

Génération des codes CDMA dans l'UMTS

Étalement de spectre

- Principe

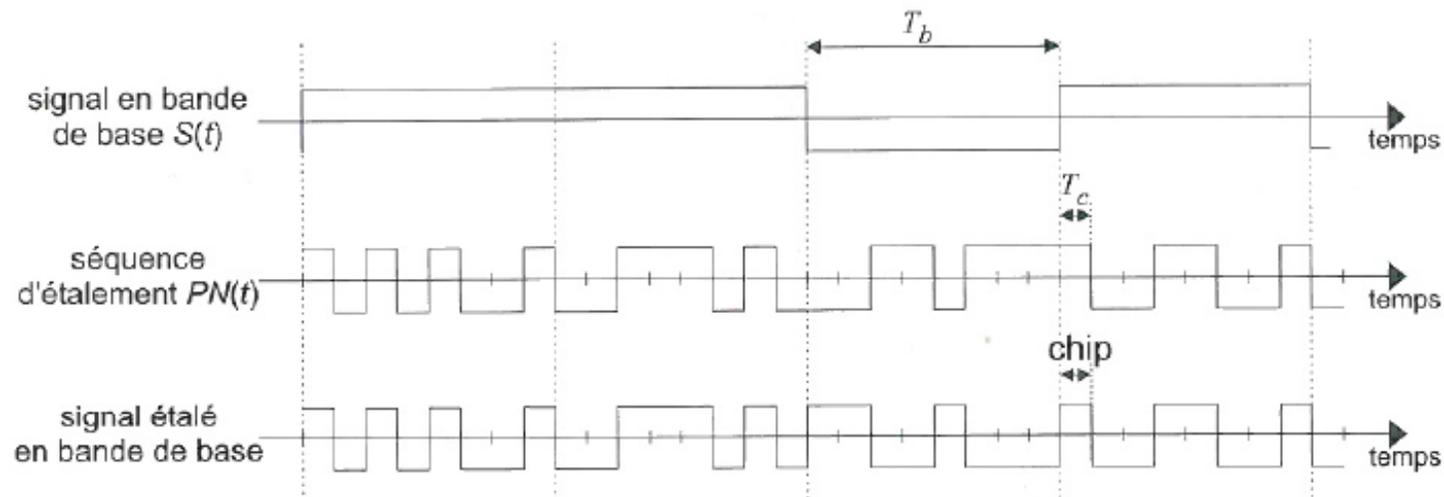
- Transmettre une information sur un signal occupant un spectre nettement plus grand que le minimum nécessaire

