

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département d'Électronique

Laboratoire des Dispositifs de Communication et de Conversion Photovoltaïque

Mémoire de Master en Électronique

# Architecture flexible du récepteur RAKE pour le W-CDMA

Abderrahim BOUTORH

Sous la direction de M. Mohamed Oussaïd TAGHI

Présenté et soutenu publiquement le (19/06/2017)

## Composition du Jury :

Président	M. Rabah SADOUN	MCA	Ecole Nationale Polytechnique ENP
Promoteur	M. Mohamed Oussaïd TAGHI	MAA	Ecole Nationale Polytechnique ENP
Examineur	M. Cherif LARBES	Prof	Ecole Nationale Polytechnique ENP



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département d'Électronique

Laboratoire des Dispositifs de Communication et de Conversion Photovoltaïque

Mémoire de Master en Électronique

# Architecture flexible du récepteur RAKE pour le W-CDMA

Abderrahim BOUTORH

Sous la direction de M. Mohamed Oussaïd TAGHI

Présenté et soutenue publiquement le (19/06/2017)

## Composition du Jury :

Président	M. Rabah SADOUN	MCA	Ecole Nationale Polytechnique ENP
Promoteur	M. Mohamed Oussaïd TAGHI	MAA	Ecole Nationale Polytechnique ENP
Examineur	M. Cherif LARBES	Prof	Ecole Nationale Polytechnique ENP

## ملخص:

هذا المشروع يهدف إلى دراسة أداة رقمية بحيث تتخلص من بعض المشاكل المتعلقة بالفقداء الخاصة بأنظمة الاتصال الرقمية المحتواة في سلسلة الاتصال W-CDMA. دراسة مستقبل من نوع لمدمة مرنة "FlexRake" يمثل أهم عمل أنجز إبان هذا المشروع. هذا المستقبل يستغل النسخ المتعددة المتأخرة للإشارة بحيث يعطيها أوزانا و يدمجها و هذا ما يعكس ردة فعل القناة فتصبح إيجابية بعد أن كانت سلبية في معظم الأحيان فينتج عن ذلك تحسن على مستوى الإشارة المستقبلية. يعتمد هذا المستقبل على تقنيات خاصة للتشفير الأولى خاصة بتفريق المستعملين وهي ما يعرف بتقنية "توسيع الطيف" والأخرى تتمثل في تقنية "التشويش" التي تفرق بين الشارات عند المحطات.

**الكلمات الدالة :** W-CDMA, المدمة المرنة, FPGA, توسيع الطيف

## Abstract

This work consists of the study of a digital receiver dealing with channel access problems in protocols of wide-bande signals of type W-CDMA (Wide-band Code Division Multiple Access). The heart of this work consists of studying the flexible architecture of a RAKE receiver. This receiver is responsible for the demodulation of the communicated signal by taking advantage of its diversity by the identification and the combination of multipath components of the same signal. The main objective of RAKE receiver is to face multipath fading effects. The coding method acts on two stages, first, by separating different users in the same base station by using spread spectrum technique, the other separates signals at the mobile terminal by scrambling technique.

**Key words :** W-CDMA, FlexRAKE, FPGA, spread spectrum.

## Résumé

Ce travail porte sur l'étude d'un récepteur numérique s'occupant des problèmes d'accès au canal dans les protocoles large bande de type W-CDMA (Wide-band Code Division Multiple Access). Le cœur de ce travail consiste à étudier l'architecture flexible du récepteur RAKE. Ce récepteur est responsable de la démodulation du signal de communication en tirant profit de sa diversité par l'identification et la combinaison des composantes des trajets multiples du même signal. L'objet principal du RAKE étant de contrer les effets d'évanouissement causés par les trajets multiples. La méthode de codage utilisé agit en deux étapes, la première, en séparant les utilisateurs dans la station de base par la technique d'étalement de spectre, l'autre sépare les signaux au niveau du terminale mobile par la technique d'embrouillage.

**Mots clés :** W-CDMA, FlexRAKE, FPGA, étalement de spectre

*Dédicace*

*Je dédie ce travail à mes chers parents,*

*À mon petit frère,*

*À mes deux sœurs,  
et à tous mes amis.*

## Remerciements

*En premier lieu, je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience pour réaliser ce travail.*

*Je remercie mes chers parents, qui m'ont soutenus tout au long de mes études.*

*Mes remerciements les plus vifs s'adressent particulièrement à Monsieur Mohamed Oussaïd TAGHI, mon promoteur à l'Ecole Nationale Polytechnique pour son aide, sa confiance et sa disponibilité, et ainsi les membres de jury pour avoir accepté d'examiner ce rapport.*

*Mes remerciements aussi s'adressent à tous mes amis, en particulier Marwane MOKHFI, Sofiane CHETOUI et Ilyes BENMANSOUR à qui je souhaite un avenir plein de bonheur, succès et surtout d'argent.*

*Ce travail, fruits de mon cursus et ma volonté, n'a été possible que grâce au tous mes enseignants dont je loue les efforts qu'ils ont consentis durant toutes ces années*

# Table des Matières

Liste des Tables

Liste des Figures

Liste des Acronymes

<b>1</b>	<b>Chapitre 1 : Introduction Générale</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Chapitre 2 : Transmission CDMA large bande (W-CDMA)</b>	<b>12</b>
1	Introduction . . . . .	12
2	Couche physique de l'UMTS . . . . .	13
2.1	Duplex et accès multiple : les deux modes de l'UMTS . . . . .	13
2.1.1	Le duplex . . . . .	13
2.1.2	L'accès multiple . . . . .	14
2.2	W-CDMA et étalement de spectre . . . . .	16
2.3	La liaison descendante de l'UMTS-FDD . . . . .	16
2.3.1	Caractéristiques de la liaison descendante W-CDMA . . . . .	17
2.3.2	Trame de données de la liaison descendante . . . . .	18
2.4	Codes d'étalement . . . . .	19
3	Le canal radio mobile . . . . .	20
3.1	Fading et la propagation multi-trajet . . . . .	20
3.2	Effet Doppler . . . . .	21
4	Conclusion . . . . .	22
<b>3</b>	<b>Chapitre 3 : Récepteur RAKE</b>	<b>23</b>
1	Introduction . . . . .	23
2	Récepteur RAKE dans le CDMA . . . . .	24
3	Architecture Conventiennelle du récepteur RAKE . . . . .	26
4	Architecture FlexRAKE . . . . .	27
4.1	Architecture FlexRake conventiennelle . . . . .	28
4.1.1	Registre de données . . . . .	29
4.1.2	Moteur de corrélateur . . . . .	30

4.1.3	Le Controle : . . . . .	31
4.2	Architecture FlexRAKE à faible puissance . . . . .	32
4.3	Les avantages de l'architecture FlexRAKE . . . . .	34
5	Conclusion . . . . .	35
<b>4</b>	<b>Chapitre 4 : Conclusion générale</b>	<b>36</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>38</b>

# Liste de Tables

2.1 Paramètres significatifs du lien descendant W-CDMA . . . . .	17
--	----

# Liste des Figures

2.1	Duplex fréquentiel . . . . .	14
2.2	Duplex temporel . . . . .	15
2.3	Accès multiple à répartition par code . . . . .	15
2.4	La trame émis sur le canal dédié du lien descendant en W-CDMA .	19
2.5	Propagation multi-trajet . . . . .	21
3.1	Architecture conventionel du RAKE . . . . .	25
3.2	Schéma blocs de l'architecture du récepteur FlexRake consistant en un registre de données (moitié supérieure) et un engine de corrélation (moitié inférieure). . . . .	28
3.3	Registre de données . . . . .	30
3.4	Récepteur RAKE sans mémoire SRAM . . . . .	32
3.5	Architecture FlexRAKE sans mémoire SRAM avec moteurs de corrélation parallèles . . . . .	33

