

TP DE SYNTHESE 1999 - 2000

***PERFORMANCES DU CODE AMOUR
DANS LE CADRE D'UNE LIAISON UMTS***

**ENSEA 3ème Année
Réseaux et Télécommunications**

Karim EL-KHAZEN / Pascal SURIA

INTRODUCTION

Ce sujet de **Travaux Pratiques de synthèse** rentre dans le cadre de la demande toujours grandissante sur le spectre de fréquences, autant pour la téléphonie sans fil que pour les réseaux. Cette demande va continuer à croître et il est donc de plus en plus important de trouver de nouvelles méthodes pour améliorer l'efficacité d'utilisation du spectre de fréquences. Nombreuses sont les recherches qui sont entreprises pour tenter de trouver des solutions et de nouvelles approches.

Le système de radiotéléphonie mobile GSM est maintenant connu du grand public dans tout le continent européen, et forme une référence au niveau mondial tant sur le plan de concepts que du vocabulaire.

Bien qu'évolutif, le **GSM** repose sur une technique de multiplexage TDMA relativement rigide. Les débits restent limités. Le **GPRS**, General Packet Radio Service, va permettre d'améliorer les débits atteints mais la montée des services multimédia nécessite de plus en plus de débits élevés, de l'ordre de plusieurs centaines de kbits/s.

Le futur système **UMTS**, Universal Mobile Télécommunications System, devrait offrir des débits bien supérieurs aux débits actuels :

- Jusqu'à 144 Kb/s en rural pour les terminaux se déplaçant à moins de 500 Km/h,
- Jusqu'à 384 Kb/s en extérieur urbain pour ceux se déplaçant à moins de 120 Km/h,
- Jusqu'à 2 Mb/s en extérieur avec faible portée ou en extérieur à 10 Km/h.

On a choisit pour cela **des techniques d'étalement de spectre** ou **CDMA**, Code Division Multiple Access, sur l'interface Radio. Cette interface est alors redéfinie et de nouveaux matériels sont développés.

PLAN DU RAPPORT

INTRODUCTION.....	2
PLAN DU RAPPORT.....	3
1 LES TECHNIQUES D'ACCÈS MULTIPLES	4
1.1 Les différentes méthodes existantes.....	4
1.2 L'accès multiple à répartition de codes	5
2 LA PRÉSENTATION DE NOTRE PROJET	10
2.1 Le cadre.....	10
2.2 La partie programmation	15
CONCLUSION	26
GLOSSAIRE	27
BIBLIOGRAPHIE.....	28

1 LES TECHNIQUES D'ACCÈS MULTIPLES

1.1 Les différentes méthodes existantes

Le canal radio est fondamentalement un moyen de diffusion. C'est pourquoi un signal transmis par un utilisateur peut potentiellement être reçu par tous les autres utilisateurs situés dans la zone couverte par l'émetteur. Bien que cette possibilité soit très intéressante pour certaines applications, comme la radiodiffusion ou la télédiffusion, elle requiert un contrôle des accès rigoureux en communications mobiles.

L'objectif des communications mobiles est de fournir des canaux de communications à la demande entre un terminal mobile et une station de base qui connecte l'utilisateur à l'infrastructure du réseau fixe. Les critères de conception de tels systèmes incluent la capacité, la complexité et la qualité de service. Tous ces critères sont influencés par la méthode utilisée pour fournir l'accès multiple. Quoi qu'il en soit, l'inverse est vrai : les méthodes d'accès doivent être choisies avec soin à la lumière de l'importance relative des critères de conception ainsi que des caractéristiques des systèmes.

On distingue plusieurs types de systèmes de communication multi-utilisateurs. Un premier type est un système d'accès multiple avec lequel un grand nombre d'utilisateurs partagent un canal de communication commun pour transmettre l'information à un récepteur. Un deuxième type de communication mobile est un réseau de diffusion dans lequel un émetteur simple envoie de l'information à de multiples récepteurs.

Les techniques d'accès multiples en système de radio-mobile sont basées sur l'isolation des différents signaux utilisés lors de diverses connections. Le support des transmissions parallèles en liaison montante ou descendante est appelé **Accès Multiple**. Les domaines couramment utilisés pour fournir les accès suivants :

Domaine spatial : tous les systèmes de communication mobile utilisent le fait que les signaux radio subissent une atténuation lors de leur propagation. Ceci implique que les émetteurs lointains produisent une interférence qui est négligeable devant la puissance du signal désiré. Des antennes directionnelles peuvent être utilisées pour assurer la séparation des signaux. La technique correspondant à ce traitement s'appelle le SDMA (Space Division Multiple Access)

Domaine fréquentiel : des signaux occupant des bandes de fréquences ne se recouvrant pas, peuvent être aisément séparés. Des signaux peuvent donc être transmis sans interférer les uns avec les autres. Cette méthode est appelée le FDMA (Frequency Division Multiple Access)

Domaine temporel : des signaux peuvent être transmis sur des périodes temporelles ne se recouvrant pas. Les signaux occupent donc la même bande de fréquence, mais peuvent être aisément séparés par leurs instants d'arrivée. Cette méthode est appelée le TDMA (Time Division Multiple Access).

