



# De l'étalement de spectre au W-CDMA

Jean-Marie Gorce  
CITI, INSA Lyon

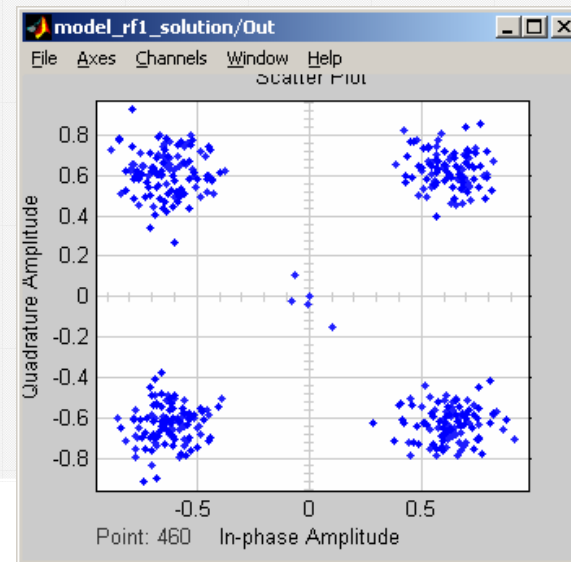
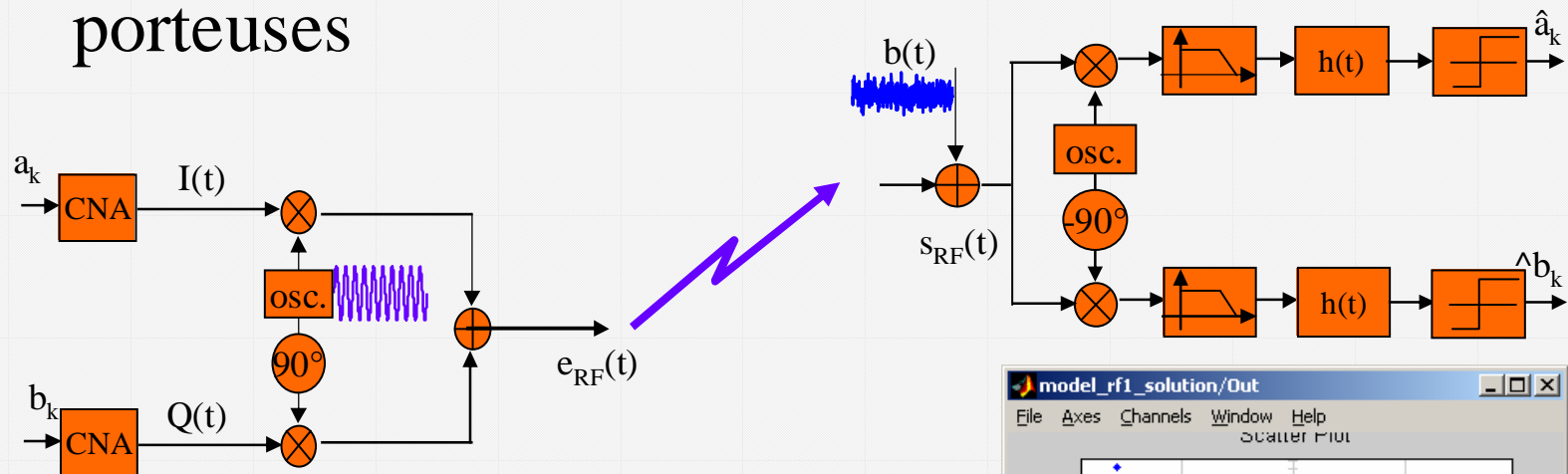
---

# I- Le DS-SS

- DS-SS : direct sequence spread spectrum  
*étalement de spectre à séquence directe*
  - 1- Rappels sur la transmission
  - 2- Technique d'étalement de spectre
  - 3- Propriétés du DS-SS
  - 4- La couche physique de IEEE802.11b

# I-1. Rappels de transmission

## ■ Modulation QPSK à 2 porteuses



# I-2. Principes du DS-SS

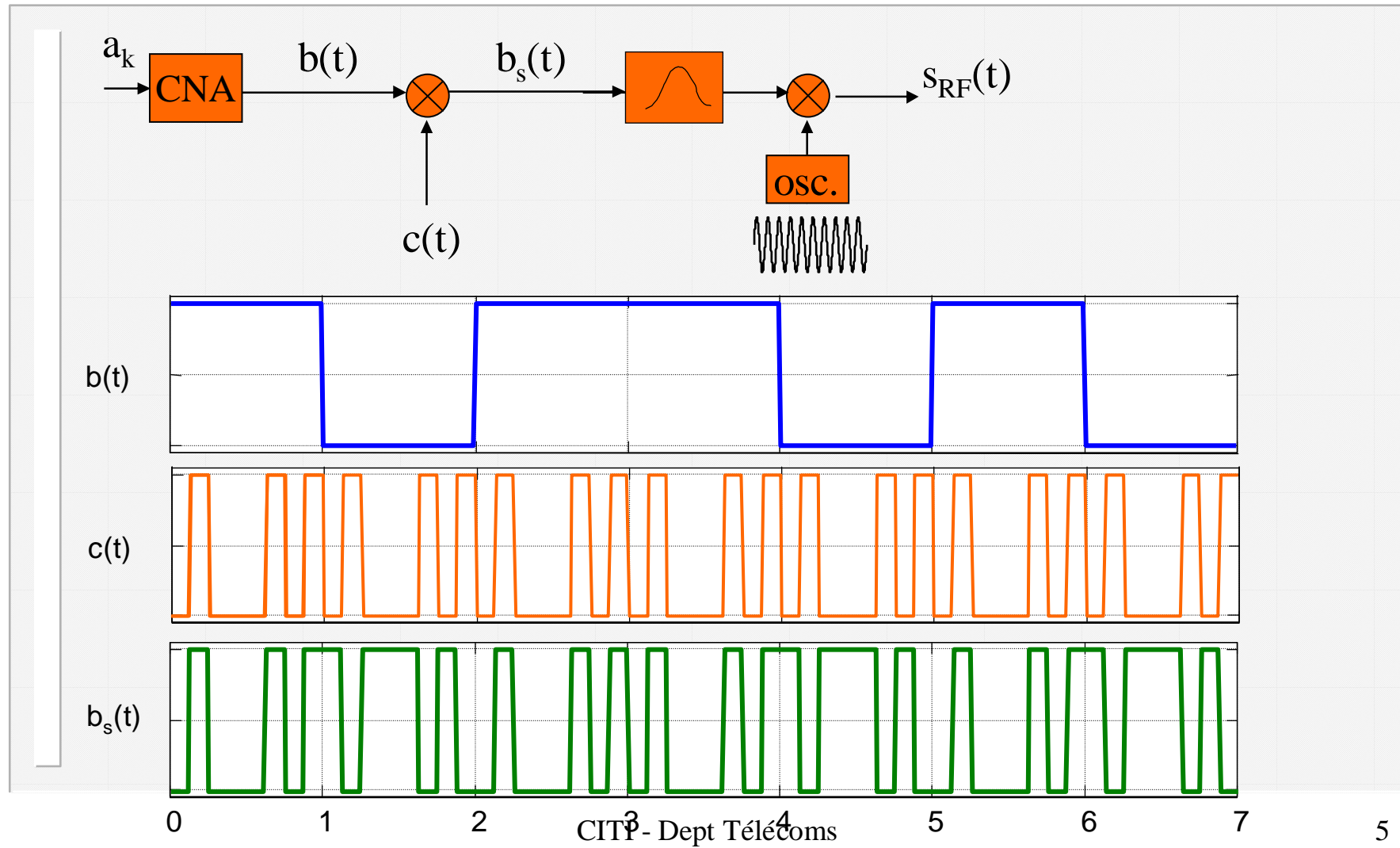
- **DS-SS**

**= Direct Sequence Spread Spectrum**

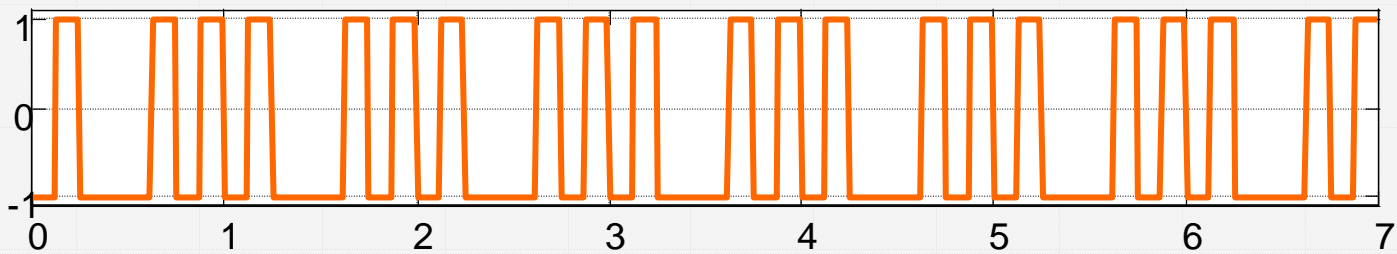
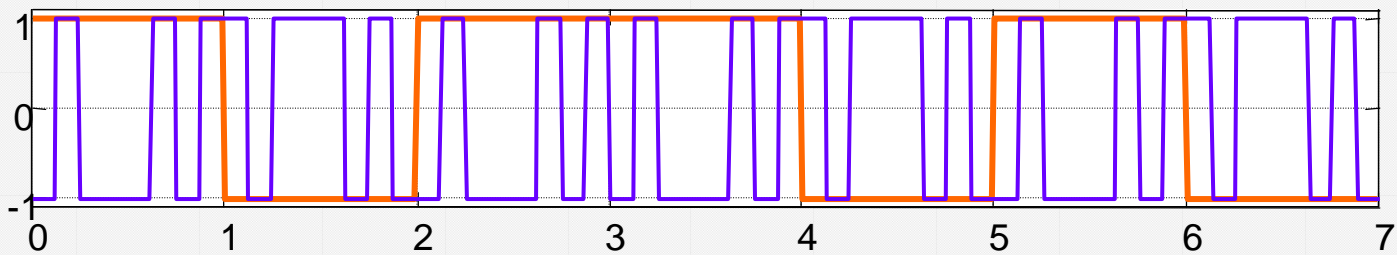
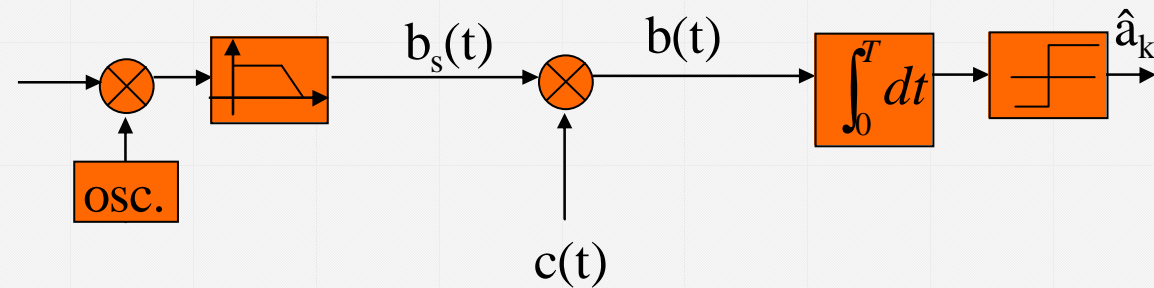
*étalement de spectre par séquence directe*

- Le codeur
- Le décodeur
  - corrélateur
  - matching filter
  - phaseur

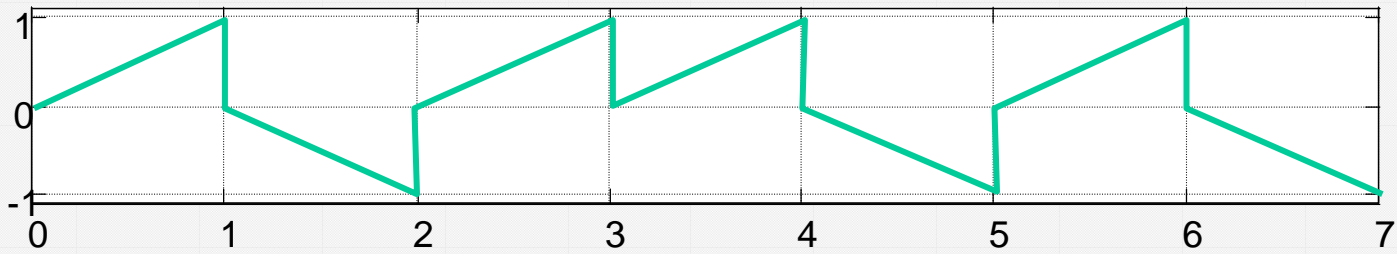
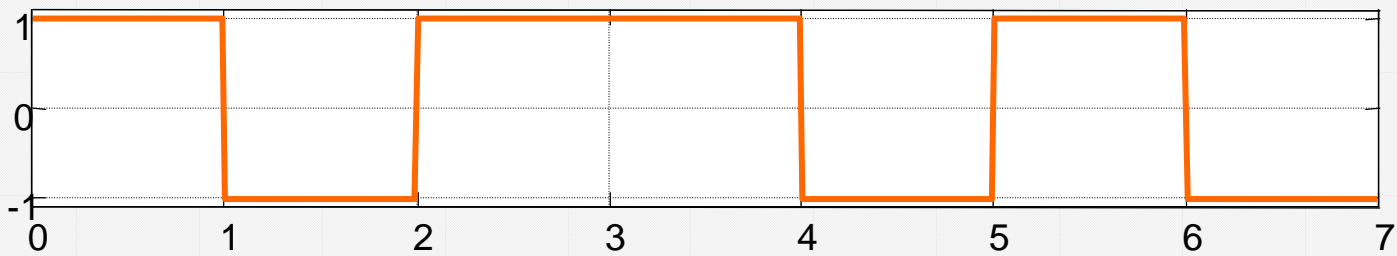
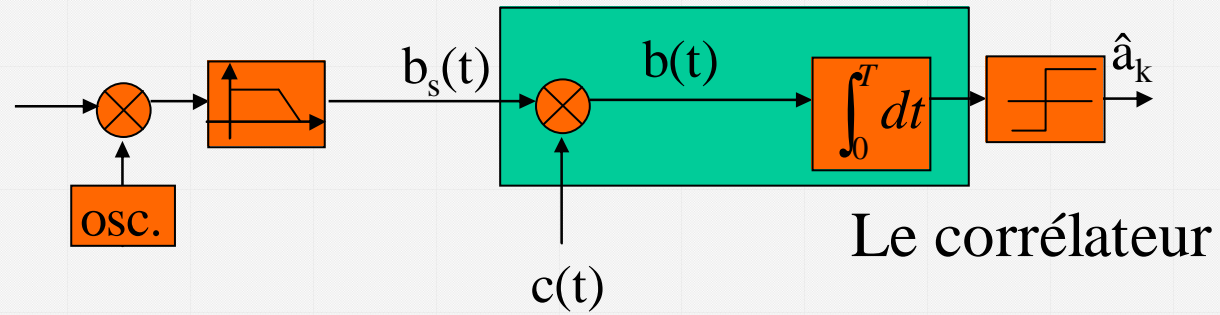
# a) le codeur

