

Sous Systèmes Radio 2G/3G/4G

Module 3107



IUT Béziers, dépt. R&T © 2014-2019

<http://www.borelly.net/>

Christophe.BORELLY@umontpellier.fr

Radio 2G

- La couche physique radio est définie dans les normes GSM 05.xx – 3GPP série 45.xx
- C'est la partie la plus complexe et sophistiquée du système GSM
- Modulation **GMSK** (270,83 Ksps)
- Largeur des canaux : 200 Khz
- Canal montant (MS-BTS) : UpLink
 - Fréquence basse (économie d'énergie)
- Canal descendant (BTS-MS) : DownLink
 - Fréquence haute

Méthodes d'accès multiple 2G

- Le système GSM combine 2 systèmes d'accès multiple.
- **FDMA** : Frequency Division Multiple Access
 - Le numéro de canal de la cellule (fréquence)
- **TDMA** : Time Division Multiple Access
 - Le numéro de slot entre 0-7 (Intervalle de temps)
- Option : saut de fréquence

Modulation de fréquence

- Porteuse de fréquence centrale f_0
- Le signal **modulant** $s(t)$
- La **fréquence instantanée** du signal modulé s'écrit :

- $f(t) = f_0 + k.s(t)$

- Si $s(t)$ est sinusoïdal, $s(t) = a.\cos(\Omega t)$

- La fréquence instantanée devient :

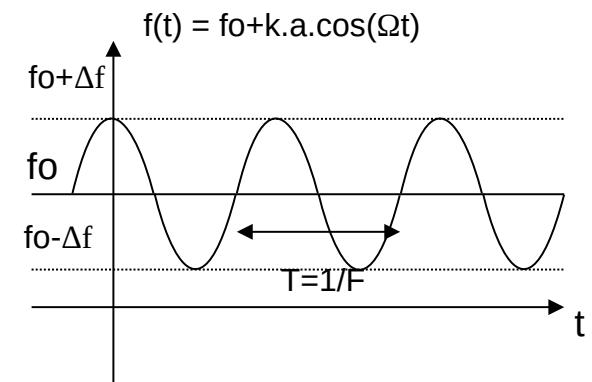
- $f(t) = f_0 + k.a.\cos(\Omega t)$

- L'excursion maximale en fréquence vaut :

- $\Delta f = \pm k.a$

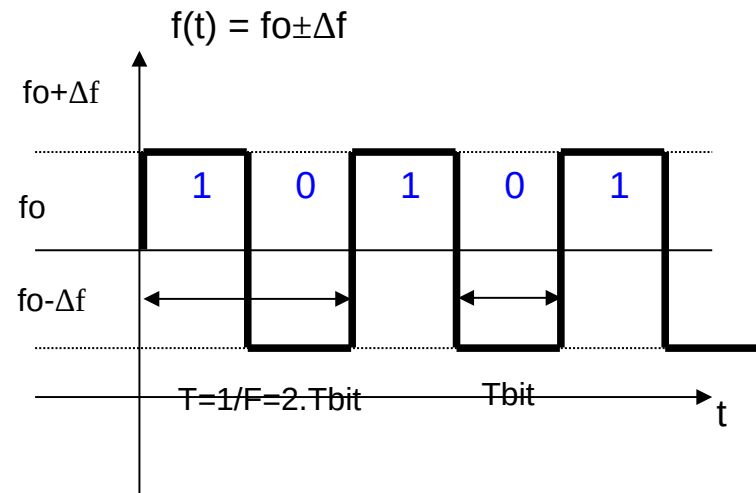
- L'indice de modulation m s'écrit :

- $m = \Delta f / F$



Modulations numériques (1)

- Si le signal modulant est binaire (NRZ)
 - $f(t) = f_0 \pm \Delta f$ (+ pour un “1” et – pour un “0”)



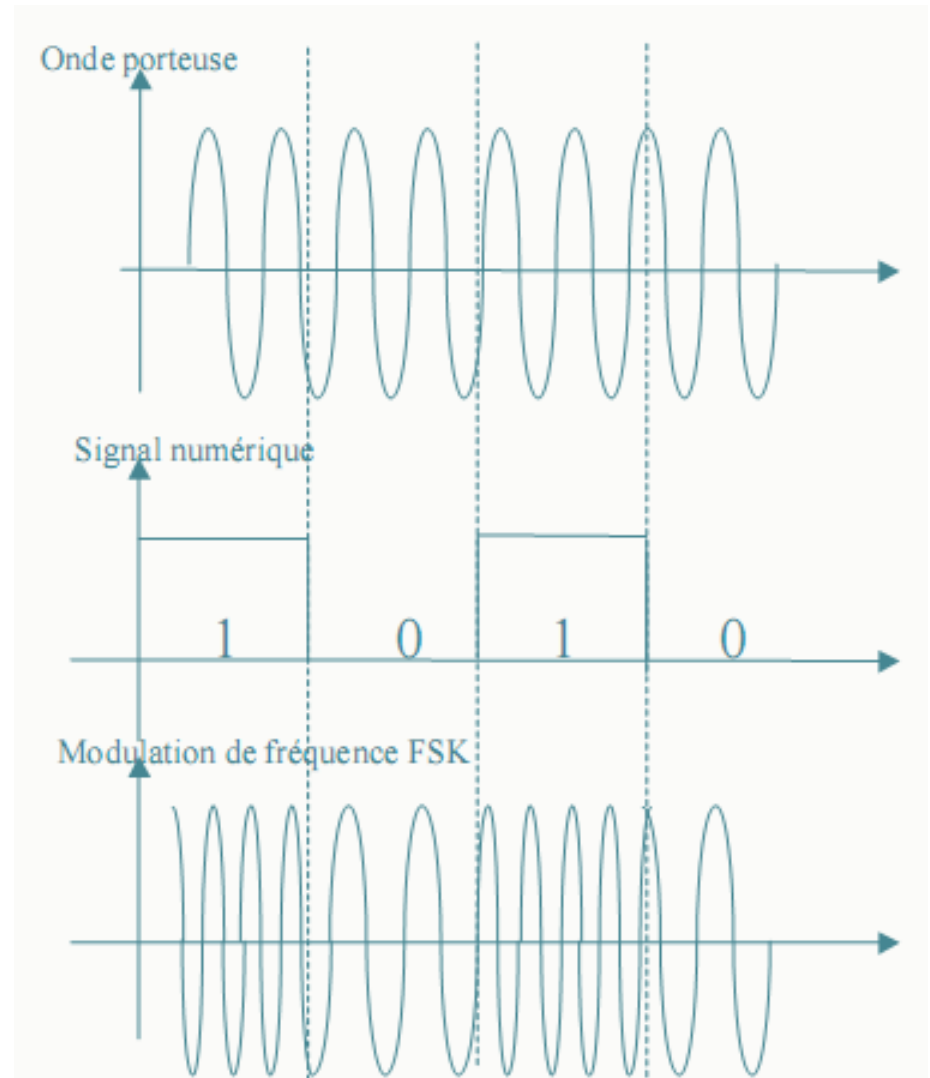
- L'intervalle de temps élémentaire (durée d'un bit) :
 - $\text{ITE} = T_{\text{bit}} = 1/D$, D débit binaire.

Modulations numériques (2)

- La période $T=1/F$ est alors égale à $2.T_{\text{bit}}$.
- L'indice de modulation :
 - $m = \Delta f / F = \Delta f \cdot 2T_{\text{bit}} = 2 \cdot \Delta f / D$
- La fréquence instantanée devient :
 - $f(t) = f_0 \pm \Delta f = f_0 \pm mD/2$ (+ pour un “1” et – pour un “0”).
- La pulsation s'écrit
 - $w(t) = 2 \cdot \pi \cdot f(t) = w_0 \pm 2 \cdot \pi \Delta f$
- La phase (intégrale de la pulsation) est :
 - $\theta(t) = w_0 t \pm 2 \cdot \pi \Delta f \cdot t$
- la constante d'intégration est mise à zéro pour simplifier.

Modulation FSK et MSK

- Transmission d'un bit à 1
 - Sinusoïde de fréquence $f_0 + \Delta f$
- Transmission d'un bit à 0
 - Sinusoïde de fréquence $f_0 - \Delta f$
- Exemple : modem V23 (minitel)
 $f_0 = 1700\text{Hz}$ et $\Delta f = 400\text{Hz}$
 - Bit 0 -> 1300 Hz
 - Bit 1 -> 2100 Hz
- Dans le cas particulier où $m=0,5$, on a $D=4.\Delta f$, et 99% de la puissance du signal est contenue dans une bande de largeur $1,17.D$.
- C'est la Modulation **MSK** (Minimum Shift Keying).



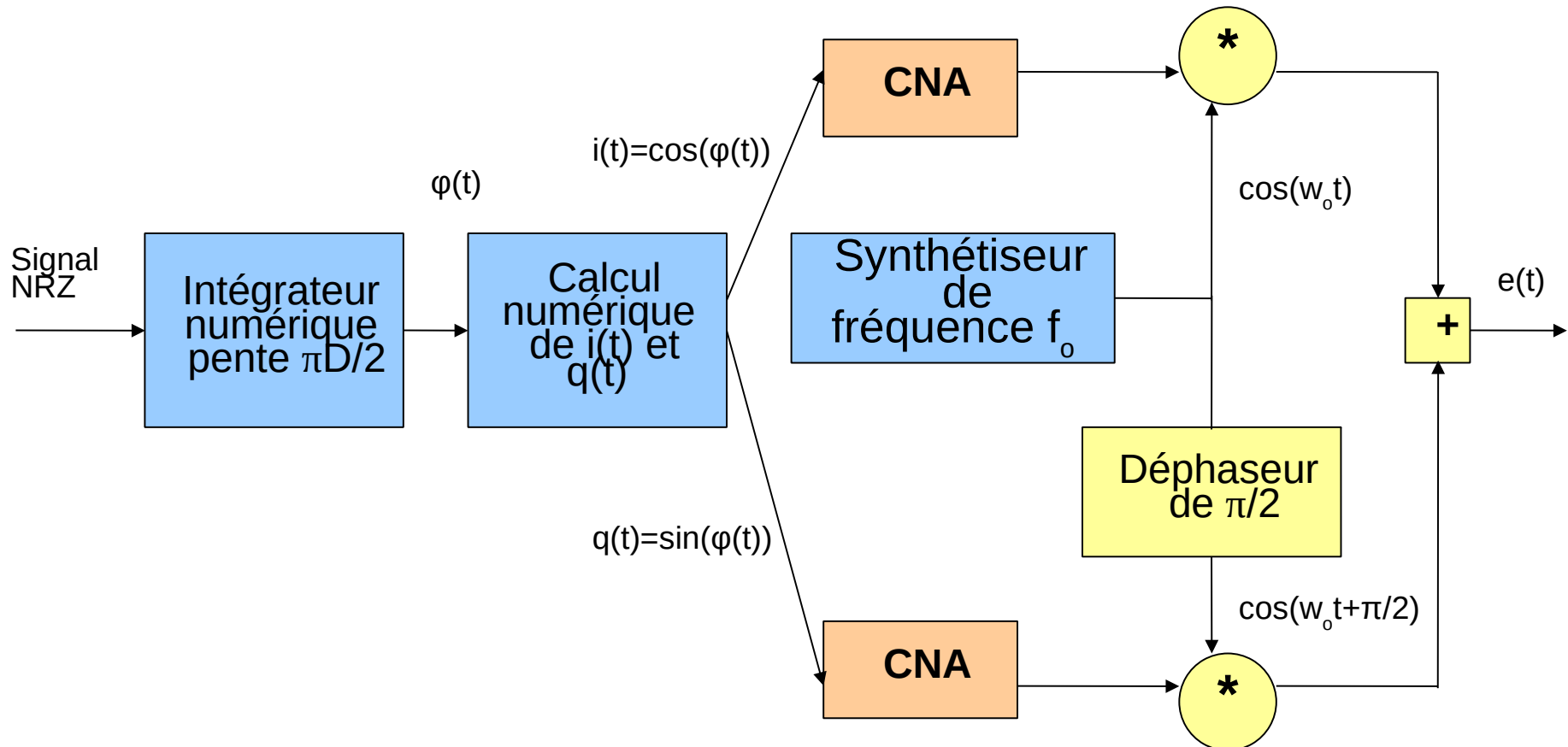
Modulateur IQ (1)

- La porteuse FSK d'amplitude normalisée (amplitude = 1) peut s'écrire :
 - $e(t) = \cos(w_0 t \pm 2.\pi\Delta f.t) = \cos(w_0 t + \varphi(t))$
 - $\varphi(t) = \pm 2.\pi\Delta f.t = \pm m.D.\pi.t$
 - (+ pour un "1" et – pour un "0")
- En développant le cosinus, on obtient :
 - $e(t) = \cos(w_0 t).\cos(\varphi(t)) - \sin(w_0 t).\sin(\varphi(t))$
 - $e(t) = \cos(\varphi(t)).\cos(w_0 t) + \sin(\varphi(t)).\cos(w_0 t + \pi/2)$

Signal $i(t)$ – en phase

Signal $q(t)$ – en quadrature

Modulateur IQ (2)



Modulation GMSK

- **GMSK** : Gaussian Minimum Shift Keying
 - Norme GSM 05.04
- Dans ce type de modulation, les données passent en premier lieu dans un filtre Gaussien.
- La fréquence de la porteuse est ensuite modulée par ce signal avec un taux de $\frac{1}{2}$ ($m=0,5$).
- L'écart phase du signal entre deux intervalles de temps élémentaire ne dépasse pas $\pi/2$.
- L'intervalle de temps élémentaire est $T = 48/16 \mu s$, soit un débit d'environ **270,833 Ksps**.