Domaine des codes : dans la méthode CDMA (Code Division Multiple Access), les différents utilisateurs émettent des signaux très peu corrélés entre eux. Des corrélateurs peuvent être donc utilisés pour extraire les signaux individuels d'un mélange de signaux qui sont émis au même instant et sur la même bande de fréquence.

La préférence que l'on a d'une méthode par rapport à une autre dépend largement des caractéristiques globales du système à concevoir. Aucune méthode d'accès multiple n'est universellement préférable aux autres.

*La technique d'accès multiple que nous allons étudier par la suite est le **CDMA**.*

1.2 L'accès multiple à répartition de codes

Le CDMA est une méthode d'accès multiple à un médium de communication par répartition de code : Plusieurs usagers ont alors accès à un canal commun et peuvent l'utiliser simultanément jusqu'à une certaine limite d'usagers actifs définie par la tolérance, la capacité, du système.

Le CDMA correspond à l'**Accès Multiple à Répartition de Codes**.

C'est une technologie d'étalement du spectre qui est utilisée depuis longtemps par les militaires pour sa résistance à l'interférence et pour le niveau de sécurité qu'elle offre. C'est une technique qui consiste à redistribuer et étaler le signal sur une très grande largeur de bande, jusqu'à le rendre « invisible » idéalement, pour les autres utilisateurs de la même largeur de bande. Au récepteur, l'opération d'étalement exécutée au transmetteur est répétée pour dé-étaler le signal en bande de base (ou une fréquence intermédiaire) tandis que les autres signaux transmis (interférence) sont perçus par le récepteur comme étant du bruit.

Les systèmes CDMA emploient des signaux Large Bande possédant de bonnes propriétés de corrélation, ce qui signifie que la sortie d'un filtre adapté au signal d'un utilisateur est petite si ce n'est pas le bon utilisateur. Ces systèmes sont souvent appelés « systèmes à spectre étalé » (Spread Spectrum Systems).

Il existe deux façons de faire de l'étalement spectral :

- FH / CDMA (Frequency Hopping)
- DS / CDMA (Direct Sequencing)

Dans le **protocole CDMA par saut de fréquence**, la fréquence porteuse du signal d'information modulé n'est pas constante et change périodiquement. Pendant des intervalles de temps T , la porteuse reste la même, mais après chaque intervalle de temps, la porteuse saute vers une autre (ou éventuellement la même). Le schéma de sauts est régi par le code.

L'occupation fréquentielle d'un système à étalement de spectre par saut de fréquence diffère considérablement d'un système d'étalement de spectre par séquence directe. Un système DS occupe la totalité de la bande lors de la transmission, alors qu'un système FH n'en utilise qu'une petite partie, mais la localisation de cette partie diffère lors de la transmission.

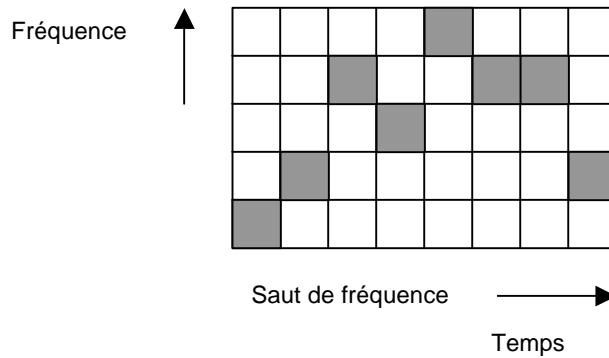


Figure 1 : Occupation temps / fréquence du signal FH.

Dans ***l'étalement de spectre par séquence directe***, une séquence d'étalement pseudo-aléatoire haut débit module le signal transmis de telle façon que le signal résultant ait la même largeur de bande que le débit de la séquence d'étalement. Les intercorrélations des signaux sont donc largement déterminées par les intercorrélations des séquences d'étalement elles-mêmes. Les signaux CDMA sont clairement superposés en temps et en fréquence, mais ils sont séparables par les formes de leur séquence d'étalement.

Une conséquence immédiate de ces observations est que les systèmes CDMA ne nécessitent pas de synchronisation aussi fine entre les utilisateurs que le TDMA. De la même façon, ils ne nécessitent pas de plan de fréquence puisque les fréquences sont toutes réutilisées dans les zones couvertes.

Dans le protocole DS-CDMA, le signal de données est directement modulé par un signal de code numérique comme on l'entend dans le cas général est omise et le signal de données est directement multiplié par le code et le signal résultant module la porteuse large bande. C'est de cette multiplication que le CDMA par séquence directe tient son nom.

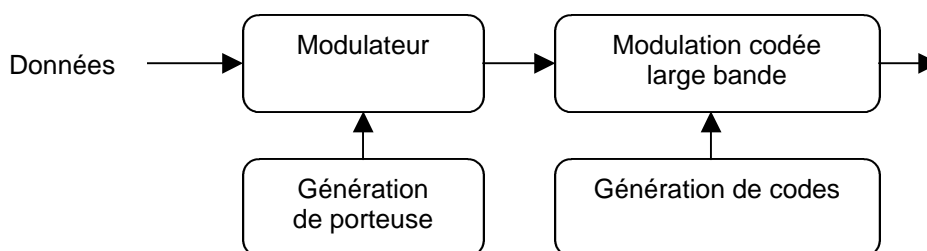


Figure 2 : Diagramme d'un émetteur DS-CDMA

Le signal de données binaire module une porteuse. La porteuse modulée est alors modulée par le code. Ce code consiste en un nombre de bits ou « chips » pouvant prendre les valeurs +1 ou -1. Pour obtenir l'étalement désiré du signal, le débit « chip » du signal de code doit être plus grand que celui du signal d'information.

