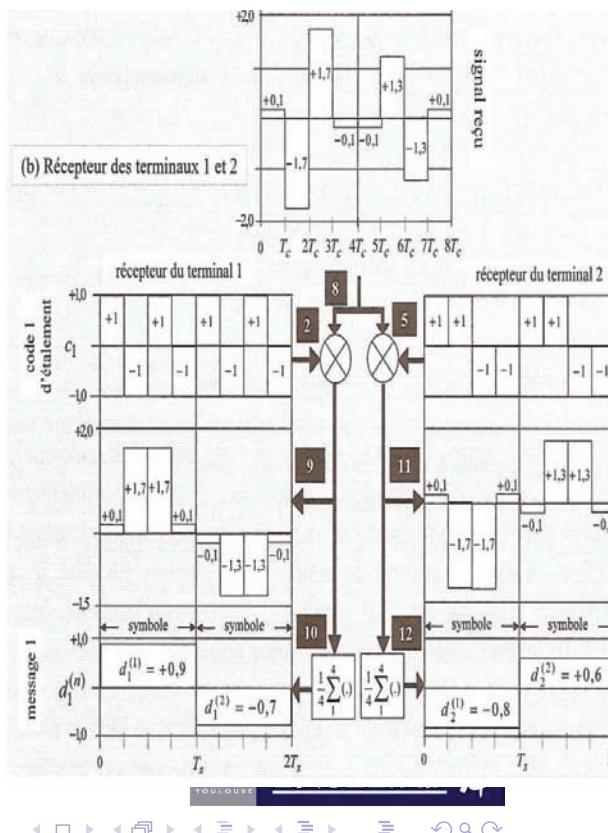
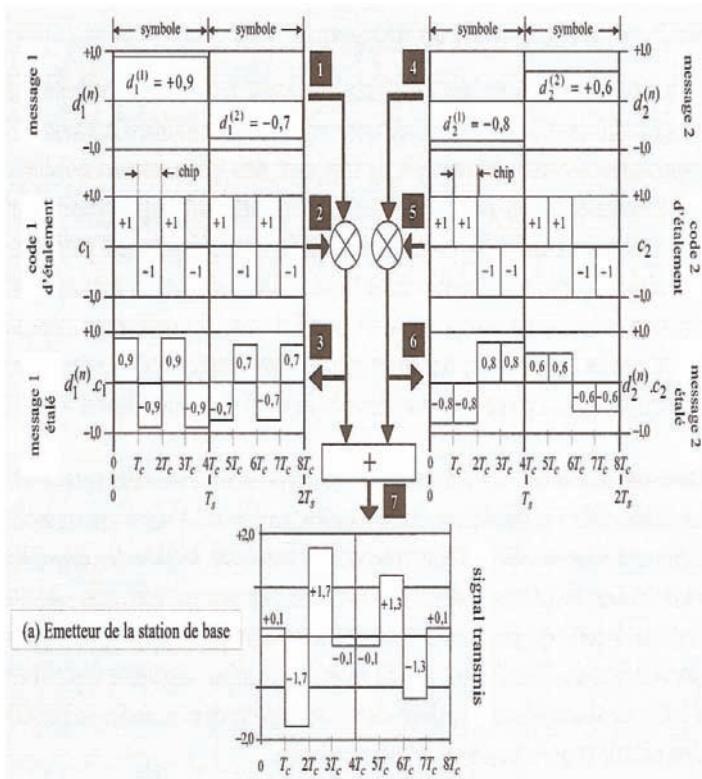
UMTS : W-CDMA

DS-CDMA : codes étalement

Type de code	Avantages	Inconvénients
Walsh-Hadamard	– les codes sont orthogonaux.	<ul style="list-style-type: none"> – mauvaises propriétés d'intercorrélation. – mauvaises propriétés d'autocorrélation. – faible nombre de codes générés.
m-séquences	– bonnes propriétés d'autocorrélation.	<ul style="list-style-type: none"> – les codes générés ne sont pas orthogonaux. – mauvaises propriétés d'intercorrélation. – faible nombre de codes générés.
Gold	<ul style="list-style-type: none"> – bonnes propriétés d'intercorrélation. – un grand nombre de codes peut être générés. – propriétés d'autocorrélation moins bonnes que celles des m-séquences mais meilleures que celles des codes 	<ul style="list-style-type: none"> – les codes générés ne sont pas orthogonaux.

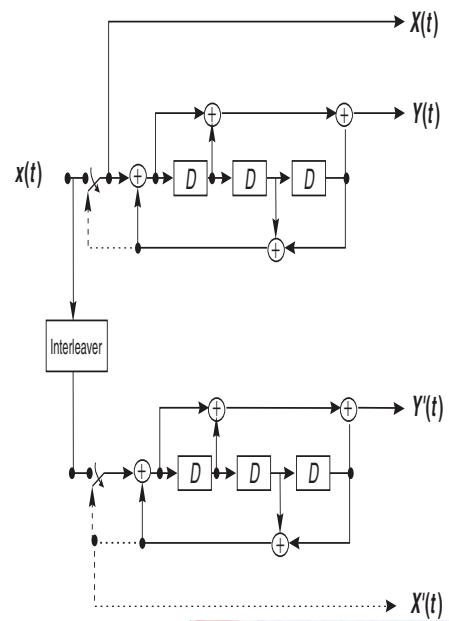
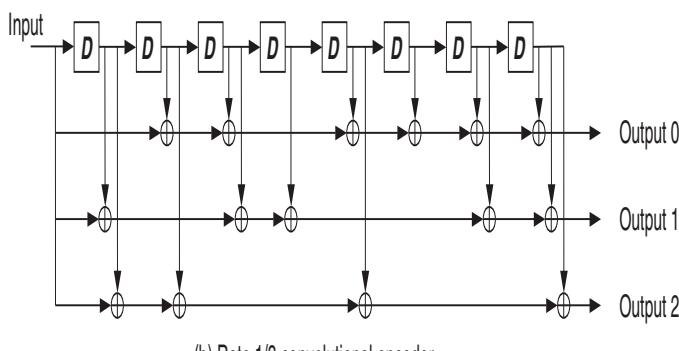
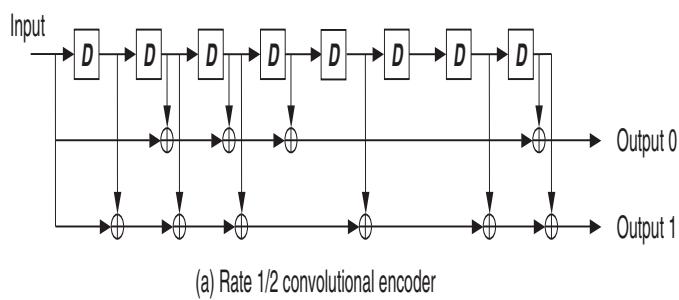
UMTS : W-CDMA