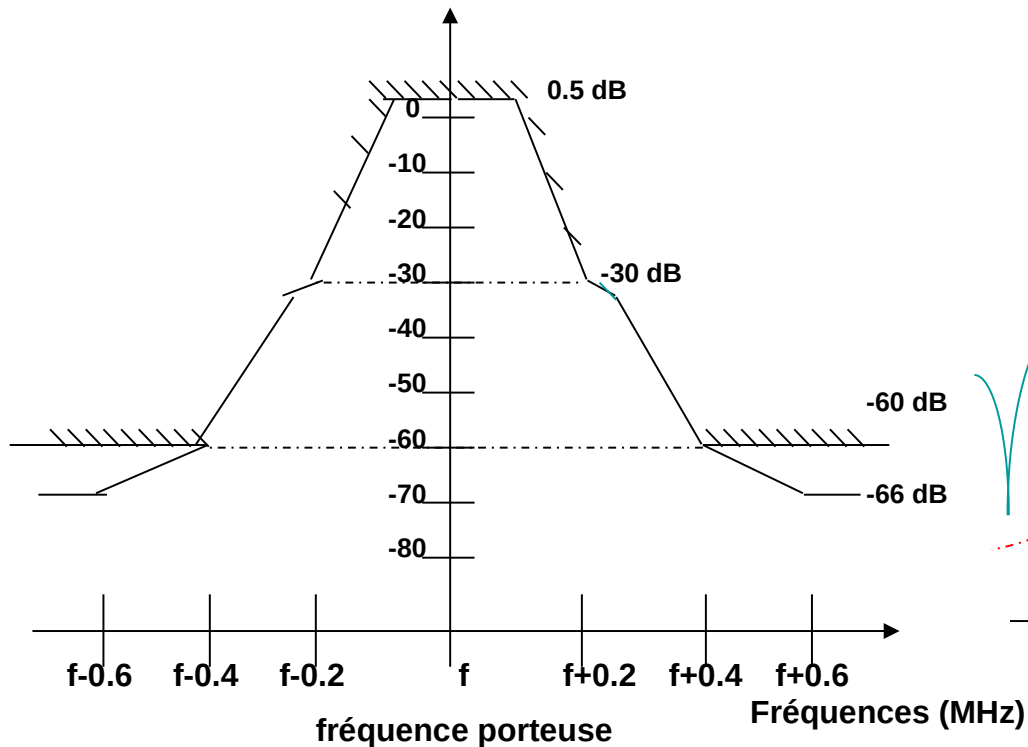
Filtre Gaussien

- Expression de la réponse impulsionnelle du filtre $h(t)$:
 - $B.T = 0,3$ et $T = 48/13 \mu s$.
 - B désigne la bande à 3 dB du filtre $h(t)$, $B = 81,25$ KHz.
- Le principal intérêt de l'utilisation de cette modulation est la quasi inexistence de lobes secondaires dans la représentation spectrale.

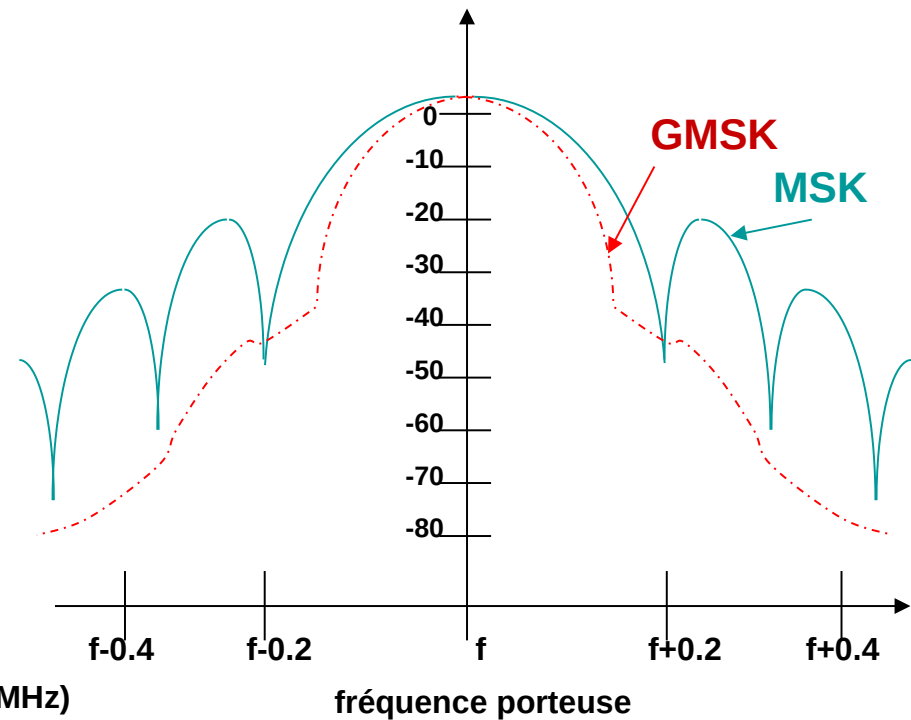
$$h(t) = \frac{1}{\lambda \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp(-t^2 / (2 \lambda^2))$$

$$\lambda = T \cdot \frac{\sqrt{\ln(2)}}{2 \cdot \pi \cdot BT}$$

Spectre théorique GSMK



Gabarit spectral d'un mobile GSM
(extrait de la norme GSM 05.05)



Spectre des modulations
GMSK et MSK

Allocation des fréquences

- GSM 05.05 – 3GPP TS 45 005

	MS → BTS	BTS → MS
GSM	890 915	935 960
EGSM	880 915	925 960
DCS	1710 1785	1805 1880

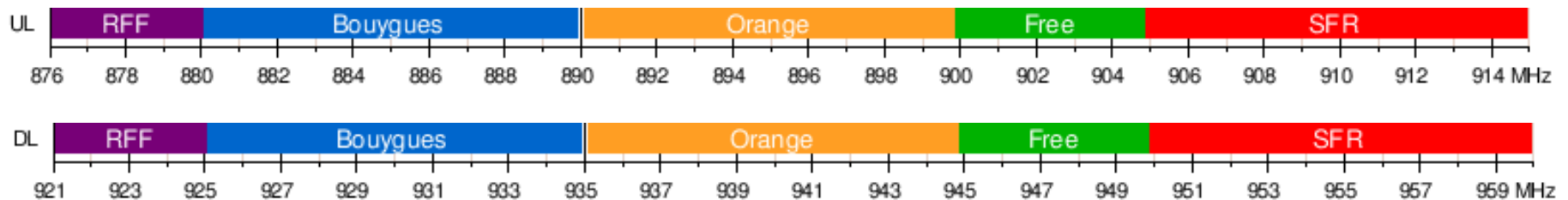
Numérotation des canaux 2G

- Largeur de 200 KHz
- 124 canaux GSM et 374 canaux en DCS.
- **ARFCN** : absolute radio frequency channel number.
- E-GSM 900 MHz
 - $FL(n) = 890 + 0.2.n$ pour $0 \leq n \leq 124$
 - $FL(n) = 890 + 0.2.(n-1024)$ pour $975 \leq n \leq 1\ 023$
 - $FU(n) = FL(n) + 45$
- DCS 1 800 MHz
 - $FL(n) = 1710.2 + 0.2.(n-512)$ pour $512 \leq n \leq 885$
 - $FU(n) = FL(n) + 95$

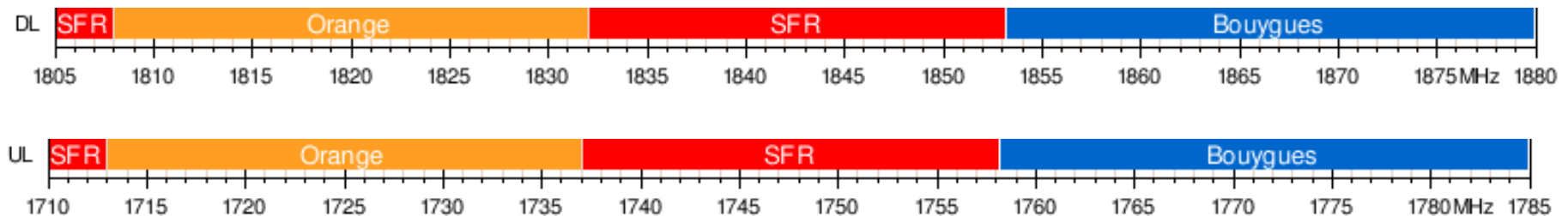
Autorité de Régulation

- En France, l'ARCEP (Autorité de Régulation des Communications Electriques et des Postes) gère le spectre radioélectrique :
 - <http://www.arcep.fr/>
- Anciennement ART (Autorité de Régulation des Télécommunications) :
 - <http://www.art-telecom.fr/>