# Liste des Acronymes

**3GPP** 3rd Generation Partnership Project. 12

**CMDA** Code Division Multiple Access. 11, 15

**DPCCH** Dedicated Physical Control CHannel. 18

**FDD** Frequency Division Duplex. 13

**FDMA** Frequency Division Multiple Access. 14

**GSM** Global System for Mobile Communications. 12

**OVSF** Orthogonal Variable Spreading Factor. 19

**TDD** Time Division Duplex. 13

**TDMA** Time Division Multiple Access. 12, 14

**TFCI** Transport Format Combination Indicator. 19

**TPC** Transmit Power Control. 18

**UMTS** 'Universal Mobile Telecommunications System. 12

**W-CMDA** Widebande Code Division Multiple Access. 11, 12

# Chapitre 1

## Introduction Générale

Les communications sans fil ont connu une énorme croissance depuis le début des années 90. Les systèmes sans fil ont été introduits dans plusieurs domaines de la vie quotidienne. Ils fournissent des services qui comprennent un mélange de trafic multimédia (voix, données, vidéos...etc) ayant chacun des exigences de transfert différentes. En outre, une mobilité élevée et une connectivité globale sont généralement requises.

Le support de propagation influe sur tous les composants du système allant de la modulation et du codage des canaux aux protocoles de couches supérieures. La chaîne radio est susceptible au bruit, aux interférences et à d'autres obstacles qui changent aléatoirement dans le temps. Ces détériorations de signal comprennent des composants additif et multiplicatif. Les premiers proviennent du bruit généré dans le récepteur (bruit thermique) et des sources externes (effets atmosphériques, appareils électriques, ...etc) tandis que le second provient des processus générés par les ondes allant de l'émetteur au récepteur. Le bruit multiplicatif réduit les performances du système de manière significative et il est généralement décrit par trois effets partiellement séparables : la perte de chemin, l'interférence, et le fading multi-trajets.

Un moyen efficace pour atténuer ces effets de dégradation due à la propagation multi-trajets est l'utilisation de techniques de combinaison de diversité, c'est-à-dire en envoyant les mêmes données sur des chemins indépendants qui, évidemment, ont une probabilité très réduite de subir les mêmes effets simultanément. En conséquence, la probabilité que tous les échantillons soient inférieurs à un niveau de seuil donné en même temps soit beaucoup plus faible que la probabilité qu'un seul soit inférieur à ce niveau.

Parmi les différentes techniques de diversité telles que la fréquence, le temps, l'espace, la polarisation...etc, une méthode populaire, en particulier dans les communications à accès multiples par répartition de code Code Division Multiple Access (CMDA), est la diversité du récepteur en râteau (RAKE).

En général, le récepteur RAKE utilise des corrélateurs de bande de base, également appelés doigts, pour traiter individuellement les composants multi-trajets qui sont proprement combinés pour améliorer le rapport signal sur bruit (SNR).

L'objet principale de ce rapport est d'étudier l'architecture flexible du récepteur RAKE utilisée dans les systèmes de communication de 3ème génération basés sur la Widebande Code Division Multiple Access (W-CMDA). Dans le deuxième chapitre, nous explorons la technique de transmission large bande W-CDMA, l'étalement de spectre dans la CDMA et ses avantages apportés par rapport aux techniques de 2ème génération. Enfin nous étudions le canal radio et les différents phénomènes physiques influant sur la propagation du signal.

Dans le chapitre 3, nous étudions en détails l'architecture flexible du récepteur RAKE, ses avantages par rapport à l'architecture conventionnelle, et ses performances.

# Chapitre 2

## Transmission CDMA large bande (W-CDMA)

### 1 Introduction

Le W-CDMA est l'un des standards de communications des systèmes mobiles de 3G défini par le 3rd Generation Partnership Project (3GPP). C'est une technique d'accès au réseau mobile du standard 'Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) par division directe de code pour la transmission pour fournir une vitesse élevée et fournir une plus grande bande passante que celui de l'ancienne technique de transmission Time Division Multiple Access (TDMA) utilisée dans le système Global System for Mobile Communications (GSM).

Dans ce chapitre, nous étudions d'une manière très brève la couche physique W-CDMA et le principe d'étalement de spectre employé dans le CDMA.

## 2 Couche physique de l'UMTS

### 2.1 Duplex et accès multiple : les deux modes de l'UMTS

Lors de la définition de l'interface radio d'un réseau de communication mobile multi-utilisateurs, les deux points principales à préciser sont :

1. La façon dont sont séparées la voix montante et la voix descendante d'une même communication entre le terminal et la station de base : c'est le duplex.
2. La façon dont est partagée la ressource fréquentielle entre les divers utilisateurs du système : c'est l'accès multiple.

#### 2.1.1 Le duplex

Le duplex correspond à la séparation des voies montante et descendante d'une même communication. Pour l'UMTS, deux possibilités ont été identifiées : le duplex fréquentiel Frequency Division Duplex (FDD) et le duplex fréquentiel (Time Division Duplex (TDD).

Le duplex fréquentiel correspond à la situation où le terminal et la station de base émettent à des fréquences différentes, comme indiqué sur la figure 2.1. Ce mode de duplex offre la possibilité d'émettre et de recevoir des données en même temps, mais impose de disposer du matériel suffisant pour émettre et recevoir à deux fréquences différentes en même temps. D'autre part, la mise en place d'un tel mode de duplex nécessite l'attribution de deux fréquences, et plus généralement la division de la bande de fréquence attribuée à l'opérateur en deux sous-bandes appairées, une réservée à la voie montante, l'autre à la voie descendante. La différence entre les fréquences d'émission et de réception est appelée écart-duplex, et peut être fixe, comme pour GSM, ou variable, comme pour l'UMTS [4].

Pour le duplex temporel, les deux voies empruntent la même fréquence porteuse : des deux côtés de la liaison, l'émission et la réception se font à la même fréquence, mais jamais en même temps, comme indiqué sur la figure 2.2. Un

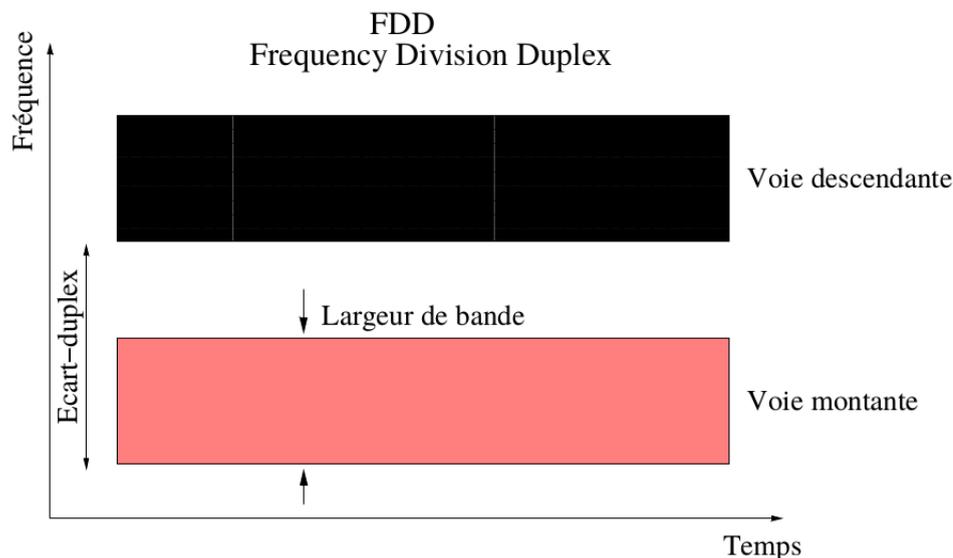


FIGURE 2.1: Duplex fréquentiel

système de temps de parole et d'écoute est mis en place pour éviter la collision des émissions : le mobile émet pendant un temps  $\delta T$ , puis c'est au tour de la station de base d'émettre pendant le même temps  $\delta t$ , et ainsi de suite. Ce mode de duplex a l'avantage évident par rapport au FDD de ne nécessiter l'allocation que d'une seule fréquence au lieu des 2 requises par le FDD, mais le débit brut du canal radio est alors divisé par 2, seule la moitié du temps étant passée à émettre des données [4].