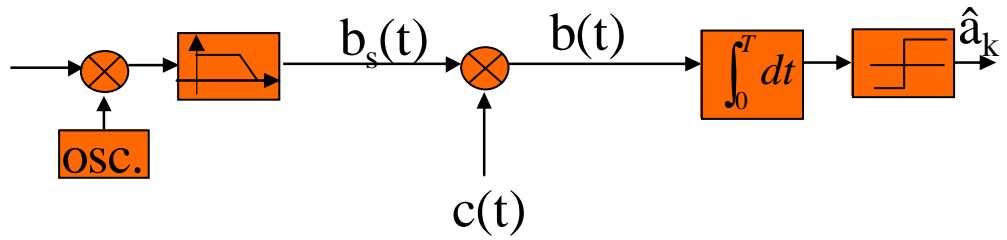


## b) le décodeur



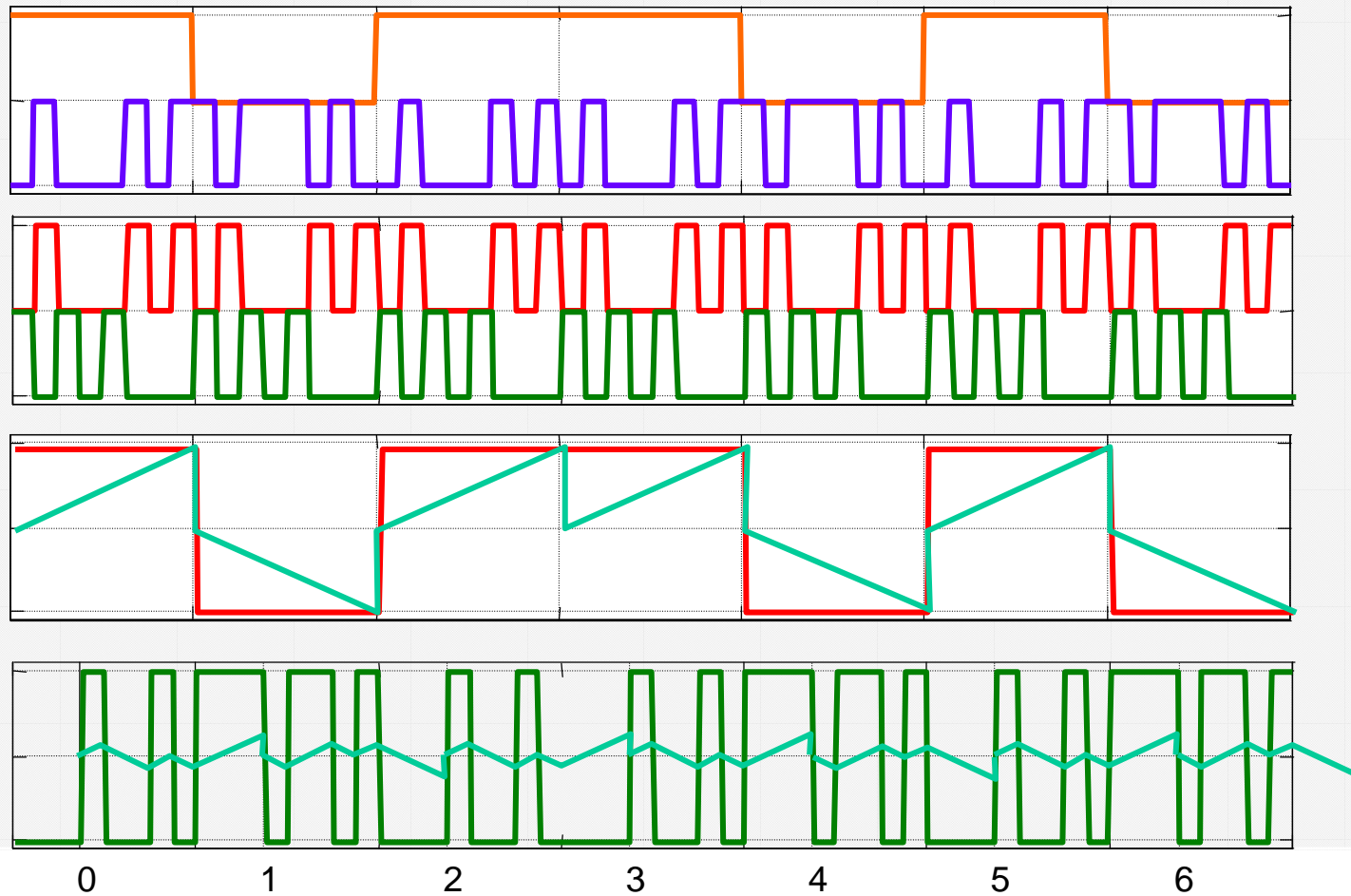
# I-2b le décodeur





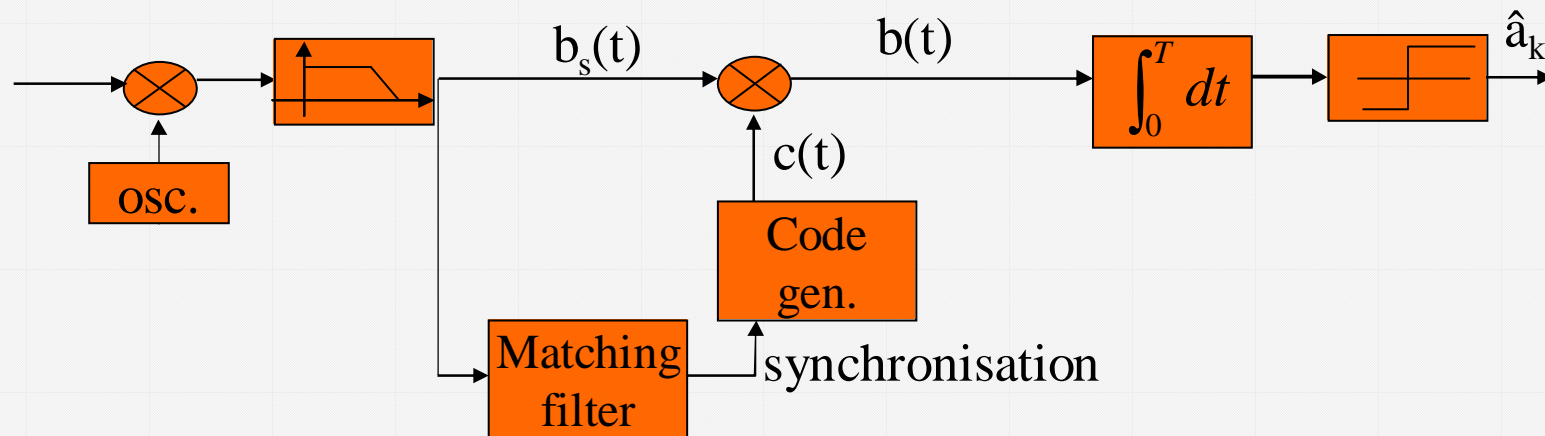
I-2b le décodeur

### Problèmes de synchronisation du décodeur

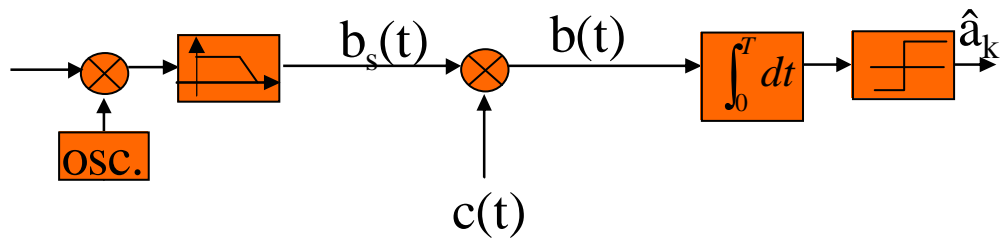




## Le filtre de mise en correspondance (matching filter)

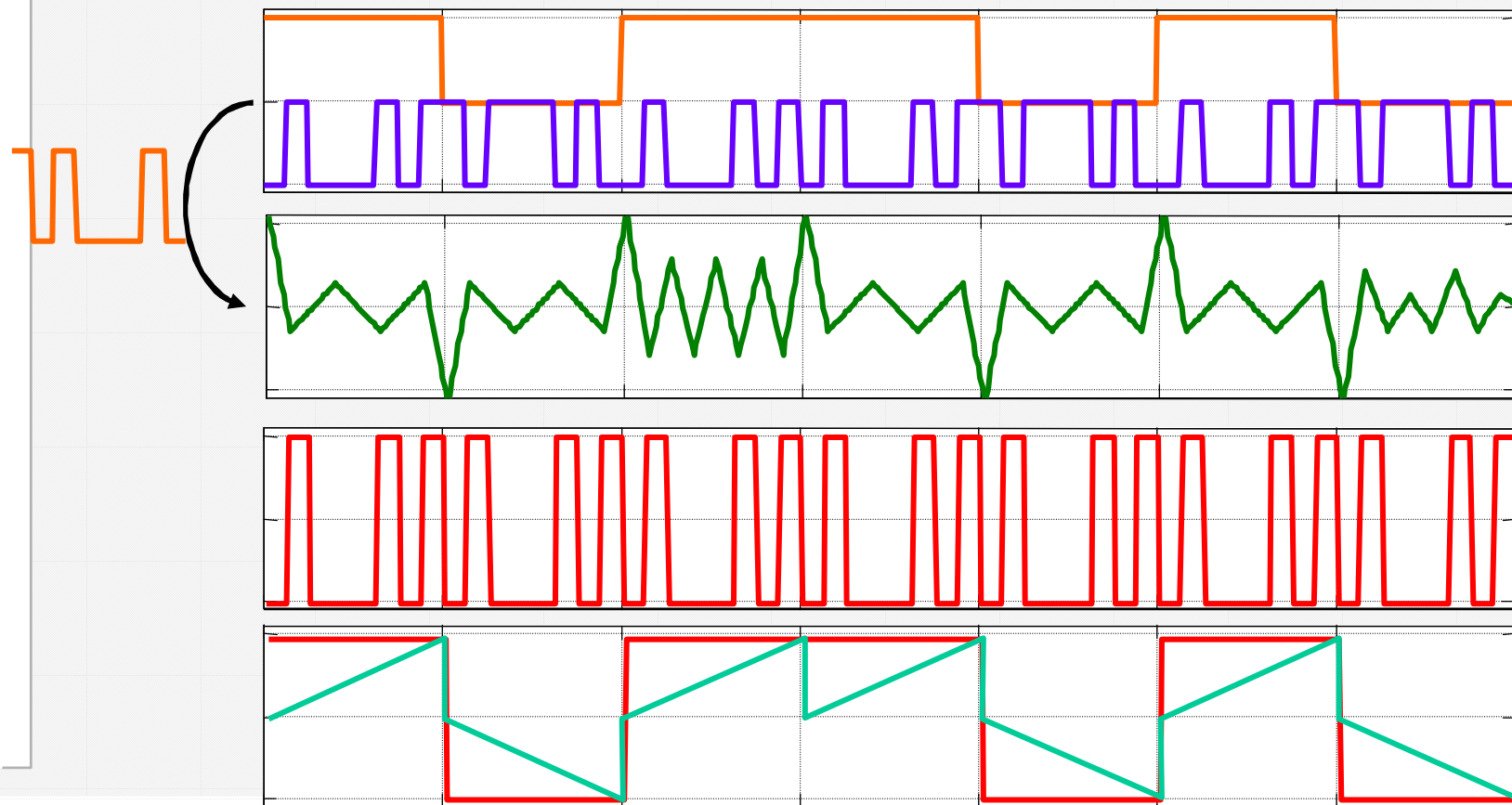


Réponse impulsionnelle :  $c'(t) = c(-t)$

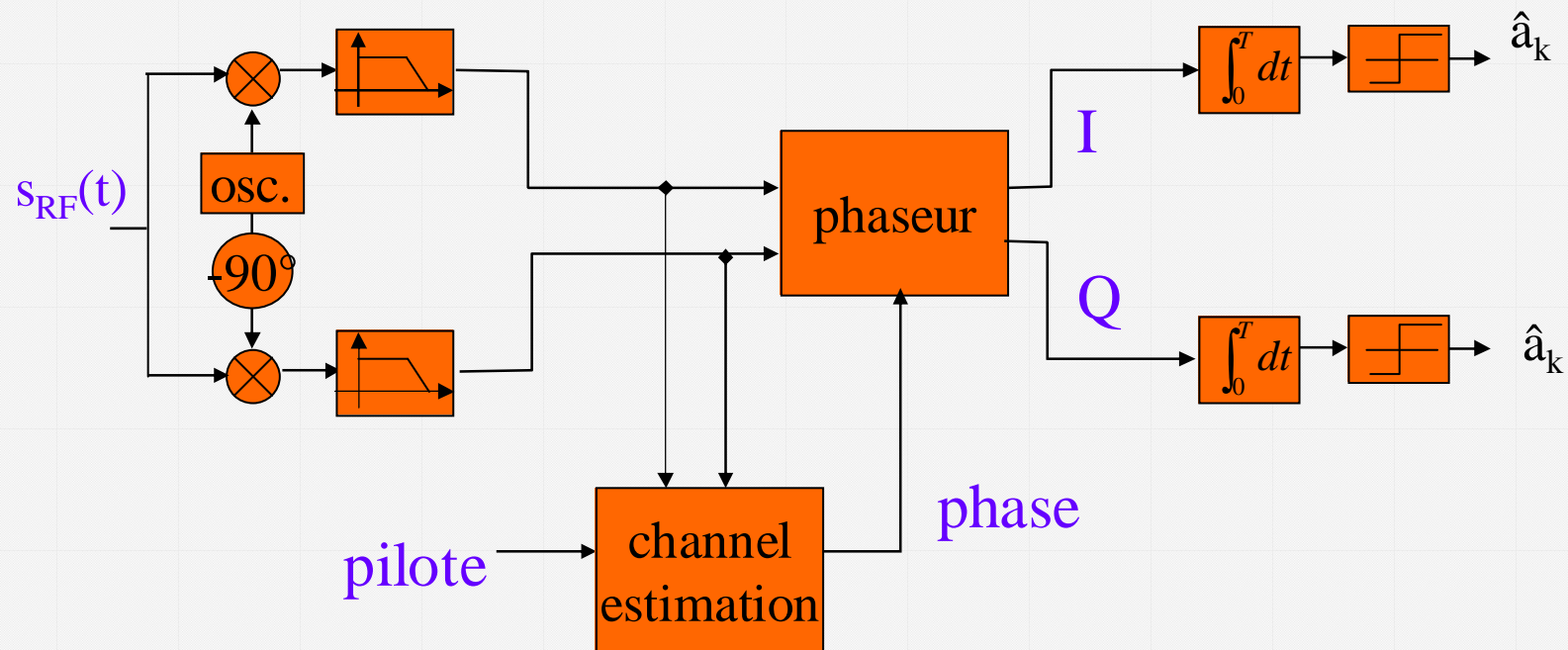


I-2b le décodeur

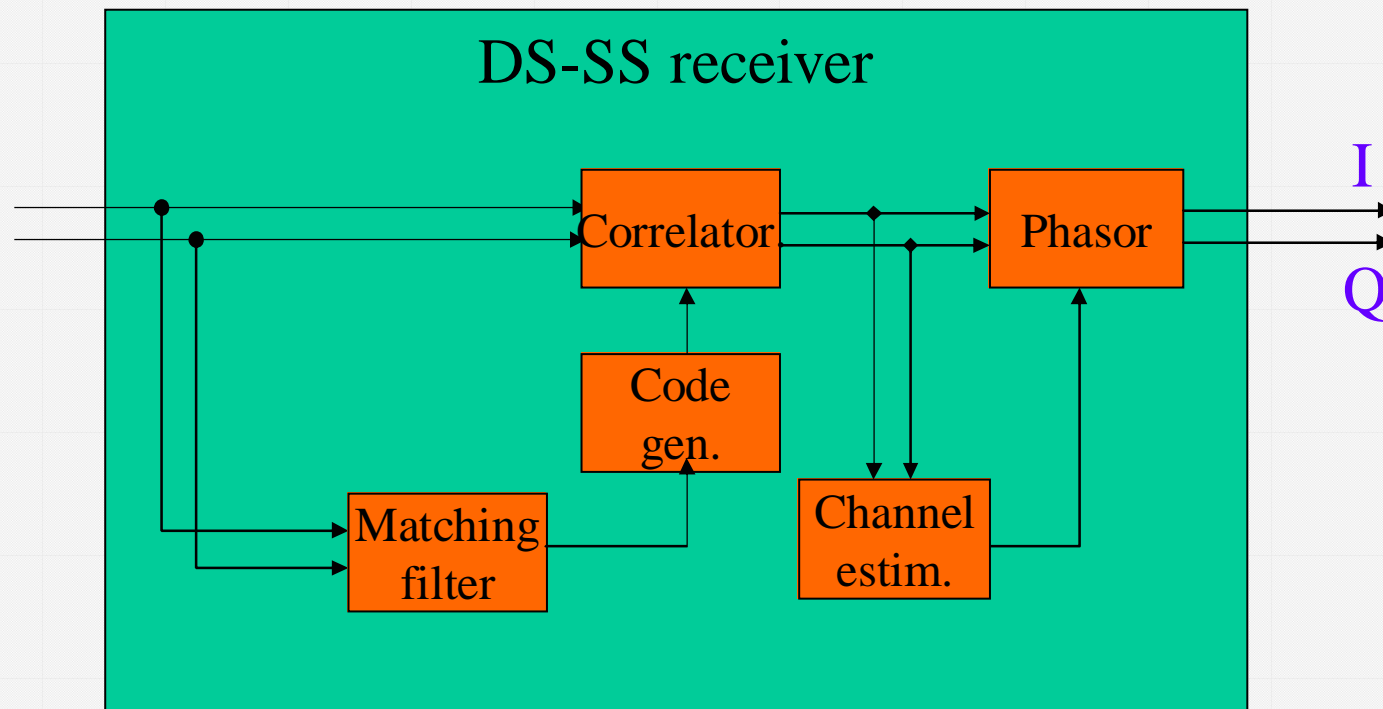
### Recherche du maximum de corrélation



- Le phaseur : réception sur I/Q.
  - (sans DS-SS)



## ■ Schéma-bloc du récepteur simple

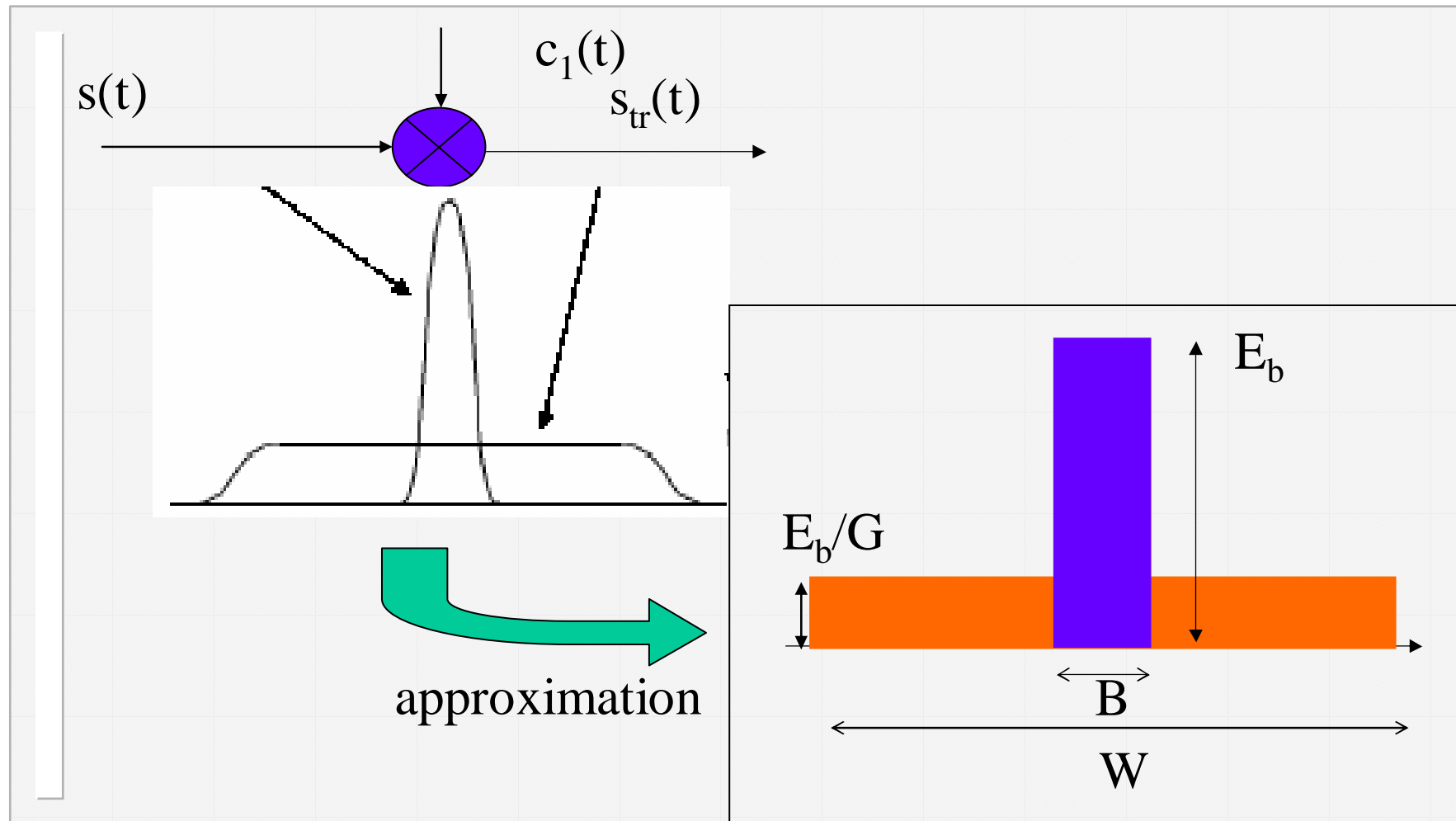


- Propriétés du décodeur simple.
  - Sélection du code : connu *a-priori* ou recherché.
  - Synchronisation du code : matching filter.
  - Synchronisation de phase : le phaseur utilise une séquence connue (pilote).
- Toutes ces opérations se font en quasi-temps réel :
  - Matching filter : filtre RIF.
  - Corrélateur : produit instantané.
  - Phaseur : produit instantané.