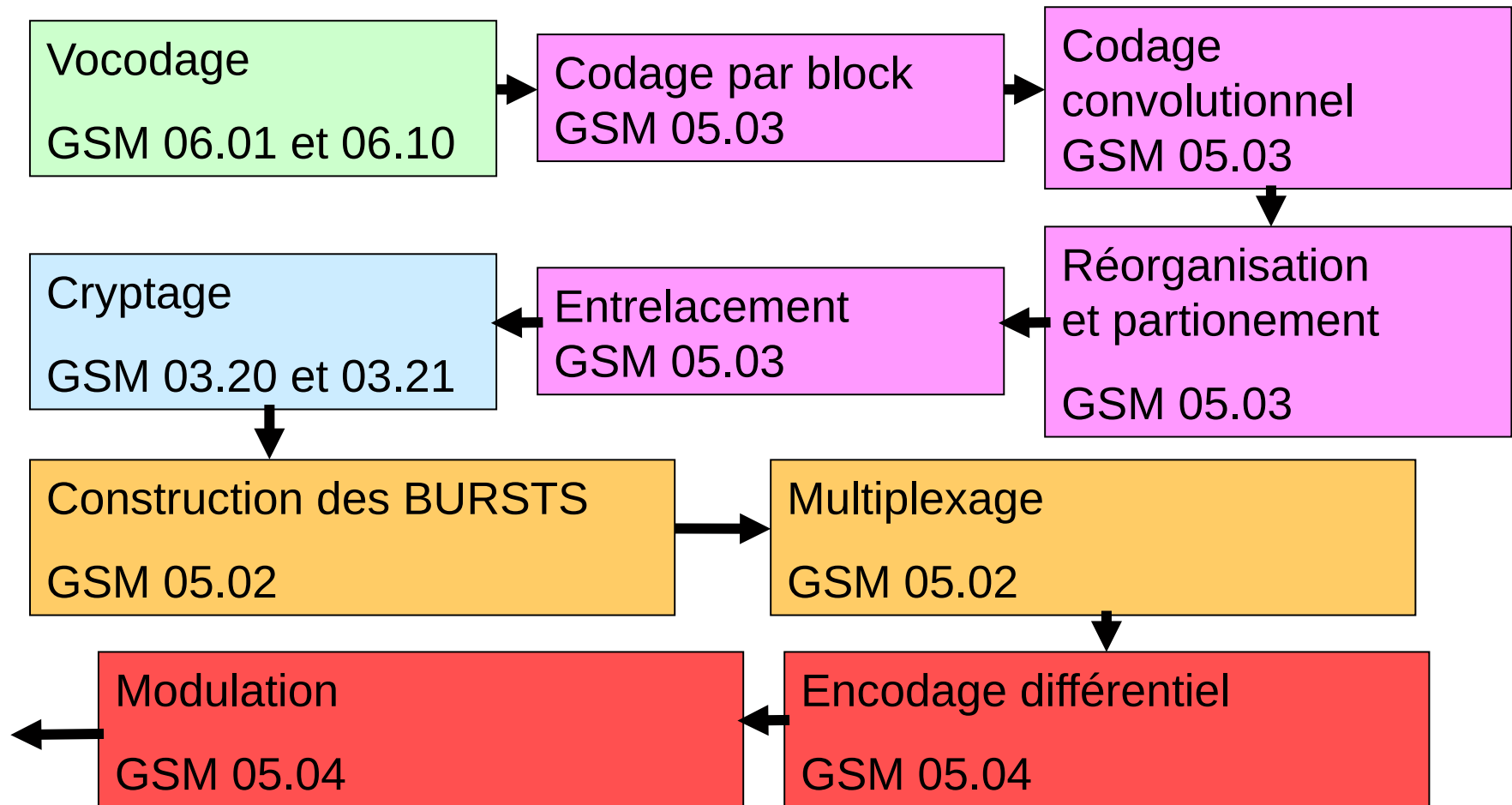
Répartition 2G en France en 2013



http://fr.wikipedia.org/wiki/Global_System_for_Mobile_Communications

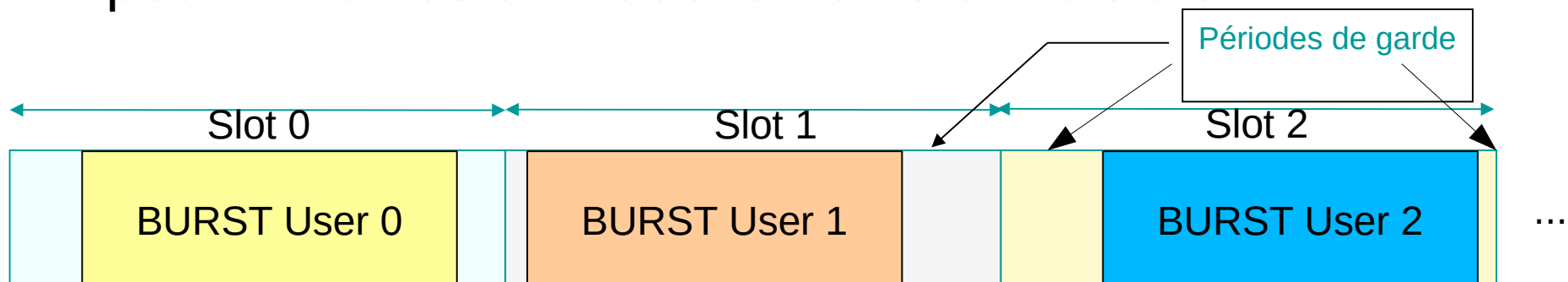


Chaine de transmission 2G



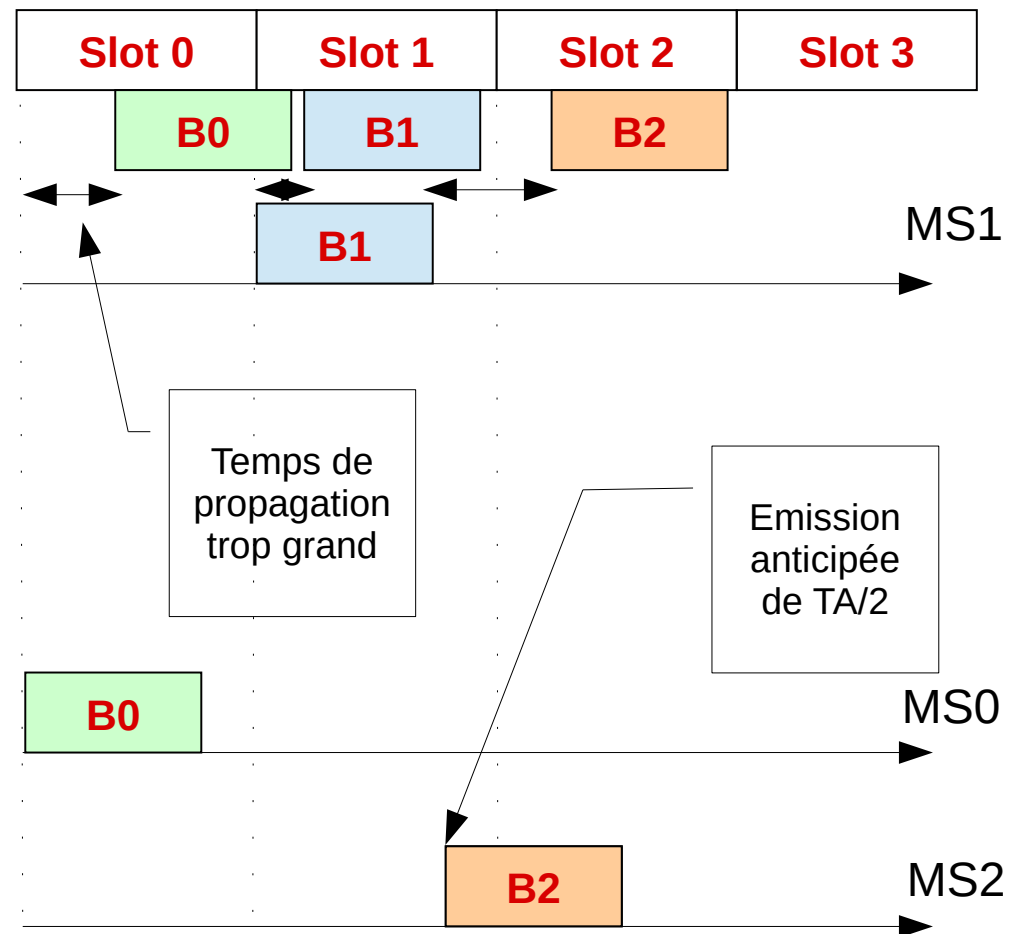
Durées élémentaires en 2G

- La durée d'un **ITE** est de $T = 48/13 \mu s$ (3,692 μs)
- Le taux de modulation est d'environ 270,833 Ksps
- La modulation utilisée est de type **GMSK** (1 ITE = 1 bit)
- La ressource radio élémentaire est un **SLOT** de 156.25 ITE pour une durée de 15/26 ms (0,577 ms)
- Un slot contient un **BURST** (c.à.d. les données)
- Une période de garde de 8,25 ou 68,25 bits est utilisée pour éviter les chevauchements entre slots



Le Timing Advance (TA)

- Compenser le temps de propagation du signal (env. 30 Km en 100 μ s)
- C'est pour cela que l'on a des périodes de garde
- Temps d'aller-retour entre le MS et la BTS
- Codé sur 6 bits
 - Valeurs entre 0 et 63
 - Unité en T_{ITE} (3,69 μ s)



Les bursts

- Chaque slot contient un des cinq bursts possibles (cf. GSM 05.02) :
- **Burst d'accès (AB)**
 - La période de garde de 68,25 bits autorise une distance de 35 Km.
 - Ce burst est utilisé sur le RACH et après un handover.
- **Burst normal (NB)**
 - Transport des infos. Sur les canaux de trafic et de contrôle (sauf RACH).
- **Burst de synchronisation (SB)**
 - Il transporte le numéro de trame TDMA (FN) et l'identité de la BTS (BSIC).
- **Burst de correction de fréquence (FB)**
 - La répétition des FB est aussi appelé canal de correction en fréquence (FCCH).
- **Burst de bourrage (DB)**

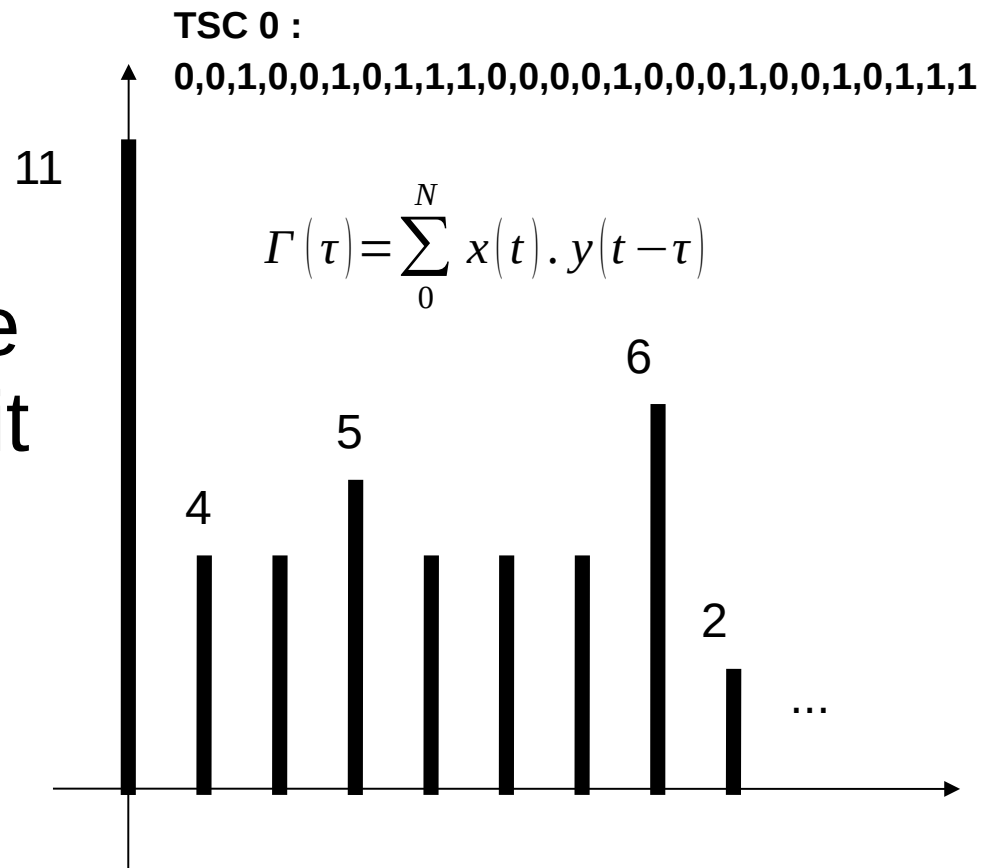
Burst d'accès (AB)

- Données : 36 bits
- Séquence d'apprentissage :
(0, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 1,
1, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0)

Tail	Séquence d'apprentissage	Données	Tail	Période de garde
8 bits	41 bits	36 bits	3 bits	68,25 bits

Les séquences d'apprentissage

- Les séquences d'apprentissage ont des propriétés spéciales d'**auto-corrélation** périodique qui sont mises à profit par l'égalisateur pour déterminer précisément **le début du burst**



Burst normal (NB)

- Taille : 148 bits (Tail : 0,0,0)
- Données 116 bits (cf. GSM 05.03)

Tail	Données	Séquence d'apprentissage	Données	Tail	Période de garde
3 bits	58 bits	26 bits	58 bits	3 bits	8,25 bits

Training Sequence Code (TSC)

0
1
2
3
4
5
6
7

Training sequence bits (BN61, BN62 ... BN86)

(0,0,1,0,0,1,0,1,1,1,0,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,1,0,1,1,1)
(0,0,1,0,1,1,0,1,1,1,0,1,1,1,0,0,0,1,0,1,1,0,1,1,1)
(0,1,0,0,0,0,1,1,1,0,1,1,1,0,1,0,0,1,0,0,0,0,1,1,1,0)
(0,1,0,0,0,1,1,1,1,0,1,1,0,1,0,0,0,1,0,0,0,1,1,1,1,0)
(0,0,0,1,1,0,1,0,1,1,1,0,0,1,0,0,0,0,0,1,1,0,1,0,1,1)
(0,1,0,0,1,1,1,0,1,0,1,1,0,0,0,0,0,1,0,0,1,1,1,0,1,0)
(1,0,1,0,0,1,1,1,1,1,0,1,1,0,0,0,1,0,1,0,0,1,1,1,1,1)
(1,1,1,0,1,1,1,1,0,0,0,1,0,0,1,0,1,1,1,0,1,1,1,1,0,0)

Burst de synchronisation (SB)

- Données : 78 bits
- Séquence d'apprentissage étendue :
(1, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 1,
0, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 1)

Tail	Données	Séquence d'apprentissage	Données	Tail	Période de garde
3 bits	39 bits	64 bits	39 bits	3 bits	8,25 bits

Burst de correction de fréquence (FB)

- Les données ne contiennent que des 0 soit un signal de fréquence constante $f_0 + 67,7 \text{ KHz}$ ($1625/24 \text{ KHz}$)

Tail	Données fixes	Tail	Période de garde
3 bits	142 bits	3 bits	8,25 bits

Burst de bourrage (DB)

- Les Bursts de bourrage (DB) sont utilisés pour les mesures de la qualité du lien radio.

