

# CDMA : Technique d'accès de l'UMTS

## OBJECTIF

- Analyse de la technique d'étalement de spectre.
- Analyse des codes orthogonaux.
- Simulation d'une liaison CDMA à 3 utilisateurs.

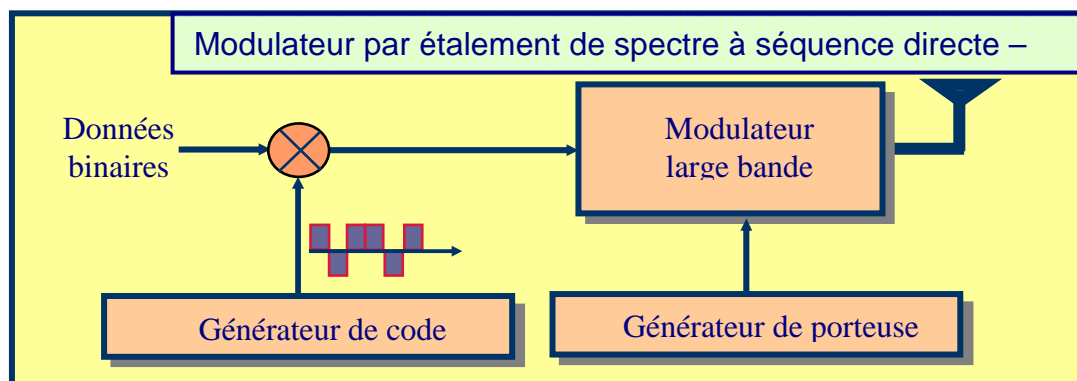
## Présentation

Simulink est un outil de simulation de signaux et systèmes s'appuyant sur la structure de Matlab. Il permet de construire de manière visuelle et interactive des structures en blocs de complexité relativement élevée, autorisant ainsi la simulation de nombreux systèmes réels. On s'intéressera lors de ce TP aux techniques d'accès CDMA (Accès Multiples à répartition par codes).

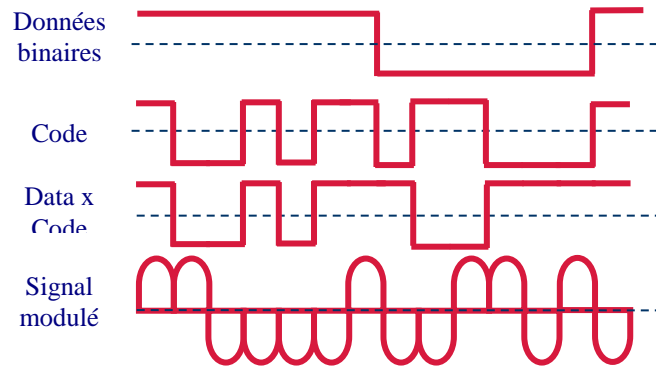
## PRINCIPE :

Un système de **modulation par étalement de spectre** transforme un signal porteur de l'information utile en un signal de transmission dont la bande passante est plus importante. Ceci est réalisé par un encodage du signal utile avec un mot de code indépendant du signal occupant un spectre plus important que le spectre du signal utile.

L'une des techniques de modulation la plus utilisée pour générer des signaux modulés par étalement de spectre est la **modulation à séquence directe ou DS-SS (Direct-sequence spread-spectrum)**. Le signal porteur de l'information utile (les données) est modulé directement par un code numérique rapide.