### 2.1.2 L'accès multiple

L'accès multiple est la façon dont une même ressource fréquentielle est rendue accessible à plusieurs utilisateurs. Il existe plusieurs types d'accès multiple comme le Frequency Division Multiple Access (FDMA), qui consiste à découper la bande de fréquence allouée à l'opérateur en canaux d'une certaine largeur fréquentielle et à attribuer un canal fréquentiel à chaque utilisateur dans le cas d'un duplex temporel, et deux canaux fréquentiels à chaque utilisateur dans le cas d'un duplex fréquentiel, et le TDMA qui consiste à découper l'axe temporel en intervalles de temps élémentaires de même durée et parfaitement consécutifs, regroupés en trames.

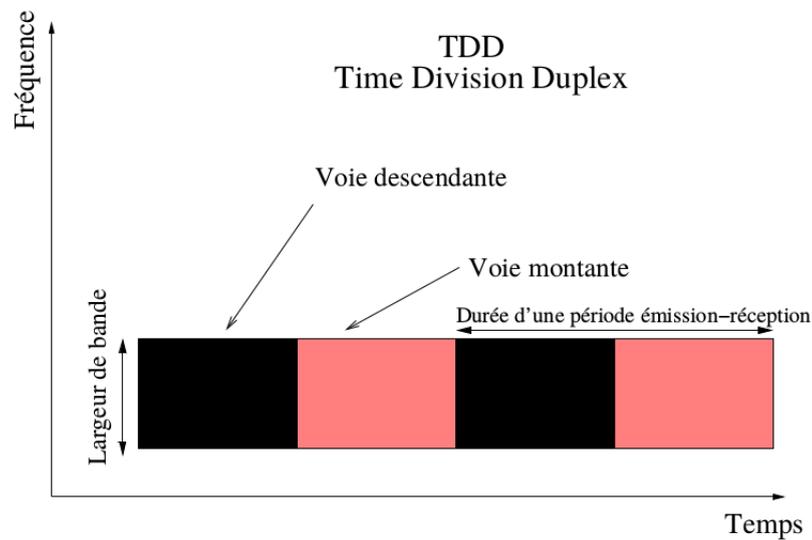


FIGURE 2.2: Duplex temporel

### - Accès multiple à répartition par code CDMA

Le CDMA se distingue des techniques d'accès multiple présentées auparavant par le fait que les signaux émis par les différents utilisateurs présents dans la cellule sont émis en même temps et à la même fréquence. La séparation des signaux se fait selon une «troisième dimension», le code, comme illustré sur la figure 2.3.

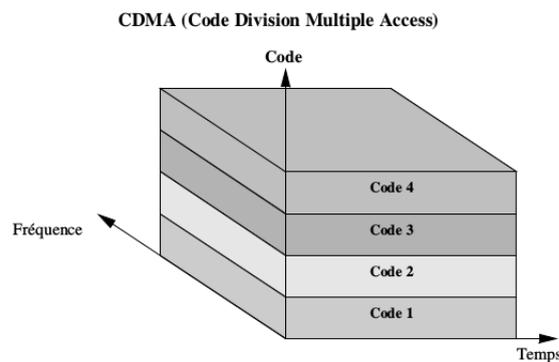


FIGURE 2.3: Accès multiple à répartition par code

Les terminaux présents dans la cellule émettent leurs signaux en les identifiant d'une certaine manière qui les rend séparables par la station de base, malgré

le fait qu'ils se soient superposés pendant leur passage dans le canal radiomobile. Ce résultat est atteint grâce aux codes employés pour identifier les données émises : dans le meilleur des cas, les codes employés sont orthogonaux au sens du produit scalaire dans une base des codes émis. Cela signifie que si la station de base décode la somme des signaux de tous les utilisateurs avec un code particulier, elle ne récupérera que le signal issu de l'émetteur ayant utilisé ce code en annulant les signaux codés par d'autres codes.

## 2.2 W-CDMA et étalement de spectre

L'étalement de spectre contient deux opérations : la première opération est la «canalisation», cette opération transfère tous les symboles de données aux *chips* par la multiplication de chaque bit d'information par une séquence du code orthogonal, ce qui augmente la largeur de bande du signal.

En fait, la longueur de cette séquence de bits est appelée facteur d'étalement (SF). Le code utilisé (appelée code de canalisation) doit réaliser l'orthogonalité entre les différents utilisateurs du canal physique. La deuxième opération est l'embrouillage qui est appliquée sur le signal étalé sans affecter sa largeur de bande. Le code utilisé (appelé code d'embrouillage) permet à une station de base de différencier sur la voie montante les utilisateurs sous son contrôle, et aux utilisateurs d'identifier les stations de base.

En général, les codes utilisés pour les deux opérations d'étalement de spectre (canalisation et embrouillage) doivent avoir une bonne propriété de corrélation. (pour plus d'information sur les codes de canalisation et d'embrouillage consulter le rapport PFE)

## 2.3 La liaison descendante de l'UMTS-FDD

L'UMTS-FDD était le premier mode de l'UMTS à être déployé commercialement, probablement au cours de l'année 2002. Ce mode est aussi appelé Wideband

CDMA, ou CDMA large bande.

### 2.3.1 Caractéristiques de la liaison descendante W-CDMA

Les caractéristiques temporelles et fréquentielles de la liaison descendante de l'interface radio W-CDMA sont résumées dans le tableau 2.1.

Débit	3.84 Mcps (méga-chips par seconde)
Largeur d'un canal fréquentiel	5 MHz
Espacement des canaux fréquentiels	200 KHz
Durée d'un slot	666 us (2560 chips)
Durée d'une trame	10 ms (15 slots)
Modulation	QPSK
Mise en forme	Racine de Nyquist (facteur d'excès de bande : 0.22)
Facteurs d'étalement possibles (en chips)	4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512
Débits bruts correspondants	1920, 960, 480, 240, 120, 60, 30, 15 kbps
Multiplexage contrôle-données	Multiplexage en temps

TABLE 2.1: Paramètres significatifs du lien descendant W-CDMA

Les principaux points qui diffèrent avec la liaison montante sont :

- Les facteurs d'étalement et les débits possibles.
- La façon dont sont multiplexés le contrôle et les données : sur la liaison montante, le multiplexage se fait par voie (les données sont émises sur la voie I, le contrôle sur la voie Q), ce qui permet des débits différents pour les données et le contrôle.
- Le processus de génération des signaux émis.

Il convient d'insister sur le fait que malgré l'emploi de trames et de slots, le mode W-CDMA est bien un système CDMA-FDD. L'axe temporel a été divisé en trames elles-mêmes divisées en slots pour donner une structure logique au système et pour fournir une base de temps aux organes d'émission et de réception. Ainsi, un utilisateur émet en continu pendant tous les slots de toutes les trames, et écoute sans discontinuer les émissions de la station de base. Les slots et les trames

fournissent en particulier la base de temps du système de contrôle de puissance chargé de réguler les puissances d'émission des terminaux [4].