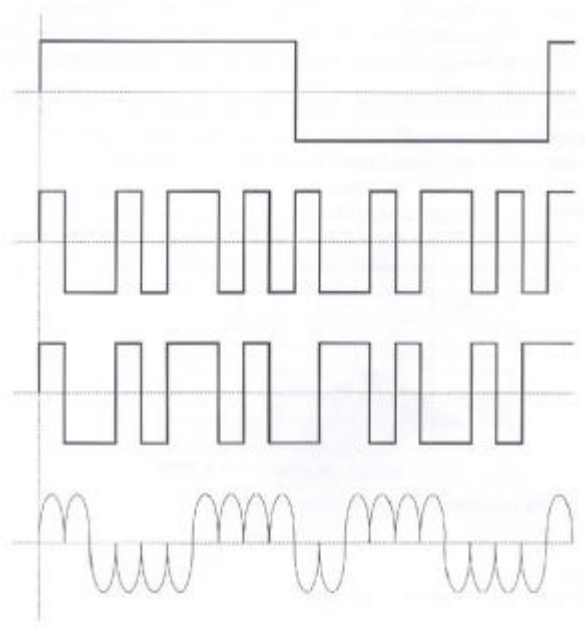


Figure 3 : Génération d'un signal étalé

Dans les systèmes de communications mobiles à N utilisateurs, l'ensemble des signaux de chaque utilisateur est sommé soit dans le canal soit dans la station de base. Le signal obtenu est un signal étalé de même bande que chacun des signaux.

Après émission du signal, le récepteur utilise une démodulation cohérente pour dé-étaler le signal, en utilisant une séquence de code générée localement. Pour être capable d'effectuer l'opération de dé-étalement, le récepteur ne doit pas seulement connaître la séquence de code utilisée pour étaler le signal, mais il est nécessaire que le code du signal reçu et le code généré au récepteur soient parfaitement synchronisés. Cette synchronisation doit être accomplie au début de la réception et maintenue jusqu'à ce que l'ensemble du signal soit reçu.

Voyons ensuite l'effet de l'étalement sur la densité spectrale de puissance du signal :

Après multiplication du signal d'information par la séquence d'étalement, le code, un signal à spectre étalé est généré. L'étalement ne change pas la puissance du signal, mais la densité spectrale de puissance est réduite.

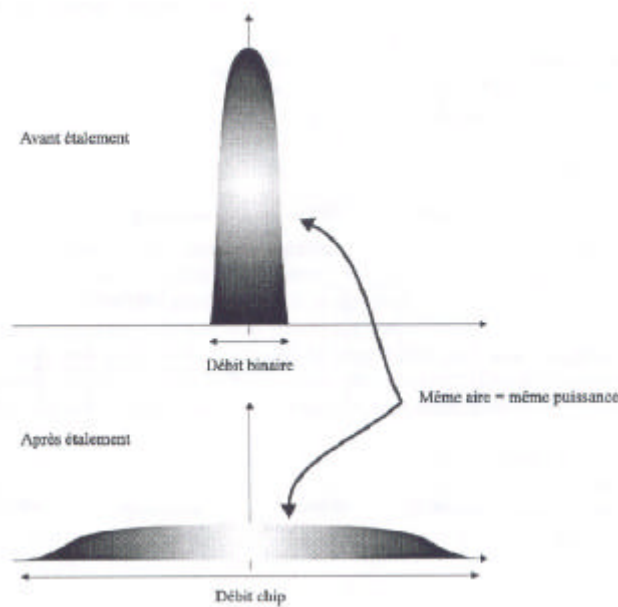


Figure 4 : Densité spectrale de puissance avant et après étalement

Pour un système de communication à N utilisateurs, chaque utilisateur recevra un code différent. Deux codes de deux utilisateurs différents devront être décorrélés et chaque code de chaque utilisateur devra être normalisé :

$$\langle \mathbf{c}_i, \mathbf{c}_j \rangle = 0 \text{ pour } i \neq j$$
$$\langle \mathbf{c}_i, \mathbf{c}_i \rangle = 1 \text{ pour tout } i$$

Dans le cas d'un *système CDMA classique*, nous effectuons lors de la démodulation la corrélation du signal reçu, représentant les signaux de tous les utilisateurs, avec le code de l'utilisateur concerné.