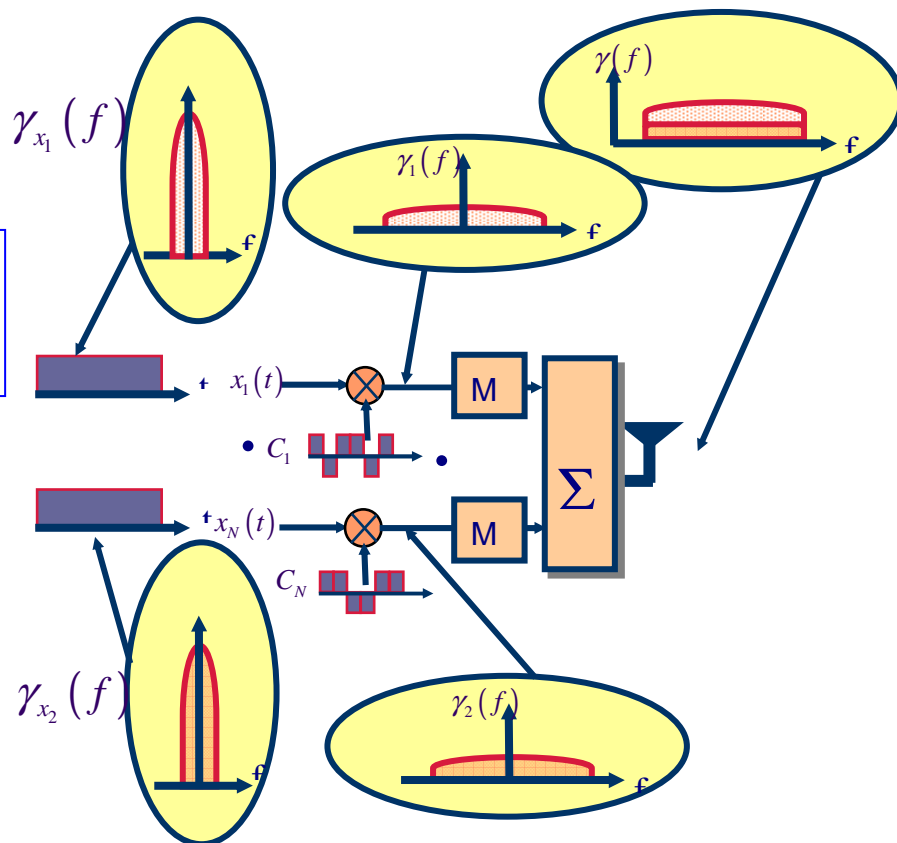
Le code est constitué de plusieurs bits ou « chips » pouvant prendre les valeurs +1 ou -1. Sur la figure ci-contre, il y a 7 « chips » par éléments binaires d'information (le gain de traitement égal 7). En pratique, le gain est plus important de l'ordre de 100 à 1000



Du fait du codage spécifique autorisant une bande passante élargie, les techniques d'étalement de spectre possèdent des propriétés spécifiques différentes de celles des signaux faible bande. Ces techniques ouvrent notamment la possibilité **d'accès multiples**. Si plusieurs utilisateurs transmettent au même moment des signaux modulés par étalement de spectre, le récepteur peut distinguer ces différents utilisateurs à condition que chacun d'entre eux possède un code d'étalement unique ayant des propriétés de faible intercorrélations avec les autres mots de codes utilisés.

Si l'on effectue, au niveau du récepteur, la corrélation entre le signal reçu et un code d'étalement utilisé par un utilisateur, le signal provenant de cet utilisateur sera des-étalé tandis que les signaux provenant des autres utilisateurs resteront étalés sur une large bande passante.

Principe d'un système CDMA à l'émission



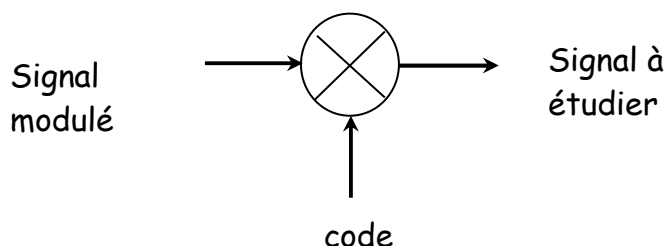
## Manipulation

Mise en œuvre de Simulink :

- Lancer Matlab®
- Démarrer Simulink, en tapant "simulink" dans la fenêtre de commande Matlab®.
- Ouvrir un espace de travail File>New>Model

## 1. Etude de l'étalement de spectre.

Le signal que l'on va étudier sera obtenu par modulateur à séquence directe dont le schéma de principe est le suivant :



La voie de signal utile à transmettre sera obtenue par la mise en cascade :

- (a) D'un générateur aléatoire "Random Integer" [  $M=2$  ;  $Tech=10^{-6}$  ; initial seed :  $\forall$  ].
- (b) D'un convertisseur "unipolar to bipolar" qui transformera les données binaires à valeurs dans  $A = \{0,1\}$  en format bipolaire à valeurs dans l'alphabet  $\pm 1$ .

La voie de code sera obtenue par la mise en cascade :

- (c) D'un générateur de séquence pseudo aléatoire "PN Sequence generator" [ choix du polynome générateur suite de 0, 1 quelconque (sauf tous nuls) de longueur  $n+1$  ; états initiaux suite de 0, 1 quelconque (sauf tous nuls) de longueur  $n$  ; shift : 0 ;  $Tech=10^{-6} / (2^n - 1)$  ].
- (d) D'un convertisseur unipolaire-bipolaire "Unipolar to Bipolar Converter" .