- Avantage

- Bonne résistance aux bruits

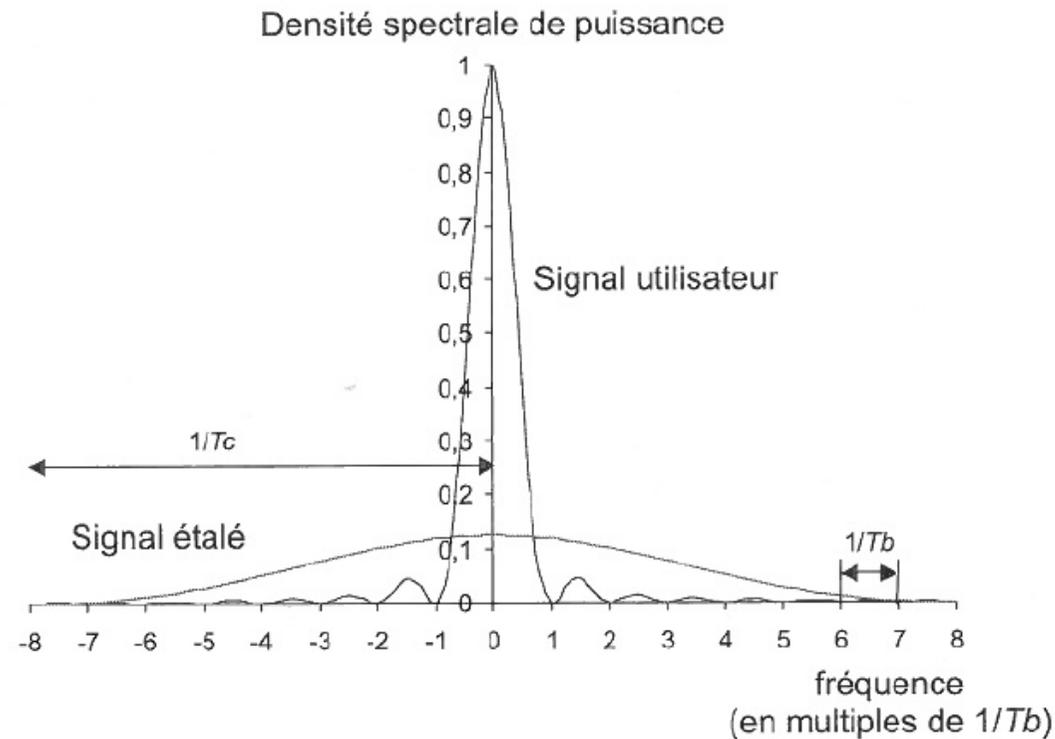
Étalement à séquence directe

- Considérons une suite de **bits** transmise en bande de base à un débit R_b [bit/s]
- L'étalement de spectre consiste à multiplier la suite de données par une séquence prédéfinie $PN(t)$ valant +1 ou -1 et variant à un rythme $R_c = n * R_b$ [chip/s]
- n est le **facteur d'étalement**
- La partie élémentaire de la séquence $PN(t)$ s'appelle **chip**
- Exemple d'un signal étalé avec $n = 8$



Comparaison des spectres

- L'étalement a pour effet de multiplier la largeur du spectre d'un facteur n
- Le rapport entre le spectre du signal avant étalement et après étalement est égal à n