DS-CDMA : accès multiple



UMTS : W-CDMA

Codage de canal



UMTS : W-CDMA

DS-CDMA : contrôle de puissance

Motivations

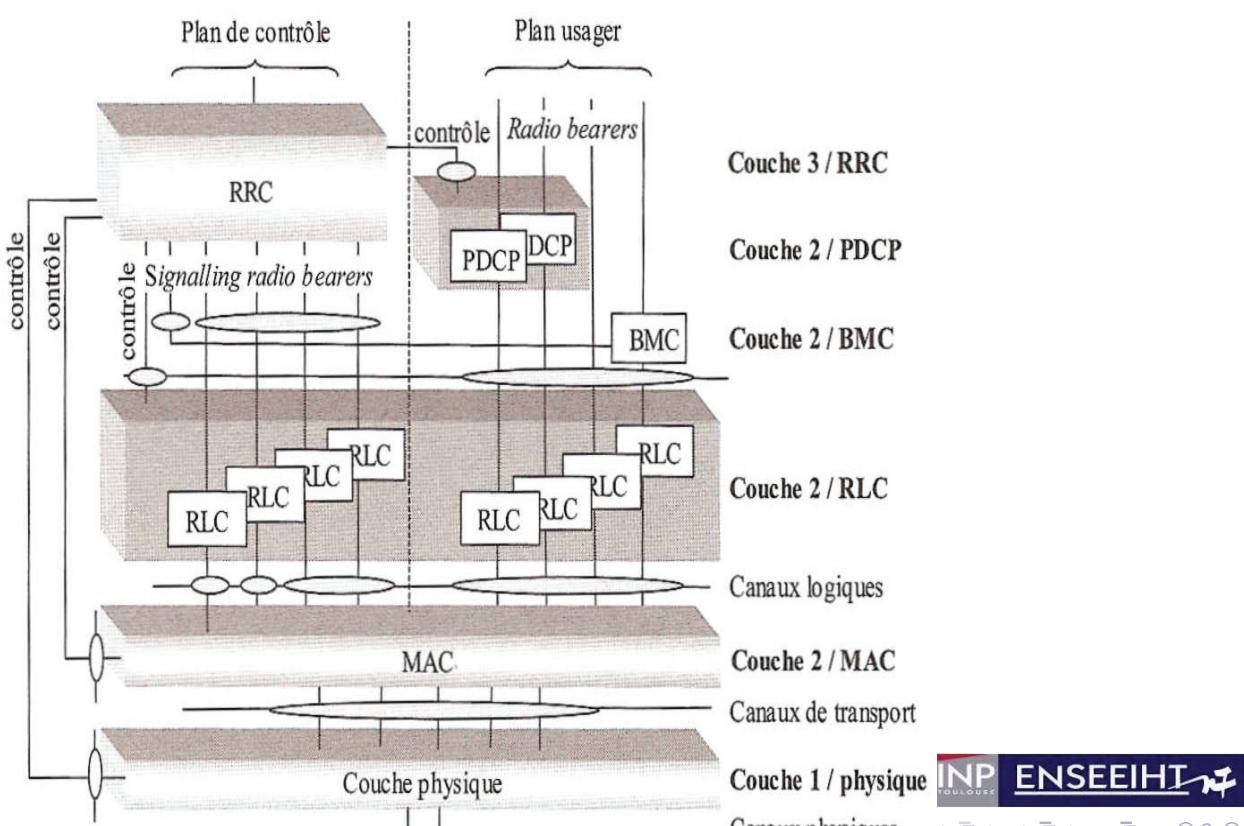
- Effet “Near-Far” : compenser en liaison montante l’affaiblissement des utilisateurs trop loin pour éviter “l’éblouissement”,
 - Compensation des vénouissments temporels,
 - Maintenir une QoS au récepteur

Modes

- **Boucle ouverte** : pour le mobile, déterminer son niveau de puissance à l'aide de canaux dédiés, surtout pour évanouissements long terme (path-loss et shadowing),
 - **Boucle fermée** : le récepteur calcule son niveau de puissance requis et envoie les consignes à l'émetteur, pour évanouissements rapides.

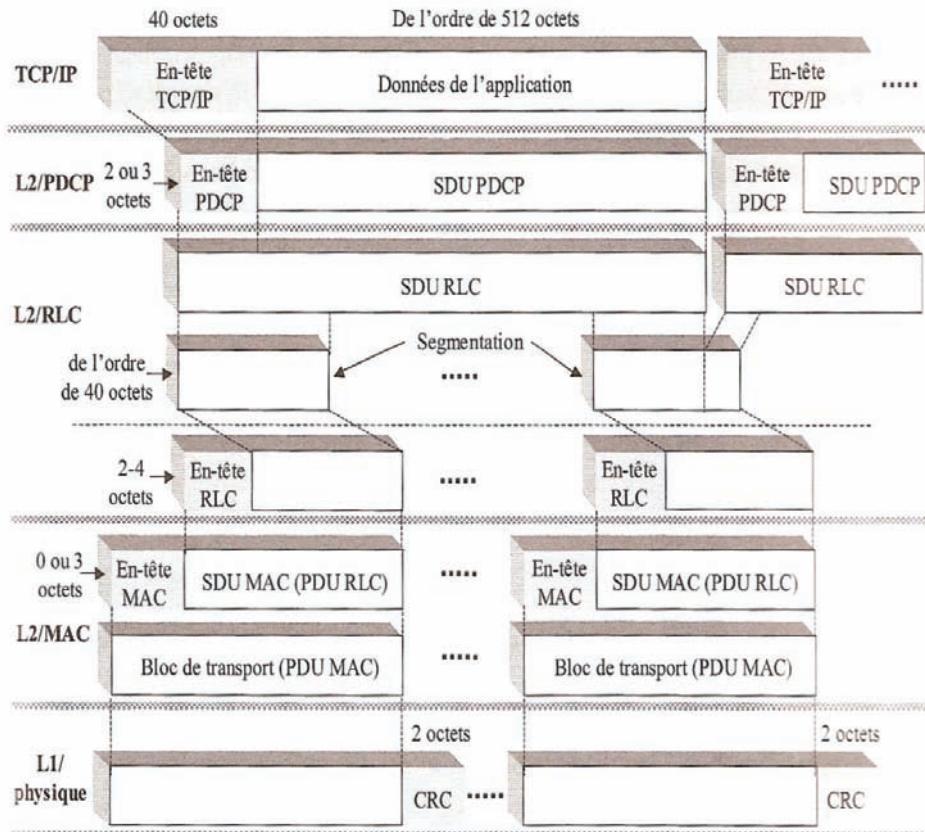
UMTS : W-CDMA

UTRA-FDD : architecture en couches générale



UMTS : W-CDMA

UTRA-FDD : stack protolaire



UMTS : W-CDMA

Canaux de transports et canaux logiques

Canaux logiques

- **Canaux de contrôles :** Broadcast Control CHannel (BCCH), Paging Control CHannel (PCCH), Common Control CHannel (CCCH), Dedicated Control channel (DCCH),
- **Canaux de traffic :** Dedicated Traffic Channel (DTCH), Common Traffic Channel (CTCH).