(1, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 0,
0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 0,
0, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 0,
0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 1,
1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 0)

Tail	Données	Tail	Période de garde
3 bits	142 bits	3 bits	8,25 bits

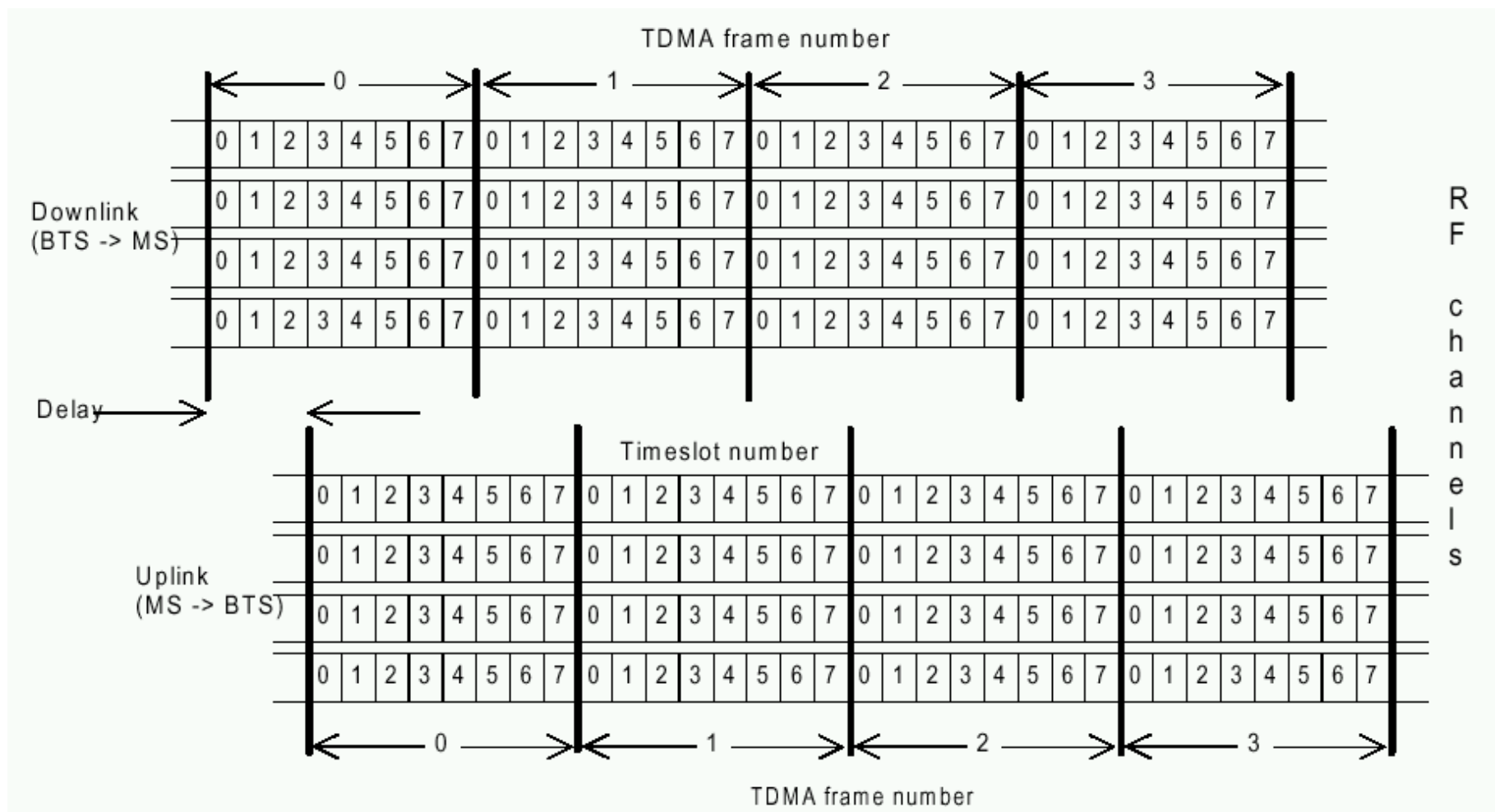
Trame TDMA

- Division en intervalles de temps IT (ou slots)
 - $T_{\text{slot}} = 0,5769 \text{ ms}$ (15/26 ms)
- Trame TDMA : Regroupement des slots par paquets de 8 :
 - $T_{\text{TDMA}} = 8.T_{\text{slot}} = 4,6152 \text{ ms}$ (60/13 ms)

0	1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---	---

- Chaque utilisateur utilise 1 slot par trame TDMA
- Un «canal physique» est la répétition périodique d'un slot dans une trame TDMA sur une fréquence particulière
- Possibilité de n'allouer qu'un slot toutes les 2 trames TDMA (canal physique demi-débit pour la parole)

Times slots et TDMA frames



GSM 05.02 page 51

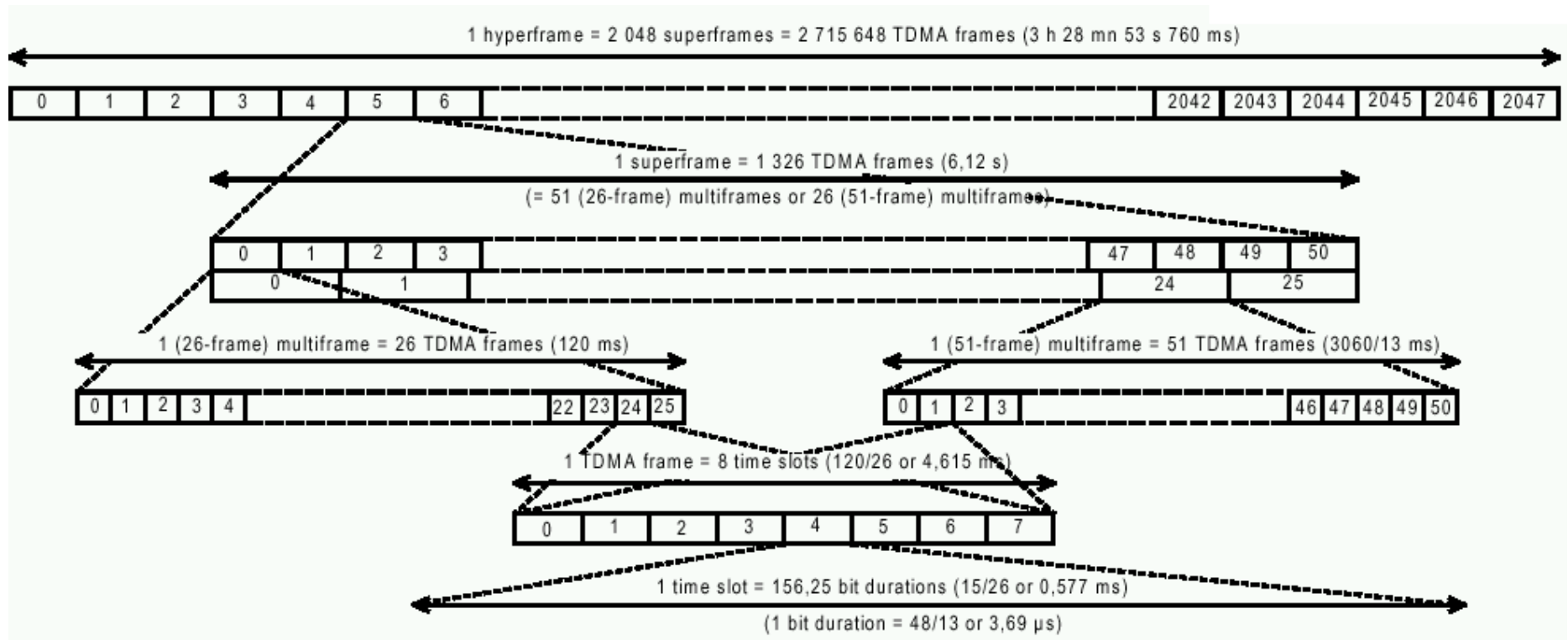
Hyper et super trames TDMA

- Les trames TDMA sont numérotées (FN)
 - 0 à 2 715 647 = $26 \times 51 \times 2048 - 1$
- La plus longue structure récurrente est une **HYPER-TRAME** qui dure 3 h 28 mn 53 s 760 ms (12 533,76 s)
- Chaque hyper-trame est divisée en 2 048 **SUPER-TRAMES** qui ont une durée de 6,12 s ($1326 T_{\text{TDMA}}$)