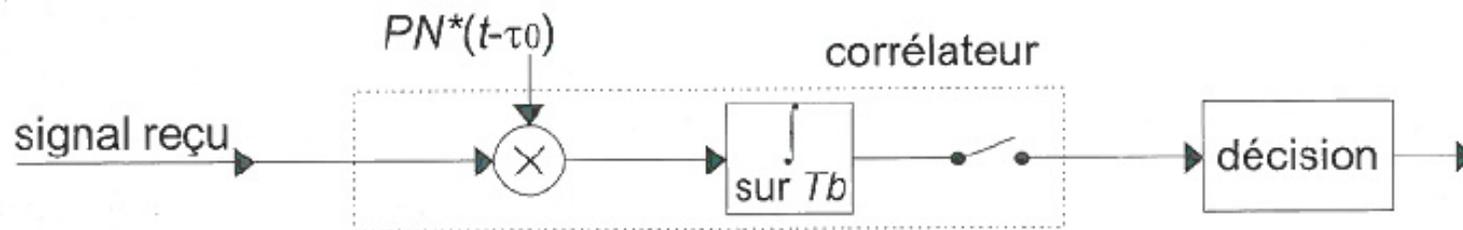


Le gain d'étalement

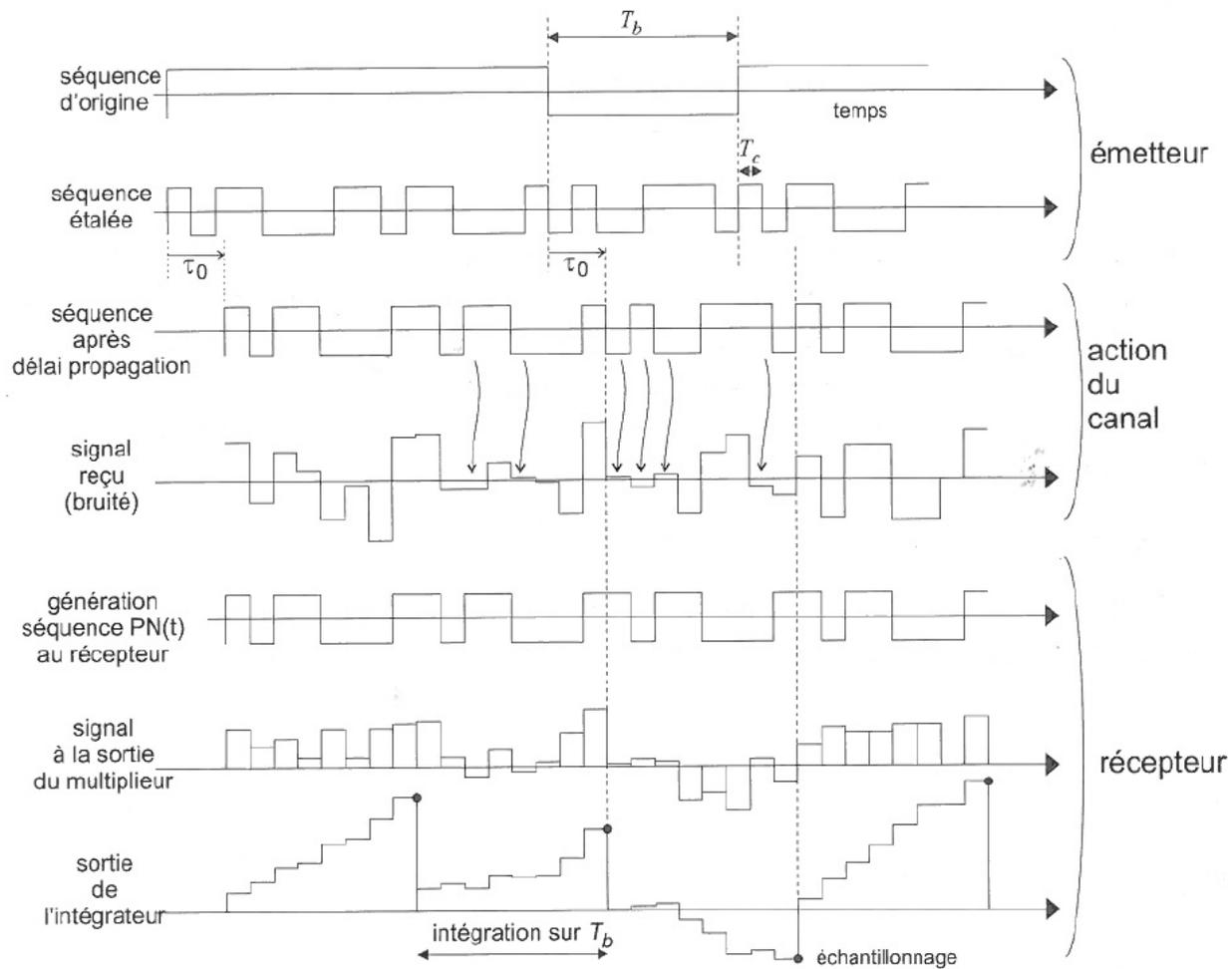
- Pour atteindre le même rapport signal à bruit, le signal étalé peut tolérer une puissance de bruit égale à n fois la puissance de bruit présent dans la transmission sans étalement
- Exemple
 - Pour avoir un taux d'erreur binaire de 10^{-3} , il faut un rapport signal à bruit égal à 6 dB (une puissance du signal égale à 4 fois la puissance du bruit)
 - Avec un facteur d'étalement $n = 128$, le rapport signal à bruit du signal étalé est de $6 - 10\log_{10}(128) = -13$ dB (une puissance du bruit égale à 200 fois la puissance du signal) → on peut avoir un faible taux d'erreur même lorsque le signal étalé est complètement « noyé » dans le bruit
- n est le **gain d'étalement**

Récepteur

- Pour retrouver le signal d'origine, il faut multiplier le signal reçu par $PN(t)$
- Un intégrateur sur une durée bit T_b permet de détecter le bit émis
- Il est nécessaire pour la réception d'estimer le délai de propagation (τ_0) afin de retrouver le signal d'origine → il faut une synchronisation à faire en réception



Exemple de réception



CDMA (Code Division Multiple Access)

- Le multiplexage a pour principe de transmettre plusieurs signaux en parallèle sans que l'un n'interfère avec l'autre
- CDMA utilise l'étalement de spectre et suit le principe de multiplexage par des codes orthogonaux
- Un flux de données à un débit R_b est transmis par une séquence de chips à un débit supérieur $R_c = n * R_b$
- Le multiplexage des différents flux s'effectue en choisissant des séquences ayant de bonnes propriétés d'orthogonalité