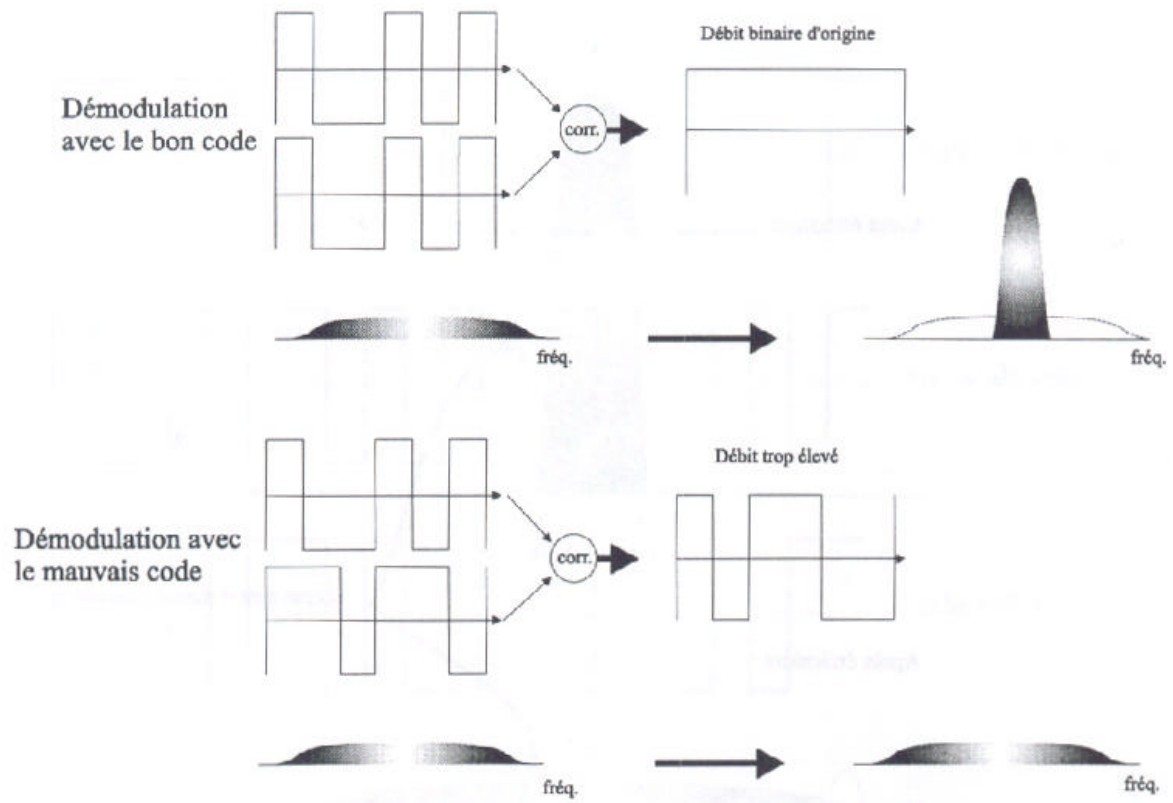


Figure 5 : Démodulation en fonction du code utilisé, dans le cas d'un système CDMA classique.

Nous étudions par la suite un système CDMA différent utilisant une famille de codes particuliers, **les codes Amour** de **G. Giannakis**.

2 LA PRÉSENTATION DE NOTRE PROJET

2.1 Le cadre

Le sujet de notre projet est le suivant :

« Un des problèmes majeurs à surmonter pour la troisième génération de mobiles (UMTS) sera l'asynchronisme entre les différents mobiles. Le code Amour proposé par G. Giannakis permet de lutter efficacement contre ce problème. En revanche, en présence de Doppler (canal dispersif en fréquence) ou/et erreur de syntonisation à la réception, cette famille de codes perd ses bonnes propriétés. L'étudiant devra tout d'abord simuler une liaison UMTS (montante) c'est-à-dire du mobile vers la station de base afin de voir la résistance à l'asynchronisme puis étudier les performances de la détection en réception en présence de dispersion fréquentielle. »

Basés sur les articles de **G. Giannakis** sur le nouveau type de CDMA utilisant la famille de **codes Amour**, nous avons étudié le système CDMA suivant :