Multi-frames TDMA

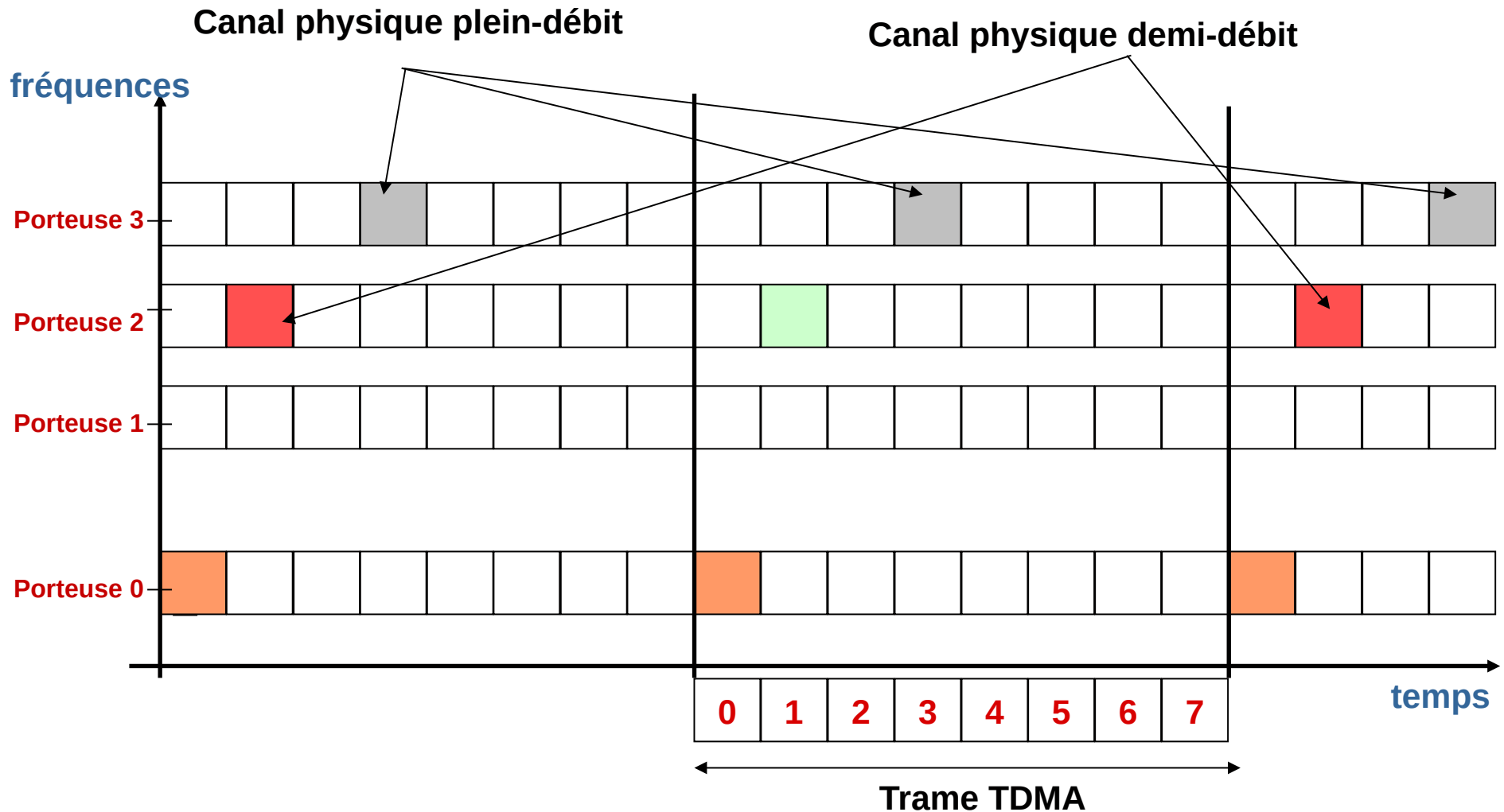
- Les super-frames sont elles même subdivisées en MULTI-TRAMES. Il y en a deux types :
 - **Multi-frame 26** (51 par super-trame) d'une durée de 120 ms, qui contient 26 trames TDMA. Cette multi-trame est utilisée pour transporter les canaux TCH et SACCH
 - **Multi-frame 51** (26 par super-trame) d'une durée de 235,4 ms (3 060/13 ms), qui contient 51 trames TDMA. Cette multi-trame est utilisée pour transporter les canaux BCCH, CCCH (NCH, AGCH, PCH et RACH) et SDCCH (SACCH/C)

Hyper, super, multi-frames

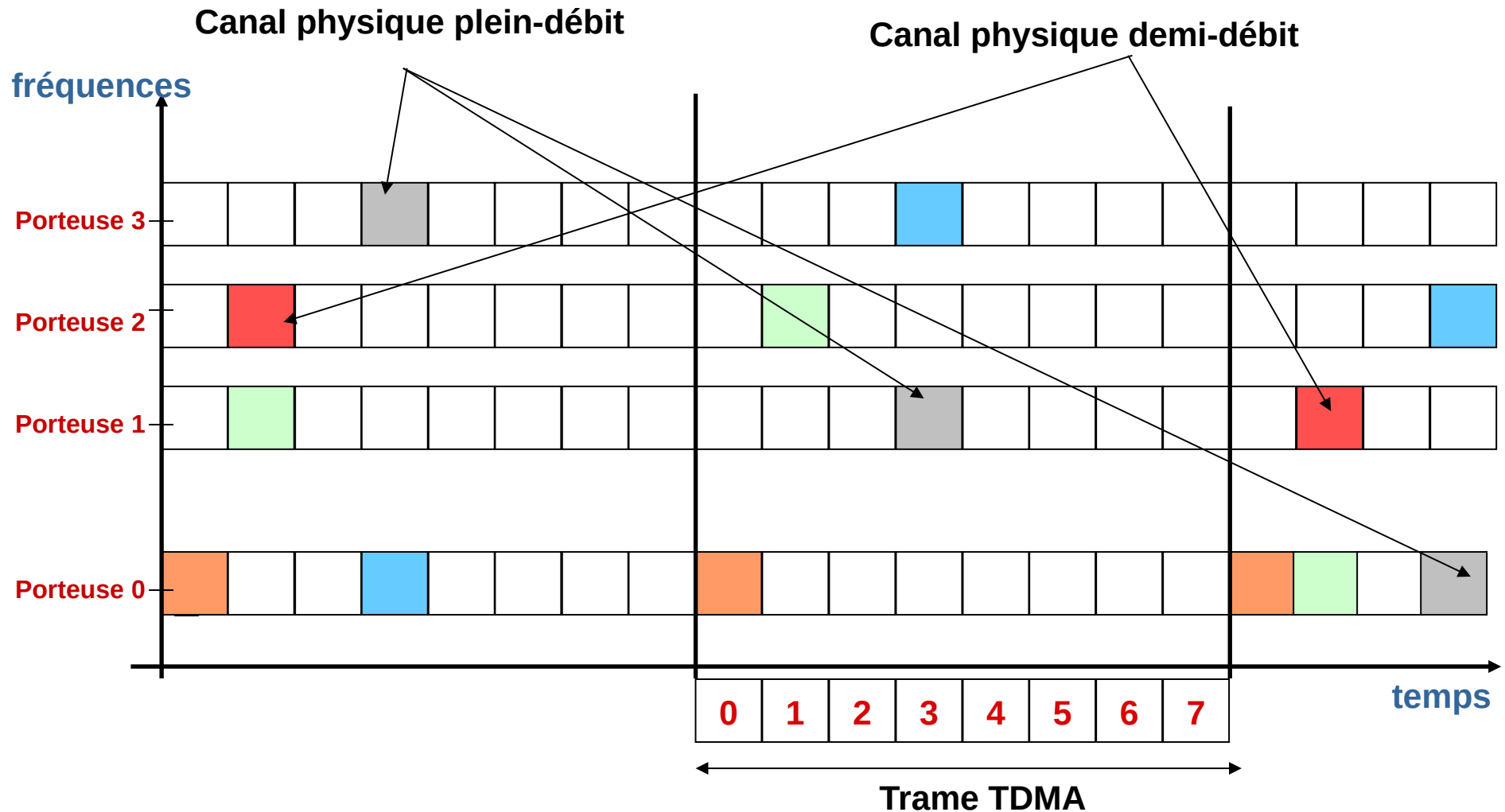


GSM 05.01 page 14

Transmission TDMA



Saut de fréquence



Les différents canaux 2G

- Numérotation :
 - Slot (TN), trame TDMA (FN), Canal RFCN
- 4 groupes de canaux :
 - **BCH** (Broadcast CHannel)
 - **CCCH** (Common Control CHannel)
 - **DCCH** (Dedicated Control CHannel)
 - **TCH** (Traffic CHannel)

Canaux BCH

- En diffusion Down link
 - **FCCH** (Frequency Correction CHannel)
 - **SCH** (Synchronization CHannel)
 - **BCCH** (Broadcast Control Channel)
 - Informations systèmes

Canaux CCCH

- **RACH** (Random Access CHannel) : Up link
 - Quand un MS demande une ressource radio
- **AGCH** (Access Grant CHannel) : Down link
 - Quand le « réseau » recherche un MS
 - **NCH** (Notification Channel)
 - **PCH** (Paging Channel)
- **CBCH** (Cell Broadcast Channel)
 - Messages courts

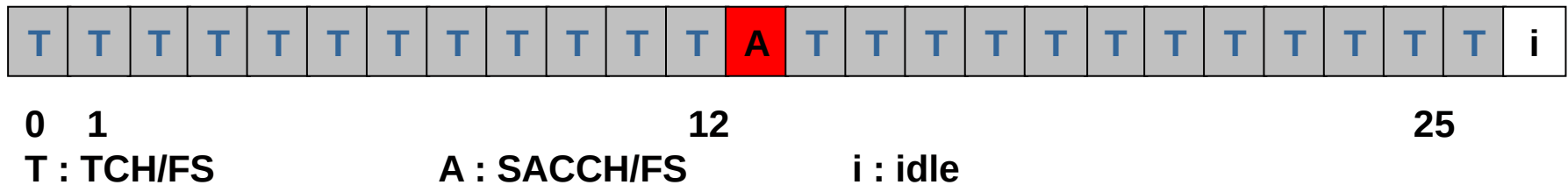
Canaux DCCH

- Transporte la signalisation
 - **SDCCH** (Stand-alone DCCH)
 - **FACCH** (Fast Associated DCCH)
 - **SACCH** (Slow Associated DCCH)

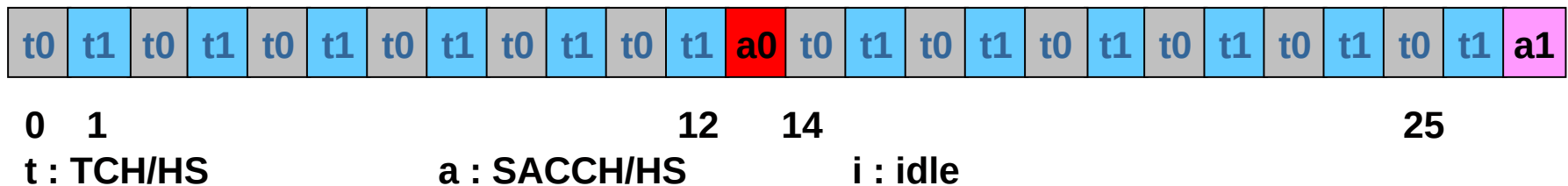
Canaux TCH

- Voix :
 - TCH/FS (Full Speech)
 - TCH/HS (Half Speech)
- Données :
 - TCH/F9.6, TCH/F4.8, TCH/F2.4 (plein débit)
 - TCH/H4.8, TCH/H2.4 (demi débit)

« Mappage » TCH



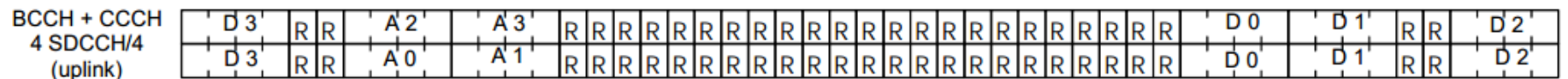
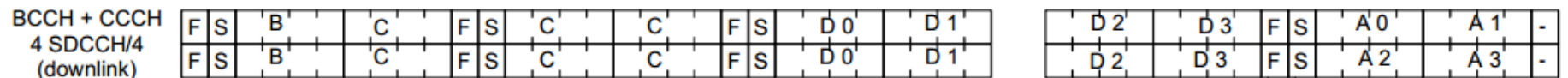
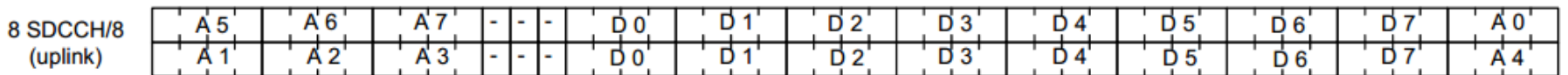
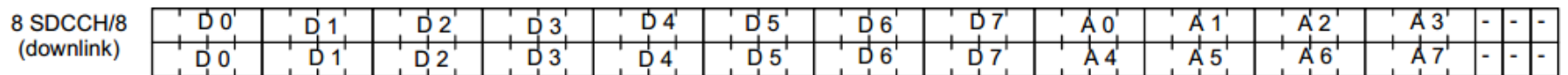
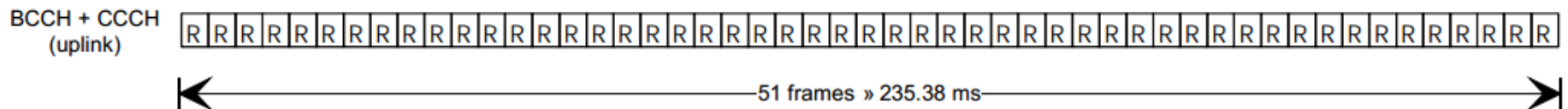
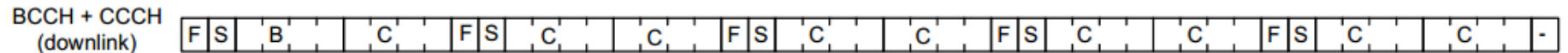
Multi-Trame 26 Full Speech



Multi-Trame 26 Half Speech

« Mappage » BCCH et CCCH

GSM 05.01 page 17



F: TDMA frame for frequency correction burst
B: TDMA frame for BCCH
D: TDMA frame for SDCCH

S: TDMA frame for synchronization burst
C: TDMA frame for CCCH
A: TDMA frame for SACCH/C

Codage et entrelacement

- Toutes les opérations de la norme GSM 05.03 sont faites blocs de données par blocs de données
- Un bloc de données représente en général 456 bits (288 dans le cas du Half Speech)
- Le codage et l'entrelacement sont différents suivant les canaux logiques
- L'exemple suivant donne les étapes du canal TCH/EFS (EFR : Enhanced Full Rate)

Etapes de génération TCH/EFS

Trame voix EFR (Données S) : 244 bits

CRC + répétition (Données W) : 260 bits

Code cyclique + tail (Données U) : 267 bits

Code convolutionnel 1/2, 2 classes (Données C) : 456 bits

Entrelacement (Données I) : 8 blocs de 57 bits

Mapping (Données E) : Paires de blocs

Le vocoder

- Le vocodeur est défini par la recommandation GSM 06.10.
- Il est du type **RPE-LTP** (Regular Pulse Excitation - Long Term prediction).
- Le vocoder attend 160 échantillons PCM (Pulse Coded Modulation) de 13 bits.
- Le débit de sortie au débit nominal est de 13 Kbps (260 bits/20 ms).
- Plutôt que de coder l'allure de l'enveloppe du signal vocal, le vocodeur analyse le signal à court et long terme au travers de filtres numériques récurifs excités par 13 impulsions de référence.