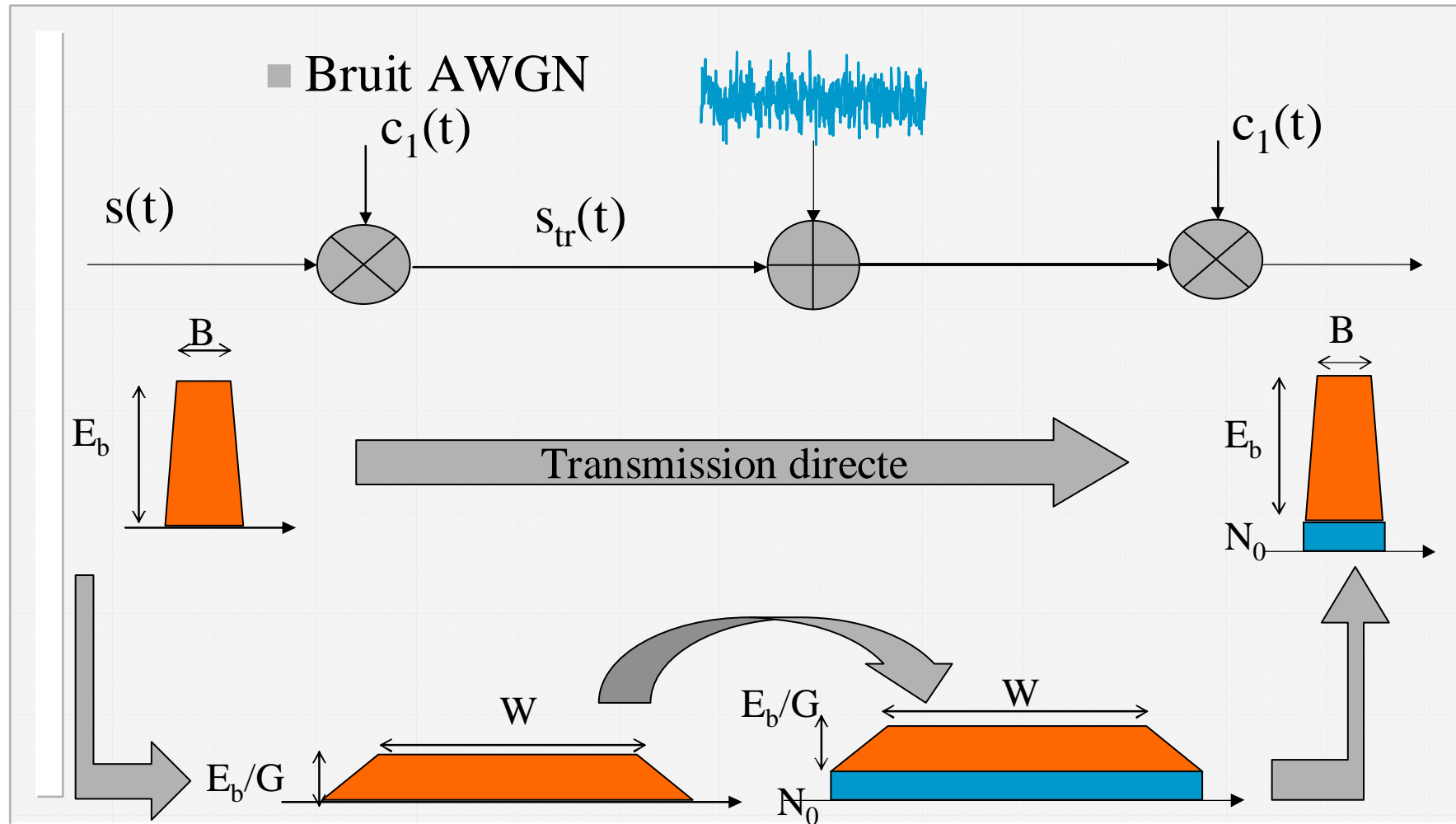
## I-3. Propriétés du DS-SS

- Étalement spectral
- Résistance aux bruits et interférences
- Résistance aux évanouissements sélectifs :
  - RAKE receiver
- Choix des codes d'étalement

## a) Etallement spectral

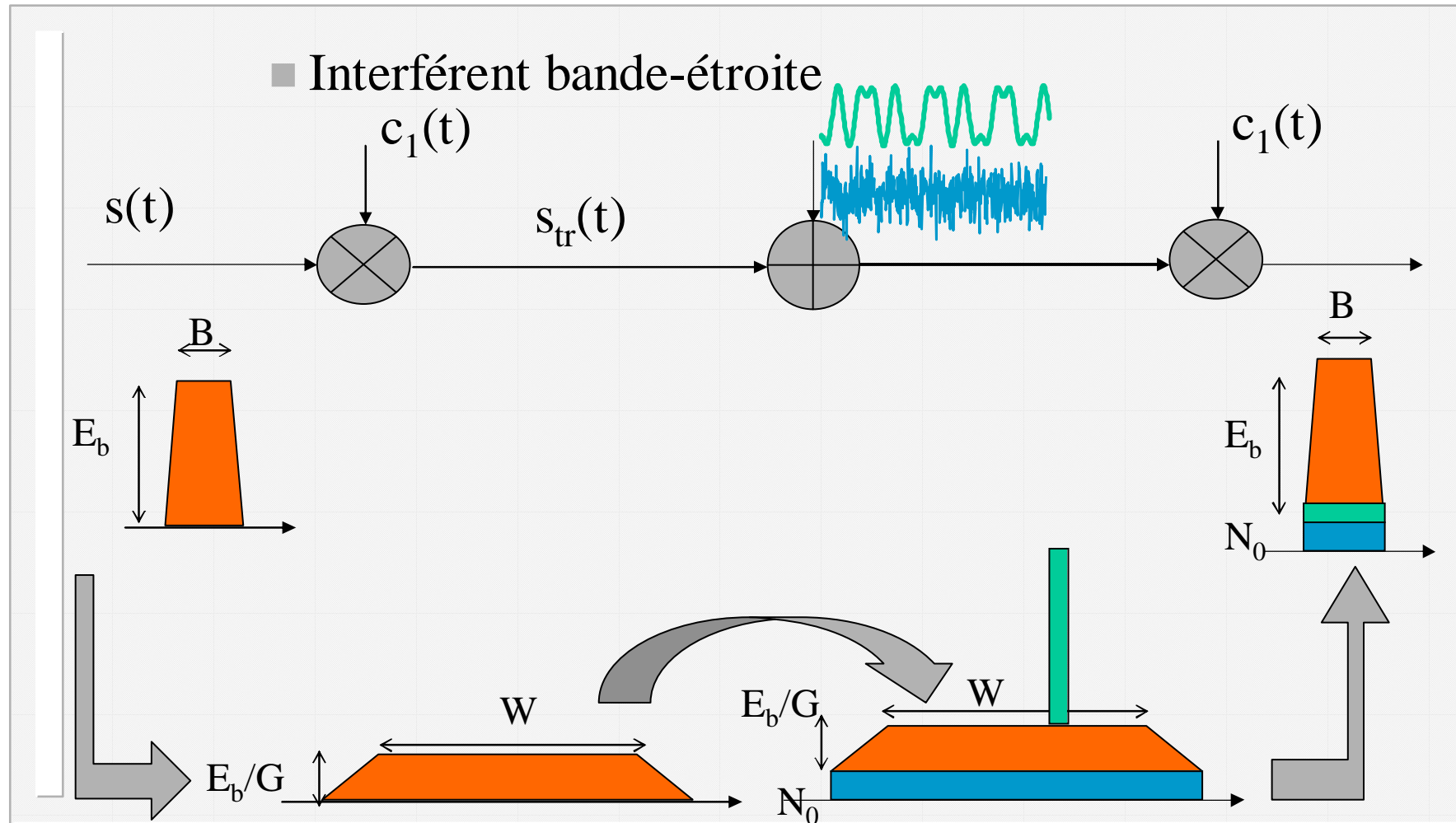


## b) Résistance au bruit





# I-3b Résistance au bruit



## c) Évanouissements (fading)

### ■ Rappels sur le canal radio : les chemins multiples

- Canal à chemin multiples

- la fonction de transfert est constituée :

- de la somme des réponses de chaque trajet

$$\underline{b}'(t) = \underline{h}_b(t) \otimes \underline{b}(t) + \underline{n}(t)$$

$$\underline{h}_b(t) = \sum_n A_n \cdot e^{j\Phi_n} \cdot \delta(t - \Delta t_n)$$

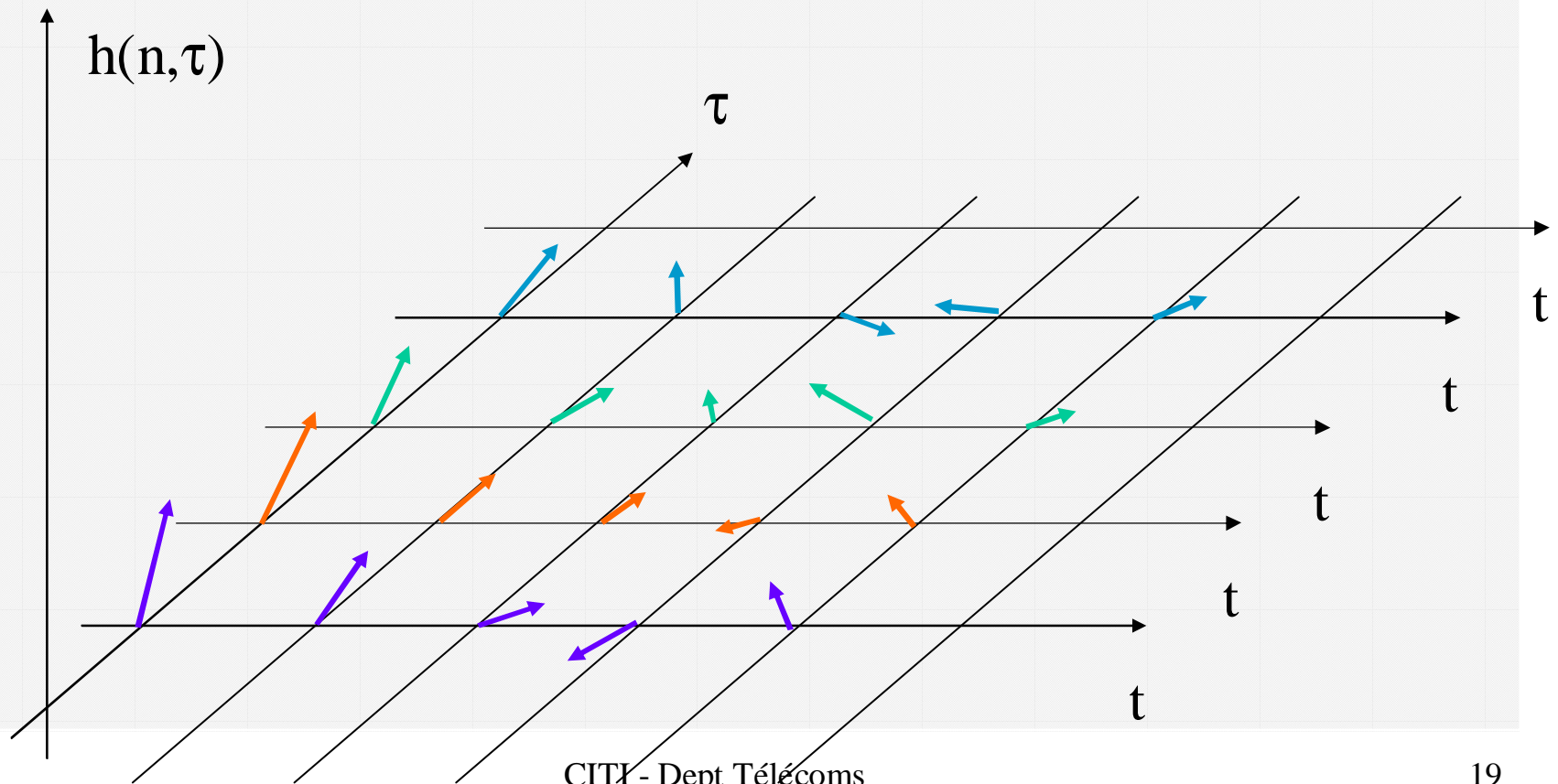
### ■ Caractéristiques générales du canal radio

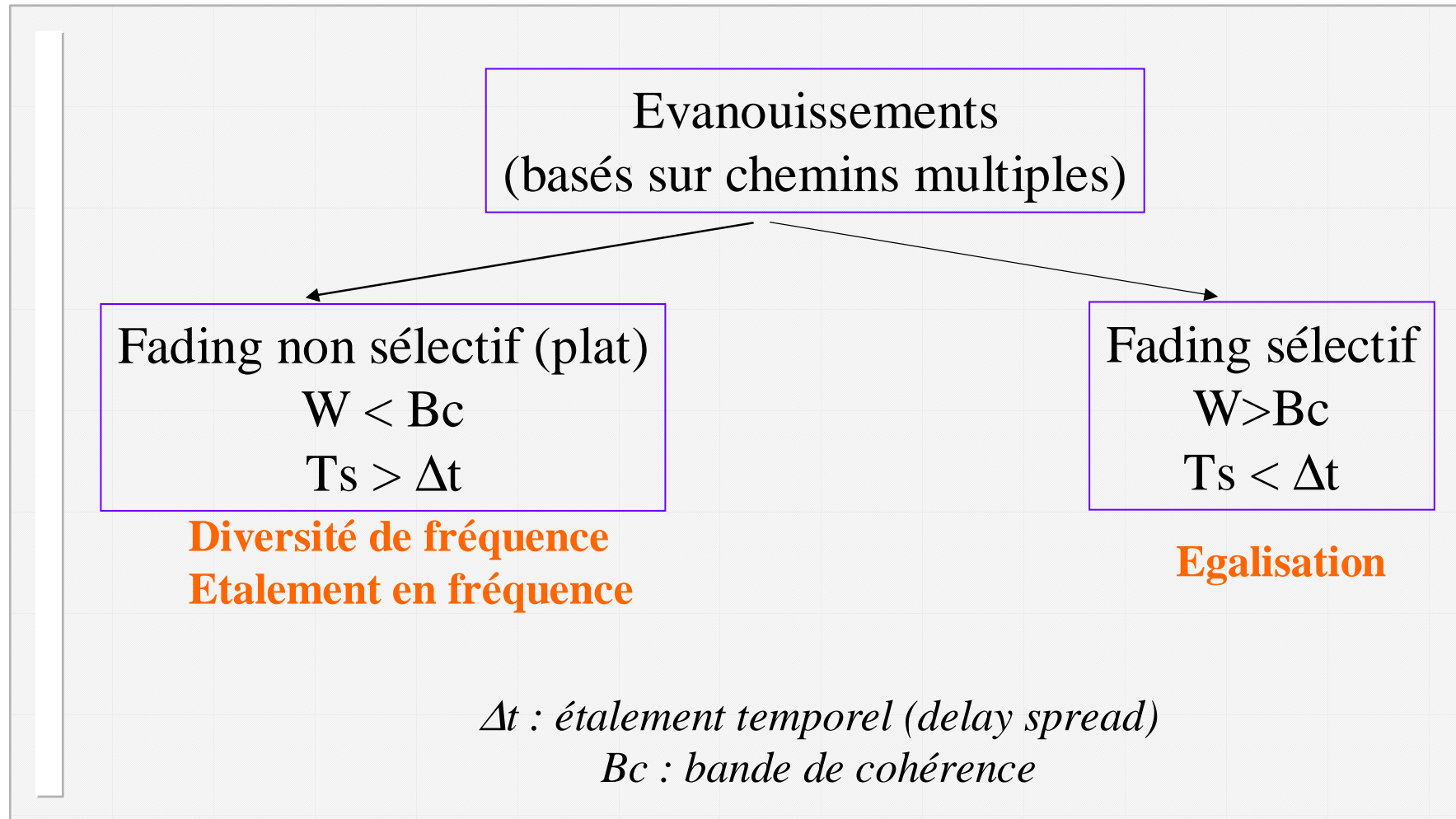
- Le Canal radio-mobile intègre les 2 types d'évanouissement dispersif (fading plat) et étalé (fading sélectif).
- Sa réponse s'écrit de la façon suivante

$$\underline{h}(k, \tau) \approx \sum_n \underline{h}_n(\tau) \cdot \delta(k - nT_s)$$

l'utilisation de la variable  $\tau$  permet de refléter la pseudo-stationnarité du canal.

■ Représentation du canal radio





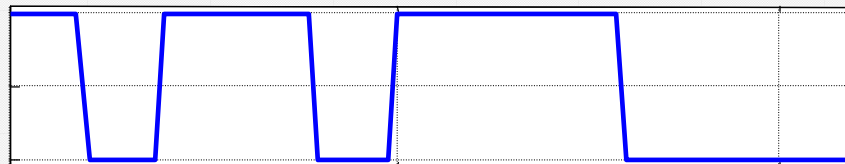
### – Intérêt du DS-SS

- $\Delta t < T_c$  (durée chip) : on ne peut rien faire
- $\Delta t > T_s$  : même chose que sans étalement; égalisation à la sortie du décodeur DS-SS.
- $T_c < \Delta t < T_s$  : intéressant; exploiter les propriétés du DS-SS

### – Principe

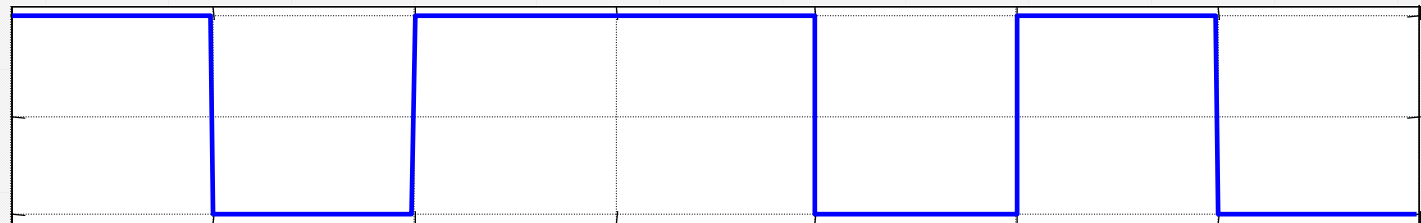
- exploiter les propriétés de certains codes : corrélation
  - utiliser un code dont la fonction d'autocorrélation est 'idéale'
- exemple (wLAN : IEEE802.11b)
  - code de Barker à 11bits :