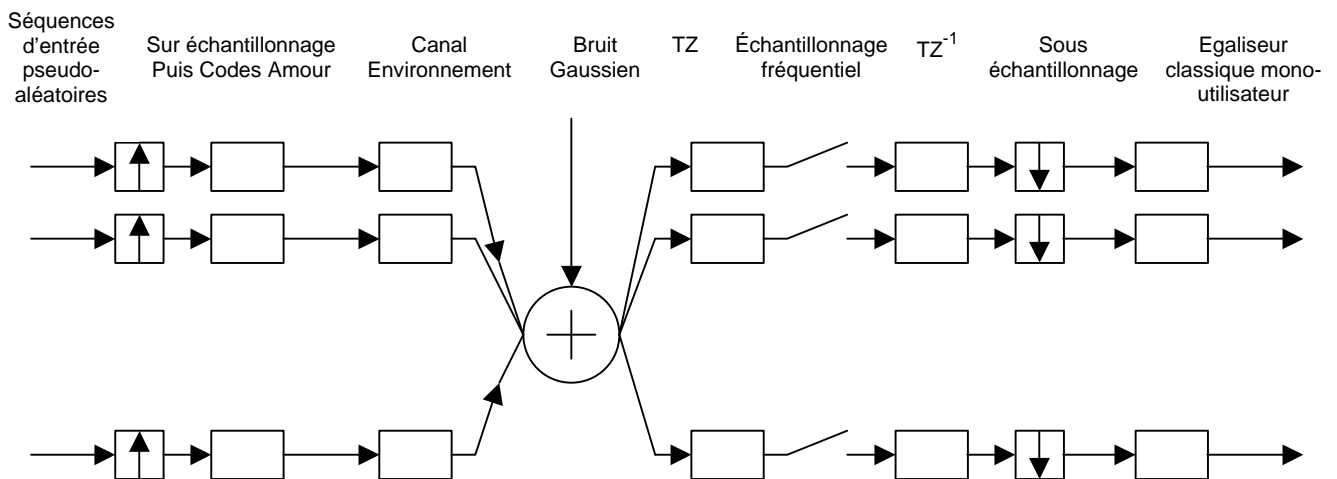


Figure 6 : Modélisation du système CDMA étudié

Le schéma ci-dessus modélise notre système CDMA. Les signaux, codes et canaux sont représentés par leurs enveloppes complexes. Nous avons M utilisateurs dont les séquences d'entrées sont des séquences pseudo-aléatoires, notées b_i .

La famille des **codes AMOUR** $\{C_i\}_{i=1}^{i=M}$ est définie par les équations suivantes :

$$C_m(z) = K_m \cdot \frac{\prod_{i=1, i \neq m}^M (1 - p_i \cdot z^{-1})}{\prod_{i=1, i \neq m}^M (1 - p_i \cdot p_m^{-1})} \quad (1)$$

$$C_m(z) = \sum_{n=0}^{M-1} c_m(z) \cdot z^{-n} \quad (2)$$

En prenant $M = 16$ et en choisissant une famille $\{p_i\}_{i=1}^{i=M}$ non nuls, tous distincts dans le plan complexe, on construit une famille de M codes, correspondant à M utilisateurs.

La valeur du code $C_i(z)$ ainsi construit est nulle pour toutes les valeurs de p_j différente de p_i .

Par exemple, nous obtenons pour $N=3$, les valeurs de codes suivantes :

```

» N=3
» rho = exp(j*2*pi*[0:N-1]/N) = 1.0000 -0.5000 + 0.8660i -0.5000 - 0.8660i
» C1 = poly(rho([2:3])) = 1.0000 1.0000 - 0.0000i 1.0000 - 0.0000i
» C2 = poly(rho([1 3])) = 1.0000 -0.5000 + 0.8660i -0.5000 - 0.8660i
» C3 = poly(rho([1:2])) = 1.0000 -0.5000 - 0.8660i -0.5000 + 0.8660i
    
```

Ainsi, nous avons :

$$\begin{aligned} \rho(0) &= 1 \\ \rho(1) &= \exp(2 \cdot \pi \cdot j / 3) \\ \rho(2) &= \exp(4 \cdot \pi \cdot j / 3) \end{aligned}$$

En utilisant la formule (1), nous retrouvons aisément les valeurs des codes, comme les valeurs des coefficients du polynôme unitaire du second degré en z^{-1} .

Problème d'asynchronisme dans le cadre d'un système CDMA classique :

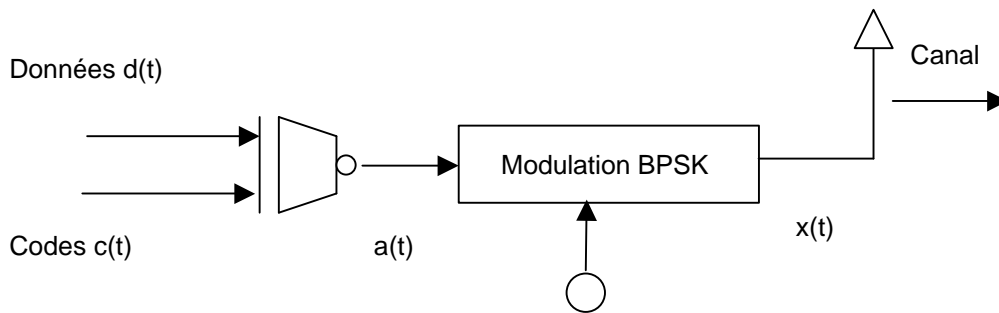


Figure 7 : Modélisation de l'émetteur d'un système CDMA classique

Le signal binaire d'information $d(t)$ (données) est additionné (modulo 2) avec une séquence binaire pseudo-aléatoire ou code d'étalement $c(t)$. Le débit binaire du code d'étalement est très supérieur au débit binaire des données elles-mêmes, ce qui provoque le phénomène d'étalement de spectre. Le signal binaire résultant $a(t)$ module ensuite une porteuse, par exemple BPSK.

Cette technique est classiquement désignée sous l'appellation d'étalement de spectre par séquence directe (DS-SS : Direct Séquence Spread Spectrum).

L'opérateur OU exclusif complémenté est d'ailleurs équivalent à un produit ordinaire (en logique positive).