Matrice d'Hadamard

- Les matrices d'Hadamard H_n sont construites récursivement à partir d'une matrice de dimension un $H_1 = (+1)$ et de la relation récurrence

$$H_{2n} = \begin{pmatrix} +H_n & +H_n \\ +H_n & -H_n \end{pmatrix}$$

- Les dimensions des matrices d'Hadamard sont des puissances de 2

Exemples des matrices d'Hadamard

- On calcule facilement H_2

$$H_2 = \begin{pmatrix} +1 & +1 \\ +1 & -1 \end{pmatrix}$$

- Après 2 récurrences, on obtient H_8

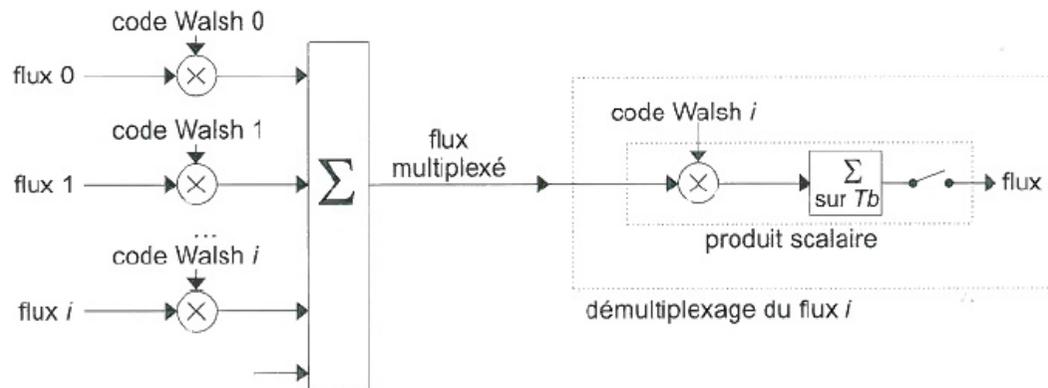
$$H_8 = \begin{pmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 \\ +1 & +1 & +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & +1 & +1 & -1 \end{pmatrix}$$

Code de Walsh

- Une ligne de la matrice d'Hadamard est appelée un code de Walsh
- Les n codes de Walsh dans une matrice d'Hadamard H_n sont orthogonaux entre eux (c.à.d. tous les produits scalaires de 2 codes différents sont 0)
- Exemple avec deux dernière lignes (nommé w_6 et w_7) de H_8
 - $\langle w_6, w_7 \rangle = (+1)*(+1) + (+1)*(-1) + (-1)*(-1) + (-1)*(+1) + (-1)*(-1) + (-1)*(+1) + (+1)*(+1) + (+1)*(-1) = 1 - 1 + 1 - 1 + 1 - 1 + 1 - 1 = 0$

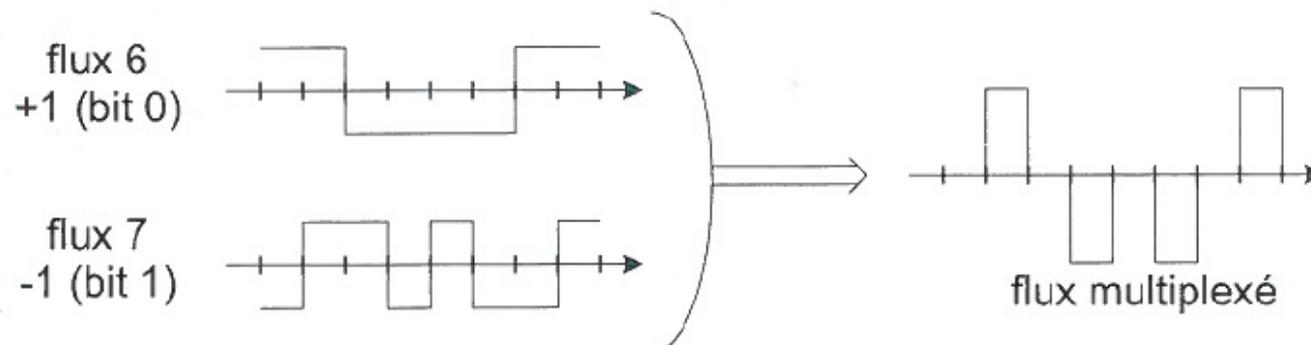
Multiplexage et démultiplexage par les codes