Canaux de transports

- **Canaux communs :** Broadcast CHannel (BCH), Paging CHannel (PCH), Random Access CHannel (RACH), Forward Access CHannel (FACH), Common Packet CHannel (CPCH), Downlink Shared CHannel (DSCH),
- **Canaux dédiés :** Dedicated (transport) channel (DCH).

UMTS : W-CDMA

Canaux physiques

Canaux physiques

- **Voie montante :**

- Dedicated Physical Control CHannel (DPCCH) : bits pilotes, Transmit Power Control (TPC), Feed Back Information (FBI), Transport Format Combination Indicator (TFCI),
- Dedicated Physical Data Channel (DPDCH) : data,
- Physical RACH (PRACH) et Physical Common Packet CHannel (PCPCH).

- **Voie descendante :**

- DPCCH et DPDCH,
- Canaux de contrôle propres : Primary Common Control Physical CHannel (P-CCPCH), Secondary Common Control Physical CHannel (S-CCPCH), Synchronization CHannel (SCH), Common PIlot CHannel (CPICH),
- autres : Physical Downlink Shared CHannel (PDSCH), Acquisition Indication CHannel (AICH), Page Indication CHannel (PICH).



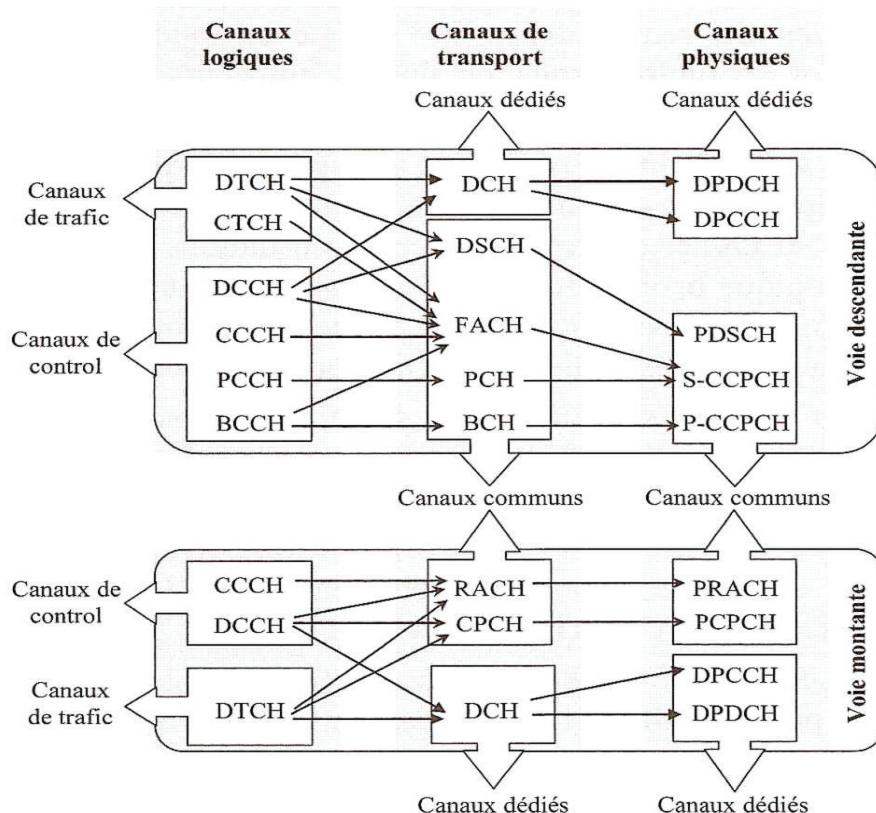
UMTS : W-CDMA

Mapping canaux de transports et physiques

<u>Transport Channels</u>	<u>Physical Channels</u>
DCH	Dedicated Physical Data CHannel (DPDCH)
	Dedicated Physical Control CHannel (DPCCH)
RACH	Physical Random Access CHannel (PRACH)
CPCH	Physical Common Packet CHannel (PCPCH)
	Common Pilot CHannel (CPICH)
BCH	Primary Common Control Physical CHannel (P-CCPCH)
FACH	Secondary Common Control Physical CHannel (S-CCPCH)
PCH	Synchronisation CHannel (SCH)
	Physical Downlink Shared CHannel (PDSCH)
DSCH	Acquisition Indication CHannel (AICH)
	Page Indication Channel (PICH)