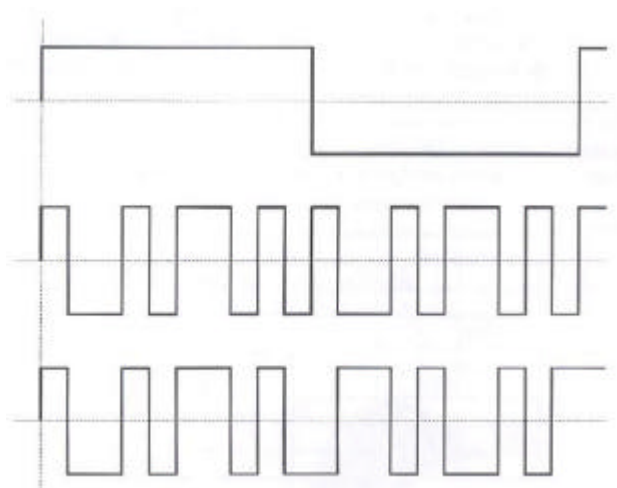


Figure 8 : Allures des données $d(t)$ (en haut), des codes d'étalement $c(t)$ (au milieu) et des signaux $a(t)$ (en bas).

Lors de son passage dans le canal, le terme de signal utile émis se trouve atténué et affecté d'un retard T_d . En réception, on supprime le code d'étalement, en effectuant le produit du signal reçu avec une version locale $c(t-T'd)$ du code d'étalement.

On obtient le signal :

$$p(t) = A_0' \cdot c(t - T_d') \cdot c(t - T_d) \cdot d(t - T_d) \cdot \cos(w_0(t - T_d))$$

Ce dernier est identique au code émis à un décalage temporel près. Nous ne récupérons bien que le signal d'entrée que si le code local est exactement synchrone avec le code d'émission ($T_d' = T_d$). On peut alors écrire :

$$c(t - T_d') \cdot c(t - T_d) = 1$$

Par conséquent, on a :

$$p(t) = A_0' d(t - T_d) \cdot \cos(w_0(t - T_d)) = \text{signal.initial}$$

Influence de l'effet DOPPLER dans l'étude de notre système CDMA :

Décrit par le physicien autrichien Christian Johann Doppler en 1842, le phénomène qui porte désormais son nom correspond à la variation apparente de la fréquence d'une onde émise par une source en mouvement par rapport à un observateur immobile.

Pour un observateur immobile, un mobile en déplacement vers lui semblera émettre dans les fréquences hautes puis dans les fréquences basses en s'éloignant.

Équations de l'effet Doppler :

Si le récepteur s'éloigne de l'émetteur avec une vitesse v , nous avons la relation suivante :

$$T_{\text{reçu}} = T_{\text{émis}} \frac{1}{1 - \frac{v}{c}}$$

Si l'émetteur s'éloigne du récepteur avec une vitesse v , nous avons alors la relation suivante :

$$T_{\text{reçu}} = T_{\text{émis}} \frac{1}{1 + \frac{v}{c}}$$

L'effet Doppler est l'effet décrit par ces formules. Il correspond au changement de période (et donc de fréquence) que subit un phénomène périodique quelconque (onde sonore, onde lumineuse...) lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie.

Si nous tenons compte des effets relativistes, ces deux formules sont à modifier et conduisent à une seule formule, symétrique par rapport à l'émetteur et au récepteur, de sorte qu'il n'est plus besoin de préciser qui se déplace. Nous aboutissons alors à la formule unique :

$$T_{\text{reçu}} = T_{\text{émis}} \frac{1 + \hat{a}}{\sqrt{1 - \hat{a}^2}} \quad \hat{a} = \frac{v}{c}$$

Dans notre exemple, considérons dans le cadre d'une liaison montante, un déplacement de l'émetteur à $v=500$ km/h. On peut écrire :

$$\frac{f_{\text{reçu}}}{f_{\text{émis}}} = 1 + \frac{v}{c} \quad \frac{f_{\text{reçu}}}{f_{\text{émis}}} = \frac{f_{\text{émis}} + f_{\text{reçu}} - f_{\text{émis}}}{f_{\text{émis}}} = 1 + \frac{f_d}{f_{\text{émis}}}$$

D'où ce qui correspond, lorsque $f_{\text{émis}} = 2$ GHz, à une fréquence Doppler :

$$f_{\text{Doppler}} = v/c \cdot f_{\text{émis}} = 925 \text{ Hz}$$

2.2 La partie programmation

Cette partie du projet consiste d'abord à déterminer les valeurs de la famille des codes AMOUR puis de les utiliser pour simuler un système CDMA.

La première partie est effectuée sous **le logiciel MATLAB** alors que la deuxième utilise **le langage C**.

Nous exposons par la suite les résultats obtenus sous MATLAB :