0 1 0 0 1 0 0 0 1 1 1

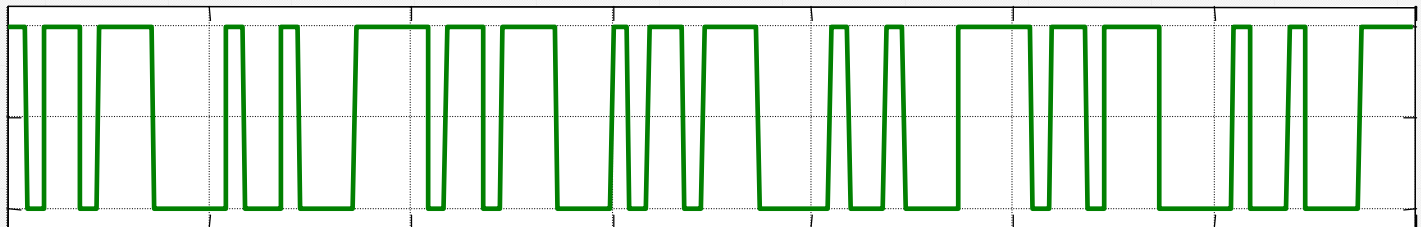


1 bonne fonction d'autocorrélation=1 dirac

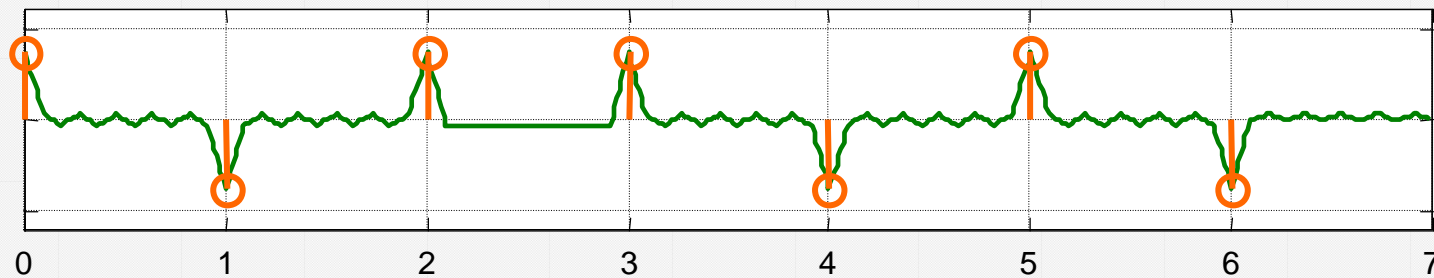
baseband  
signal



spreaded  
signal

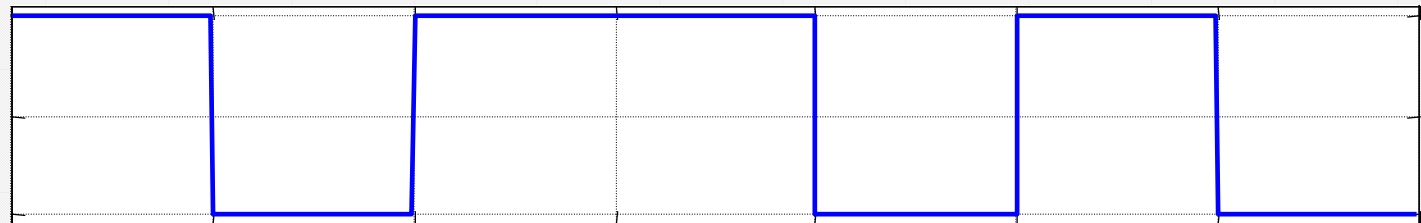


matching

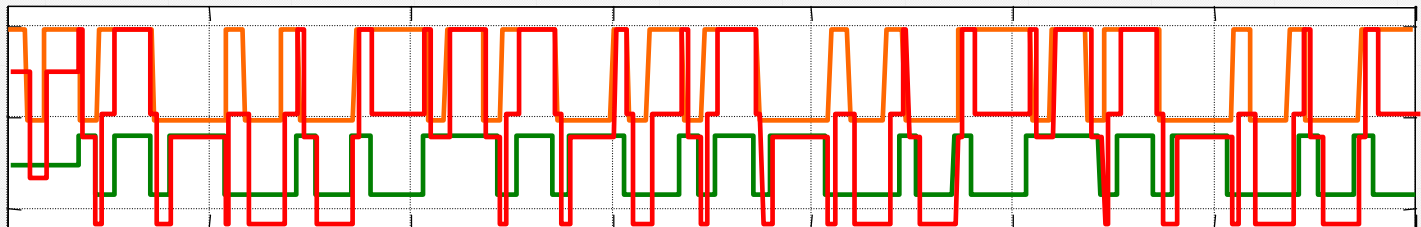


### Exemple d'un chemin double

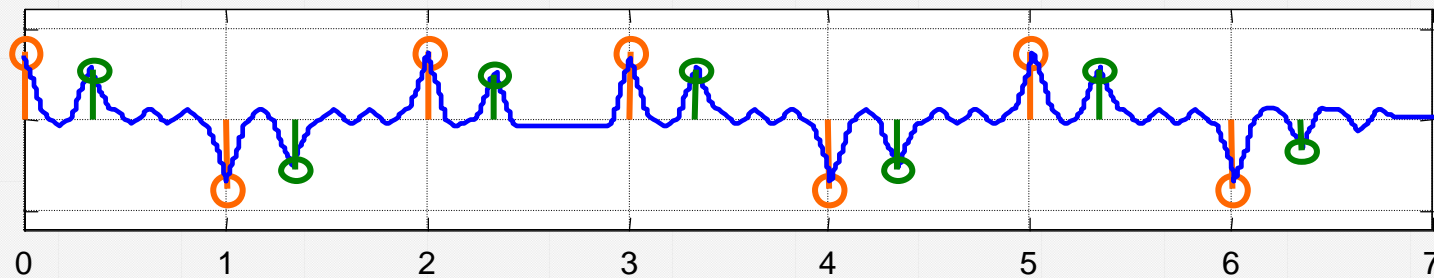
baseband  
signal



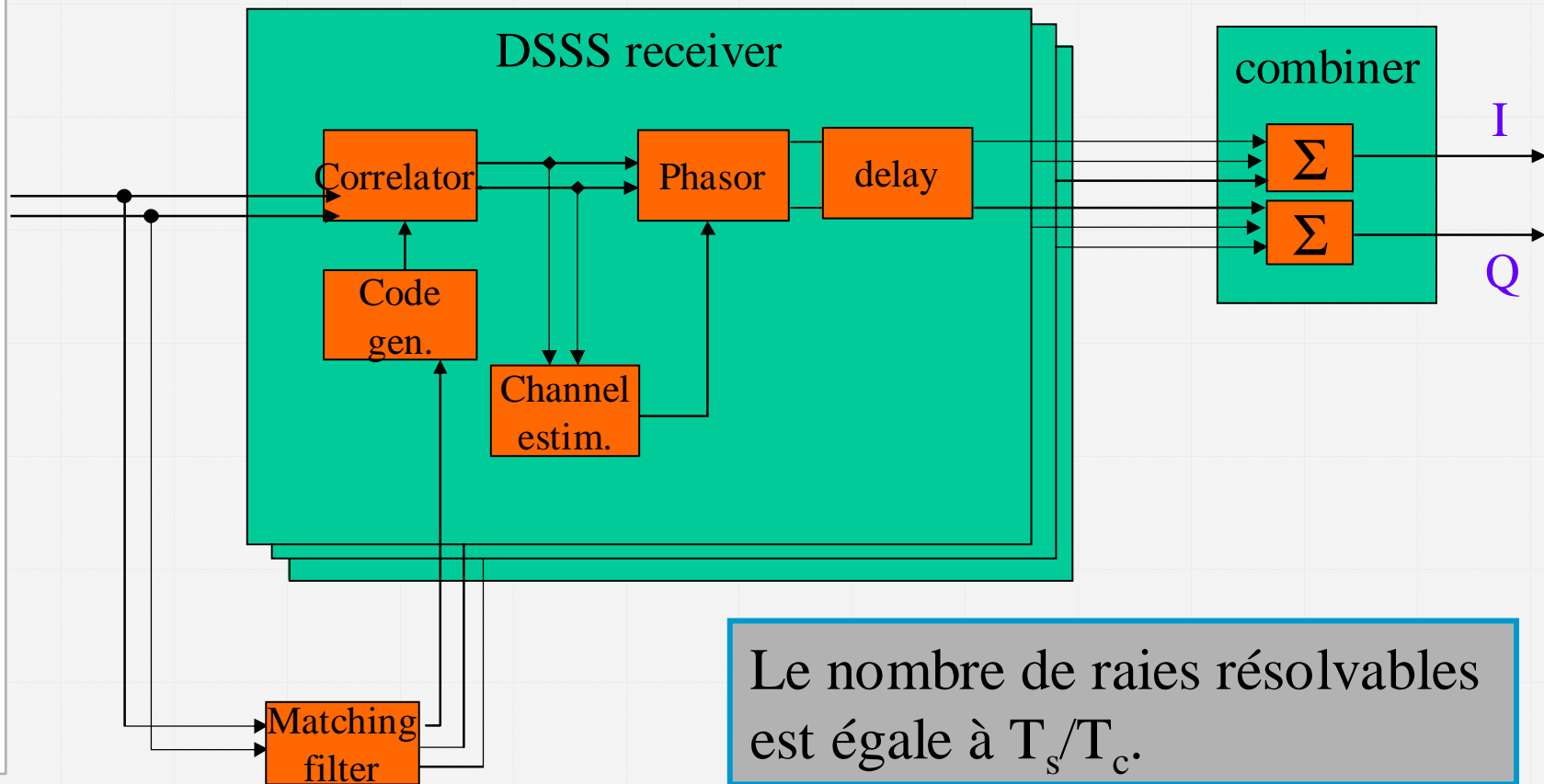
spreaded  
signal



matching



– RAKE receiver.

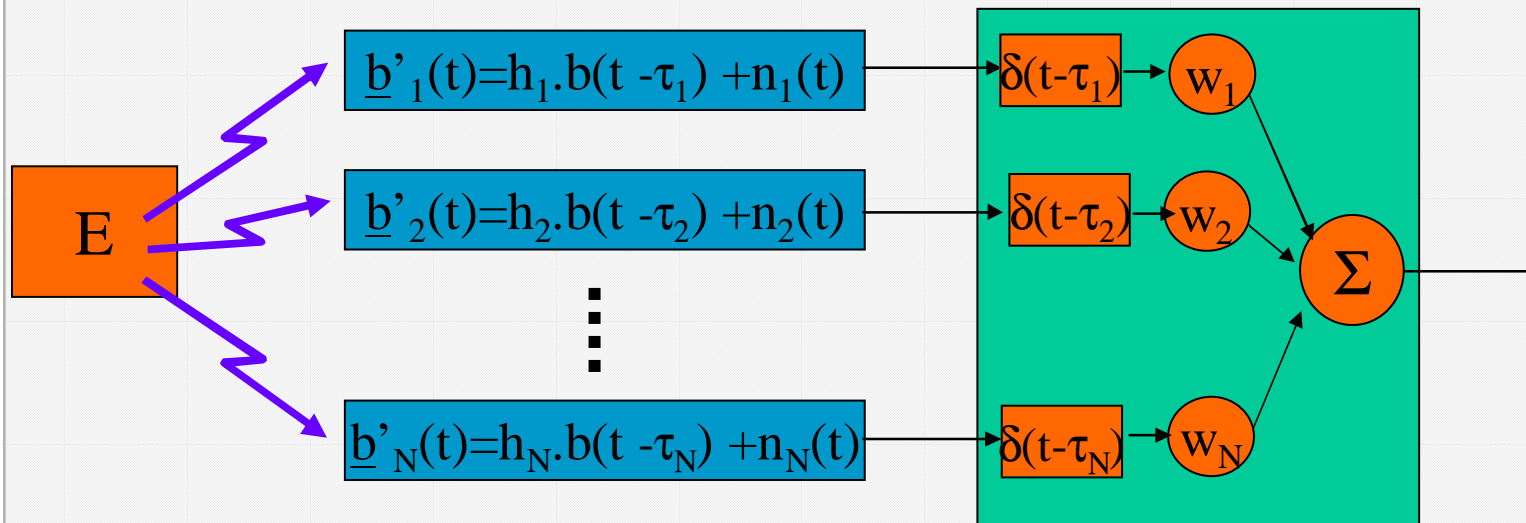


Le nombre de raies résolubles est égale à  $T_s/T_c$ .



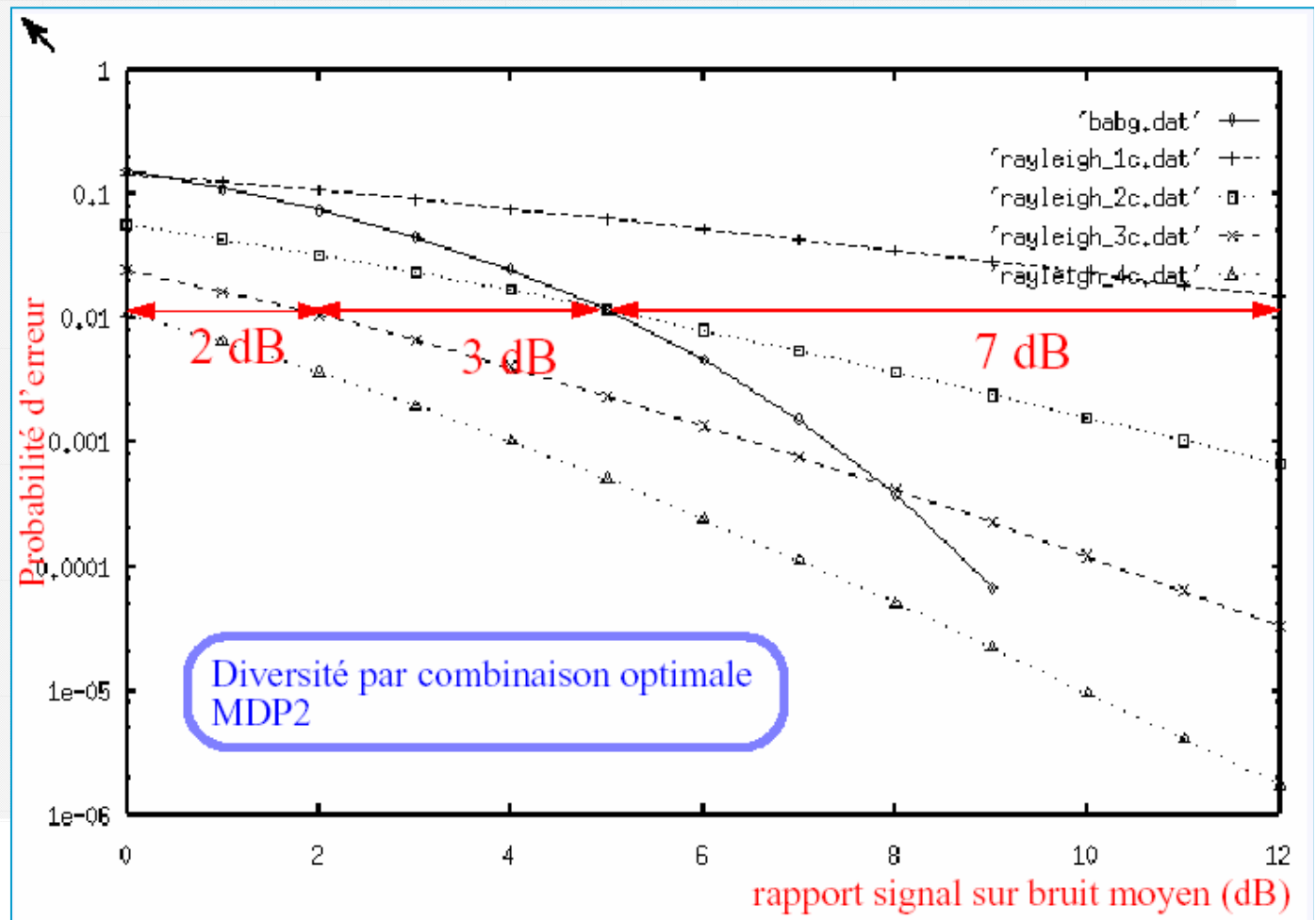
- Le combineur optimal
  - optimiser le SNR en réception

$$w_k = \mu \cdot \frac{h_k^*}{\sigma_k^2}$$



## I-3c Évanouissements

### ■ Résultats en terme de taux d'erreur



### – Intérêt du DS-SS :

- Permet de dissocier des chemins tels que :

$$T_c < \Delta t < T_s$$

= introduit de la diversité (plusieurs chemins)

- la combinaison des chemins diminue le taux d'erreur pour un C/N donné.

- Introduire le récepteur en râteau (rake), grâce à des codes dont l'autocorrélation est proche du dirac.

- applications :
  - wLAN :  $f_{\text{chip}}=11\text{ Mcps}$ ;  $k=11$
  - UMTS :  $f_{\text{chip}}=3,86\text{ Mcps}$ ;  $k [4;256]$

calculez les différences de chemins exploitables

## d) Choix des codes d'étalement

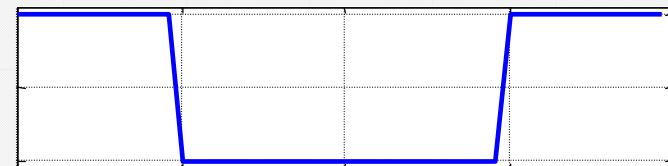
- Critère temporel
  - l'autocorrélation
- Critère fréquentiel
  - le spectre

### – Exemple de 'mauvais codes'

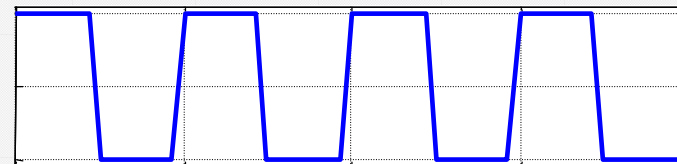
- La famille des codes de Walsh est mal adaptée

– exemple pour 1 taille 8 :

0 0 1 1 1 1 0 0



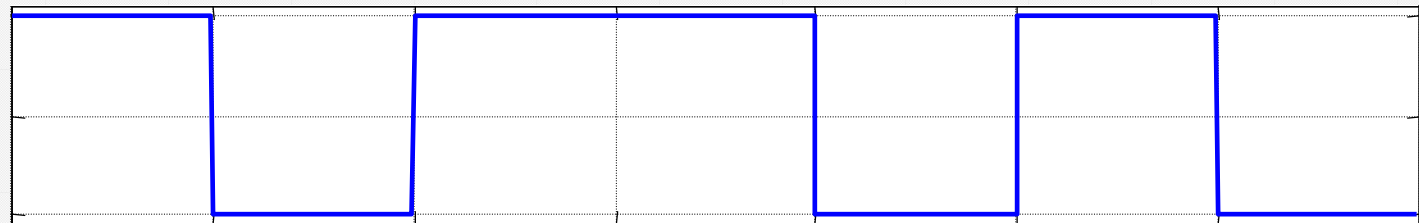
0 1 0 1 0 1 0 1



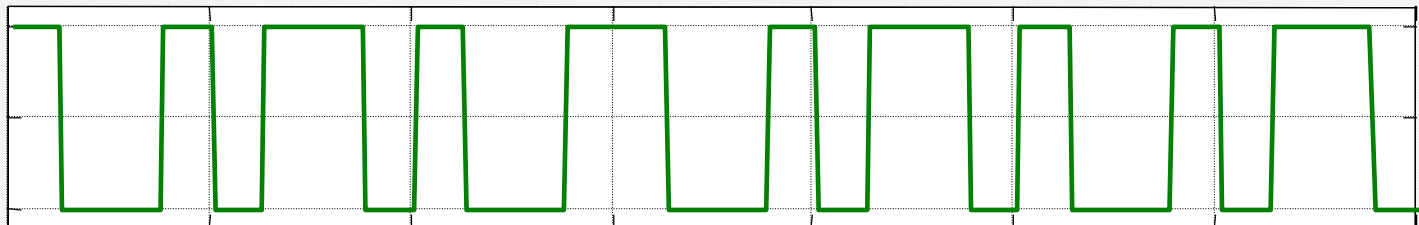
## I-3d Choix des codes d'étalement

Résultat :

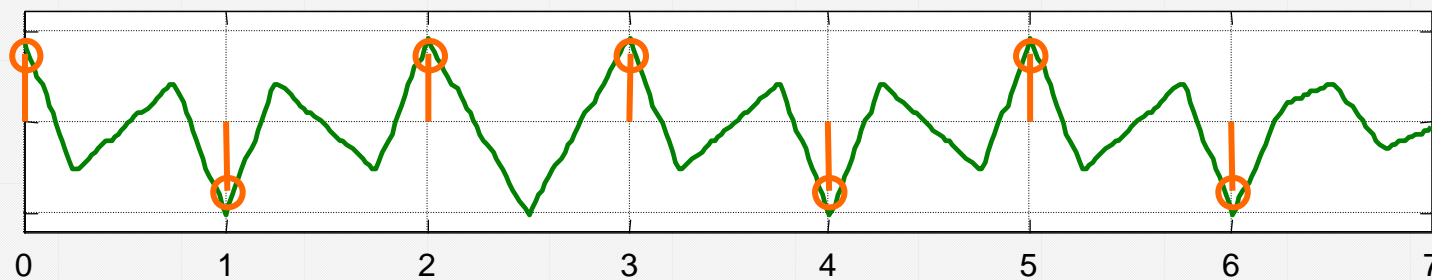
baseband  
signal



spreaded  
signal



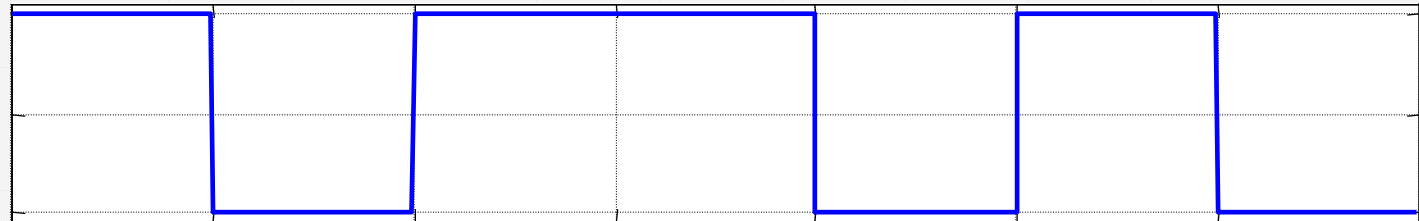
matching



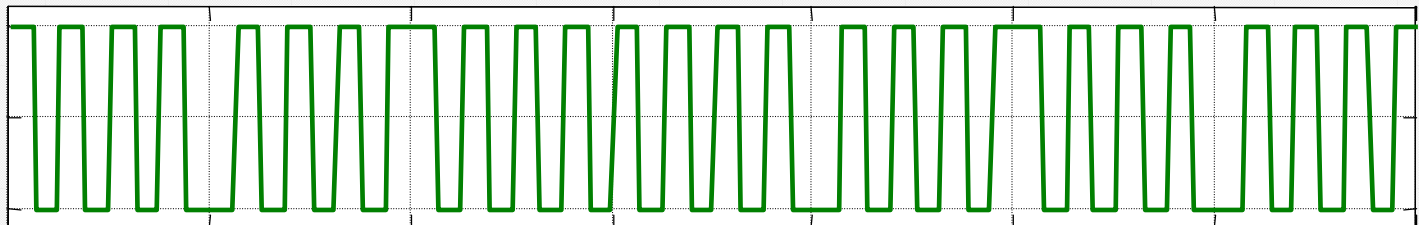
## I-3d Choix des codes d'étalement

Résultat :