Evolution du transport de données

- La limitation du débit données pour GSM à 9.6 Kbps (TCH/F9.6) est un frein au développement des services de type Internet mobile et WAP (Wireless Application Protocol)
- Développement du réseau de données :
 - **HSCSD** : High Speed Circuit Switching Data
 - **GPRS** : General Packet Radio Service
 - **EDGE** : Enhanced Data for GSM Evolution
 - **UMTS** : Universal Mobile Telecommunication System
 - **HSPA** : High-Speed Packet Access
 - **LTE** : Long Term Evolution
 - **5G-NR** : 5G New Radio

CSD et HSCSD

- La 2G offre un débit de données de 9.6 Kbps par une technique de commutation de circuit (**CSD**, Circuit Switching Data) :
 - Réservation d'un time slot pendant la **durée complète** de la communication même si aucune donnée n'est transmise.
- Le système **HSD** (High Speed Data) utilise un système de codage légèrement différent qui permet d'aller jusqu'à 14.4 Kbps (cf. GSM 02.34 et GSM 03.34).
- La version **HSCSD** (High Speed Circuit Switching Data) utilise **4 time slot** :
 - Soit 38.4 Kbps avec 9.6 Kbps/slot et 57.6 Kbps en HSD

GPRS

- General Packet Radio Service
 - Normes GSM 0x.6x
 - GPRS phase 1 (1997)
 - GPRS phase 2 (1999)
- Le premier déploiement date de 2002
- Le déploiement de GPRS n'est pas seulement destiné aux réseaux de type GSM
- GPRS est un système à **commutation de paquets**
- GPRS utilise les **time slot** à la demande de façon dynamique (pas de réservation permanente comme pour la voix)

Débits GPRS

- Il y a quatre schémas de codage (GSM 03.64)
- **CS-1** : 181 bits.
 - 9.05 Kbps/slot soit 72.4 Kbps/8 slots
- **CS-2** : 268 bits.
 - 13.04 Kbps/slot soit 107.2 Kbps/8 slots
- **CS-3** : 312 bits.
 - 15.6 Kbps/slot soit 124.8 Kbps/8 slots
- **CS-4** : 428 bits.
 - 21.4 Kbps/slot soit 171.2 Kbps/8 slots

Support du GPRS

- Les terminaux ne seront pas capables de traiter **8 time slot** dans les deux sens du fait des coûts de traitements numérique nécessaires et de la consommation en puissance au niveau de l'émission
- La documentation technique indique le nombre de slots UL et DL
 - GPRS 3+1 : 1 TS UL et 3 TS DL
 - GPRS 4+2 : 2 TS UL et 4 TS DL

EDGE

- C'est une évolution de l'interface air
- Taux de modulation $1625/6=270,833$ Kbaud.
- Modulation **8PSK** : 3 bits par symbole.
 - ITE : 812,5 Kbps (59.2 Kbps par time slot).
- EDGE Evolution (release 7) :
- Modulation **16QAM** : 4 bits par symbole.
 - ITE : 1083,3 Kbps
- Modulation **32QAM** : 5 bits par symbole.
 - ITE : 1354,2 Kbps

Débits EDGE

- CSD et GPRS sur EDGE sont appelés :
 - Enhanced CSD et Enhanced GPRS (05.01)

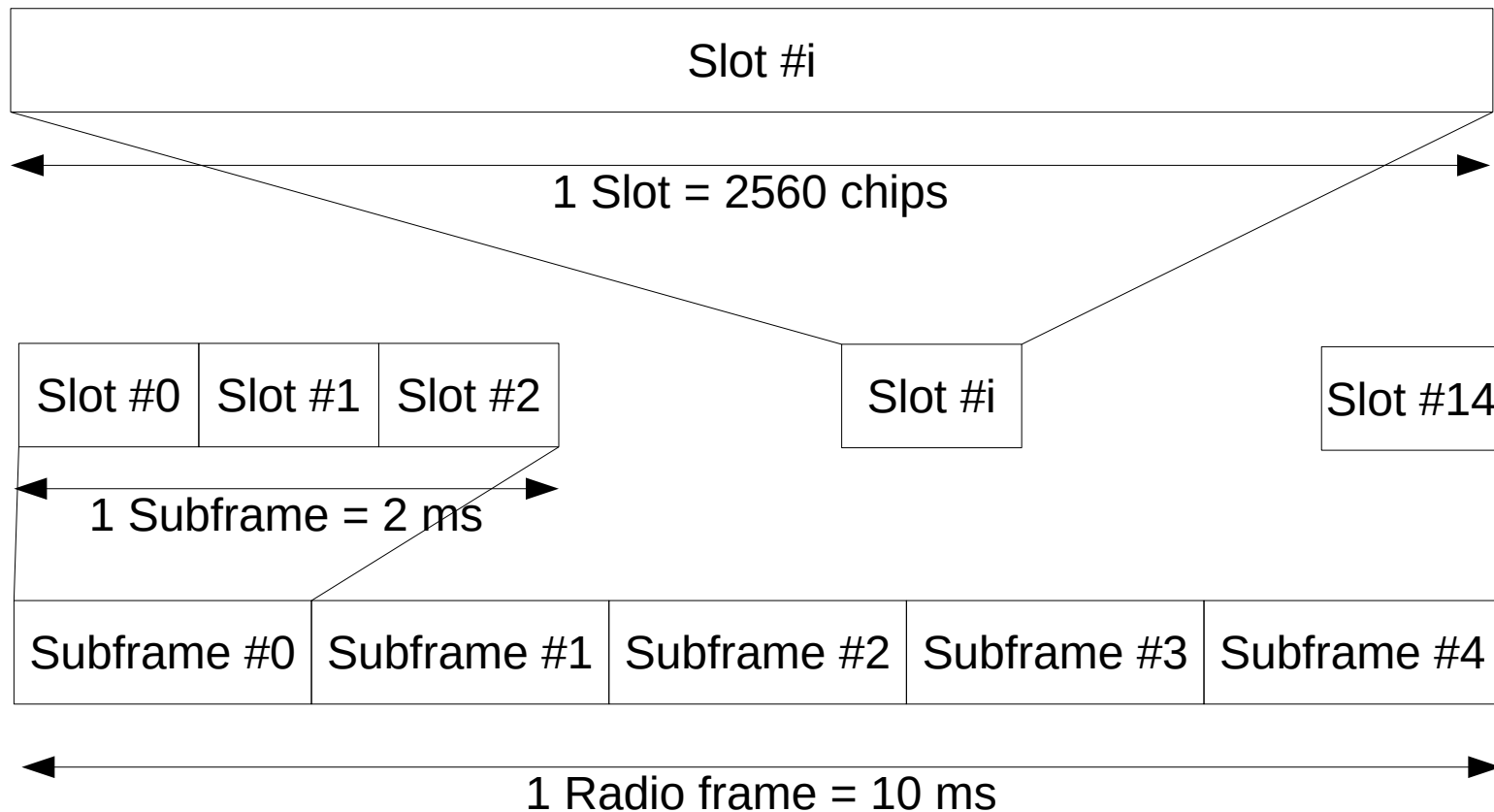
Schéma	Taux de codage	Famille	Débit (Kbps)
MCS-9	1,0	A 8PSK	59,2
MCS-8	0,92	A 8PSK	54,4
MCS-7	0,76	B 8PSK	44,8
MCS-6	0,49	A 8PSK	29,6/27,2
MCS-5	0,37	B 8PSK	22,4
MCS-4	1,0	C GMSK	17,6
MCS-3	0,85	A GMSK	14,8/13,6
MCS-2	0,66	B GMSK	11,2
MCS-1	0,53	A GMSK	8,8

Signaux radio 3G

- **FDD** (TS 25.101, 25.211, 25.213)
- **TDD** (TS 25.102, 25.221, 25.223)
- Trame radio de **10 ms** (15 slots)
 - Contrôle de puissance à chaque slot
- Plusieurs bandes de fréquence (26 en FDD et 8 en TDD)
 - 850MHz, 1700MHz, 1900 MHz, 2100MHz, 2500 MHz, 2600 MHz, 3500 MHz...
 - **UARFCN** : $N=5*(F-F_{offset})$ avec F en MHz
- Filtre **cosinus surélevé** (0,22)
- Codage canal :
 - Pas de protection
 - Codage convolutif 1/2 ou 1/3
 - Turbo code 1/3

Format des trames FDD

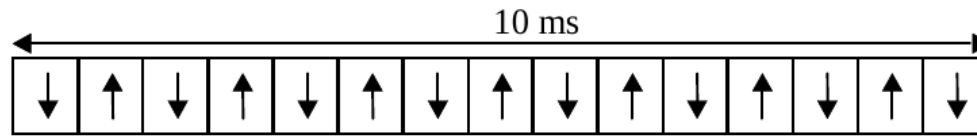
3GPP TS 25.211



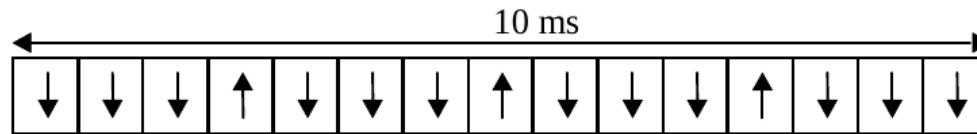
Format des trames TDD

3GPP TS 25.221

- Au moins 1 TS Downlink et 1 TS Uplink



Multiple-switching-point configuration (symmetric DL/UL allocation)



Multiple-switching-point configuration (asymmetric DL/UL allocation)

Time Slot ($2560 \cdot T_c$)



1 Radio frame = 10 ms

Canaux 3G

- **DCH** : Dedicated Channel (UL)
- **BCH** : Broadcast Channel (DL)
- **FACH** : Forward Access Channel (DL)
- **PCH** : Paging Channel (DL)
- **RACH** : Random Access Channel (UL)
- **USCH** : Uplink Shared Channel (UL)
- **DSCH** : Downlink Shared Channel (DL)

Canaux physiques

- **DPDCH** : Dedicated Physical Data Channel
- **DPCCH** : Dedicated Physical Control Channel
 - **TPC** : Transmit Power-Control
 - **FBI** : FeedBack Information
 - **TFCI** : Transport-Format Combination Indicator
- **S-DPCCH** : Secondary Dedicated Physical Control Channel
- **PRACH** : Physical Random Access Channel
- ...