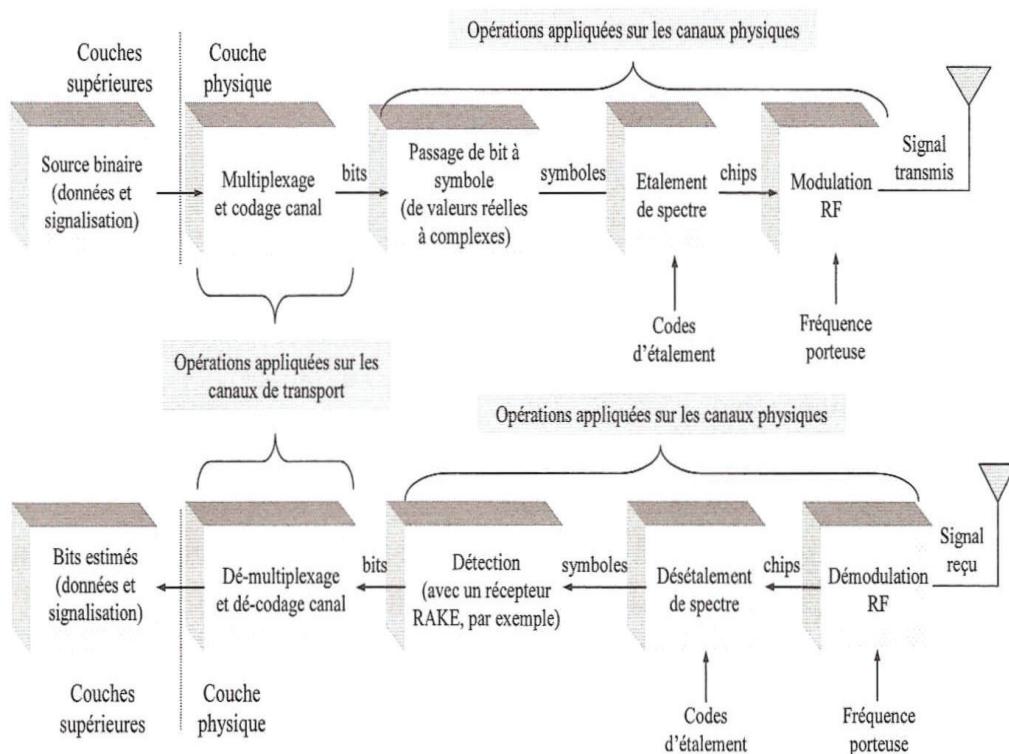
UMTS : W-CDMA

Mapping canaux de transports et physiques



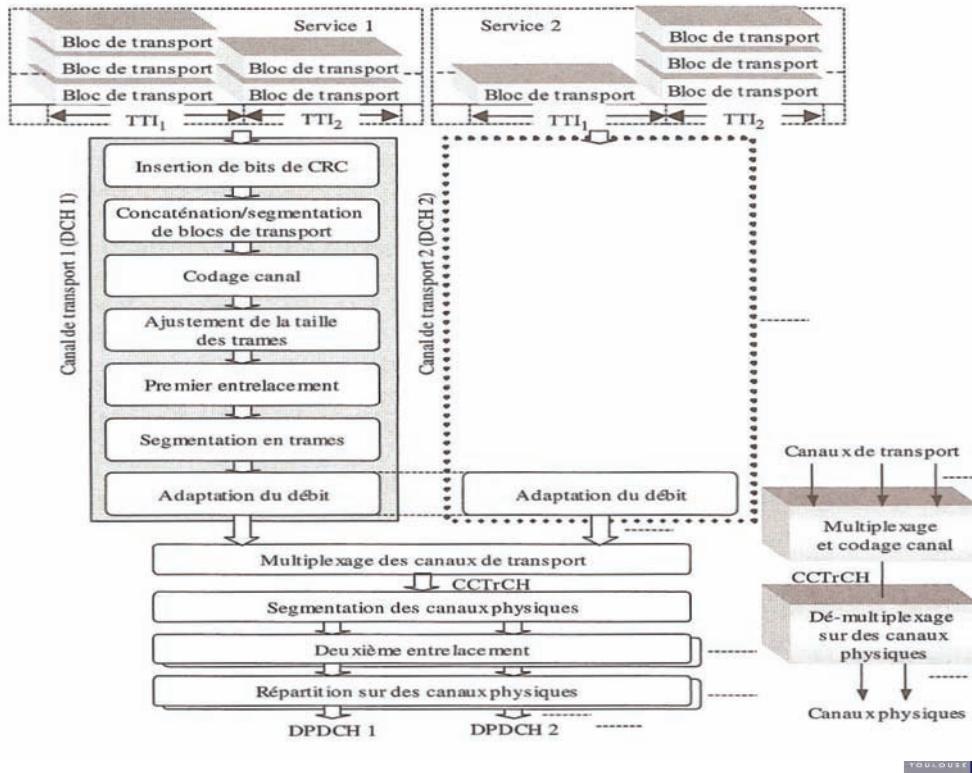
UMTS : W-CDMA

Chaîne UTRA-FDD, chaîne globale



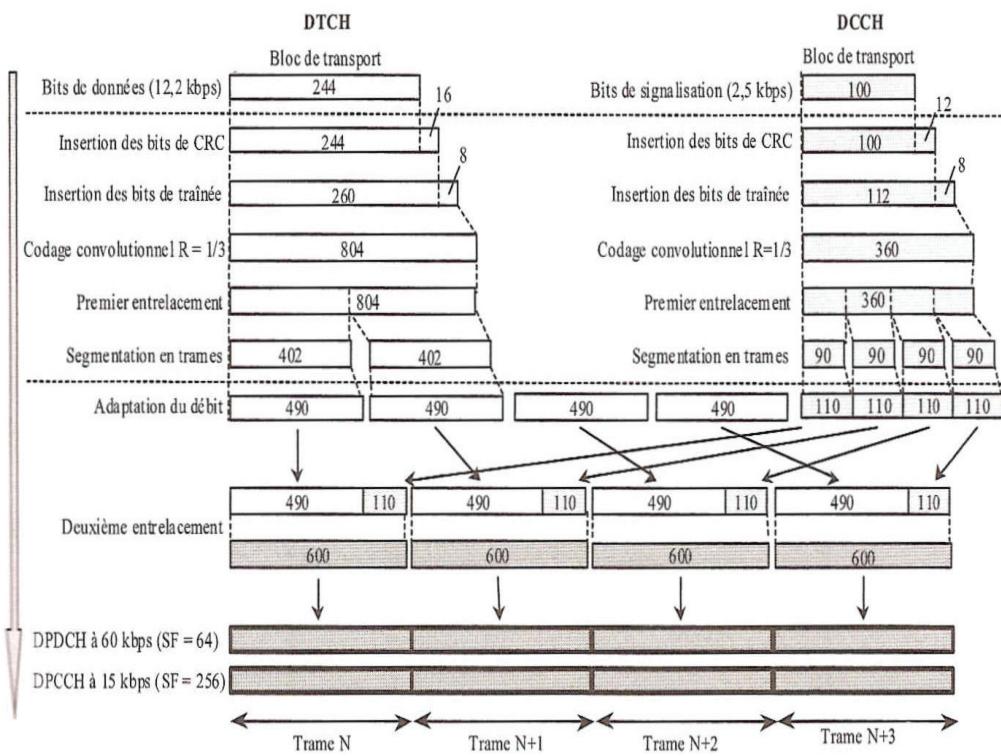
UMTS : W-CDMA