La fonction multiplication est ensuite réalisée par l'élément "Product" [au sens d'élément par élément].

- Observation dans le domaine temporel :

On utilisera la fonction "Vector Scope"[Scope properties : input domain : time ; time display span :  $t_{obs} = (3) * (2^n - 1) * r$ ], éventuellement précédée de la fonction "repeat" dont le taux de répétition  $r$  pourra être fixé à 5 pour une bonne visualisation des signaux.

- Observation dans le domaine fréquentiel :

Le spectre sera observé sur un analyseur de spectre à FFT "Spectrum Scope" [scope properties >buffer input >buffer size :  $2^k$  , buffer overlap : 0, number of spectral averages 20 ] en sortie du modulateur BPSK et en sortie du multiplieur.

Afin d'observer les signaux sur la même bande, (On rappelle que la bande d'observation de la  $FFT = 1/T$ ,  $T$  étant le plus petit intervalle du signal à analyser) il sera nécessaire de sur-échantillonner la voie la plus lente pour la ramener au même rythme que celui de la voie de code. On utilisera pour cela un sur-échantillonneur "Repeat" dont le taux de répétition sera calculé en fonction de  $2^n - 1$  longueur du code.

### Questions :

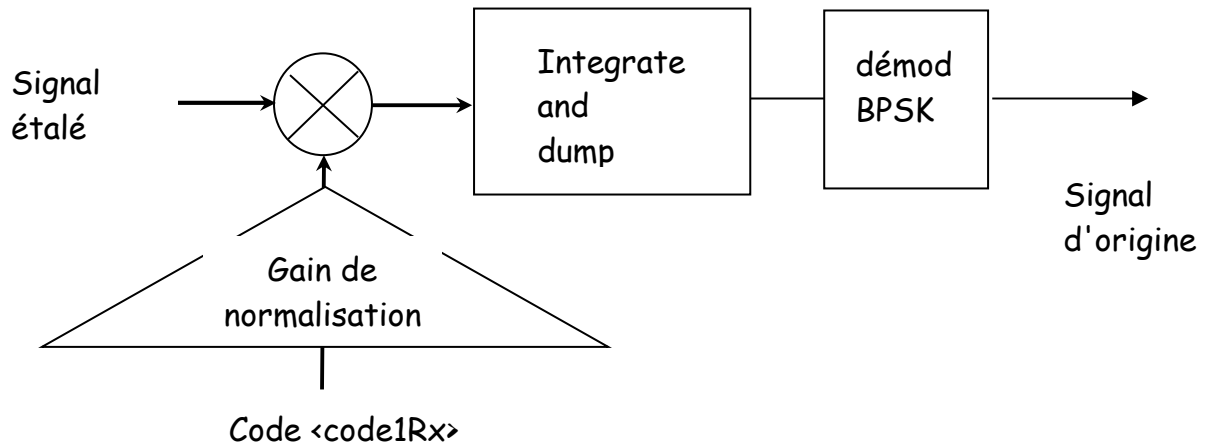
**Q1- Observer en temporel le signal en sortie du générateur aléatoire et en sortie du générateur de séquence pseudo aléatoire. Commentez.**

**Q2- Comparer les deux spectres avant et après la fonction multiplication pour une valeur quelconque de  $n$ . Commentez.**

**Q3- Etudier l'influence de la longueur du code sur l'étalement de spectre. Se placer dans le cas  $n = 3$  puis  $n = 7$ , qu'observe-t-on ?**

## 2. Construction d'un récepteur.

L'opération de de-étalement effectuée au niveau du récepteur permet de retrouver notre signal d'origine. Le schéma de principe du récepteur est donné ci-dessous :



- La fonction multiplication est réalisée par l'élément "product" [au sens de élément par élément].
- Le gain de normalisation sera obtenu par la fonction "Normalizing gain" [gain :  $1/(2^n-1)$ , multiplication : element wise].
- L'opération integrate and dump (intégration puis remise à zéro, avec sortie de la valeur d'intégration avant chaque remise à zéro)

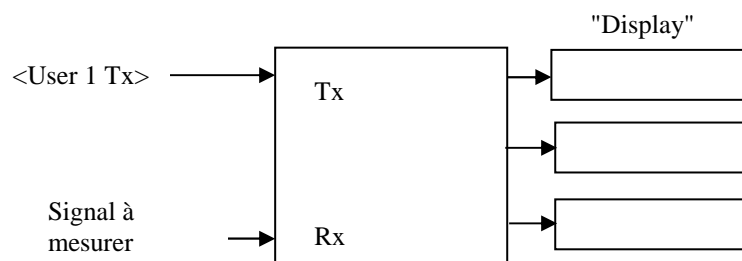
### Paramètres à définir :