### 2.3.2 Trame de données de la liaison descendante

Comme tout système radiocellulaire, l'UMTS dispose de plusieurs types de canaux, appelés canaux de transport, pour véhiculer des informations de la station de base au terminaux et vice-versa. Il existe deux sortes de canaux de transport : les canaux communs et les canaux dédiés. Les canaux communs servent à la diffusion générale d'informations sur toute la cellule, sans viser un utilisateur particulier. Ces canaux véhiculent l'état du système, les fréquences utilisées par la cellule et ses voisines. Les canaux dédiés, par contre, supportent effectivement une communication particulière entre la station de base et un terminal. Les différents types de canaux de transports, au nombre de sept (six types de canaux communs et un type de canal dédié) sont détaillés dans [8].

Toute information circulant sur le canal radio étant portée par un canal physique. Il est nécessaire de multiplexer d'une manière ou d'une autre les différents canaux de transport sur les canaux physiques. De ce travail, on ne s'intéressera qu'au canal physique dédié qui permet de faire transiter des informations de la station de base au terminal : le DPCH (Dedicated Physical Channel).

Pour le bon fonctionnement de la communication, des informations de contrôle sont envoyées en parallèle avec les données propres à la communication en cours. Ainsi, le contrôle est porté par le canal Dedicated Physical Control Channel (DPCCH), tandis que les données sont portées par le canal DPDCH (Dedicated Physical Data Channel). Ces deux canaux sont multiplexés en temps comme indiqué sur la figure 2.4 pour former le slot DPCH.

- Les bits Transmit Power Control (TPC) : ces bits indiquent au mobile s'il doit augmenter ou réduire sa puissance d'émission dans le cadre du contrôle de puissance.

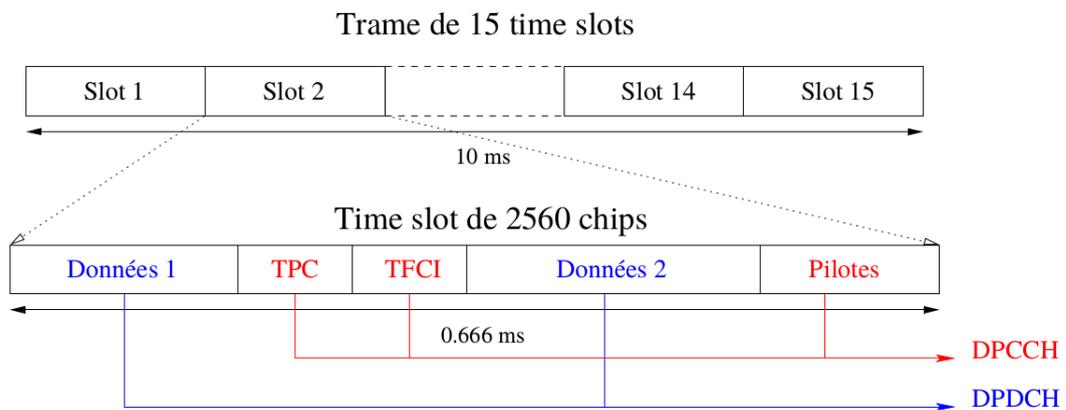


FIGURE 2.4: La trame émise sur le canal dédié du lien descendant en W-CDMA

- Les bits Transport Format Combination Indicator (TFCI) : ces bits indiquent de quel façon ont été codés les bits contenus dans les parties de données du burst, et renseignent le mobile sur la marche à suivre pour les décoder correctement.

## 2.4 Codes d'étalement

Le système de codage est un système hiérarchique à deux étapes :

- Une étape dite d'étalement (spreading) chargée de multiplexer les différents couches physiques dédié au données DPDCH de la cellule en un seul flux. C'est lors de cette étape qu'est effectué l'étalement, c'est-à-dire le passage du débit symbole (variable suivant les services utilisés) au débit chip (fixé par la norme à 3.84 Mcps). Les codes utilisés sont appelés codes Orthogonal Variable Spreading Factor (OVSF). Ces codes sont à longueur variable, ce qui permet le multiplexage de services de débits différents par simple sommation. De plus, l'utilisation de codes OVSF assure l'orthogonalité de ces divers services dans le cas de l'utilisation simultanée de codes de longueurs différentes [4].
- Une étape dite d'embrouillage (scrambling), dont le rôle est d'atténuer l'interférence inter-cellule. C'est cette étape qui confère le caractère pseudo-aléatoire au signal émis par la station de base en multipliant chip à chip le flux issu de la couche d'étalement et une séquence particulière appelée code d'embrouillage. Les

codes utilisés pour l'embrouillage sont les codes Gold [4].

Pour plus de détails sur les codes d'étalement et d'embrouillages référez vous à [5] [1] [2].

### 3 Le canal radio mobile

Les conditions d'utilisation des terminaux mobiles (débits transmis, fréquences utilisées, mobilité des utilisateurs...) rendent délicate la réception optimale des signaux émis par la station de base. En effet, plusieurs phénomènes viennent entâcher le signal reçu lors de la propagation que le mobile et la station de base doivent détecter et prendre en compte lors du processus de réception.

#### 3.1 Fading et la propagation multi-trajet

Les différentes répliques du signal original qui sont reçues par le mobile ont des amplitudes, des phases, et des retards différents. Le temps de propagation d'une information selon les différents trajets est variable avec la longueur de chaque trajet, ce qui entraîne une distorsion préjudiciable à la reconnaissance du message transmis. A l'arrivée dans le récepteur, on peut avoir une somme constructive de trajets lorsqu'ils sont relativement en phase les uns avec les autres, ou bien une somme destructive lorsqu'ils sont en opposition de phase. Ce phénomène est appelé évanouissement, ou fading en anglais.

Les deux principales sortes de canaux à fading sont les canaux à fading de Rayleigh, où aucun trajet ne prédomine vraiment, et les canaux à fading de Rice, où on trouve un trajet dominant et des trajets secondaire de plus faible puissance. Ce dernier cas se produit principalement à l'intérieur des bâtiments, dans des micro- ou pico-cellules, où il existe une ligne de vue directe, qui constitue ainsi le trajet dominant.

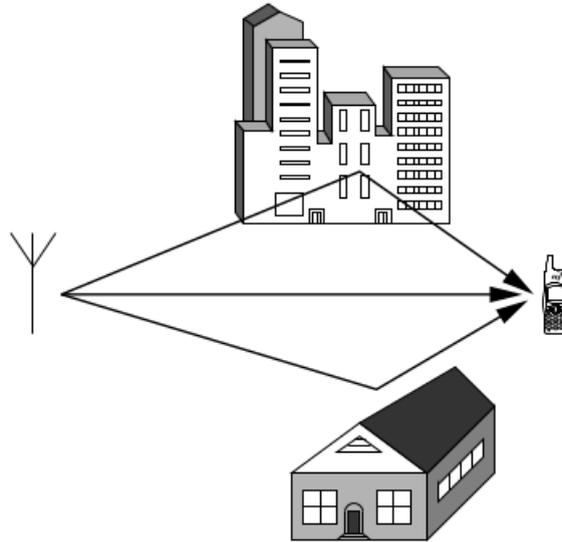


FIGURE 2.5: Propagation multi-trajet

La propagation par trajets multiples affecte les paramètres de la transmission de la façon suivante :

- la fréquence par l'effet Doppler.
- l'amplitude par le fading de Rayleigh (ou de Rice, pour les types de fading les plus connus)

### 3.2 Effet Doppler

L'effet Doppler est un décalage fréquentiel de toute forme d'onde transmise ou reçue par un mobile en déplacement.