Chaîne UTRA-FDD, voie montante



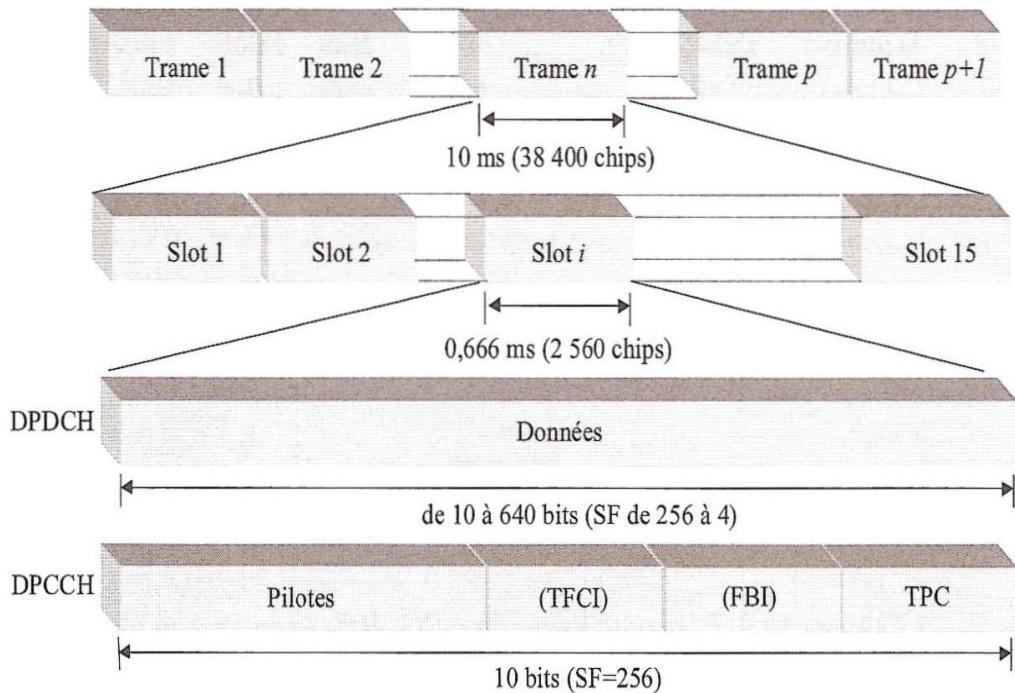
UMTS : W-CDMA

Chaîne UTRA-FDD, voie montante



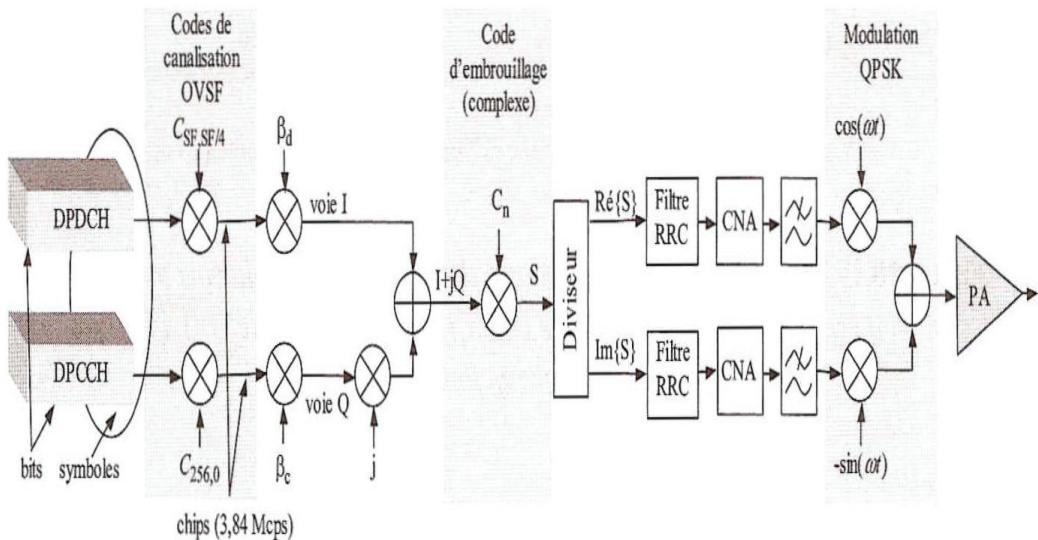
UMTS : W-CDMA

Chaîne UTRA-FDD, voie montante



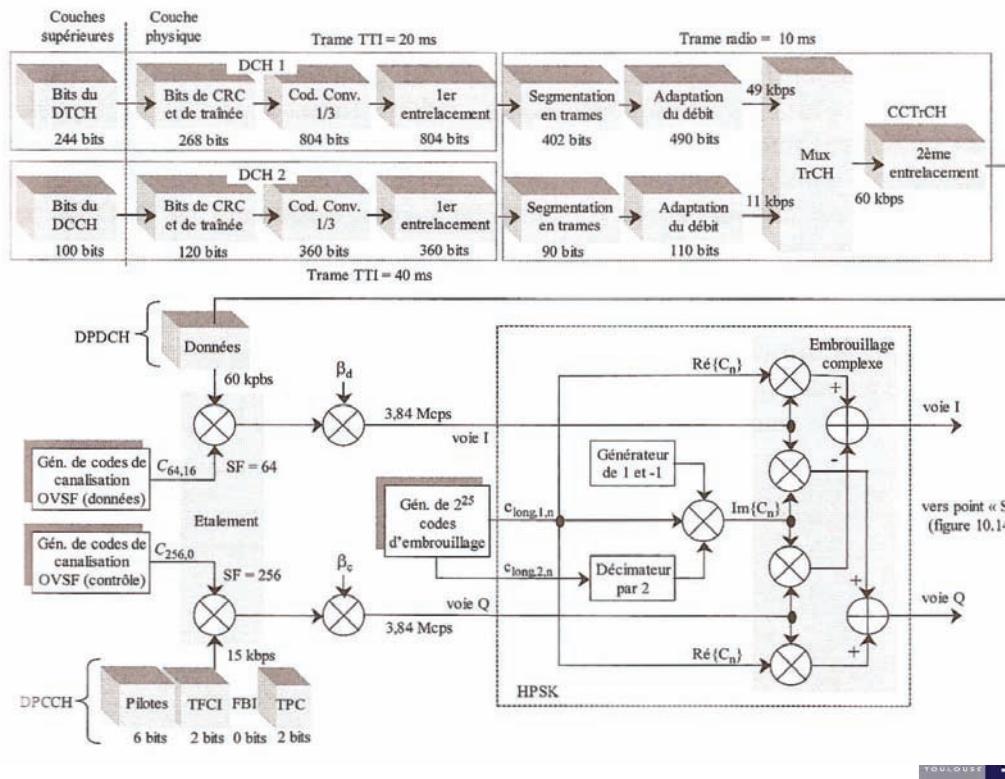