Fonction "integrate and dump" [absolute value bound : 23 ; integration period :  $10^{-6}$ ; sample time :  $10^{-6} / (2^n-1)$ ]

- Une fonction de décision réalisée par un opérateur de comparaison à zéro "Signum" ce qui nous donnera des décisions dans l'alphabet  $\pm 1$
- Un opérateur de conversion "unipolar to bipolar" de manière à transformer les décisions précédentes  $\pm 1$  en valeurs binaires à valeurs dans  $A = \{0,1\}$

Afin de vérifier la qualité de la réception réalisée deux observations seront mises en place :

- ✓ Une mesure de taux d'erreur "Error Rate Calculation" [ receive delay : 1 ; computation delay : 0 ; computation mode : entire frame ; output data : port ] , ajouter 1 affichage "display" [format : short ; decimation : 1 ; sample time : -1] en sortie du "Error Rate Calculation" pour visualiser (le taux d'erreur, le nombre d'erreurs détectées, le nombre total de symboles comparés).



- ✓ Une visualisation du signal dans le domaine temporel "Vector Scope" [ Scope properties : input domain : time ; time display span :  $3 \cdot (2^n-1)$ ]

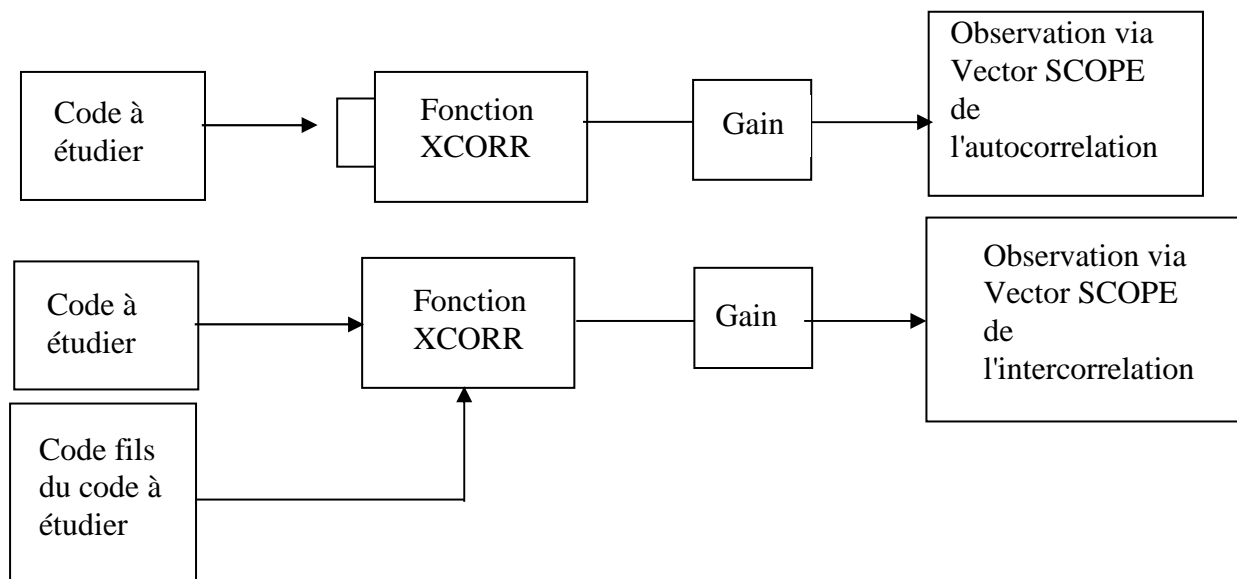
On pensera à utiliser les étiquettes "goto" et "from" pour 'repiquer' un signal déjà existant.

### 3. Analyse des codes.

- L'orthogonalité de 2 codes est caractérisée par la fonction d'intercorrelation, plus elle sera constante et proche de zéro  $\forall t$  meilleure sera l'orthogonalité des 2 codes.
- La fonction d'autocorrelation, caractérisera la capacité d'étalement du code, plus elle sera proche de la réponse d'un bruit blanc (TF inverse d'une dsp constante sur toute la bande : constante partout sauf dirac en zéro) meilleures seront ses performances en terme d'étalement.