3G FDD

- Norme 3GPP 25.213
- Accès multiple W-CDMA
- Modulation à 3,84 Mcps
- Largeur de bande 5 MHz
- **OVSF** : Orthogonal Variable Spreading Factor
 - Facteur d'étalement 256 à 4 (UL)
 - Facteur d'étalement 512 à 4 (DL)

3G TDD

- Norme 3GPP 25.223
- Accès multiple TDMA
- Modulations :
 - QPSK, 16QAM : 3,84 Mcps
 - Largeur de bande 5 MHz, SF de 1 à 16
 - QPSK, 8PSK, 16QAM : 1,28 Mcps
 - Largeur de bande 1,6 MHz, SF de 1 à 16
 - QPSK, 16QAM : 7,68 Mcps
 - Largeur de bande 10 MHz, SF de 1 à 32

Codes CDMA

- 2 types de codes sont utilisés
 - **Channelisation** codes et **Scrambling** codes
- Première étape : **Channelisation** (canaux)
 - Transforme chaque bit en SF chips (**SF** : Spreading Factor) : bit à 0 => +1 et bit à 1 => -1
 - Données I et Q multipliées par un code **OVSF**
- Deuxième étape : **Scrambling** (brouillage)
 - Appliqué au signal complexe (I+jQ)

Codes OSVF

- **OSVF** : Orthogonal Variable Spreading Factor
- Notation $C_{ch,SF,k}$
 - Numéro de canal : ch
 - Facteur d'étalement : SF (puissance de 2)
 - Numéro du code : k ($0 \leq k \leq SF-1$)
- $C_{ch,1,0} = 1$

$$\begin{bmatrix} C_{ch,2,0} \\ C_{ch,2,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{ch,1,0} & C_{ch,1,0} \\ C_{ch,1,0} & -C_{ch,1,0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

FDD Uplink Scrambling codes

- Codes courts ou code longs
- Nombre de codes : $2^{24}=16777216$

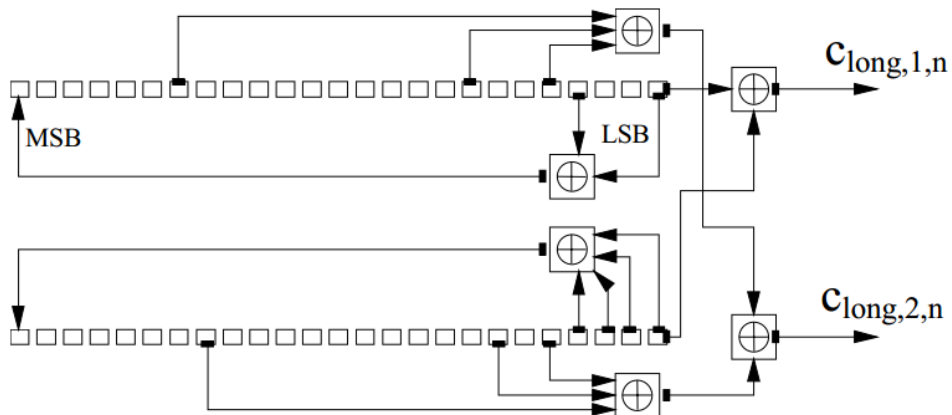


Figure 5: Configuration of uplink scrambling sequence generator

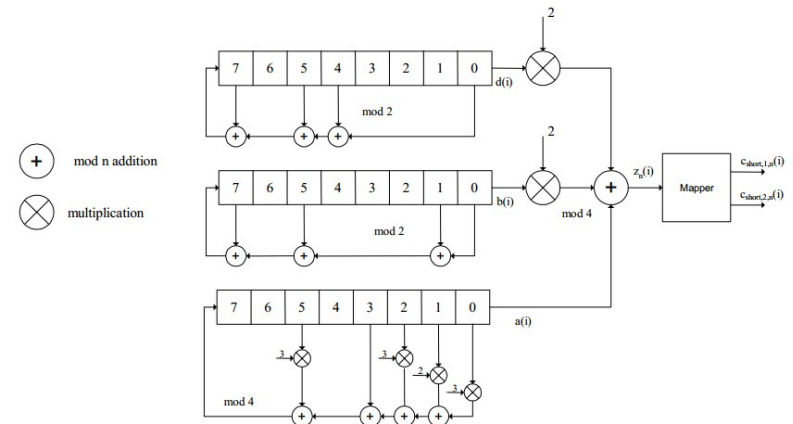
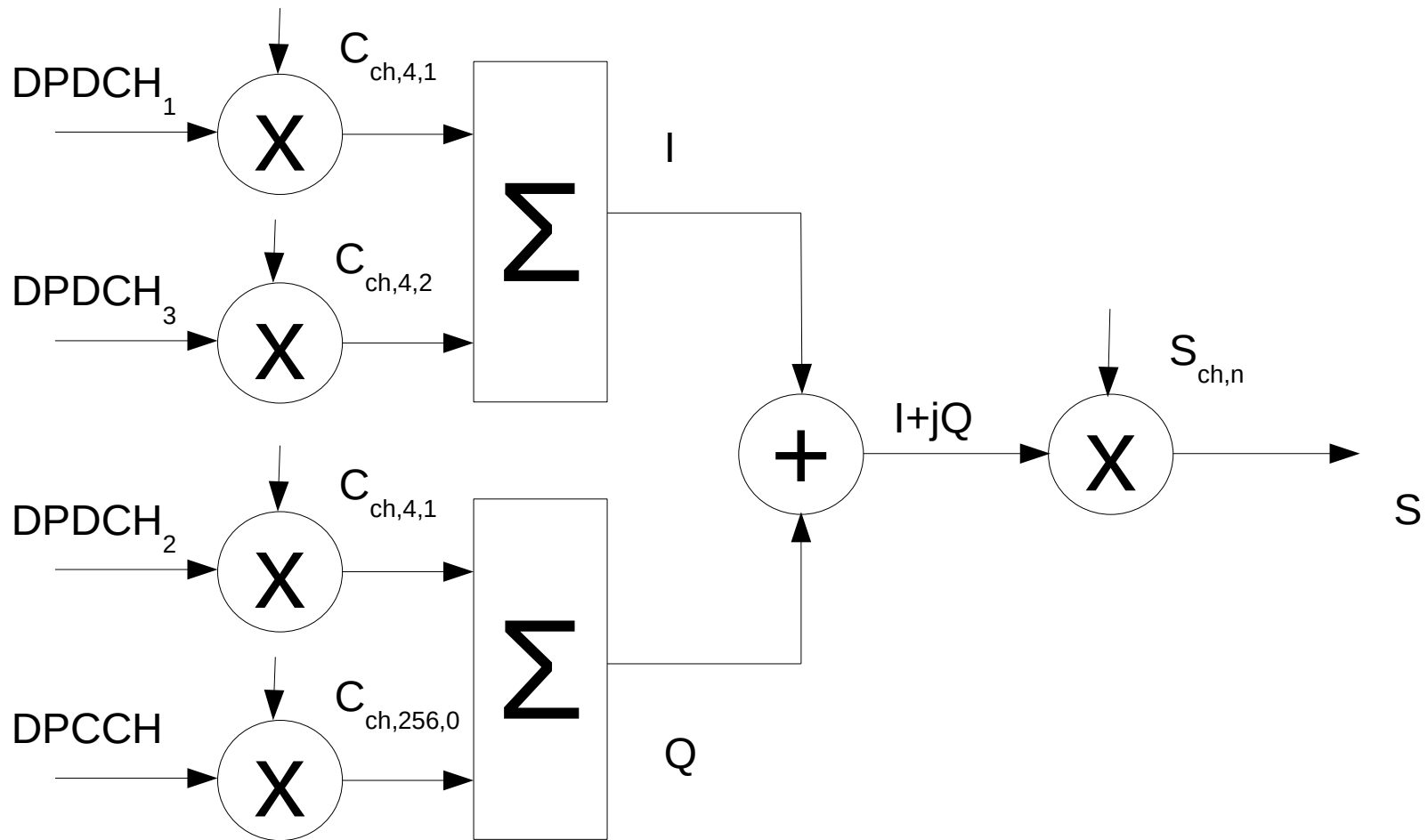
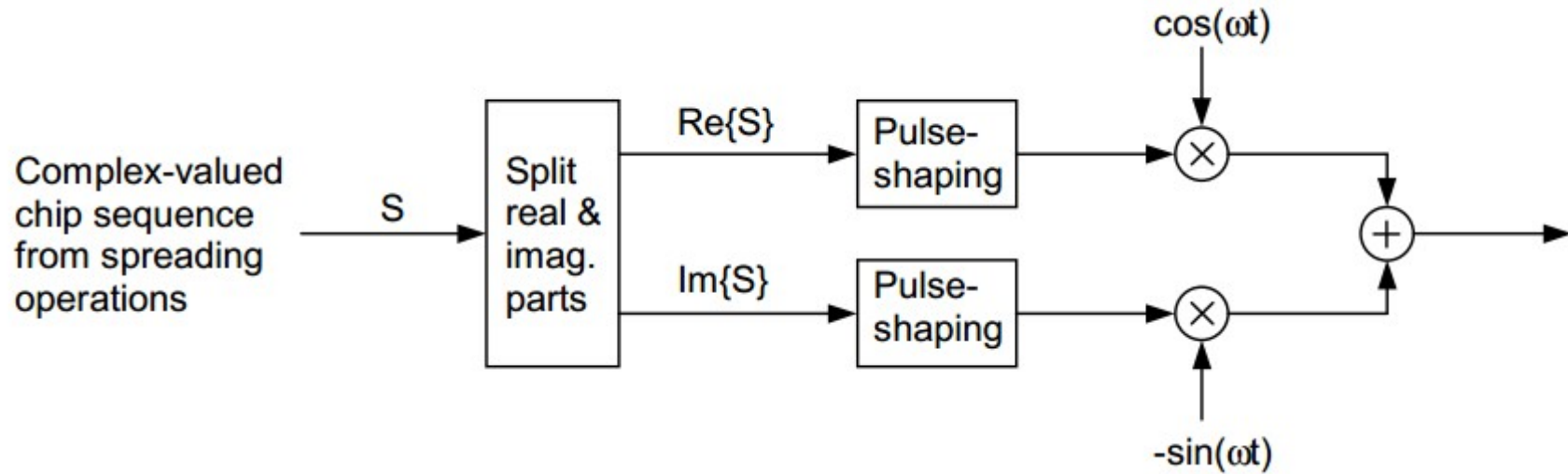