UMTS : W-CDMA

Chaîne UTRA-FDD, voie montante



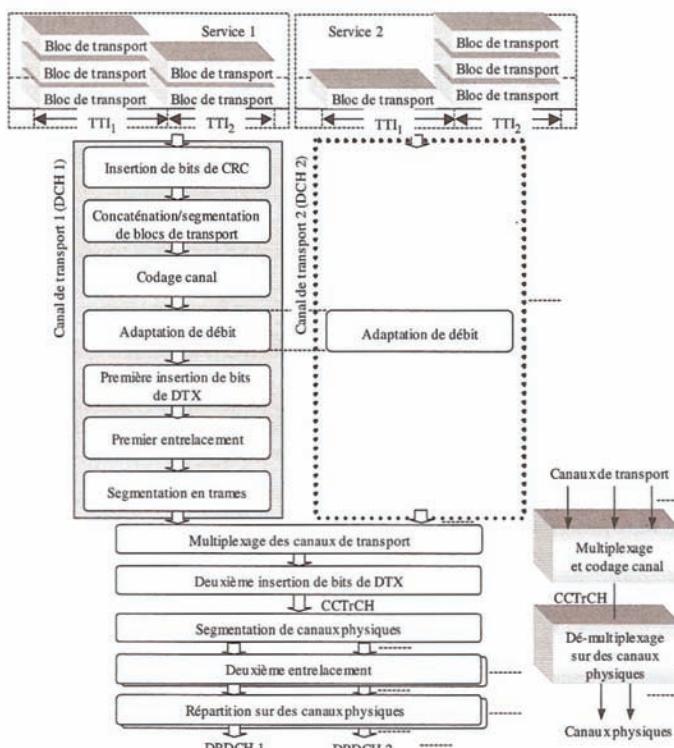
UMTS : W-CDMA

Chaîne UTRA-FDD, voie montante



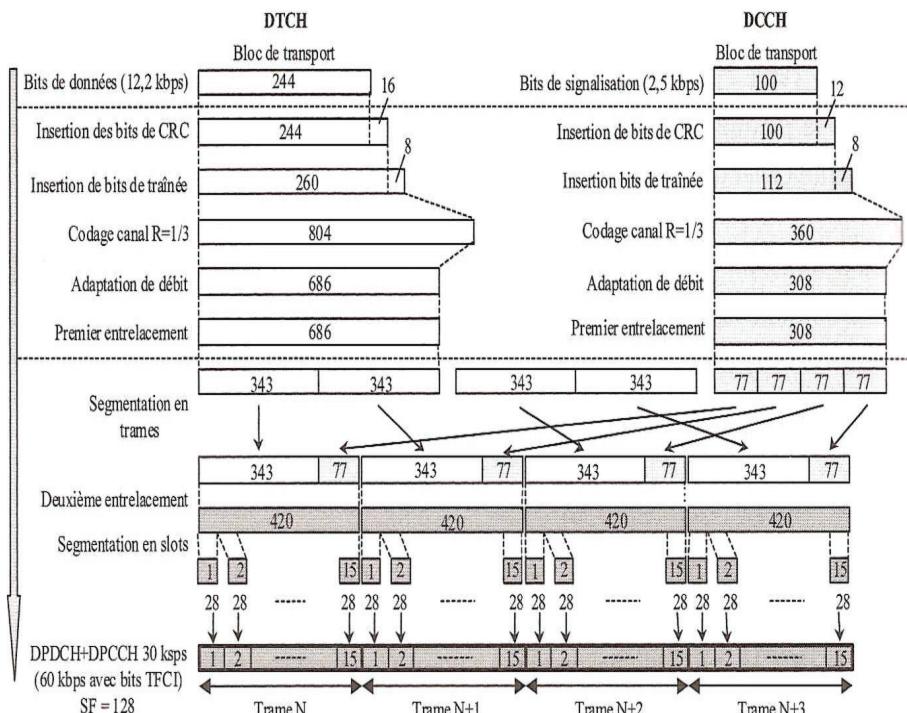
UMTS : W-CDMA

Chaîne UTRA-FDD, voie descendante



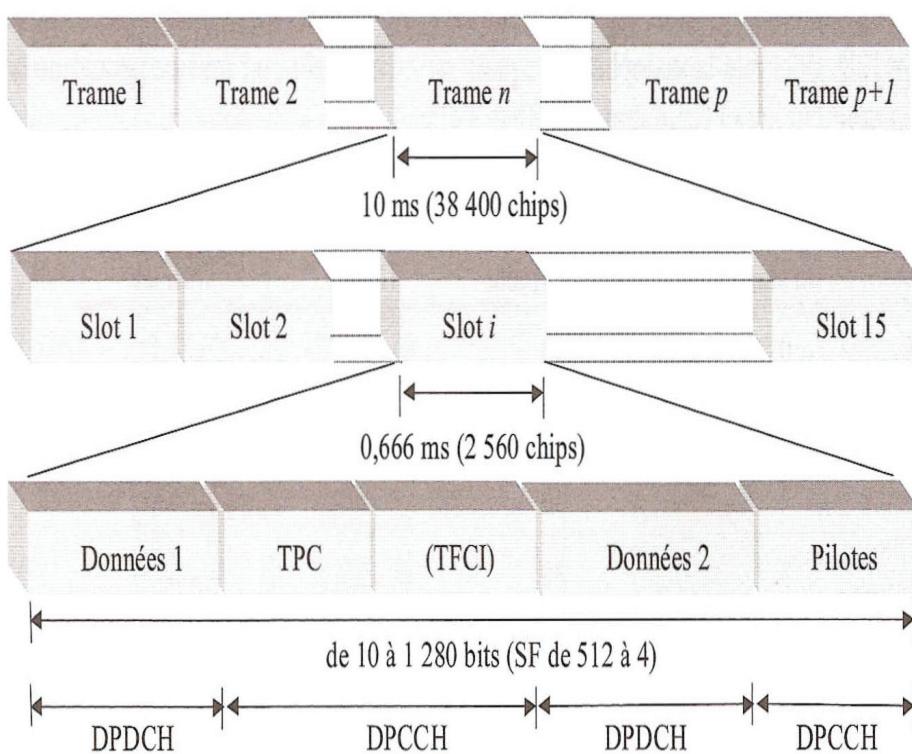