L'objectif de cette partie va être d'observer les fonctions d'inter et d'auto-correlation pour différents codes utilisés dans les systèmes de communications numériques.

Le schéma de principe de l'étude sera le suivant :



#### Paramètres généraux à définir :

Fonction "XCORR" [computation domain : time]

Fonction "Gain" [gain : 1/longueur du code ; multiplication : élément wise]

Fonction "Vector Scope" [ Scope properties : input domain : time ; time display span : 1]

#### Code pseudo-aléatoire :

Faire l'auto et l'intercorrelation de 2 codes pseudo aléatoire "fils" de longueur  $2^n-1$  avec  $n = 7$ , de polynômes générateurs différents et d'états initiaux différents.

- ✓ Prendre un générateur de séquence pseudo aléatoire "PN Sequence generator" [ choix du polynôme générateur suite de 0, 1 quelconque (sauf tous nuls) de longueur  $n+1$  ; états initiaux suite de 0, 1 quelconque (sauf tous nuls) de longueur  $n$  ; Tech= $10^{-6} / (2^n-1)$  ; frame based output ; éch par trame =  $2^n-1$  ].
- ✓ Suivi d'un convertisseur unipolaire-bipolaire "unipolar to bipolar converter"

#### Code de Hadamard :

Faire l'auto et l'intercorrelation de 2 codes de Hadamard "fils" de longueur 128 mais d'indices différents.

- ✓ Prendre un générateur de Hadamard "Hadamard Code Generator" [ code length : 128 ; code index :  $\forall$  ; Tech= $10^{-6} / 128$  ; frame based output ; éch par trame = 128 ].

#### Code de Kasami :

Faire l'auto et l'intercorrelation de 2 codes de Kasami "fils" de longueur  $2^n-1$  avec  $n = 6$ , de polynômes générateurs identiques, d'états initiaux identiques mais d'indices différents.

- ✓ Prendre un générateur de Kasami "Kasami Sequence generator" [ choix du polynôme générateur suite de 0 , 1 quelconque (sauf tous nuls) de longueur  $n+1$  ; états initiaux suite de 0 , 1 quelconque (sauf tous nuls) de longueur  $n$  ; indice :  $\forall$  ; shift : 0 ; Tech= $10^{-6} / (2^n - 1)$  ; frame based output ; éch par frame =  $2^n - 1$  ].
- ✓ Suivi d'un convertisseur unipolaire-bipolaire "unipolar to bipolar converter"

**Question : Comparer les fonctions d'inter et d'autocorrelation ainsi obtenues, commenter les aptitudes des différents codes les uns par rapport aux autres en matières d'étalement de spectre et d'orthogonalité, lequel semble le plus adapté aux techniques d'accès CDMA ?**