- Une matrice d'Hadamard de dimension n possède n codes de Walsh
- Il est possible de transmettre n flux de n utilisateurs simultanément
- Chaque utilisateur se voit affecter un code w_i qui est une ligne de la matrice d'Hadamard
- A la réception, pour extraire la donnée transmise par l'utilisateur i , il suffit de faire le produit scalaire du signal reçu et de la séquence w_i
- La valeur reçue est égale à n fois la valeur du signal émis \rightarrow on peut donc facilement récupérer le bit émis



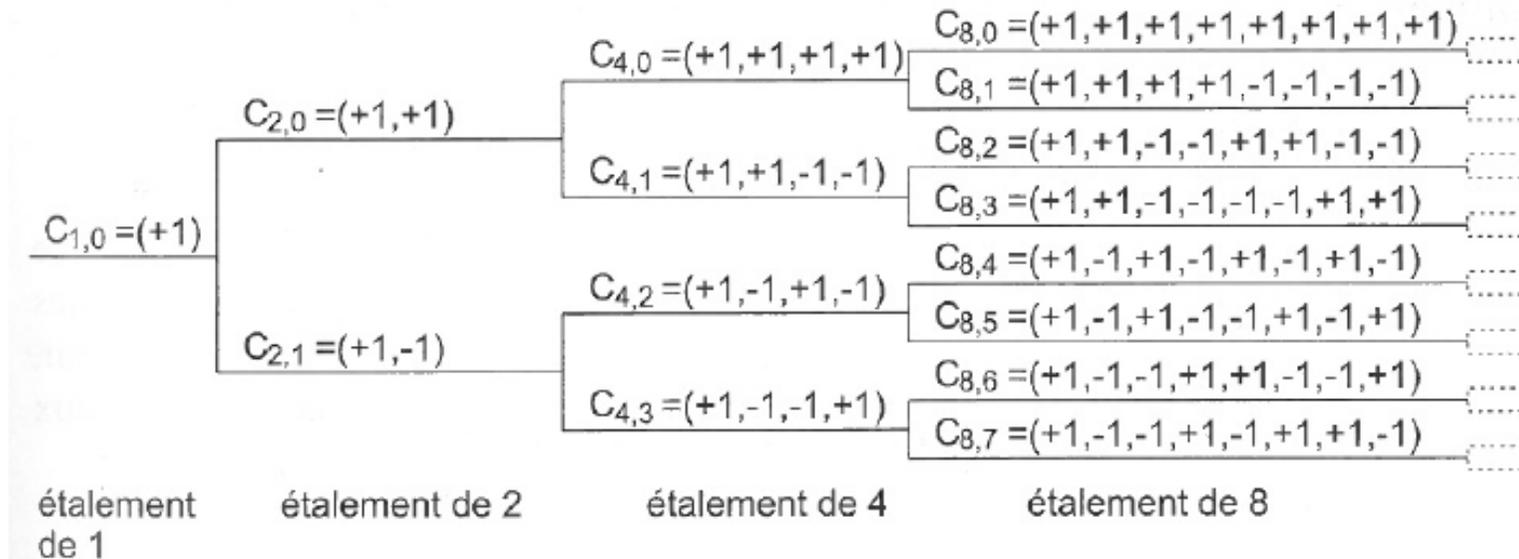
Exemple de multiplexage en CDMA

- On considère 2 flux (nommés flux 6 et flux 7) auxquels sont affectés les codes w_6 et w_7
 - Sur le flux 6, on transmet +1 (bit 0)
 - Sur le flux 7, on transmet -1 (bit 1)
- Le flux multiplexé est 0 +2 0 -2 0 -2 0 +2
- $\langle \text{flux 6}, w_6 \rangle = 0 + 2 - 0 + 2 - 0 + 2 + 0 + 2 = 8 \rightarrow$ le démultiplexage redonne un signal de valeur 1 (bit 0)
- $\langle \text{flux 7}, w_7 \rangle = +0 - 2 - 0 - 2 - 0 - 2 + 0 - 2 = -8 \rightarrow$ le démultiplexage redonne un signal de valeur -1 (bit 1)