Si  $F$  est la fréquence de l'onde transmise,  $v$  la vitesse du mobile,  $c$  la vitesse de propagation de l'onde et  $\alpha$  l'angle formé par le vecteur vitesse du mobile avec le vecteur de propagation de l'onde, l'effet Doppler déplace cette fréquence d'une quantité :

$$f_d = F \frac{v}{c} \cos \alpha \quad (2.1)$$

## 4 Conclusion

L'interface d'accès W-CDMA est un système utilisant la technique d'étalement de spectre qui permet de supporter des débits utilisateur variables, et propose une extensibilité de service. La chaîne de transmission W-CDMA applique des techniques de traitement du signal numérique comme l'étalement de spectre en émission et le désétalement en réception. Cependant, certains phénomènes physiques (Fading, multi-trajets, effet Doppler,...etc) affectent la qualité du signal reçu, ce qui nécessite la conception d'un récepteur qui atténue ses dégradations.

# Chapitre 3

## Récepteur RAKE

### 1 Introduction

Il est connu que les signaux de communications sans fils passant à travers un canal de transmission sont influencés par les différents phénomènes naturels existants (diffraction, réflexion, réfraction, interférence...etc), et que l'information peut être perdue. De ce fait, la présentation d'une structure d'un récepteur qui traite deux ou plusieurs répliques de la même information a été inévitable. Ces répliques d'information doivent être transmises à travers des canaux indépendants, de sorte que la probabilité de disparition totale en même temps soit très faible.

Le récepteur en râteau (en anglais RAKE receiver), premièrement introduit par Price and Green en 1958, est le nom attribué à un filtre de réception adapté à une forme d'onde à large bande issue d'un canal de transmission à trajets multiples. Un tel récepteur est optimale pour le canal de transmission à bruit blanc AWGN, mais il élimine l'effet de l'interférence inter symbole ISI et les interférences d'accès multiples MAI, en s'appuyant sur les propriétés d'autocorrélation et d'intercorrélations des séquences d'étalement de spectre.

Le récepteur RAKE constitue de sa part une autre forme de diversité, puisque le code d'étalement induit une diversité temporelle sur le signal transmis de sorte que les trajets multiples arrivant au récepteur, indépendamment l'un de

l'autre et séparé par plus d'une durée de chip, peuvent être résolus. L'une des principales fonctionnalités de ce récepteur est l'utilisation des propriétés d'auto-correlation des codes de canalisation afin de combiner les composants multi trajets de façon cohérente.

Ce type de récepteur peut être vu comme une ligne à retard. Cette ligne à retard est utilisé pour séparer les phases des retards successifs d'une durée d'un chip  $T_c$ . La sortie de cette ligne à retard est envoyé vers un ensemble de corrélateurs. Les décorrélateurs effectuent la démodulation de chaque'une des phases et les combinent dans un combineur à ratio maximal MRC.

Afin de permettre une meilleur flexibilité de traitement, assurer plus de services et de caractéristiques, plusieurs architectures de récepteur RAKE ont été proposé afin d'assurer les exigences des systèmes de communications 3G. Parmi ces exigences, ils doivent être configurable afin d'assurer un débit de données variable selon l'application, de prendre en charge le traitement de multiples codes simultanément, et de consommer la moindre d'énergie possible afin qu'il soit adapté à l'utilisation dans les liaisons descendantes.

Dans la suite de ce chapitre, on s'intéresse à deux architecture de récepteur RAKE les plus répandu : l'architecture conventionnelle et l'architecture flexible FlexRake.

## 2 Récepteur RAKE dans le CDMA

Dans les systèmes de communication basé sur le CDMA, des récepteurs utilisant l'architecture d'un récepteur RAKE sont utilisés, mais avec une conception légèrement différente de l'original.

Le principe générale de fonctionnement du récepteur RAKE et ses fonctionnalités sont les même pour les deux architectures, par contre la structure de lignes à retard est remplacé par des doigts (fingers). De plus, les récepteurs CDMA contiennent un bloc très important appelé détecteur de trajets multiples

qui détecte et mesure la puissance des signaux de trajets multiples pouvant être utilisé pour la diversité de réception. Ces trajets sont par la suite assigner aux doigts du récepteur RAKE.

Le concept original du récepteur RAKE utilise des retards  $L$ , qui correspondent à la longueur de la ligne à retards dont le retard de propagation maximal est égal à  $LT_c$ , pour combiner l'ensemble des trajets multiples. Le récepteur RAKE, utilisé dans le système CDMA, utilise l'approche de détermination des trajets existants (nombre de trajets), plutôt que d'avoir une prédétermination du nombre de retards (nombre fixe) comme c'est le cas dans la conception originale de Price et Green. Le nombre de retards dans l'architecture RAKE original correspond au nombre de trajets dans le récepteur RAKE du système CDMA [9].

L'architecture du récepteur RAKE conventionnelle est représenté sur la figure 3.1. Il se compose d'un ensemble de doigts, d'un estimateur de retards, et d'un combineur à ratio maximal. Dans chaque doigt, il y'a un corrélateur, un générateur de code, et un estimateur de canal.

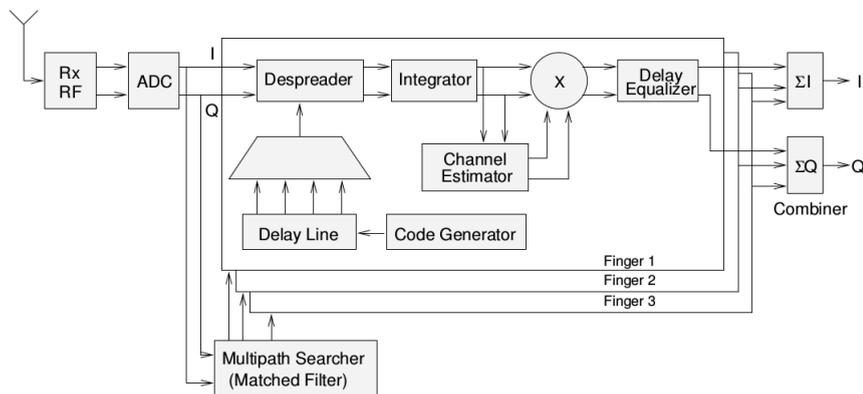


FIGURE 3.1: Architecture conventionnel du RAKE

Le corrélateur effectue une corrélation entre le signal reçu et le code généré localement. Ce code, constitué des codes de canalisation et d'embrouillage (Channelisation and Scrambling codes), est utilisé pour identifier les utilisateurs dans une cellule. De sa part, l'estimateur de retards détecte les retards temporels respectifs de chacun des trajets multiples sur une fenêtre de temps de longueur finie, puis fournit cette information au corrélateur.

Chaque doigt doit être synchronisé avec le retard de chaque trajet. Le nombre de doigts est égal au nombre de trajets que l'on veut traiter. Enfin, le rôle du combineur est tout simplement d'additionner les différentes copies des symboles d'information disponibles à la sortie de chaque doigt.

Dans la suite de ce chapitre, on étudiera en plus de détails les deux architectures conventionnelle et FlexRake.

### 3 Architecture Conventiennelle du récepteur RAKE

L'architecture conventionnelle du récepteur RAKE présente une structure figée constitué de blocs matériels dédié chaqu'un au traitement d'un seul trajet multiple fig.3.1.

Tout d'abord, les signaux numériques, reçu à l'entrée du récepteur, parviennent de la partie radio-fréquence et le convertisseur analogique numérique ADC sous une forme complexe I/Q. Le détecteur de trajets multiple détecte les composants du signal les plus forts et détermine leurs retards relatifs par l'utilisation d'un filtre adapté, c'est à dire par une intercorrélacion entre le signal reçu et des séquences pilotes connu [6], et envoie ces valeurs des retard estimé vers le générateur de codes pour la synchronisation.

Chaque trajet multiple est attribué à un doigt qui lui est dédié pour son désétalement et sa décorrélacion. Les échantillons d'entrées I/Q sont désétales par multiplication avec les bits délivrés par le générateur de code de désétalement et d'embrouillage. L'alignement en temps du code avec les échantillons d'entrée est généralement fait en utilisant un multiplexeur qui choisit une phase spécifique du code à partir de la ligne à retard [9].