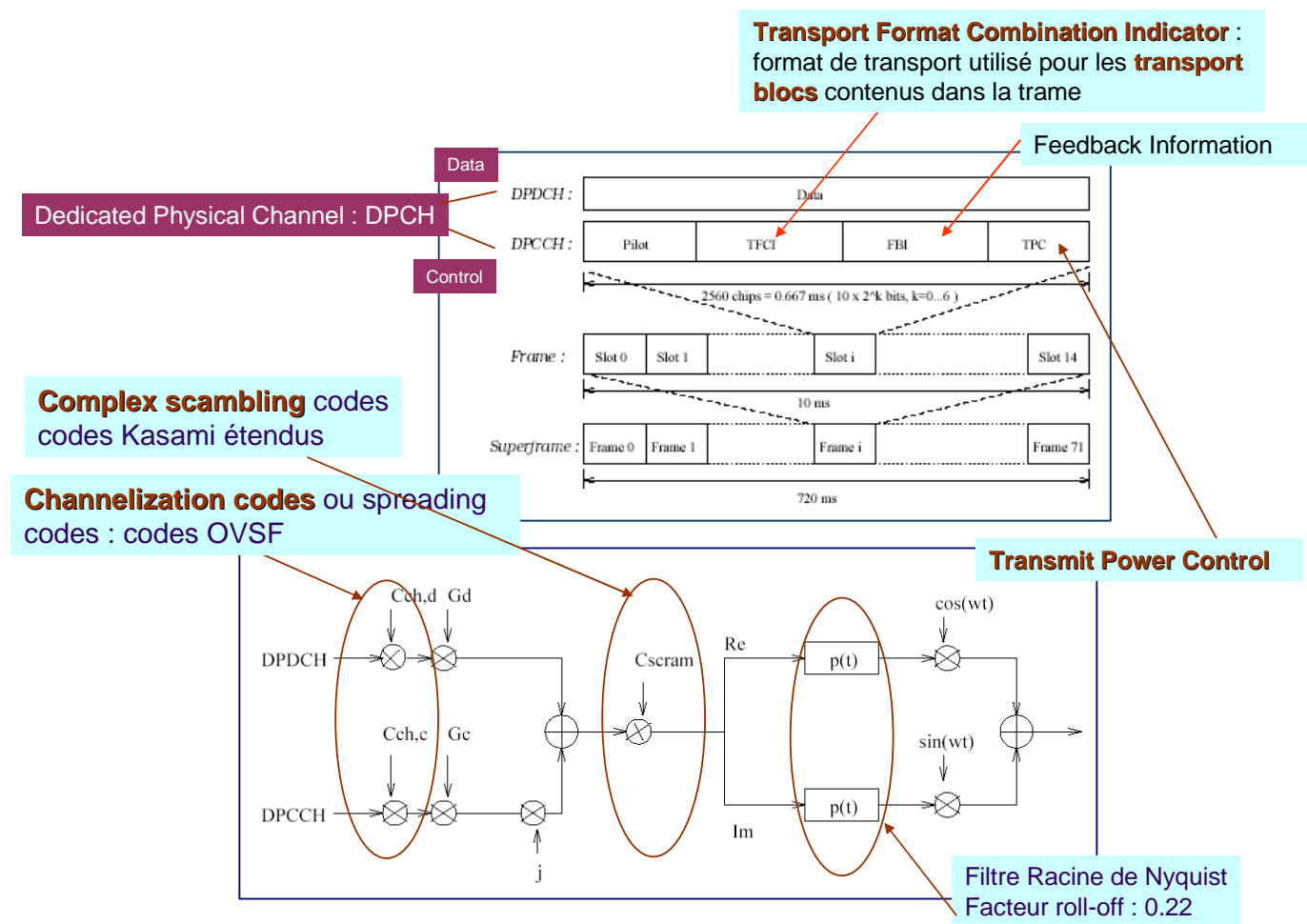
#### 4. Liaison CDMA.

Vous avez maintenant tous les éléments pour construire une liaison CDMA à 3 utilisateurs qui utiliseront le même canal de transmission. Le canal de propagation sera simulé en mettant en série

- un sommateur 3 voies
- un bruit blanc additif gaussien de puissance contrôlée.

#### 5. Liaison montante : norme UMTS

Nous avons maintenant suffisamment d'expérience en transmission CDMA pour simuler une liaison montante MS->BS à la norme UMTS. Rappelons (voir cours) que la couche physique de la voie montante UMTS est réalisée suivant le schéma :



Cependant, seuls quelques modes de fonctionnement sont possibles. Ils correspondent aux différents débits normalisés autorisés par la norme. Ainsi les différents formats du canal

DPDCH sont donnés dans la table ci-dessous. Le débit utilisateur peut varier de 15 kbit/s à 960 kbit/s en fonction du choix du « Spreading Factor », noté SF. Dans tous les cas de figure, après l'opération d'étalement, le débit sera de 3.84 Mcps (MegaChips par Seconde) ce qui donnera un signal modulé occupant une bande passante contenue dans 5 MHz (bande passante normalisée d'un canal UMTS).

1 slot = 0,667 ms  
 $\Rightarrow$  Débit Chips = 3.84 Mcps  
 $\Rightarrow$  Bande W ~5 MHz

Nbre Bits/Slot x SF =  
 2560 chips/slot

Slot Format #i	Channel Bit Rate (kbps)	Channel Symbol Rate (ksps)	SF	Bits/Frame	Bits/Slot	N <sub>data</sub>
0	15	15	256	150	10	10
1	30	30	128	300	20	20
2	60	60	64	600	40	40
3	120	120	32	1200	80	80
4	240	240	16	2400	160	160
5	480	480	8	4800	320	320
6	960	960	4	9600	640	640

Débit = (Nbre Bits/ Frame)/10 ms x15 slots/frame

Votre travail consiste à simuler le système suivant qui a déjà été présenté en cours. Dans un premier temps, on ne tiendra pas compte de l'opération de « scrambling complexe » (ou modulation HPSK). Dans un second temps, on utilisera des codes de Kasami pour réaliser l'opération de scrambling complexe.

Format n°2 – SF=64