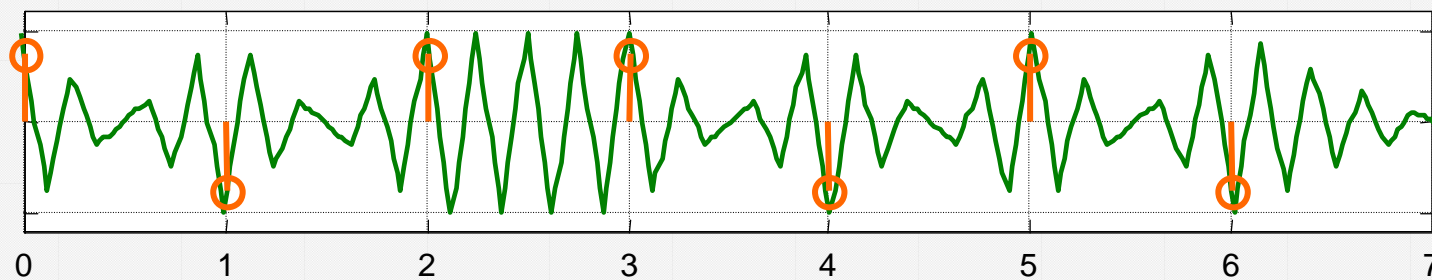
baseband  
signal



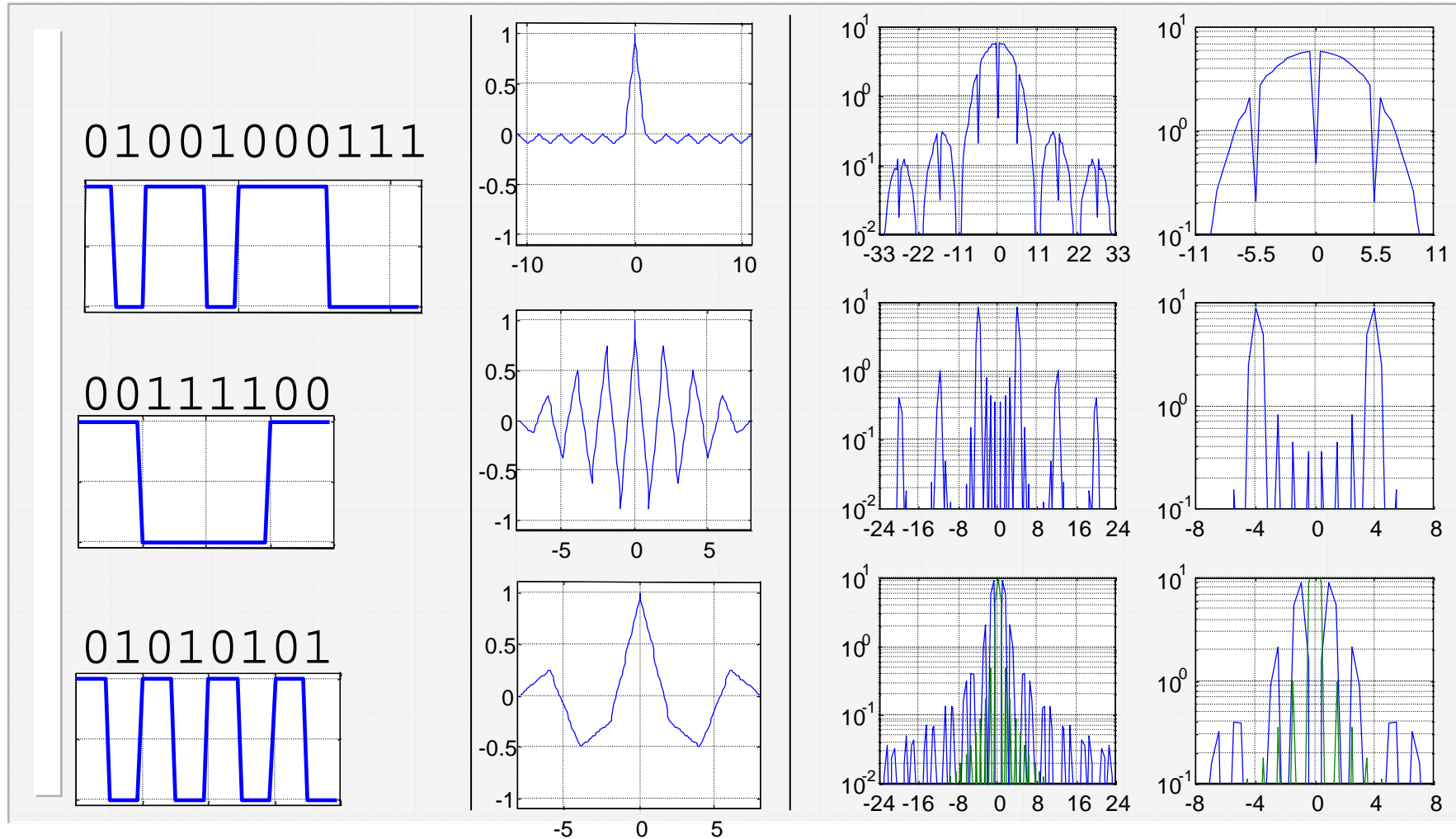
spreaded  
signal



matching



# I-3d Choix des codes d'étalement



# I-4. IEEE802.11b

- Principes généraux
  - 1 canal physique partagé entre plusieurs équipements.
  - 1 canal physique partagé entre plusieurs réseaux.
  - Partage des ressources en CSMA/CA, reprenant le principe d'Ethernet (radio Ethernet)
- Caractéristiques techniques
  - Exploitation de la bande ISM (Ingénierie, Science et Médecine) :  
**2,4000-2,4970 GHz**
  - Découpage de la bande en plusieurs canaux
    - FHSS : 79 porteuses (espacement 1MHz),  
 $v_{\text{mod}}=1\text{Mb/s}$  ;  $1\text{MHz} < W < 2\text{MHz}$ .
    - DSSS : 14 porteuses (espacement 5MHz),  
 $v_{\text{mod}}=11\text{Mb/s}$ ,  $v$ ;  $11\text{MHz} < W < 22\text{MHz}$ .
  - puissance 10 à 100mW (fixe)



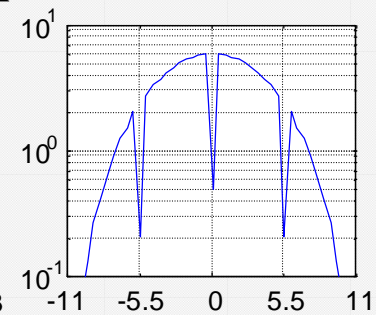
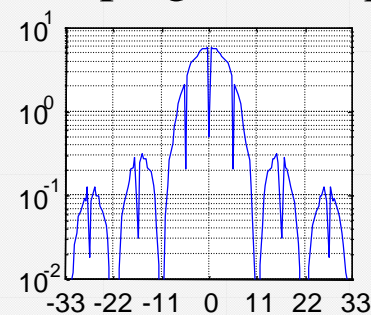
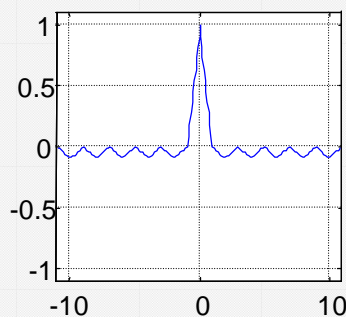
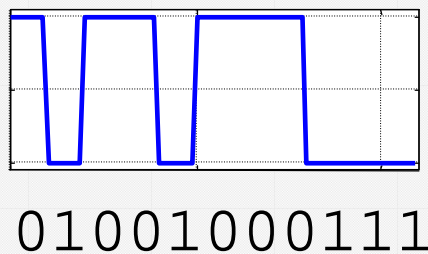
- Occupation spectrale sans étalement spectral
  - 2 débits possibles (BPSK/QPSK)
    - 1 Mb/s ou 2Mb/s.
    - durée chip = durée symbole
  
  - sensibilité aux chemins multiples et résolution temporelle
    - durée impulsion =  $1\mu\text{s}$
  
    - pour lutter contre : saut de fréquence

- Occupation spectrale sans étalement spectral
  - 2 débits possibles (BPSK/QPSK) : 1 Mb/s ou 2Mb/s.
  - durée chip = durée symbole
  - sensibilité aux chemins multiples et résolution temporelle
    - ( durée impulsion =  $1\mu\text{s}$  ; saut de fréquence )
- Mise en œuvre de l'étalement spectral
  - utilisation de la séquence de Barker (F=11)
    - réduction du nombre de canaux (79=>14)
    - durée chip = durée symbole /11
  - possibilité de monter à 11Mb/s par augmentation de la taille de la constellation

Débits	étalement	Modulation	Vitesse de symbole	Nb de bits/symbole
1 Mbit/s	11 (Barker Sequence)	BPSK	1 MS/s	1
2 Mbit/s	11 (Barker Sequence)	QPSK	1 MS/s	2
5.5 Mbit/s	8 (CCK)	QPSK	1,375 MS/s	4
11 Mbit/s	8 (CCK)	QPSK	1,375 MS/s	8

### ■ Propriétés

- même débits (1Mb/s ; 2 Mb/s)
- Sensibilité aux chemins multiples :
  - amélioration de la sensibilité d'un facteur 11.
  - Chemins résolubles :
- Même sensibilité au bruit blanc car répartition de la puissance sur une plus grande plage de fréquence.



# II- Multiplexage par codes

## ■ Le CDMA (*Code Division Multiples Access*)

### – Principe

- utilisation simultanée de plusieurs codes d'étalement

### – Système synchronisé :

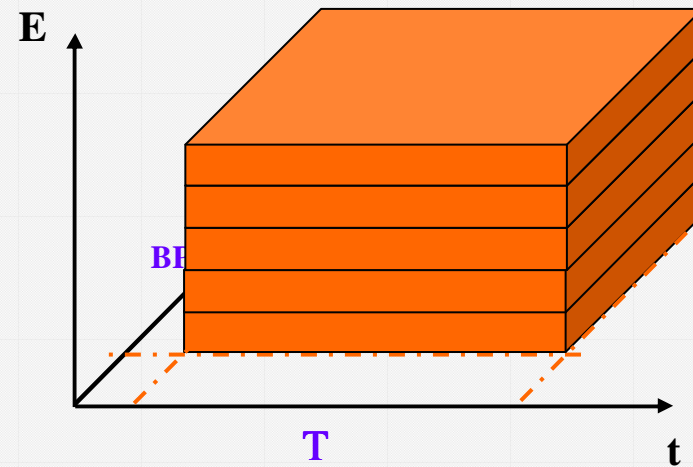
- les codes orthogonaux (spreading codes)

### – Système non synchronisé :

- les codes non orthogonaux (scrambling codes)

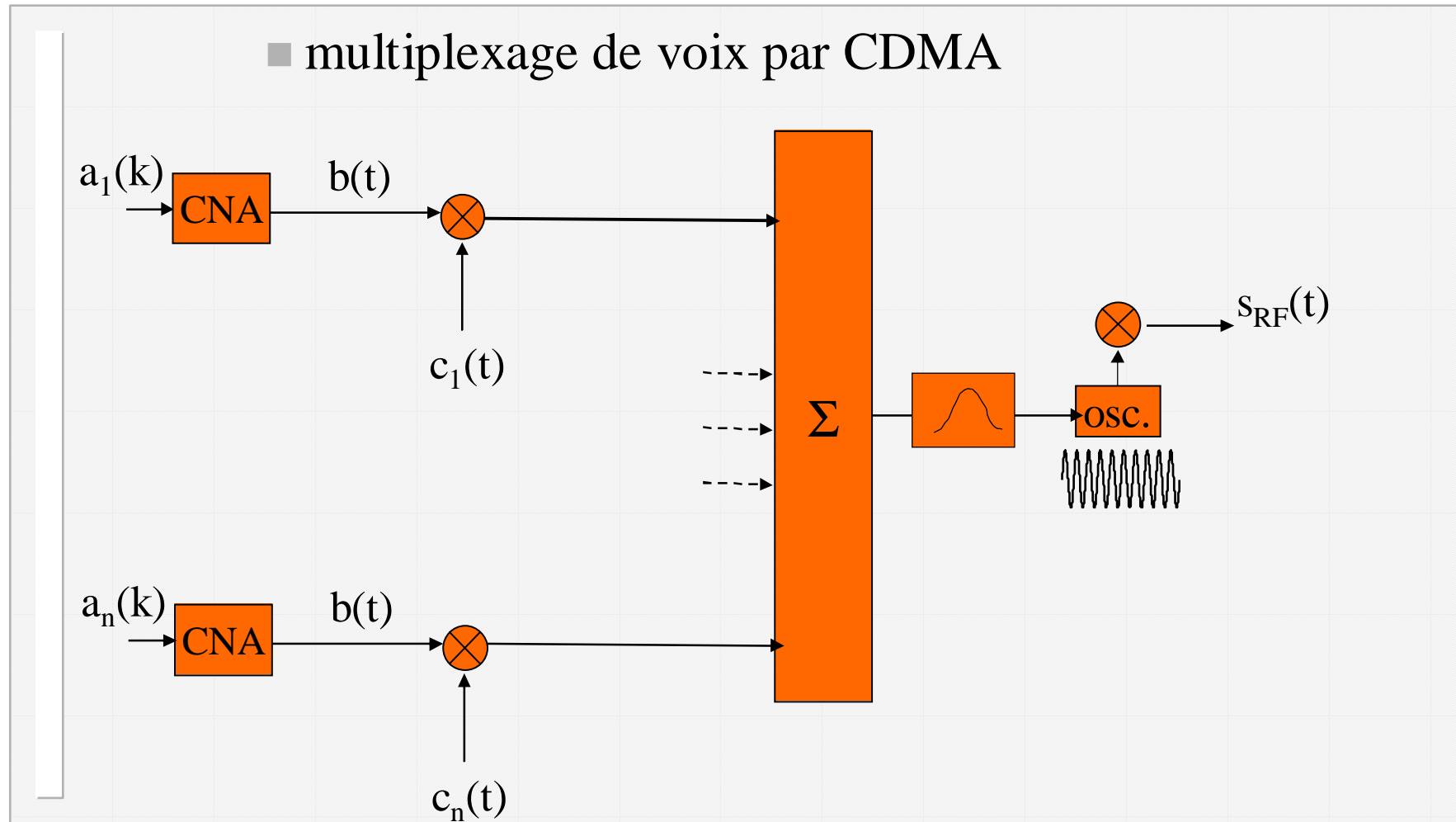
### – Contraintes sur les codes

### – Efficacité de multiplexage



## II-1. Principes

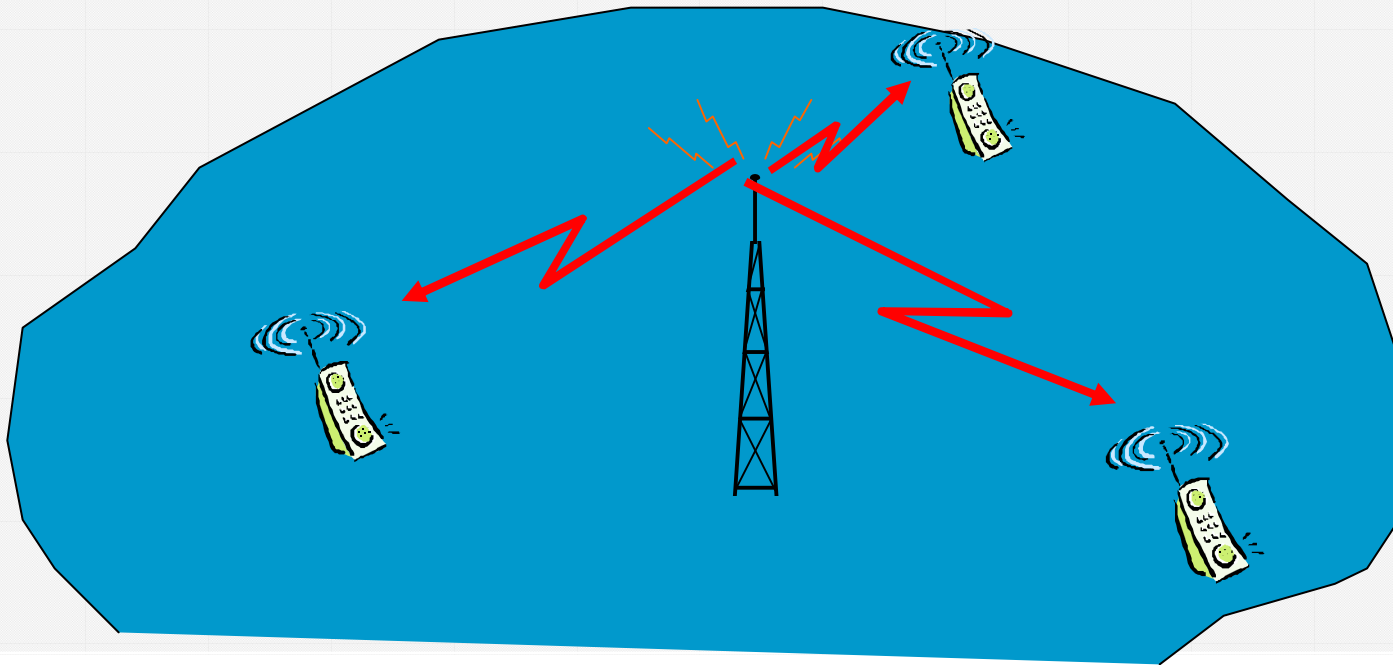
### ■ multiplexage de voix par CDMA



- **Avantage du CDMA (vs FTDMA)**
  - le récepteur en réseau est naturel pour le CDMA :
    - il faut synchroniser le récepteur en recherchant le maximum de corrélation d'une séquence connue
  - La résolution temporelle est plus grande (cadence chip)
    - UMTS : temps chip :  $0,28 \mu\text{s}$  ~ différence de chemin ~80m
    - GSM : 271kbit/s ~ 1km

## II-2. systèmes synchronisés

- Utilisation : une source transmet plusieurs messages vers plusieurs récepteurs



## a) Familles de codes

Pour avoir des interférences nulles,  
1 contrainte : codes orthogonaux

$$\Phi_{nm}(0) = \int_0^T c_n(t) \cdot c_m(t) \cdot dt = \delta_{nm} \quad T : \text{durée bit du signal d'entrée}$$

Les signaux  $c_n(t)$  sont à la cadence chip :  $T_c$ .