Figure 6: Uplink short scrambling sequence generator for 255 chip sequence

Exemple pour DPDCH et DPCCH

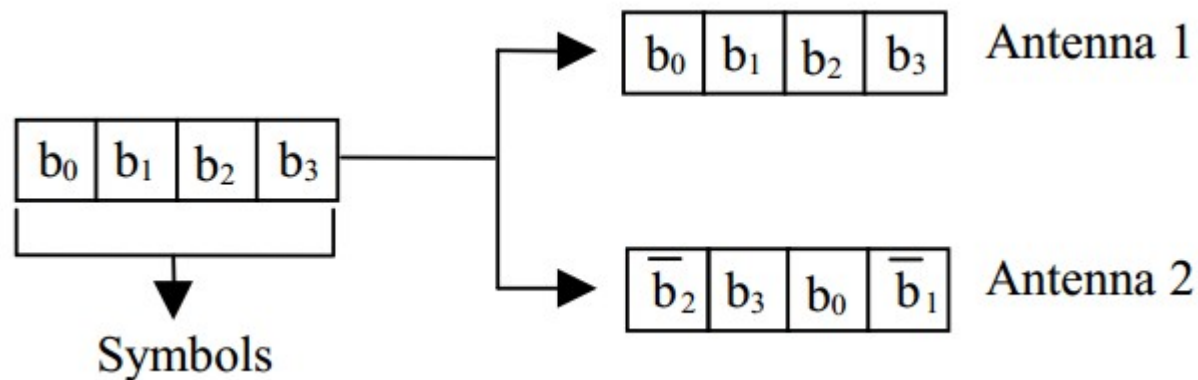


Modulation IQ

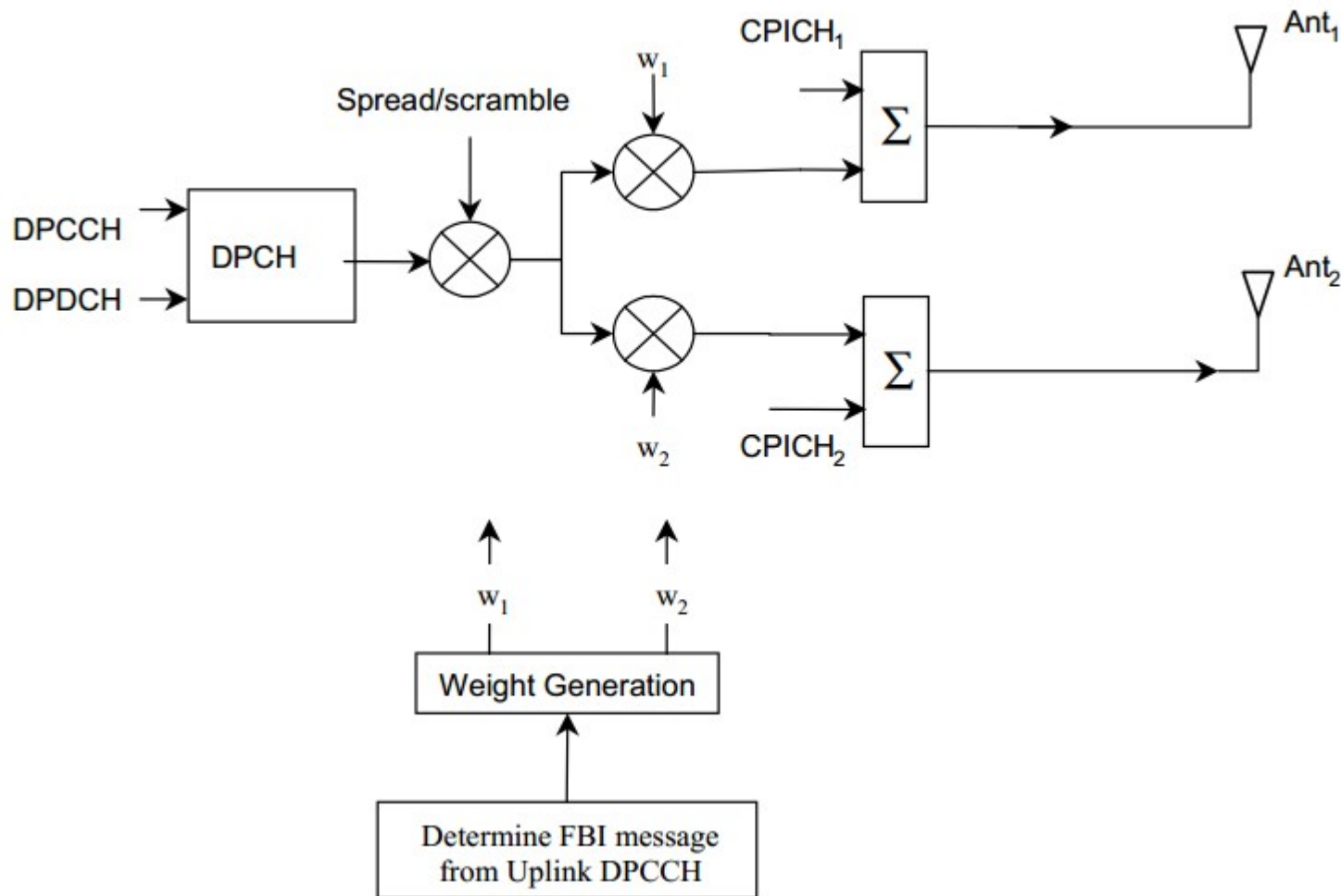


Downlink diversity

- **CLTD** : Closed Loop Transmit Diversity
- **TSTD** : Time Switched Transmit Diversity
- **STTD** : Space Time block coding based Transmit antenna Diversity
- Exemple STTD en QPSK :



Closed Loop Transmit Diversity



HSDPA (H)

- High-Speed Downlink Packet Access
- UMTS [Release 5](#)
- Downlink : jusqu'à **14,4 Mbps**
- Uplink : **384 Kbps**
- **AMC** : Adaptive Modulation and Coding
 - QPSK, 16 QAM
- **HARQ** : Hybrid automatic repeat-request
 - Redondance incrémentale (données transmises avec plusieurs codes)
- Canal **HS-DSCH** partagé entre utilisateurs
 - HS-SCCH, HS-DPCCH et HS-PDSCH
- Ordonnancement rapide des paquets
- Mai 2007 : (102 réseau HSDPA sur 55 pays)

HARQ

- Lorsqu'un paquet reçu par le mobile est erroné, celui-ci le garde en mémoire
- A la retransmission du paquet par le réseau, la combinaison des paquets reçus permet au mobile de retrouver plus facilement les données (même si le paquet retransmis contient lui aussi des erreurs)

Ordonnancement rapide des paquets

- **HS-PDSCH** : High Speed-Physical Downlink Shared Channel (DL)
 - Canal « mappé » sur HS-DSCH
- **HS-DPCCH** : High Speed-Dedicated Physical Control Channel (UL)
 - Mesures CQI (channel quality indicator)
 - Acquittements des paquets reçus par l'utilisateur
- Le réseau utilise ces informations pour déterminer la taille des données à transmettre à chaque mobile
- **HS-SCCH** : High Speed-Shared Control Channel (DL)
 - Informe l'utilisateur que des données vont lui être envoyées, sur le canal HS-DSCH, dans les 2 slots suivants

HSUPA (H)

- High-Speed Uplink Packet Access
- UMTS Release 6
- Downlink : jusqu'à 14,4 Mbps
- Uplink : jusqu'à 5,76 Mbps
- Ordonnanceur de paquet avec le principe de « Request-Grant »
- **E-DCH** : Enhanced Dedicated CHannel (UL)
- **E-AGCH** : Access Grant Channel
- **E-RGCH** : Relative Grant Channel
- **F-DPCH** : Fractional-DPCH
- **E-HICH** : E-DCH Hybrid ARQ Indicator Channel
- **E-DPCCH** : E-DCH Dedicated Physical Control Channel
- **E-DPDCH** : E-DCH Dedicated Physical Data Channel

HSPA Evolved (H+)

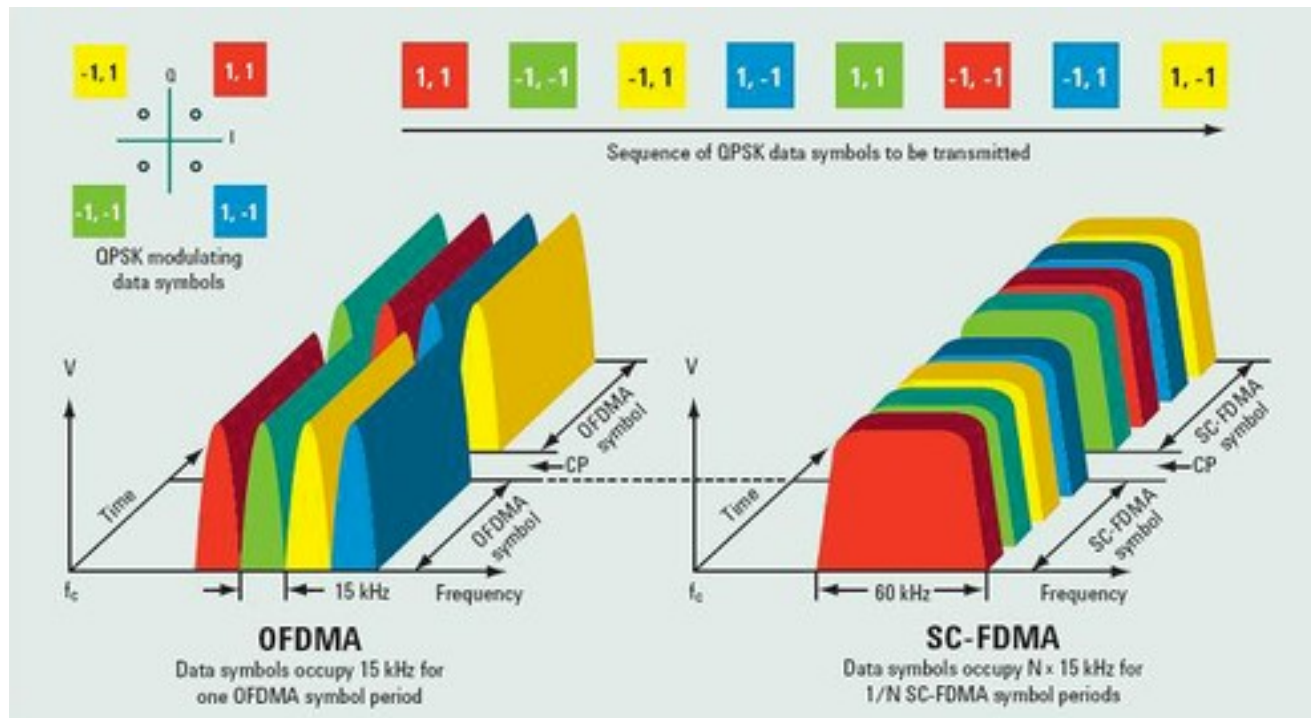
- UMTS Release 7
- Downlink : jusqu'à 42 Mbps
- Uplink : jusqu'à 11,5 Mbps
- Technologie à antennes multiples
- **MIMO** : Multiple-input multiple-output communications (MIMO 2x2)
- Beam forming (focalisation des ondes sur le récepteur)

LTE (HSOPA)

- Long Term Evolution
- High Speed OFDM Packet Access
- UMTS Release 8
- Downlink : jusqu'à 326,4 Mbps (MIMO 4x4)
- Uplink : jusqu'à 86,4 Mbps (20 MHz)
- Nouvelle « interface air »
- **OFDMA** (Downlink) et **SC-FDMA** (Uplink)
- Bande de fréquence de 1,25 à 20 Mhz
- Supporte environ 10 fois plus d'utilisateurs que W-CDMA
- Nécessite moins de puissance de calcul sur les UE.

OFDMA et SC-FDMA

- SC-FDMA (uplink) avec FFT en plus ce qui minimise PAPR (Peak-to-Average Power Ratio)



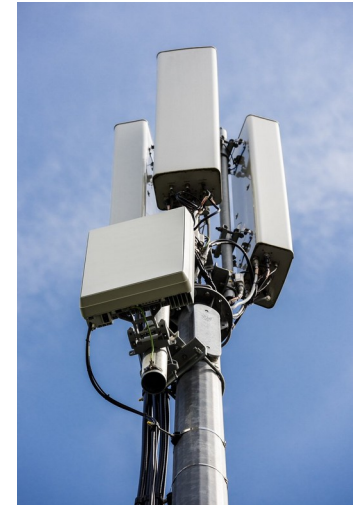
<https://fr.wikipedia.org/wiki/SC-FDMA>

LTE Advanced (4G)

- UMTS Release 9-10...
- Système 4G
- Downlink : jusqu'à 1Gbps (MIMO 8x8)
- Uplink : jusqu'à 500 Mbps
- Bande passante modulable jusqu'à 100 MHz
- **Carrier Aggregation** : 5 CC release 13
- **eUTRAN** (Evolved UTRAN) et eNode B
- **EPC** (Evolved Packet Core)
- **VOLTE** : Voice Over LTE

LTE-A Pro (4G+)

- 3GPP release 13 et 14
- Débit 3 Gbps
- 256 QAM
- 32 carrier aggregation
- Massive MIMO (plus de 64x64 antennes)
 - Double polarisation



5G NR

- 3GPP TS 38.xxx - release 15 et plus
- Device to Device (D2D) communication
- Frequency Range :
 - **FR1** : En dessous de 6 GHz
 - **FR2** : 6 GHz et plus (Ondes millimétriques)
 - Portée plus faible (très atténuées : murs, précipitations)
- 3300 sous-porteuses max. sur 400 MHz
- 5 intervalles sous-porteuses :
 - 15, 30, 60, 120 et 240 KHz
 - CP (Cyclic Prefix) = $4,7 \text{ us} * (15/\Delta F_{\text{KHz}})$
- Codage canal : **LDPC** (Low-Density Parity-Check)

Références

- <http://www.3gpp.org/>
- <http://fr.wikipedia.org/>