Les résultats de désétalement, à la sortie des corrélacioneurs, sont par la suite intégrés sur une période égale à la période du symbole  $T_b$  (la durée symbole est égale au produit de la durée du chip  $T_c$  et le facteur d'étalement  $SF$ ). Les symboles désétales, produisent à la sortie de l'intégracion, doivent ensuite être alignés en

phase avant de pouvoir être combinés. L'alignement en phase est réalisé en utilisant des symboles pilotes connus par l'estimateur de canal. En effet, la corrélation avec cette séquence pilote produit des coefficients complexes qui caractérisent l'effet du canal sur le signal reçu. Ces derniers sont multipliés par les symboles désétaillés pour que leurs phases subissent une rotation. Enfin, ces symboles alignés en phase sont alignés temporellement par un égaliseur, afin d'éliminer les retards relatifs entre les différents trajets, et par la suite sommés par un combineur.

Malgré les avantages qu'offre ce type de récepteur, une telle architecture figée ne convient pas aux exigences des systèmes de communication W-CDMA. Les inconvénients de l'architecture conventionnelle du récepteur RAKE apparaissent dans un scénario d'utilisation d'un nombre variable de codes par utilisateur et dans le traitement d'un nombre variable de trajets multiples. Dans ce cas-là une telle architecture est restrictive en raison de son coût matériel très élevé.

## 4 Architecture FlexRAKE

L'architecture FlexRAKE est une version améliorée de l'architecture conventionnelle du récepteur RAKE. La principale différence entre les deux architectures revient au fait que l'architecture FlexRAKE fournit plus de flexibilités dans les nombres de trajets multiples à traiter, et qui se fait de manière séquentielle par un seul corrélateur partagé entre tous les trajets, au contraire du récepteur RAKE conventionnel qui emploie un corrélateur dédié pour chaque trajet. De ce fait, l'architecture FlexRAKE ne contient pas de doigts parallèles.

D'une manière générale, on peut dire que la fonctionnalité du récepteur FlexRAKE est identique à celle du RAKE conventionnel, mais au lieu d'estimer les retards pour contrôler l'opération de corrélation, l'estimation est stockée dans un registre de décalage d'adresse (Offset Address Register) pour être ensuite utilisée dans le générateur d'adresse qui fournira une adresse correspondante à la position du doigt Fig 3.2.

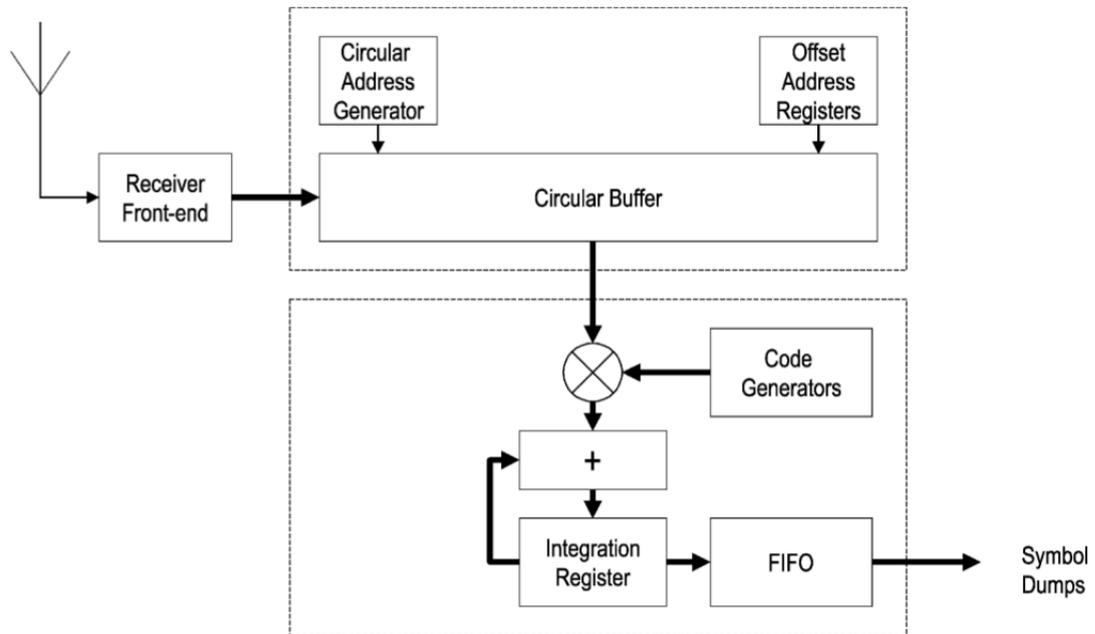


FIGURE 3.2: Schéma blocs de l'architecture du récepteur FlexRake consistant en un registre de données (moitié supérieure) et un engine de corrélation (moitié inférieure).

L'architecture FlexRake peut être elle aussi divisé sur plusieurs sous architecture chaqu'une avec ses proprités et caractéristiques propres. Parmi ces architecture y'en a celle qui exploite la distribution statistique des trajets multiple pour réduire la dissipation de puissance. Une deuxième architecture est basé sur un compromis entre l'exactitude algorithmique et la complexité de circuits. Ces deux sous architecture sont destiné au système de 3ème génération W-CDMA pour les liaisons descendante (Downlink), mais sa n'empêche pas qu'elle soit implémenté dans les stations de bases (liaisons montantes Uplink).

#### 4.1 Architecture FlexRake conventionnelle

L'architecture FlexRAKE conventionnelle contient deux unités principales : le registre de données et l'engine de corrélateur fig 3.2. Le registre de donnée (stream buffer) stocke le flux d'entrée et suits les symboles de trajets multiples par une méthode d'adressage spéciale contrôlée par des estimations de retard multi-trajets [7]. Cependant, l'engine de corrélateur lit les échantillons multi-trajets du

registre de flux et effectue le désétalement des composants multi trajet d'une façon séquentielle.

#### 4.1.1 Registre de données

Le registre de flux, appelé aussi registre de données, se constitue d'un registre d'échantillons et de deux générateurs d'adresses Fig 3.3. Le registre d'échantillons stocke les échantillons I/Q arrivant du filtrage de forme (Pulse Shaping Filter). Ce registre peut être compris comme une fenêtre glissante sur le temps et est divisé sur trois parties : fenêtre d'écriture, Pré-fenêtre, et Post-fenêtre.

La fenêtre d'écriture permet l'écriture dans le registre de flux de données sans chevauchement avec la pré-fenêtre et la post-fenêtre utilisés pour porter les trajets multiples pour permettre l'accès à la lecture. Cependant, il faut noter que l'accès en lecture et en écriture est séparé temporellement afin d'éviter l'accès simultané à la mémoire.

Tandis que la post-fenêtre contient les échantillons I/Q avec le retard maximale supporté, le but de la pré-fenêtre est d'ajouter de l'espace afin de permettre le mouvement du premier composant de trajet multiple reçu. Même si les retards se réduisent considérablement, la présence de la pré-fenêtre garantit que les échantillons de trajets multiples ne seront jamais perdu car ils peuvent être propagés à partir de la pré-fenêtre.

Le générateur d'adresses circulaire fournit un flux d'adresses pour le registre d'échantillons et le registre d'écriture de façon séquentielle. Le curseur d'adresse du registre d'échantillons pointe vers le début de la post-fenêtre et est incrémenté périodiquement après chaque unité de traitement égale à une durée de chip  $T_c$ . Similairement, le curseur d'adresse d'écriture pointe vers le début de la fenêtre d'écriture et est incrémenté aussi après chaque unité de traitement.