UMTS : W-CDMA

Chaîne UTRA-FDD, voie descendante



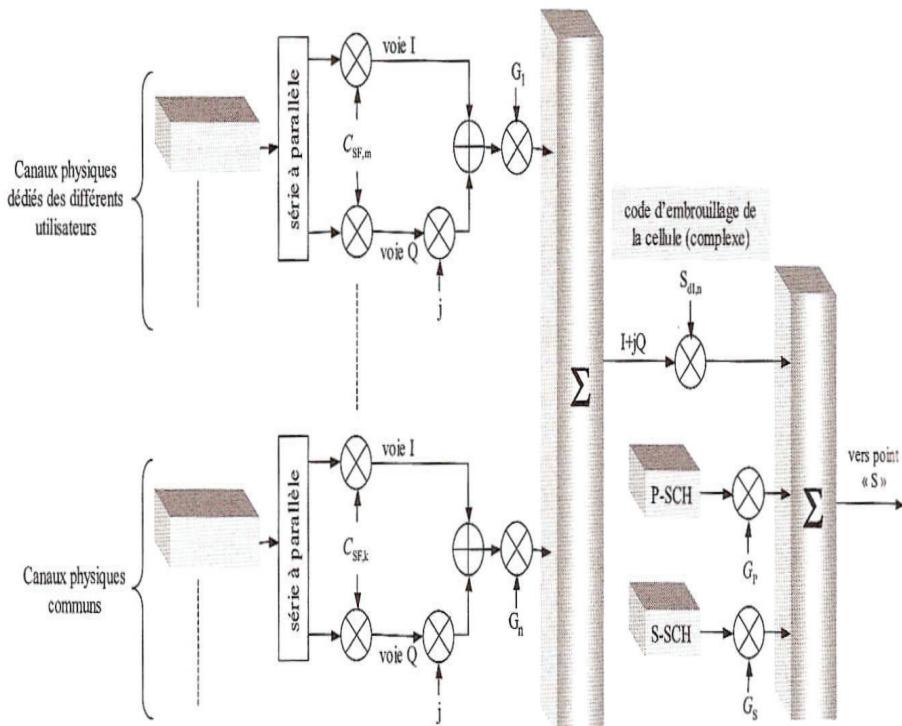
UMTS : W-CDMA

Chaîne UTRA-FDD, voie descendante



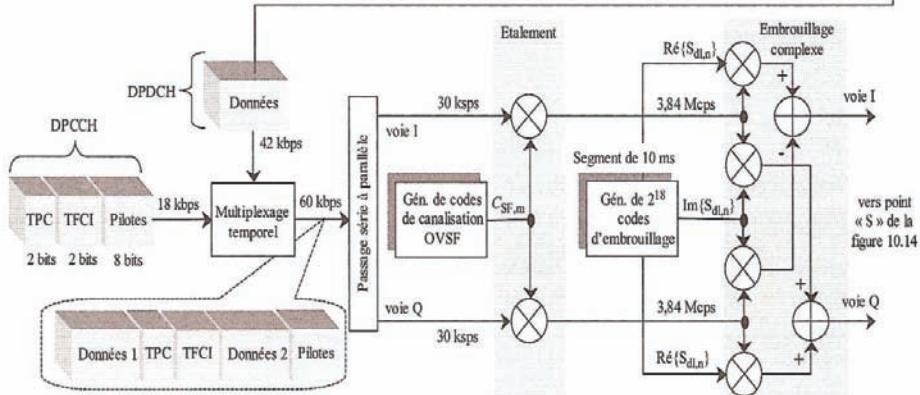
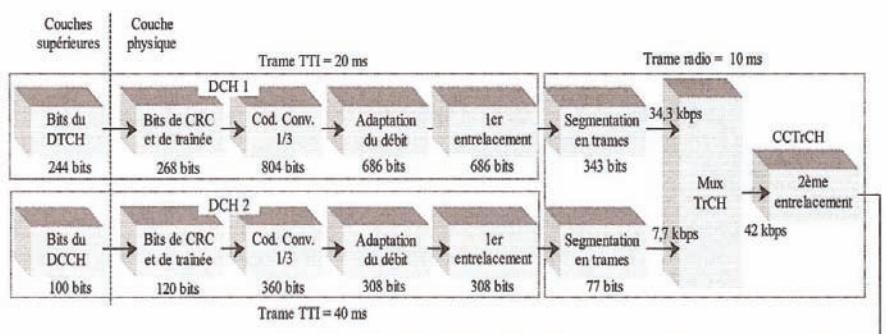
UMTS : W-CDMA