Le nombre de codes orthogonaux de cette forme sont au maximum de  $N=T/T_c$ .



Le débit total utile est donc toujours identique.



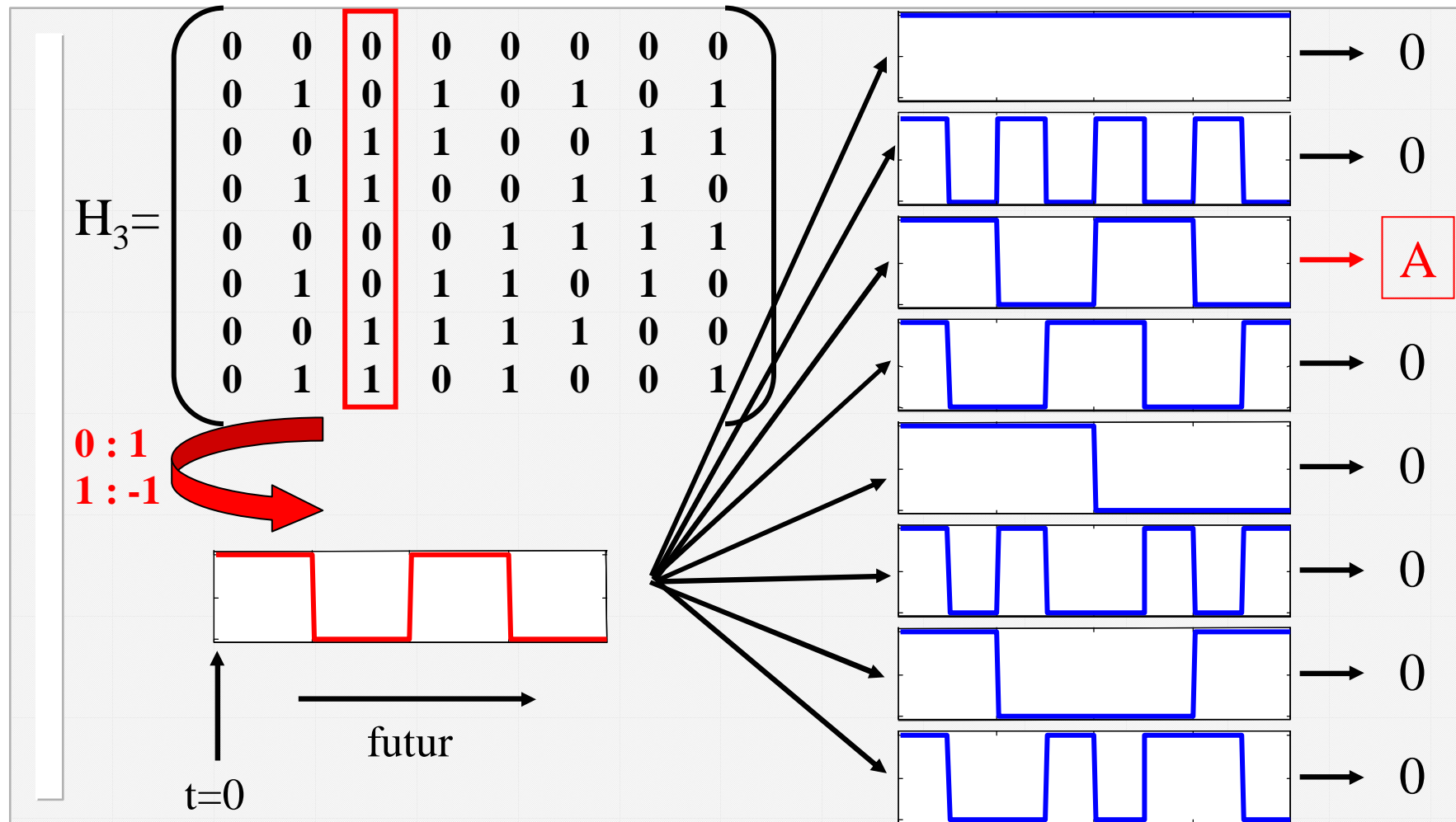
## II-2a. Familles de codes

Construction des codes :  
codes de Walsh / matrices de Hadamard

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

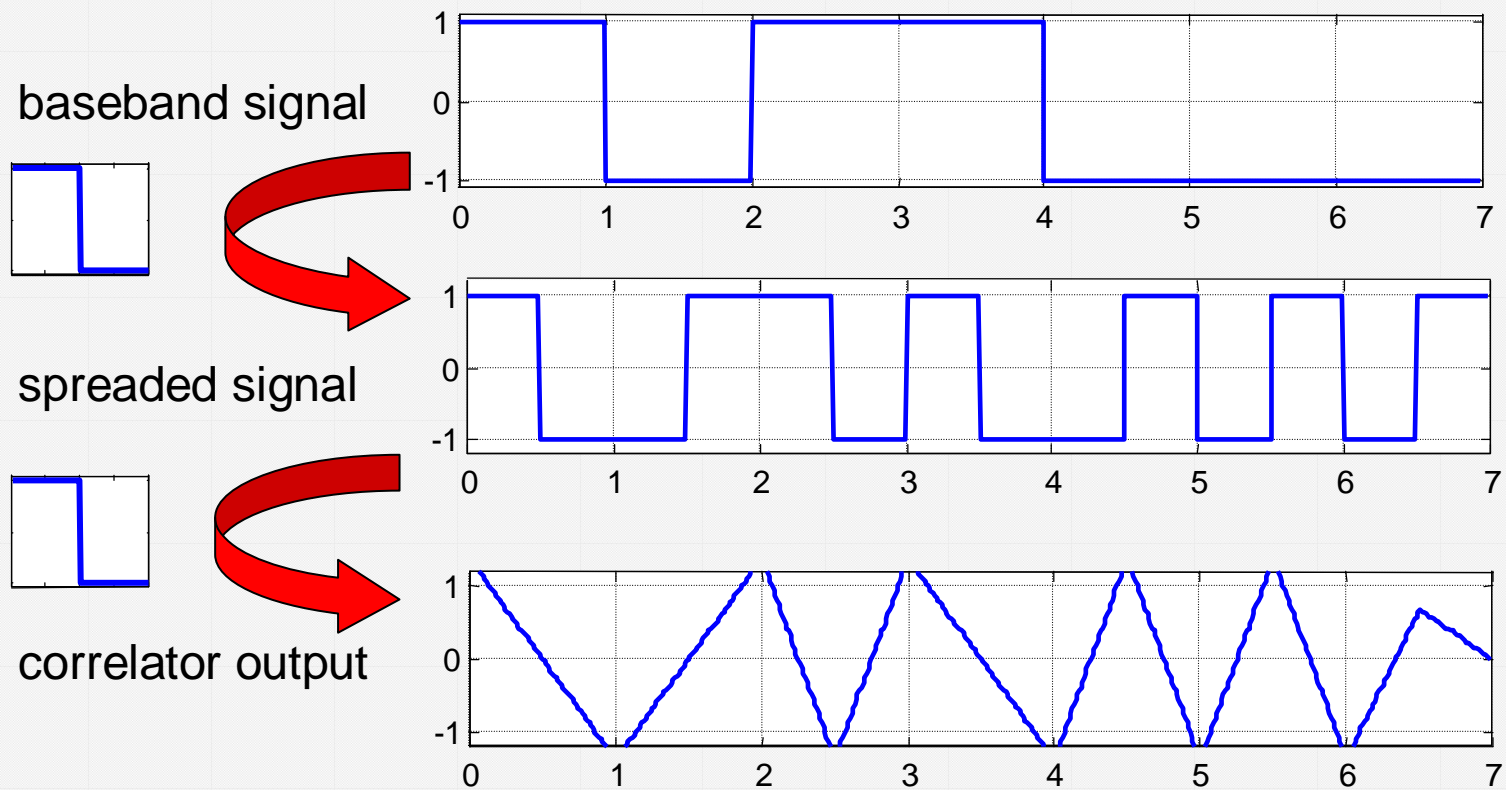
N=puissance de 2  
les codes sont donnés par les colonnes

## II-2a. Familles de codes

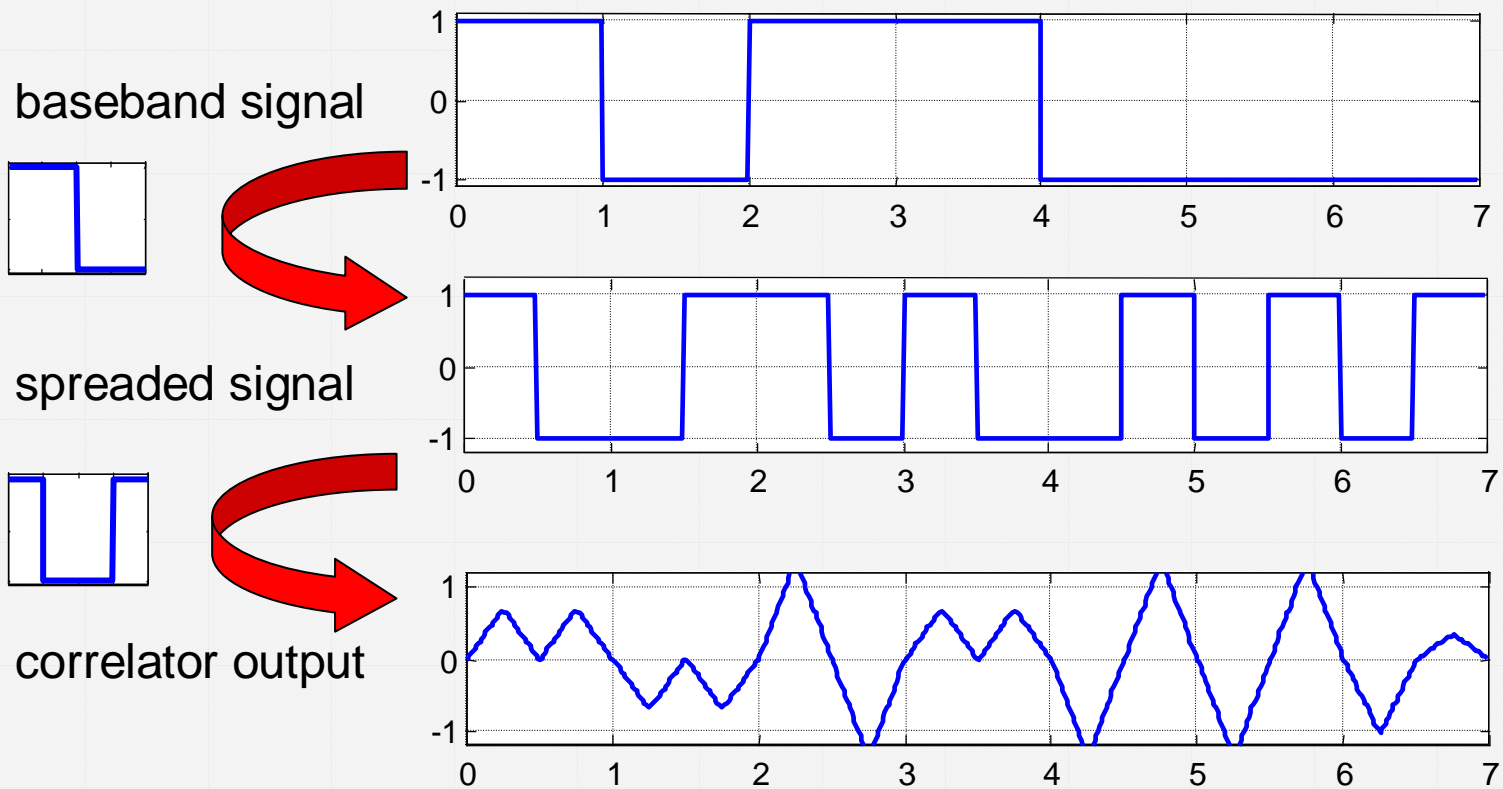


## b) Intercorrélation des codes

– Auto-corrélation des codes



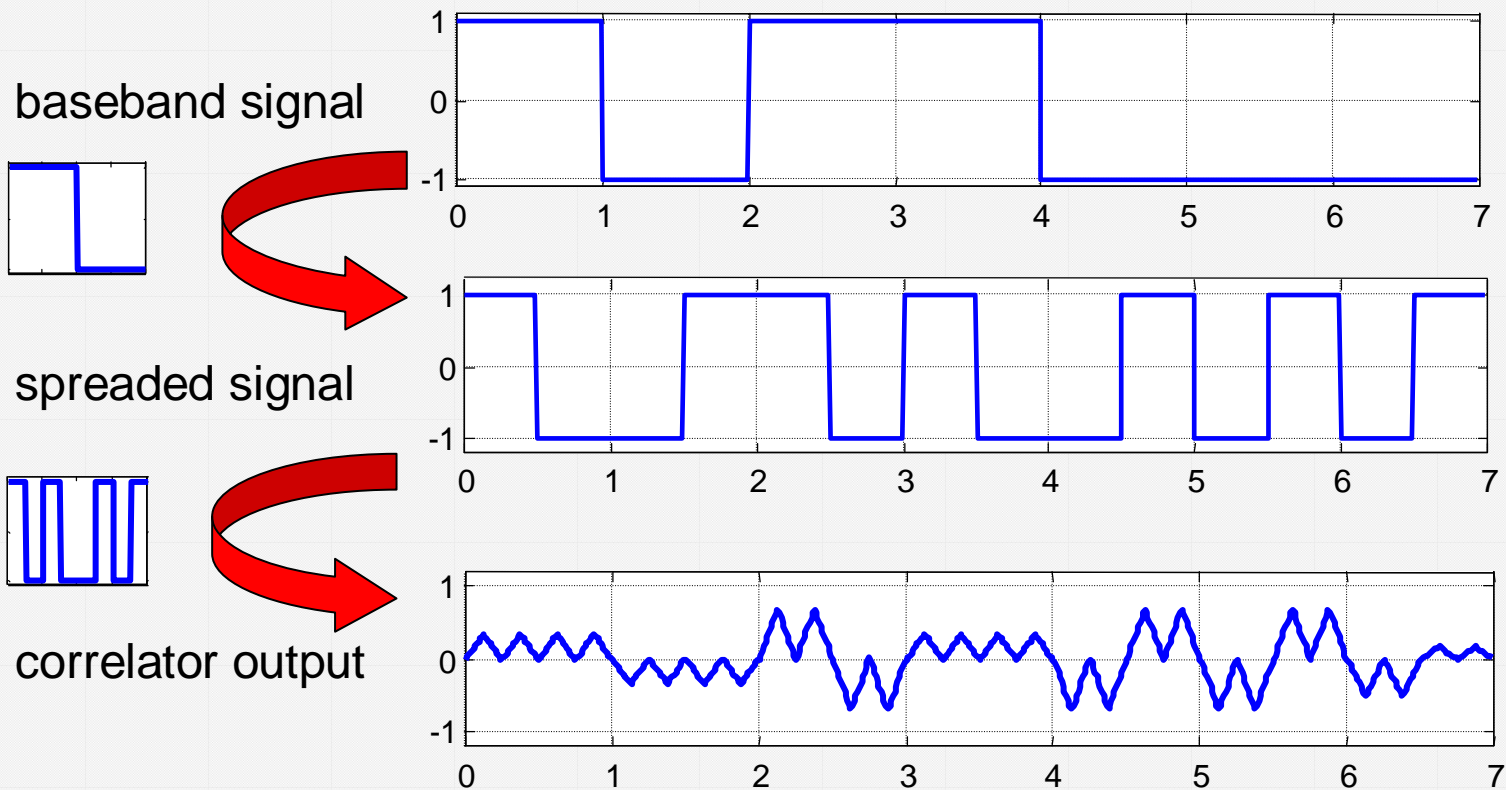
– Intercorrélation des codes



## II-2b. intercorrélation

### – Intercorrélation des codes

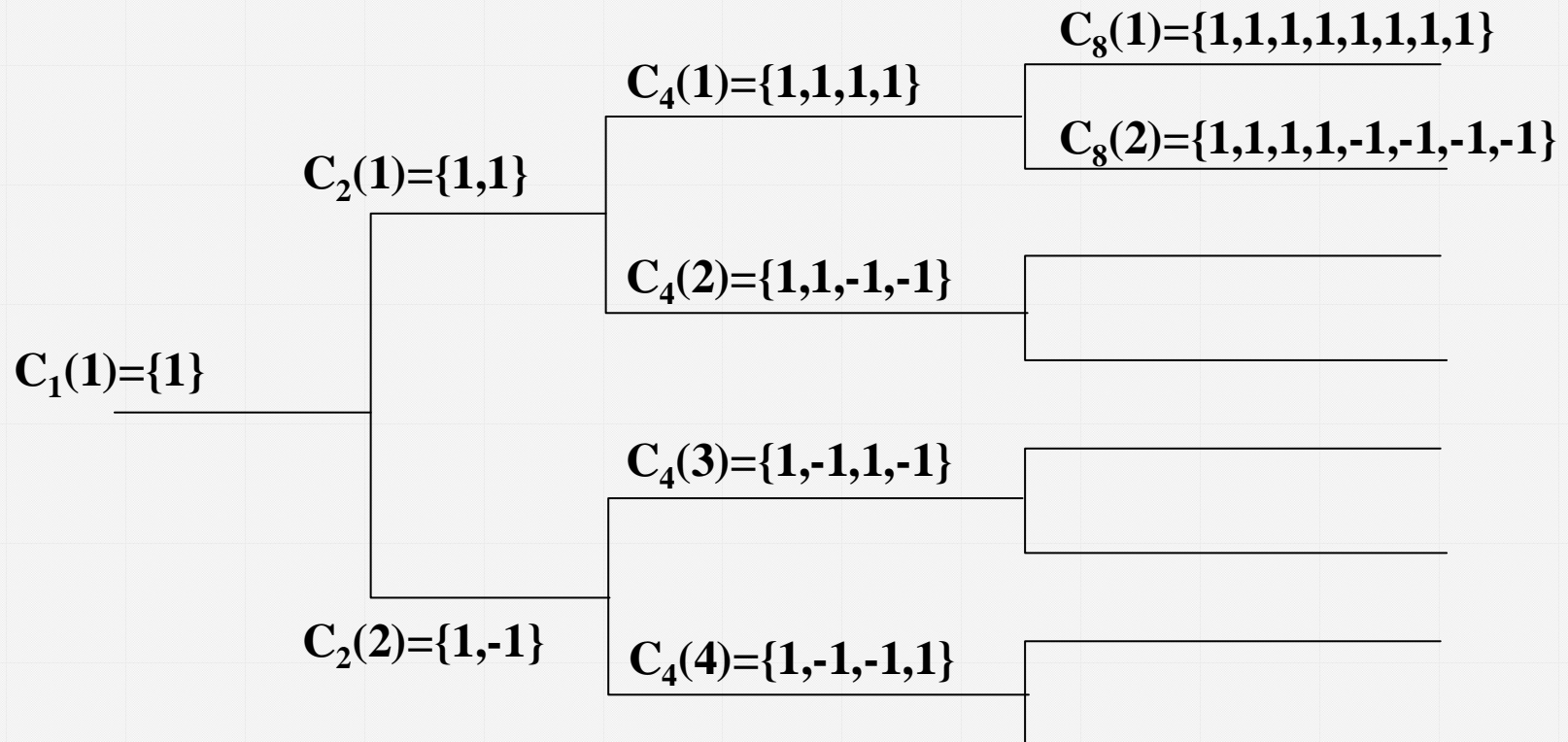
*Cf. démo 4b.*



- Limite des systèmes synchronisés
  - Synchronisation d'émission très fine entre les signaux émis
    - Marche bien pour le multiplexage de flux provenant d'une même source (downlink en UMTS)
  - Détection de pic difficile lorsqu'il y a plusieurs séquences simultanées
    - Emission périodique d'une séquence connue, pendant le silence des autres canaux (c'est le cas pour l'UMTS en downlink)