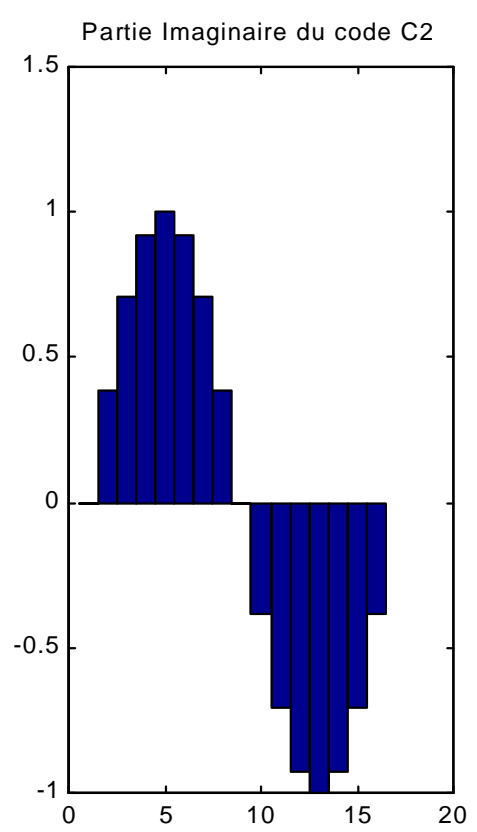
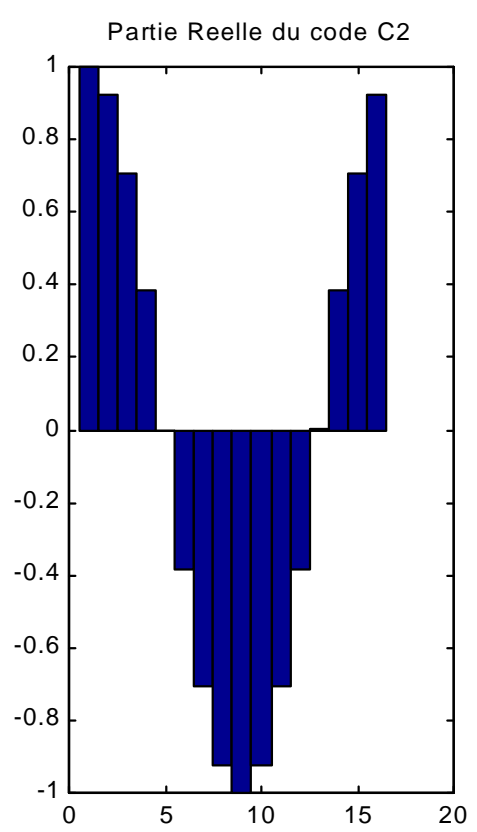
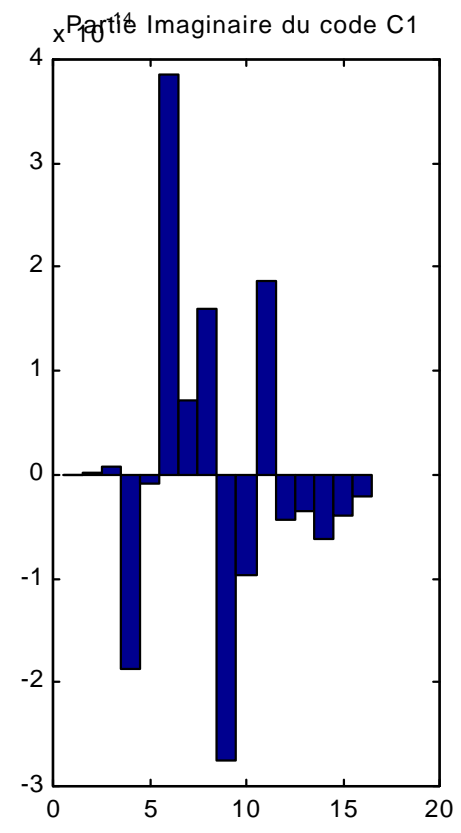
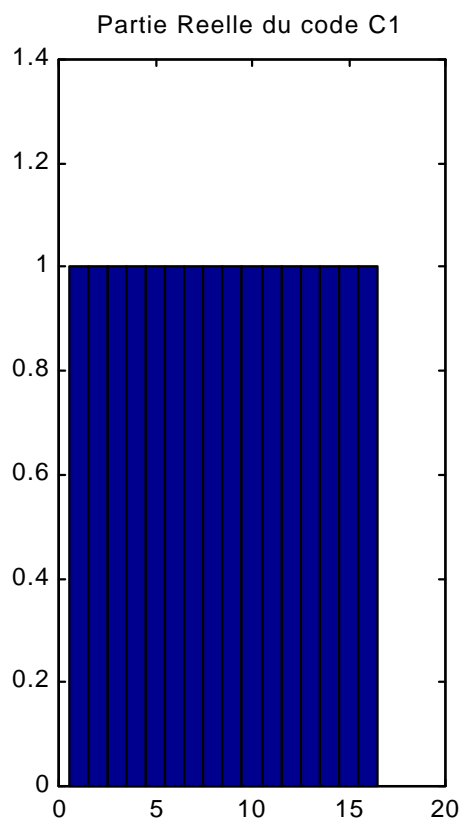
- Valeurs des codes $C_i(n)$,
- Représentation des parties réelles et imaginaires des codes $C_i(n)$.