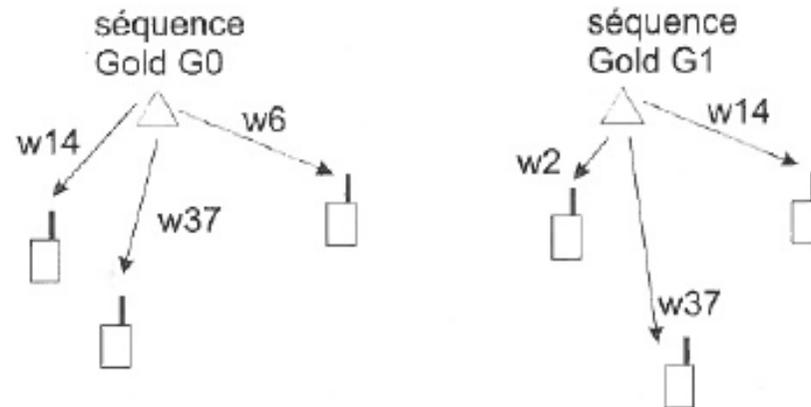
Codes OVSF

- Orthogonal Variable Spreading Factor
- Il est possible d'obtenir les mêmes séquences que celles de Walsh mais dans un ordre différent



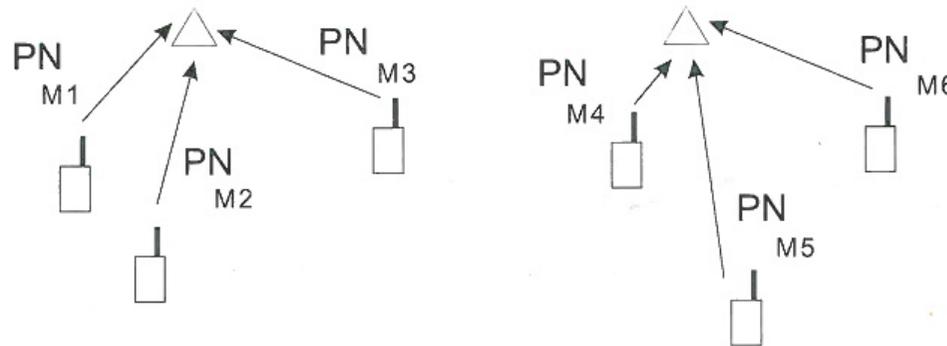
Principe de transmission sur la voie descendante

- Les codes orthogonaux permettent un multiplexage de plusieurs transmissions
 - Une transmission vers un mobile = un canal = un code
- Les séquences PN (e.g. les séquence de Gold) permettent une réutilisation de la même fréquence sur différentes cellules
 - Une séquence de Gold appliquée à une station de base = un code d'embrouillage (scrambling code)
 - Les séquences de Gold ont de bonnes propriétés d'autocorrélation permettant à l'ensemble des interférences des stations de base voisines d'avoir une caractéristique proche d'un bruit Gaussien



Principe de transmission sur la voie montante

- Utiliser des séquences PN pour différencier les mobiles entre eux
- La séquence PN est propre au mobile et elle ne dépend pas de la station de base à laquelle il est rattaché → faciliter le soft-handover
- Pour que la station de base connaisse la séquence utilisée par le mobile, tout échange est précédé d'un accès aléatoire qui comprend la transmission de la séquence utilisée par le mobile à la station de base



UTRA-FDD

- CDMA à $R_c = 3,84$ Mchip/s
- Utilise la modulation QPSK (Quaternary Phase Shift Keying)
 - 1 symbole = 2 bits
 - $SF = R_c/R_s$
- Voie descendante
 - Les canaux sont séparés par les codes OVSF orthogonaux
 - Un code d'embrouillage est appliqué pour différencier les stations de base
- Voie montante
 - Séparation se fait par un code pseudo aléatoire propre à chaque mobile

Fréquences