## c) Codes à débit variable

### Orthogonal Variable Spreading Factor (OVSF)



*possibilité de gérer des débits variables*

## II-2. conclusions : systèmes synchronisés

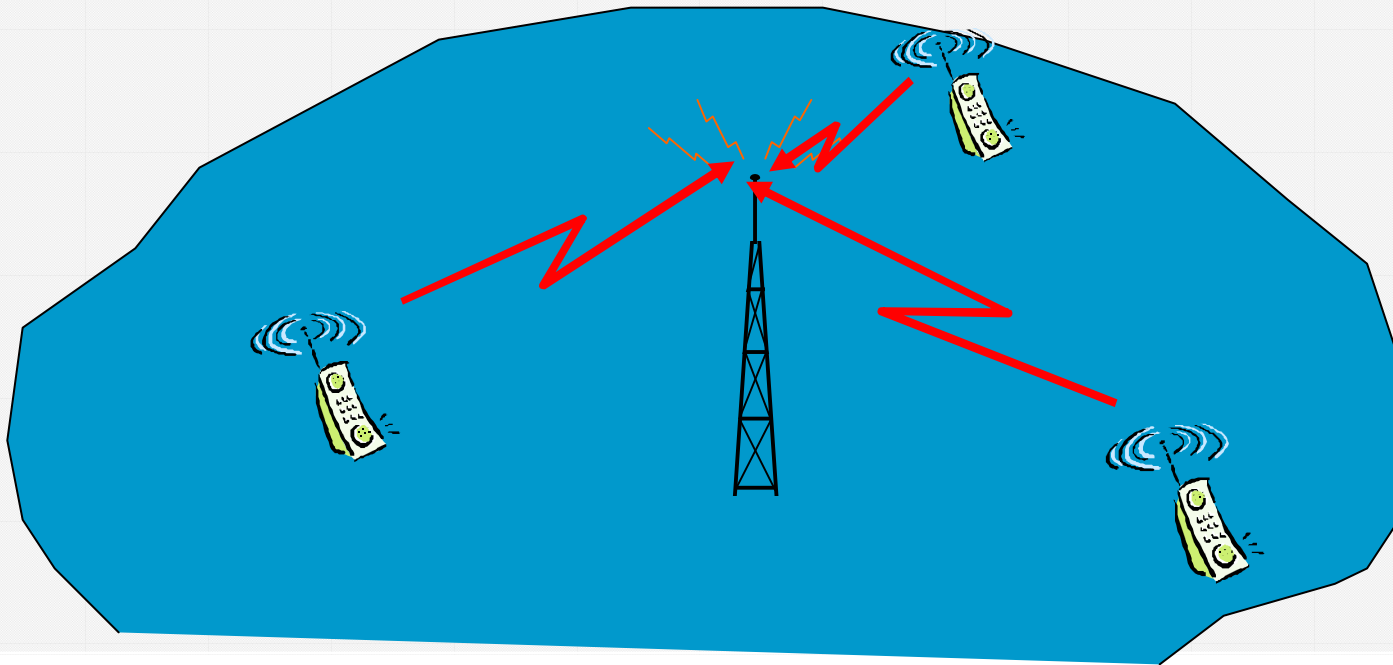
### – Propriétés des codes orthogonaux

- l'orthogonalité est parfaite pour des signaux synchronisés.
- L'étalement n'est pas homogène
- mauvaises propriétés pour des signaux non synchronisés.
- mauvaise résolution temporelle pour le RAKE.
- le nombre de codes est relativement faible :
  - ne peut pas être utilisé pour plusieurs sources, car on retombe sur un problème de planification de codes, au lieu de planifier des fréquences.



## II-3. systèmes non synchronisés

- Plusieurs sources transmettent un message vers un (ou plusieurs) récepteurs



## a) Familles de codes pseudo-orthogonaux

### Codes non orthogonaux :

La contrainte sur les codes non-orthogonaux est différente :

$$\phi_{nn}(0) = \int_0^T c_n(t) \cdot c_n(t) \cdot dt = 1$$

$$\phi_{nm}(0) = \int_0^T c_n(t) \cdot c_m(t) \cdot dt \ll 1; \forall n; \forall m \neq n$$

$$\forall \tau \neq 0 \quad \phi(\tau) = \int_0^T c_n(t) \cdot [c_m(t - T + \tau) \pm c_m(t + \tau)] dt \ll 1$$

On ne veut plus une corrélation nulle mais une corrélation faible, par contre elle doit rester faible avec un décalage  $\tau$  entre les 2 codes.

## II-3a. Codes pseudo

Principe : générateurs pseudo-aléatoires (bruit blanc).

Soit on génère 1 séquence très longue, et on en extrait des ' morceaux ' statistiquement décorélés.

Soit on génère des séquences courtes indépendantes.

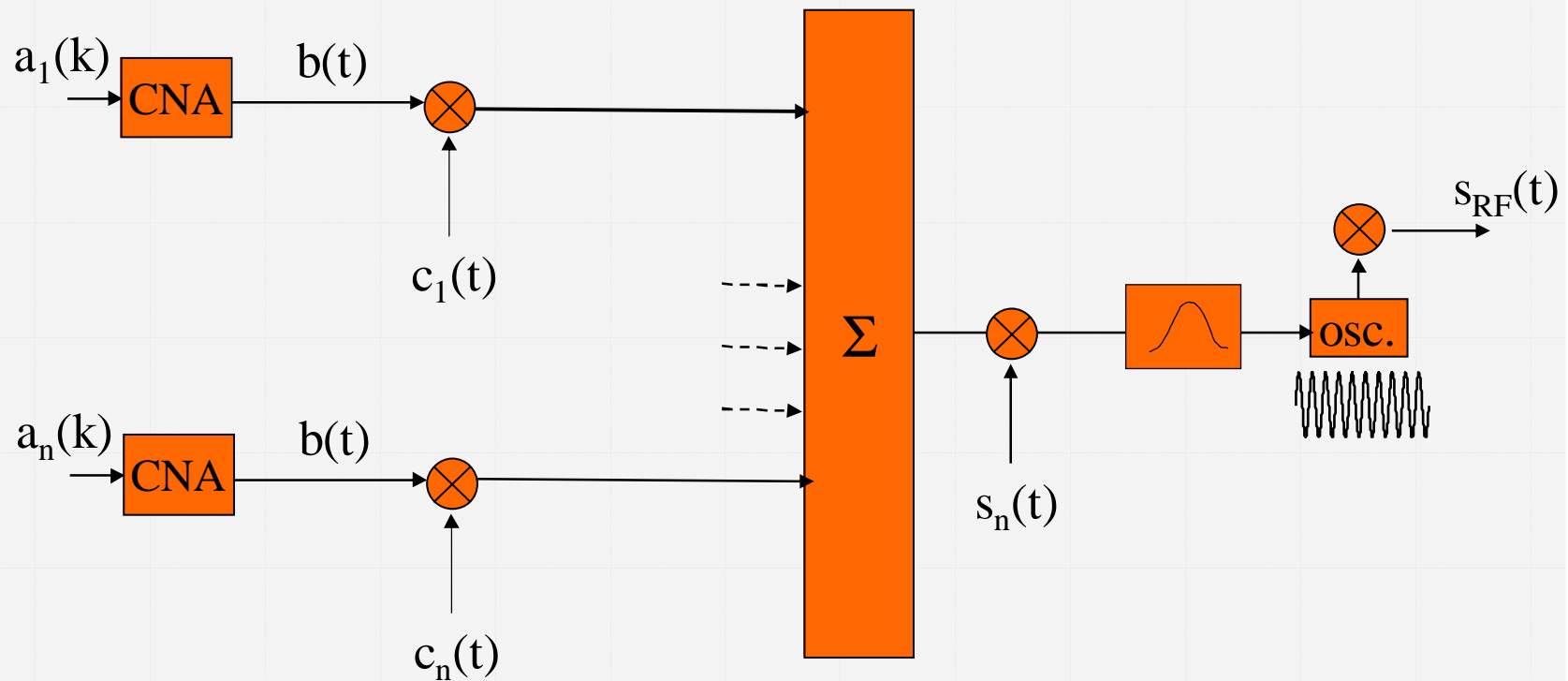
Le plus utilisé (UMTS par exemple) :

- séquences de Gold (1967).
- séquence de Kagami.

## b) Systèmes mixtes

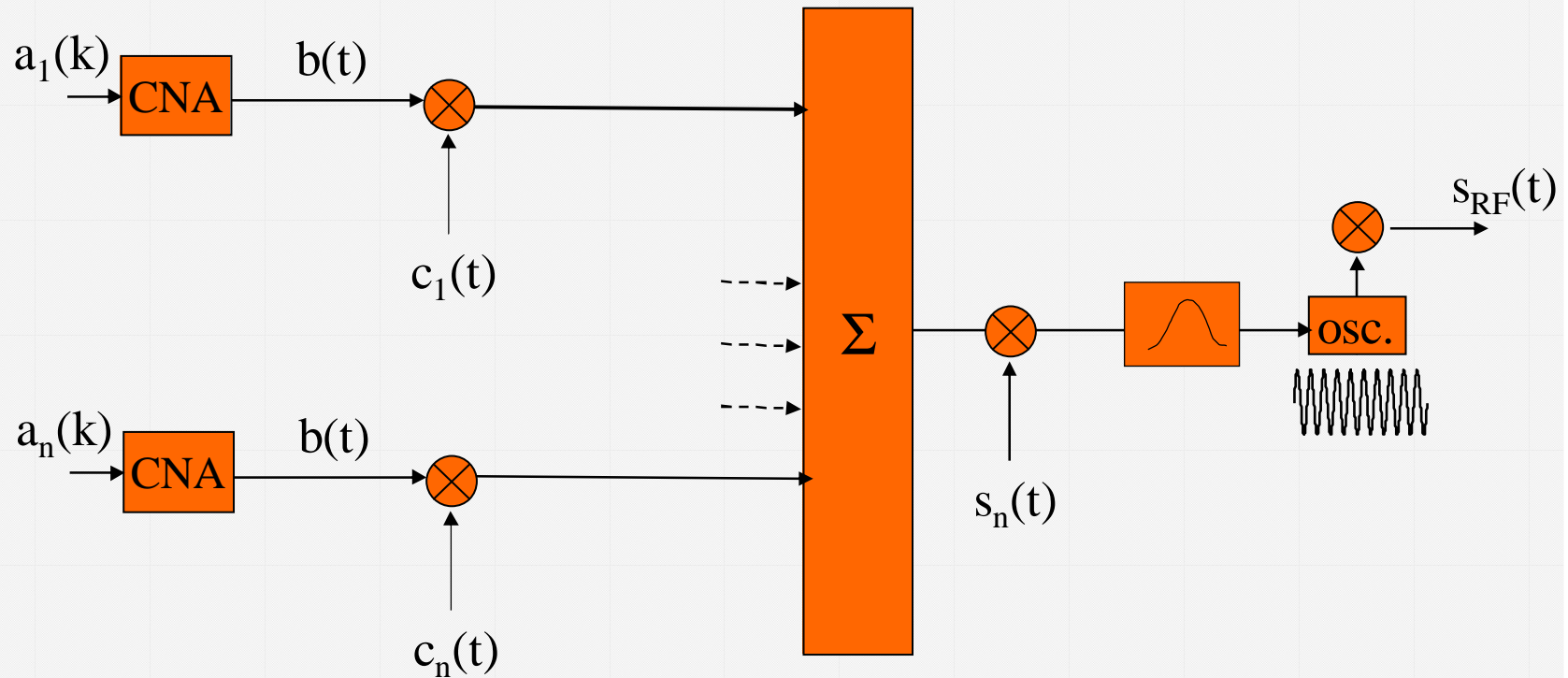
### ■ Principe

- 1 code d'étalement + 1 code de scrambler) :



■ Principe

- 1 code d'étalement + 1 code de scrambler) :



## II-3b. systèmes mixtes

- Le code d'étalement (spreading):
  - gère le multiplexage de plusieurs canaux d'1 seule source (station de base, mobile avec services multiples). Chaque source peut utiliser l'ensemble des codes.
- Le code mélangeur (scrambler) :
  - un code spécifique à chaque source, utilisé comme signature d'une source.

## II-3b. systèmes mixtes

### Comparaison Codes orthogonaux / non orthogonaux

	<b>codes orthogonaux</b>	<b>codes non orthogonaux</b>
<b>générateurs</b>	Walsh	Séquences de Gold, Ikagami
<b>rôle</b>	étalement	scrambler
	séparation de flux d'une même source	séparation de différentes sources
<b>propriétés</b>	gestion de débits variables (OVSF)	robustesse aux chemins multiples
<b>nombre de codes</b>	=facteur d'étalement	quasi infini (attention C/I non nul)

## II-3b.Application dans l'UMTS

- séparation de sources
  - les codes OVSF ne sont orthogonaux que pour une même source.
  - W-CDMA combine ces codes avec des codes long de «scrambling». Chaque station de base, chaque utilisateur possède son code propre
  - Pas de problème de répartition, car plusieurs millions de codes **«statistiquement» faiblement orthogonaux.**



# III. UMTS et W-CDMA

## ■ III-UMTS et W-CDMA

### ■ UMTS

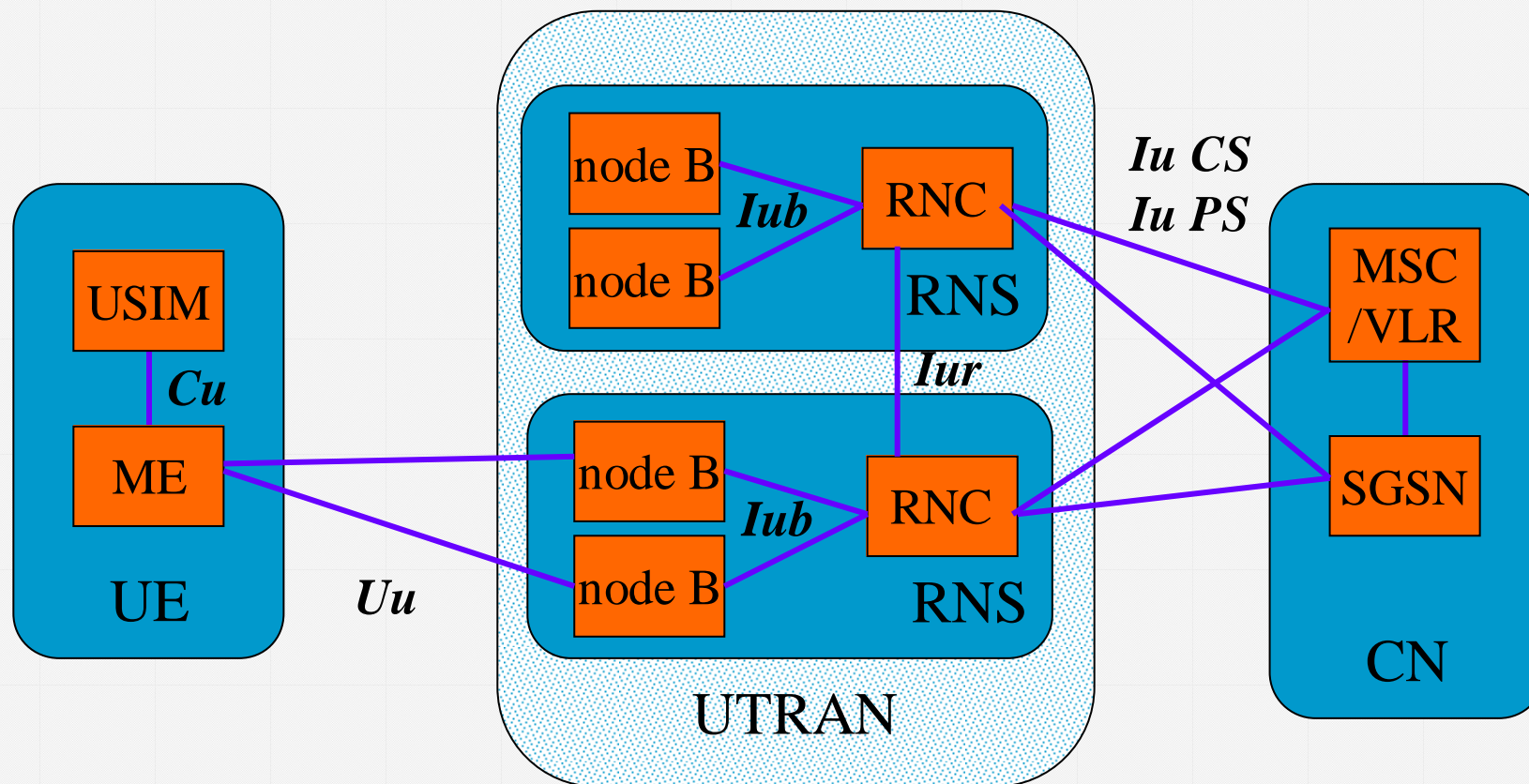
- intègre toutes les spécifications (couche radio, réseau )
- retenu pour les fréquences IMT-2000 préconisées par l'ITU.