Le générateur d'adresses d'offset est employé pour chercher les échantillons I/Q des trajets multiples à partir du registre d'échantillons. Il contient un ensemble

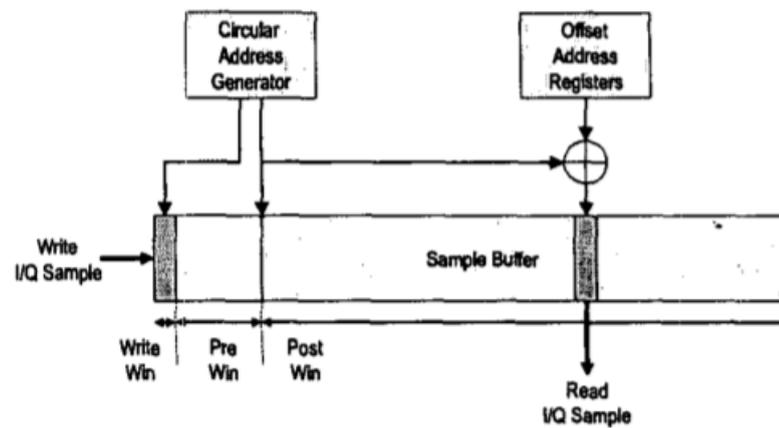


FIGURE 3.3: Registre de données

de registres d'adresses d'offset contrôlé par les retards temporels des trajets multiples estimés. Le nombre maximale de registres d'adresse d'offset définit le nombre maximale de trajets multiples que le récepteur peut suivre et les valeurs d'offset correspondent au retards du trajet suivis.

Chaque composant multi-trajet est lu au engine de corrélateur un à la fois pour le désétalement. Après chaque cycle de traitement, le curseur du registre d'échantillons et les adresses d'écritures sont incrémentés, les valeurs d'offset peuvent être misent à jour et les nouveaux échantillons I/Q sont écrits dans le registre d'échantillons. Un cycle de traitement dans le registre de données contient un nombre d'accès en lecture et en écriture correspondant au nombre de composants à trajets multiples suivis et au taux de suréchantillonnage, respectivement.

#### 4.1.2 Moteur de corrélateur

Le moteur, ou engine, de corrélateur contient un corrélateur complexe, des générateurs de codes de canalisation et d'embrouillage, un certain nombre de registres d'intégration et un tampon FIFO pour le stockage de symboles Fig 3.2. Le nombre de registres d'intégration définit le nombre maximum d'intégrations simultanées de symboles.

Le corrélateur effectue une corrélation à valeur complexe des échantillons multi-trajets I/Q avec un code OVSF/Gold combiné, produit par les deux générateurs de code. Les résultats partiels d'intégration de symboles de chaque composant multi-trajet sont stockés dans un registre d'intégration.

Étant donné que les échantillons multi trajets I/Q sont lus à partir du tampon d'échantillons séquentiellement, toutes les corrélations peuvent être effectuées en utilisant la même phase de code.

Lorsqu'on emploie une transmission multi codes,  $L$  registres d'intégration et un code de canalisation dédié sont affectés pour chaque canal de code supplémentaire, c'est-à-dire pour chaque canal de communication. Après une corrélation sur une période de symbole, les accumulations de symboles finales sont stockés dans le tampon FIFO.

Il est très important de noter que, puisque les composants multi-trajets sont désérialisés séquentiellement,  $L$  accumulations (décharges) de symboles pour un symbole de donné transmis apparaissent dans un certain ordre séquentiel.

Un cycle de traitement dans l'engine de corrélation est divisé en plusieurs cycles de corrélation. Sur chaque cycle de corrélation, on effectue une corrélation (un code unique) ou multiple (multicode) avec chaque échantillon multi trajet I/Q. Ainsi, pour quatre composants multi-trajets ( $L = 4$ ) et trois canaux de code parallèle ( $N_{code} = 3$ ), un cycle de traitement dans l'engine de corrélation peut inclure jusqu'à 12 cycles de corrélation.

#### 4.1.3 Le Controle :

La fonctionnalité du FlexRake est pipelinée en deux étapes pour les cycles d'écriture/lecture dans le registre de données et les cycles de corrélation de l'engine de corrélateur. L'architecture FlexRake contient une unité de control qui sert à contrôler et programmer les différentes opérations. Cette unité de contrôle a trois modes opérationnels : état d'initialisation du récepteur, état de réception permanente, et état endormi.

## 4.2 Architecture FlexRAKE à faible puissance

Dans cette architecture, le tampon de flux d'entrée, implémenté sous la forme d'une mémoire SRAM à un seul port, est le bloc qui consomme le plus d'énergie et de surface dans les récepteurs Rake flexibles. Tous les échantillons du signal reçu sont stockés dans ce tampon.

Les signaux multi-trajets individuels sont sélectionnés par un adressage de mémoire basé sur le retard estimé du signal. Il est typique dans un environnement sans fil que le retard des signaux de trajets multiples les plus forts reste inchangé pendant des périodes relativement longues, alors que l'amplitude des signaux reçus fluctue. Pour de tels environnements, la détection de nouveaux signaux multi-voies est un événement rare. Une nouvelle architecture, illustrée sur la Fig. 3.4, montre cette propriété.

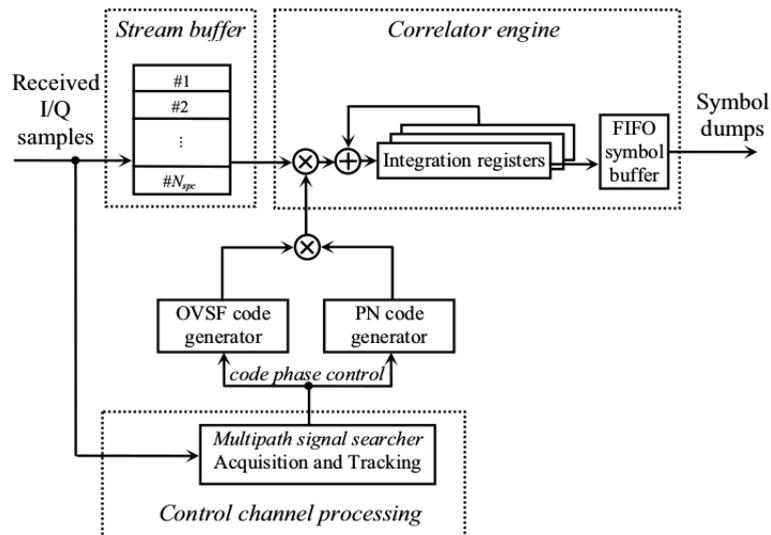


FIGURE 3.4: Récepteur RAKE sans mémoire SRAM

L'idée générale de cette architecture est que le tampon d'échantillons est réduit en  $N$  cellules de mémoire (registres) et les signaux multi-trajets sont identifiés en sélectionnant une phase appropriée du code de décodage.

L'élimination du bloc mémoire SRAM est obtenue au prix de la puissance consommée pour commuter les phases des générateurs de code (en fonction des

retards des trajets multiples). Le compromis architectural principal est entre les ressources matériels nécessaires pour modifier les phases des générateurs de code et le pouvoir d'accéder à une mémoire SRAM.

La phase de code OVVSF est facilement modifiée en chargeant une nouvelle valeur dans un compteur à 10 bits [2]. Le générateur de code pseudo-aléatoire (PN), cependant, est composé de deux registres à 25 bits [1]. La modification des valeurs dans les deux registres est moins efficace que l'utilisation de plusieurs générateurs en parallèle. Cette approche offre également une flexibilité pour éteindre les générateurs inutilisés lorsque moins de signaux multi-voies sont décodés. L'approche la plus efficace est de combiner l'architecture illustrée à la Fig. 3.4 avec les moteurs de corrélation parallèles décrits [7] auparavant, comme le montre la Fig 3.5.