Chaîne UTRA-FDD, voie descendante



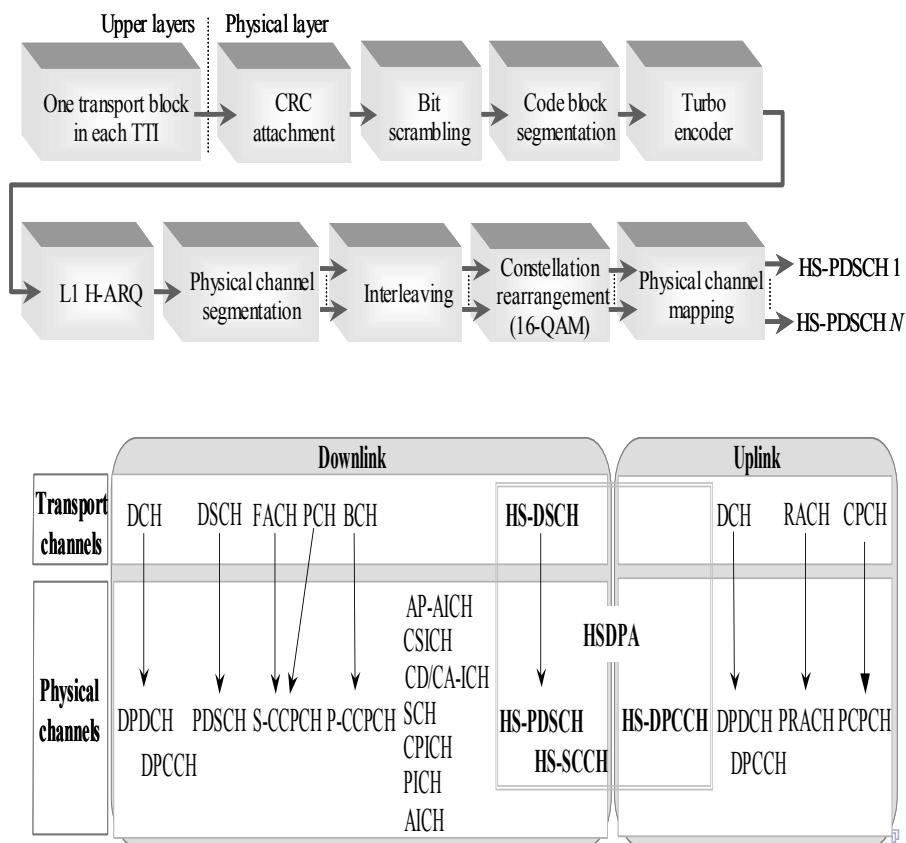
UMTS : W-CDMA

Chaîne UTRA-FDD, voie descendante



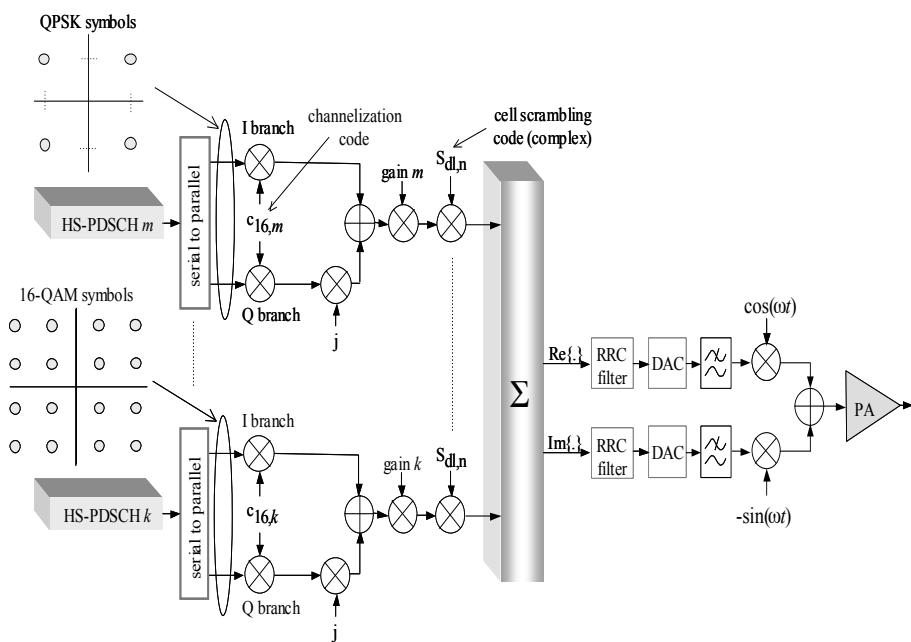
UMTS : HSXPA

Chaîne HXPA et canaux



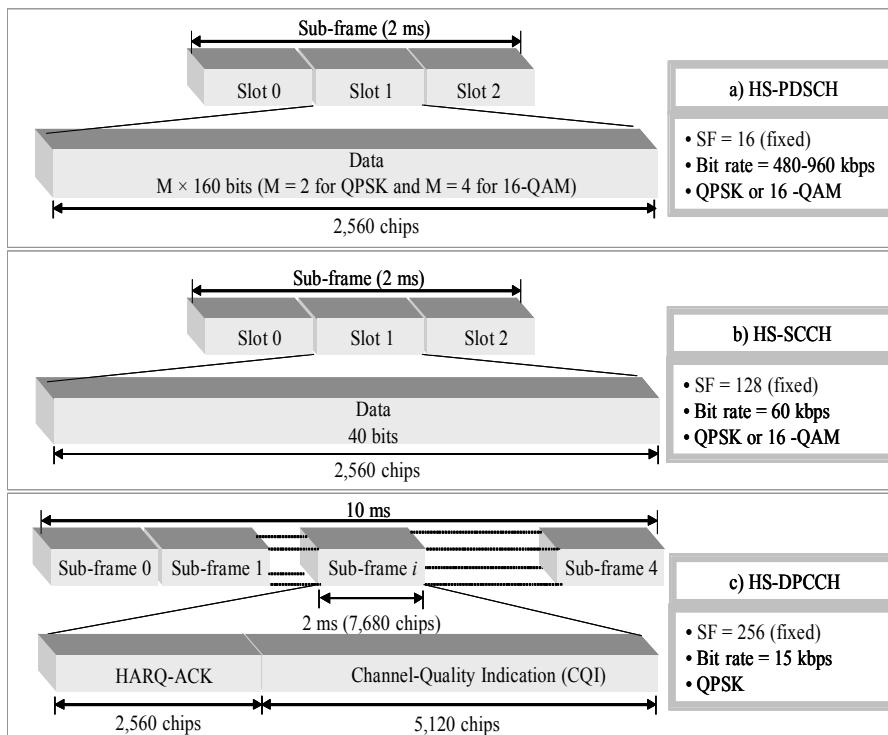
UMTS : HSXPA

Chaîne HSXPA : structure



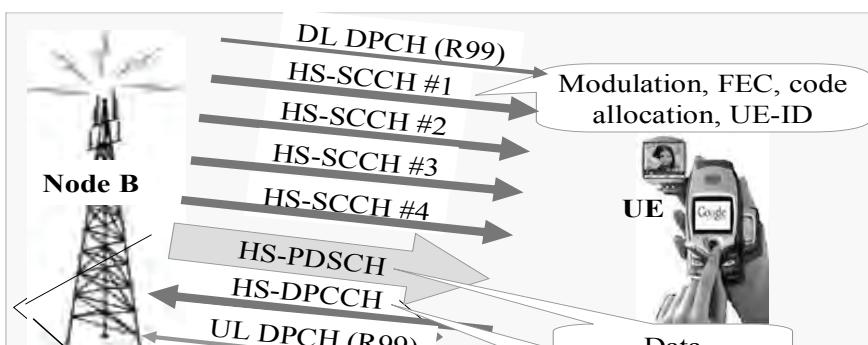
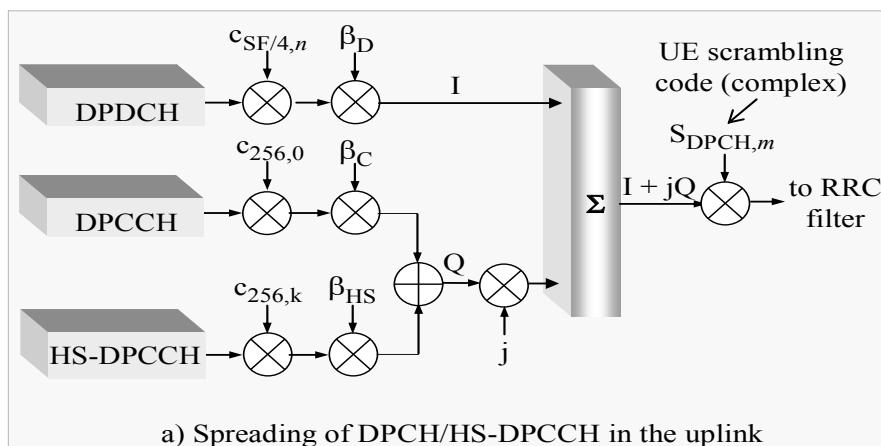
UMTS : HSXPA

Chaîne HSXPA : trame



UMTS : HSXPA

Chaîne HSXPA : structure canaux



UMTS : HSXPA

Chaîne HSXPA : fonctionnalités avancées (AMC +HARQ)

Modulation	Effective code rate	Data rate (1 HS-PDSCH)	Data rate (5 HS-PDSCHs)	Data rate (15 HS-PDSCHs)
QPSK	1/4	120 kbps	0.6 Mbps	1.8 Mbps
QPSK	1/2	240 kbps	1.2 Mbps	3.6 Mbps
QPSK	3/4	360 kbps	1.8 Mbps	5.4 Mbps
16-QAM	1/2	480 kbps	2.4 Mbps	7.2 Mbps
16-QAM	5/8	600 kbps	3.0 Mbps	9.0 Mbps
16-QAM	3/4	720 kbps	3.6 Mbps	10.8 Mbps