### ■ UTRAN : couche radio

- (UMTS terrestrial radio access network)
- technologie : W-CDMA (**FDD** ou TDD)

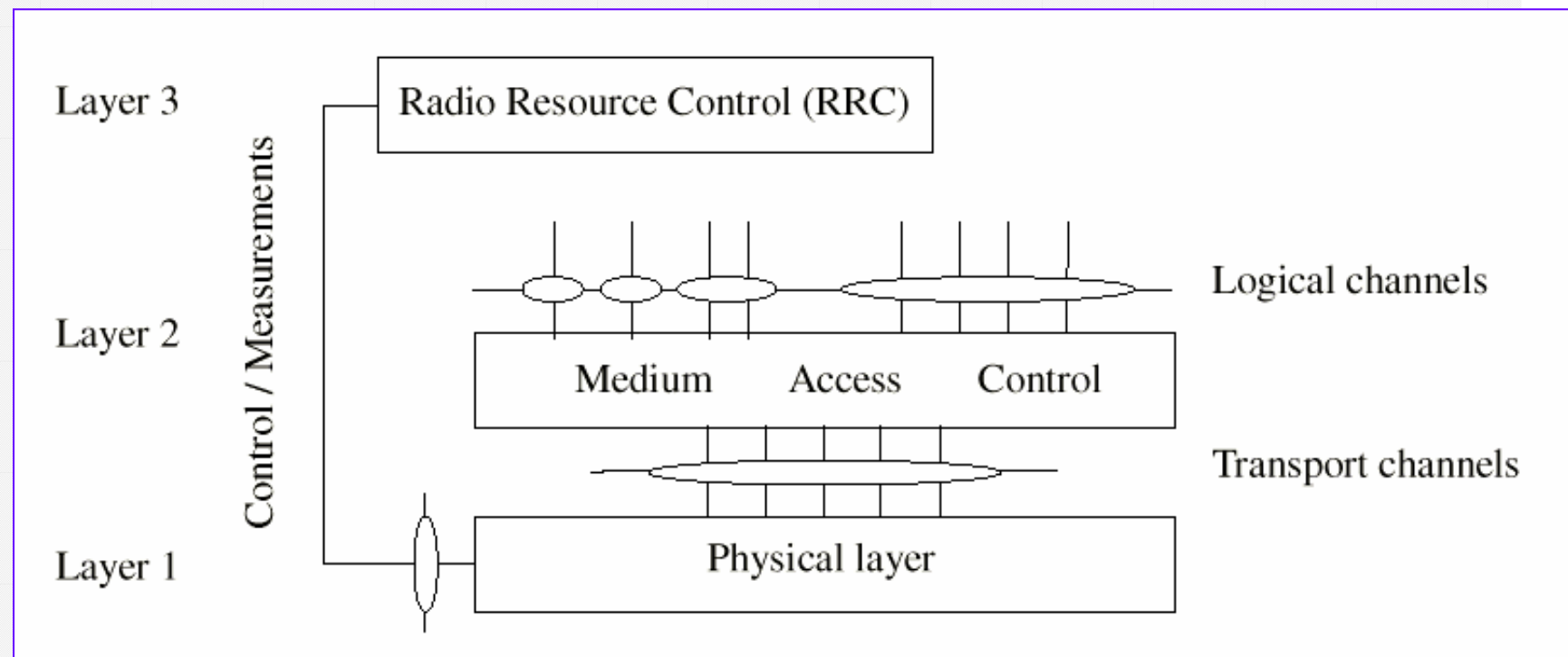
# III-1. l'UMTS

## ■ Architecture de l'UTRAN



## III-1. l'UMTS

### ■ Interface radio Uu autour de la couche physique



## III-1. l'UMTS

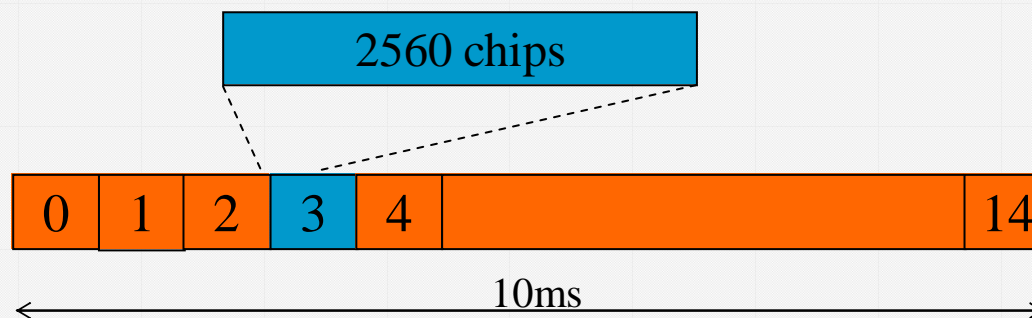
### ■ Éléments de comparaison GSM / WCDMA

	GSM	W-CDMA
Partage des ressources	FTDMA ; 124 porteuses	CDMA : 12 porteuses
Espacement des porteuses	200kHz	5MHz
Vitesse de modulation	271 kHz	3,84 Mcps
Multiplexage de voix par porteuse	Temporel, 8 voix	Par codes, de 1 à 256
Débit utile de données	9 à 12 kb/s 64kb/s avec GPRS	1kb/s à 2.3 Mb/s
Diversité de chemins	Egalisation (viterbi)	Implicite au Rake-receiver
Diversité en fréquence	Saut de fréquence	Etalement (CDMA) (4 à 256)
Optimisation des ressources	Planification des fréquences	Algorithmes de gestion des ressources
Facteur de réutilisation de fréquences	1-18 (~12)	1 (réutilisation de codes)
Contrôle de puissance	2 Hz ou moins	1500 Hz

## III-1. l'UMTS

### ■ Choix de base pour la couche radio

- trames de 10ms
  - 1 trame = 15 slots
  - 1 slot = 2560 chips ;  $\sim 666\mu\text{s}$
  - contrôle de puissance pour chaque slot (1500kHz)



### – multiplexage à débits variables par les codes

#### OVSF

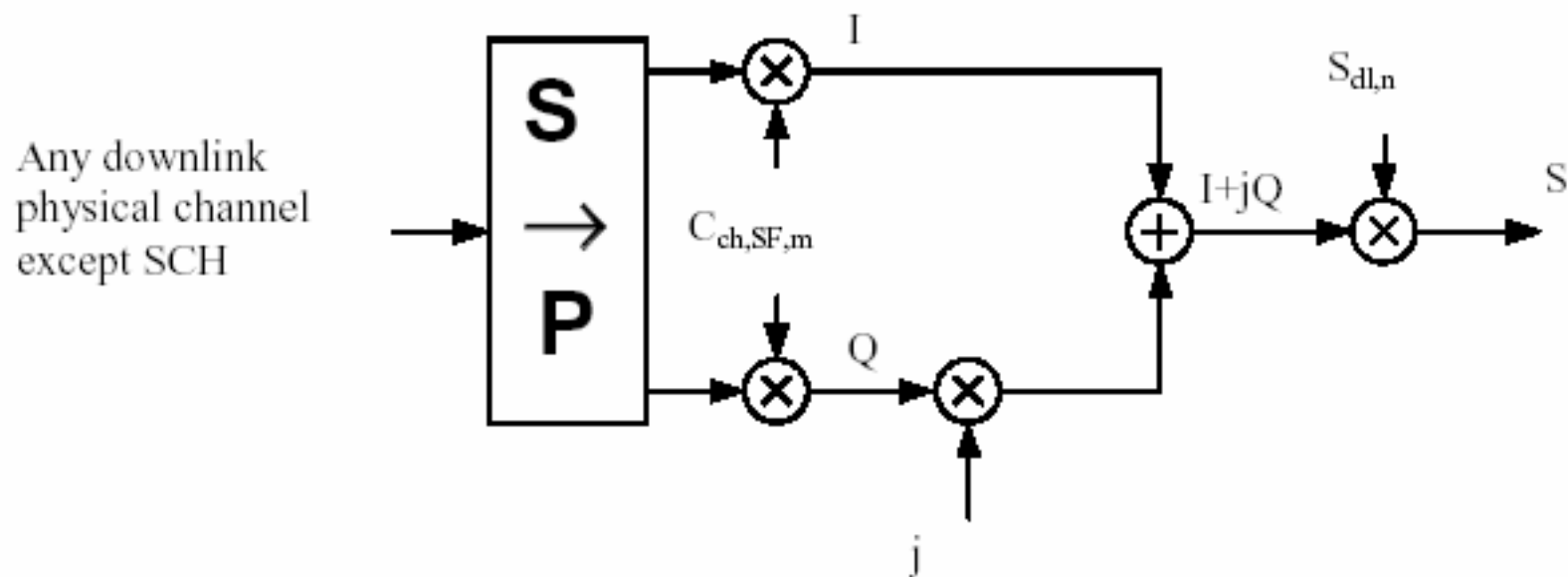
- rôle : partage des ressources entre utilisateurs sur le lien descendant, ou entre applications du même utilisateur sur le lien montant
- l'orthogonalité garantie le zéro interférences entre les canaux.
- Valable uniquement pour l'émission synchronisée depuis la même source.
- Limite : auto-interférences (fading) et interférences avec les autres sources

## III-2.Lien descendant (downlink)

- La station de base doit
  - émettre plusieurs voix multiplexés
  - synchroniser l'émission des différents canaux
  - gérer le multiplexage de canaux à débit variable.
  - contrôler la puissance relative des canaux, en maîtrisant le niveau d'interférences
  - émettre un signal 'pilote' pour l'analyse du lien radio
- Le système doit limiter les interférences entre cellules
  - contrôle de puissance fin
  - utilisation de codes non-orthogonaux de 'scrambling'

## III-2. lien descendant

### Principe de codage d'un canal de données

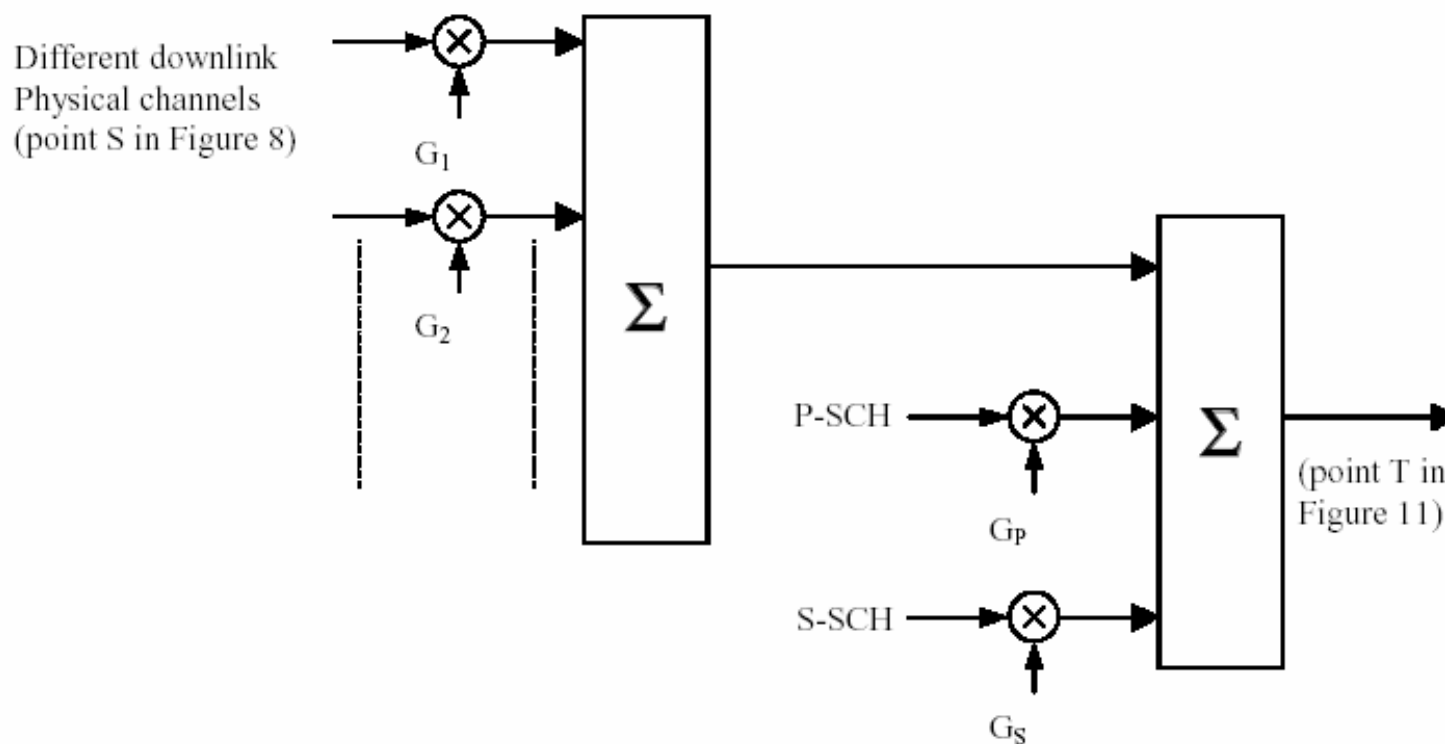


Extrait de : ETSI TS 125 213 V3.4.0 (2000-12) 19 3GPP TS 25.213 version 3.4.0 Release 1999



## III-2. lien descendant

### Multiplexage de plusieurs canaux sur le lien descendant



Extrait de : ETSI TS 125 213 V3.4.0 (2000-12) 19 3GPP TS 25.213 version 3.4.0 Release 1999

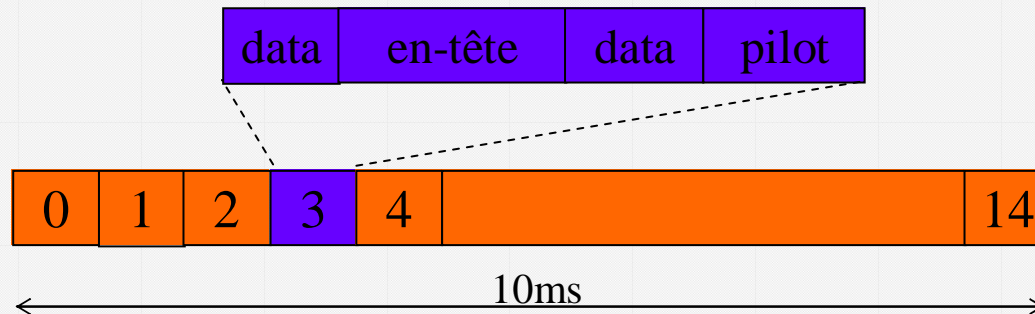
## III-2. lien descendant

### ■ Quelques remarques

- $C_{ch,SF,n}$  est un code d'étalement spectral. Tous les codes utilisés doivent être orthogonaux
- $S_{dl,n}$  est un code de «scrambling». Il est propre à la cellule (permet la séparation des signaux de différentes cellules).
- Le contrôle de puissance est effectué via les paramètres de gain  $G_i$ .
- Les canaux P-SCH, S-SCH sont des canaux de synchronisation (séquences connues non codées)
- Le canal du pilote commun et les canaux de contrôle communs utilisent toujours les codes d'étalement  $C_{ch,256,0}$  et  $C_{ch,256,1}$

## III-2. lien descendant

- Multiplexage canal de données/ canal de contrôle
  - à chaque canal de données est associé un canal de contrôle. Ils sont multiplexés en temps sur le lien descendant



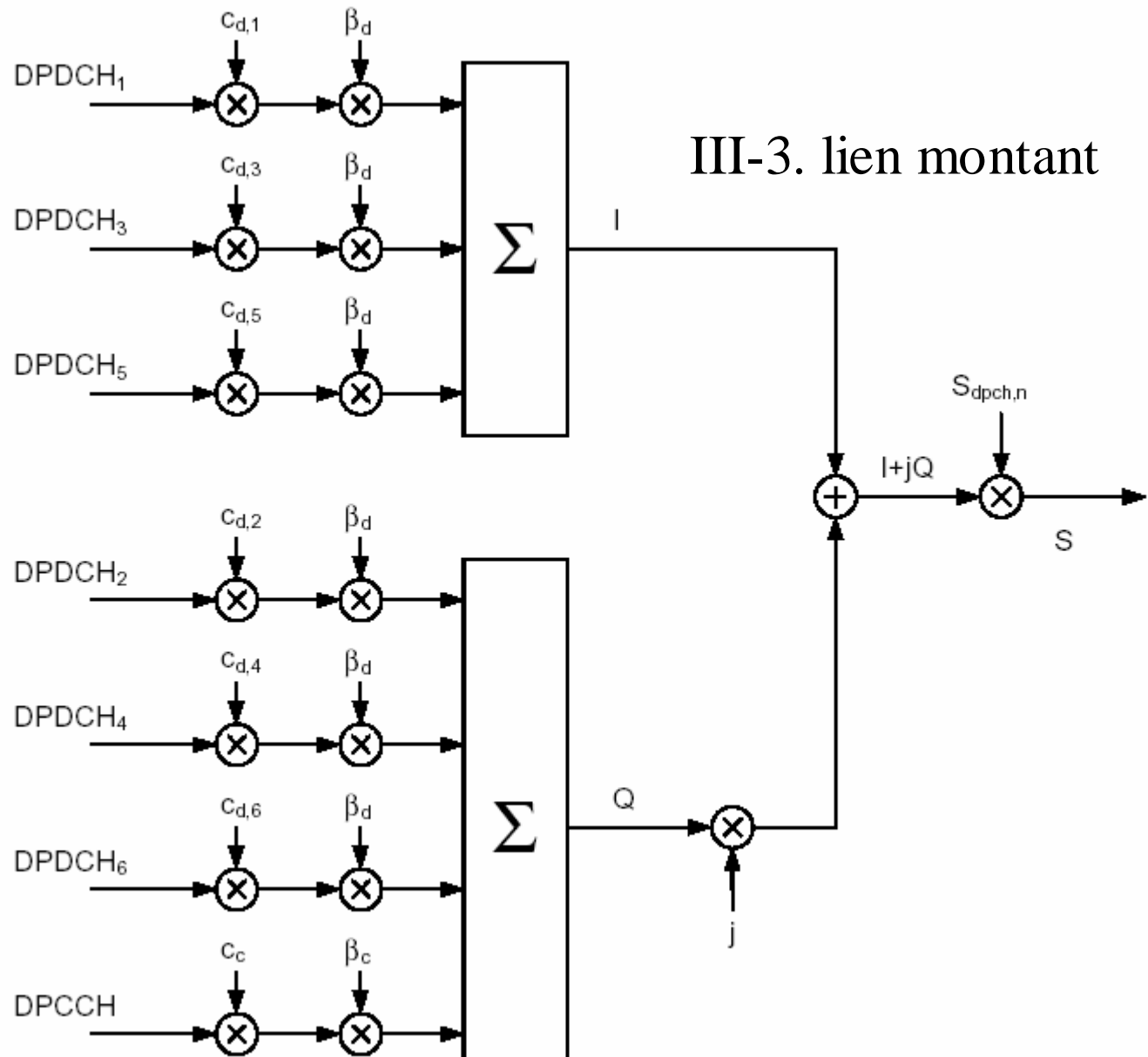
## III-2. lien descendant

Facteur d'étalement	Rs (kbps)	Rb (kbps)	Bits de Contrôle (kbps)	Bits utiles après codage canal ½ taux (kbps)
512	7.5	15	3-6	1-3 kbps
256	15	30	12-24	6-12 kbps
128	30	60	42-51	20-24 kbps
64	60	120	90	45 kbps
32	120	240	210	105 kbps
16	240	480	432	215 kbps
8	480	960	912	456 kbps
4	960	1920	1872	936 kbps
4, avec 3 codes //	2880	5760	5616	2.3 Mbps

## III-3. Lien montant (uplink)

- La station mobile doit :
  - émettre éventuellement plusieurs canaux multiplexés (ex : voix + données)
  - gérer le multiplexage de canaux à débit variable.
  - émettre un signal 'pilote' pour l'analyse du lien radio
- Le système doit limiter les interférences entre cellules
  - contrôle de puissance fin
  - utilisation de codes non-orthogonaux de 'scrambling'

Multiplexage  
de plusieurs  
canaux sur le  
lien montant,  
dont un canal  
de contrôle



Extrait de : ETSI TS 125 213 V3.4.0 (2000-12) 19 3GPP TS 25.213 version 3.4.0 Release 1999

### III-3. lien montant

#### ■ Quelques remarques

- $C_{d,i}$  est un code d'étalement spectral. Tous les codes utilisés doivent être orthogonaux. Si possible, utiliser 1 seul canal : DPDCH<sub>1</sub>.
- $S_{dpch,n}$  est un code de «scrambling ». Il est propre au mobile (permet la séparation des signaux de différents mobiles, par la station de base). Il est complexe.
- Le contrôle de puissance est effectué via les paramètres de gain  $\beta_i$ .
- Le canal DPCCH est le canal de contrôle (pilote) utilisant les codes d'étalement  $C_{ch,256,0}$ .
- Sur le lien montant, il n'y a pas de multiplexage temporel, le pilote étant multiplexé par les codes.

### III-3. lien montant

Facteur d'étalement	Rs (kbps)	Rb (kbps)	Bits utiles après codage canal ½ taux (kbps)
256	15	15	7.5 kbps
128	30	30	15 kbps
64	60	60	30 kbps
32	120	120	60 kbps
16	240	240	120 kbps
8	480	480	240 kbps
4	960	960	480 kbps
4, avec 6 codes //	5740	5740	2.3 Mbps

Rem : il n'y a plus de «pertes de débit» lié au multiplexage temporel , et le facteur d'étalement est limité à 256. A part dans le dernier cas, les bits de données sont transmis sur I et les bits de contrôle sur Q.