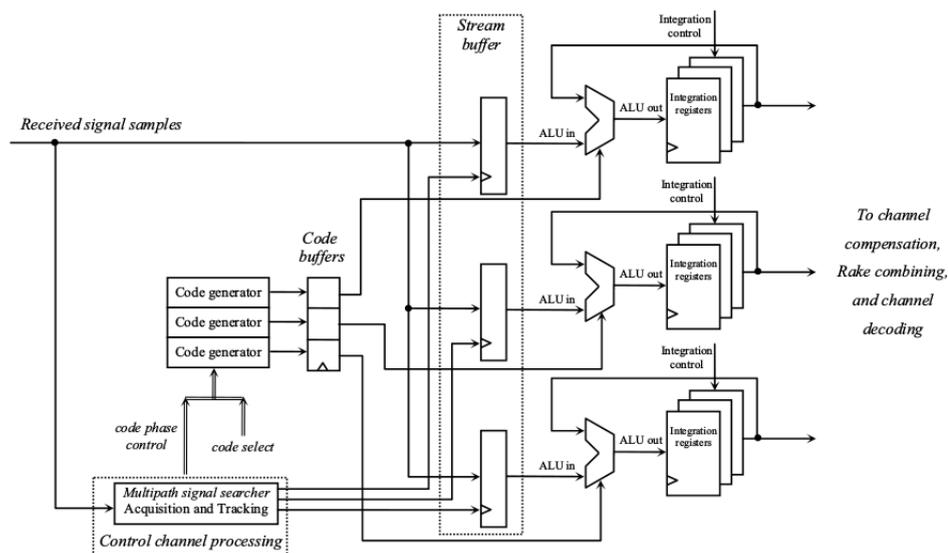


FIGURE 3.5: Architecture FlexRAKE sans mémoire SRAM avec moteurs de corrélation parallèles

Les emplacements d'échantillons appropriés sont sélectionnés pour chaque bloc d'étalement en fonction des informations de détecteur multi trajet. Plusieurs générateurs de code et unités arithmétiques fonctionnent en parallèle. Une puissance importante est économiser en réduisant la fréquence de fonctionnement et en éliminant les changements fréquents dans la phase du code PN. La quantité

optimale de parallélisme dépend des conditions de canal sans fil attendues et du nombre de canaux orthogonaux de données

D'un point de vue algorithmique, un retard est introduit lors du décodage d'un nouveau signal multi-trajets puisqu'il n'y a que  $N_{spc}$  tampon d'échantillons. Le délai de décodage maximal est égal à  $T_{max}$  et dépend du moment où la détection multi-trajets se produit. Les systèmes WCDMA effectuent l'estimation du canal à base de slot-par-slot, où un slot se compose de dix bits de contrôle [3]. Les canaux sans fil sont modélisés comme quasi-stationnaires, en supposant des caractéristiques constantes sur de courtes périodes.

Pour un tel environnement typique, la dégradation des performances de détection, mesurée en termes de taux d'erreur par bit (BER) et de taux d'erreur par trame (FER), est négligeable.

L'architecture présenté dans cette section peut également être considéré comme un retour au récepteur Rake conventionnelle avec des doigts parallèles. Il est complété par le concept de slots d'échantillons et l'allocation multipath flexible par des modifications dynamiques des phases des code [3].

### 4.3 Les avantages de l'architecture FlexRAKE

1. Une flexibilité très élevée de nombre de trajets multiples à traiter.
2. La pré-fenêtre permet les trajets multiple suivis de se déplacer dans la ligne de désétalement à retard sans être perdu.
3. Le générateur du code OVSF et Gold n'a pas besoin d'être aligner temporellement séparément selon le retard des trajets multiples.
4. La réception multi codes est plus simple.

## 5 Conclusion

Le récepteur RAKE constitue une autre forme de diversité qui permet de combiner tous les trajets multiple afin de renforcer la puissance de signal reçu au niveau du récepteur et augmenter le rapport signal sur bruit. Il existe différent architectures qui ont tous le même principe mais elle diffère dans les performances et les techniques de traitement. En effet, l'architecture FlexRAKE permet une meilleur flexibilité de traitement de trajets multiples en terme de nombre de trajets à traiter et la facilité de leur réception. D'autre part, l'architecture flexible consomme moins d'énergie ce qui la rend la plus utilisé dans les terminaux mobiles qui exigent une consommation réduite d'énergie.

# Chapitre 4

## Conclusion générale

Un des principaux critères pour l'amélioration des systèmes mobiles est la transmission à large bande. Ce critère peut être atteint par l'intermédiaire de deux approches analogique ou numérique. Cependant, la transmission analogique présente plusieurs inconvénients. Dans ce rapport, nous présentons une technique d'élargissement utilisée dans les systèmes mobiles de 3ème génération en suivant l'approche numérique.

Ce travail se base sur l'étude d'une architecture flexible du standard W-CDMA qui utilise le principe d'étalement de spectre numériquement. Ce module réalise le décodage en bande de base en tirant profit des phénomènes d'évanouissements considérés ici comme un avantage. En effet, chaque version retardée du signal porte une information utile pour améliorer le SNR. Ce module est connu sous le nom du récepteur en râteau flexible (FlexRAKE).

En général, le récepteur RAKE est basé sur le principe d'étalement de spectre qui nécessite l'utilisation d'un type de codage présentant des propriétés de corrélation bien précises. En effet, il existe deux types de codes. Les codes de canalisation qui permettent la séparation d'utilisateurs dans la même cellule, les codes OVSF sont les plus adaptés pour cette application, et les codes d'embrouillage, dont les plus utilisés sont les codes Gold en 3G et qui sont employés afin de distinguer les différentes stations de base. L'architecture flexible du récepteur RAKE

permet une flexibilité très élevée dans le nombre de trajets multiples à traiter et une simplicité de réception multi codes.

# Bibliographie

- [1] 3GPP technical specification, G. T. . V. (5, June 2002). *Technical Specification Group Radio Access Network; Spreading and Modulation (FDD)*.
- [2] Andreev, B. D., Titlebaum, E. L., and Friedman, E. G. (2003). Orthogonal code generator for 3g wireless transceivers. In *Proceedings of the 13th ACM Great Lakes symposium on VLSI*, pages 229–232. ACM.
- [3] Andreev, B. D., Titlebaum, E. L., and Friedman, E. G. (2004). Low power flexible rake receivers for wcdma. In *Circuits and Systems, 2004. ISCAS'04. Proceedings of the 2004 International Symposium on*, volume 4, pages IV–97. IEEE.
- [4] Batut, E. (2002). *Etude du bloc de réception dans un terminal UMTS-FDD et développement d'une méthodologie de codesign en vue du fonctionnement en temps réel*. PhD thesis, Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG.
- [5] Cheng, R.-G. and Lin, P. (2000). Ovsf code channel assignment for imt-2000. In *Vehicular Technology Conference Proceedings, 2000. VTC 2000-Spring Tokyo. 2000 IEEE 51st*, volume 3, pages 2188–2192. IEEE.
- [6] Chugh, M., Bhatia, D., and Balsara, P. T. (2005). Design and implementation of configurable w-cdma rake receiver architectures on fpga. In *Parallel and Distributed Processing Symposium, 2005. Proceedings. 19th IEEE International*, pages 8–pp. IEEE.
- [7] Harju, L., Kuulusa, M., and Nurmi, J. (2001). A flexible rake receiver architecture for wcdma mobile terminals. In *Wireless Communications*,

- 
- 2001.(SPAWC'01). 2001 IEEE Third Workshop on Signal Processing Advances in*, pages 9–12. IEEE.
- [8] Spécification technique, r. G. P. P. (Mar, 2001). Ts 25.211 : Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (fdd).
- [9] Youssef, M. (2009). *Modélisation, simulation et optimisation des architectures de récepteur pour les techniques d'accès W-CDMA*. PhD thesis, Metz.