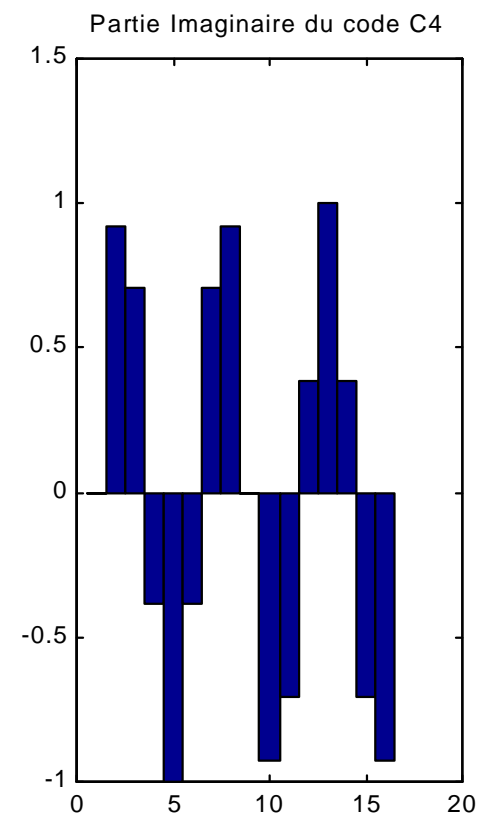
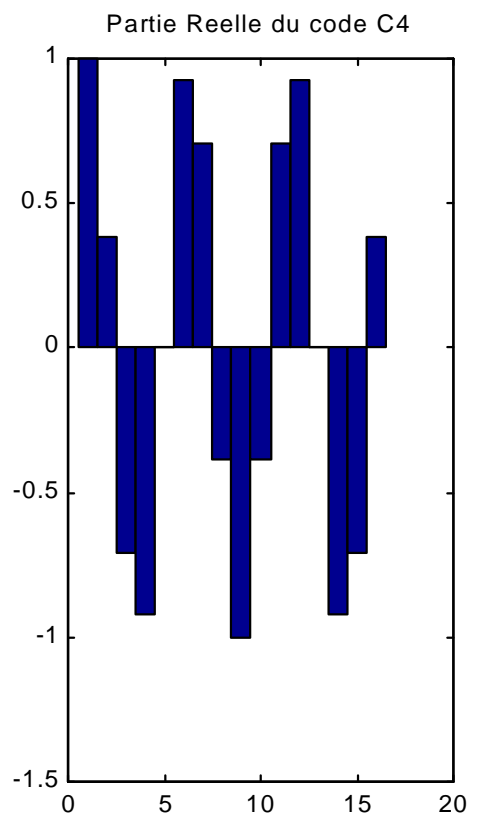
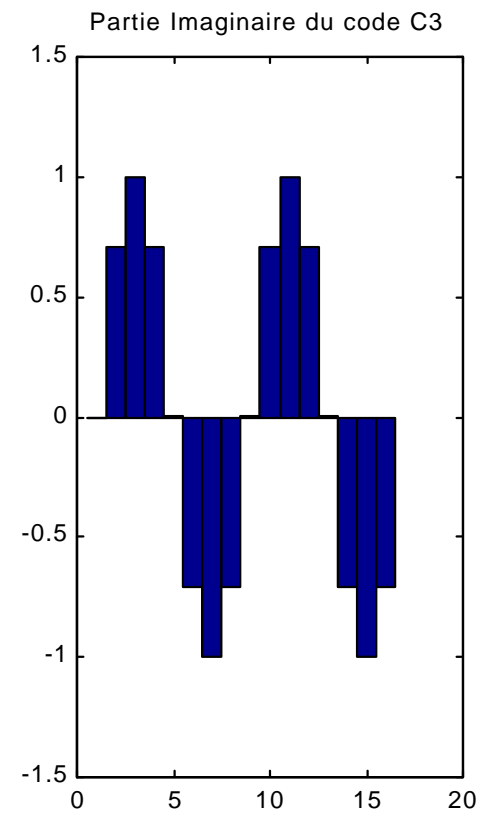
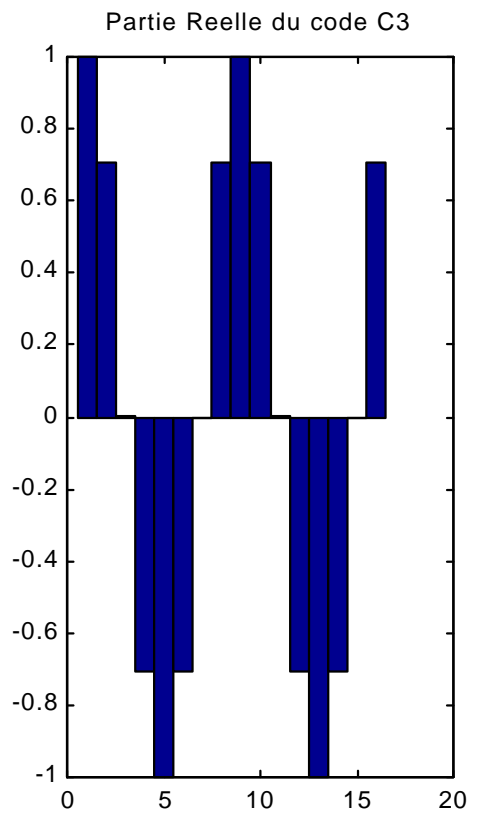
Le programme en C consiste à générer M séquences pseudo-aléatoires, de les étaler puis de les sommer en y ajoutant un bruit gaussien. Après un échantillonnage fréquentiel, nous effectuons un sous-échantillonnage avant de faire passer les séquences dans un égaliseur classique mono-utilisateur.

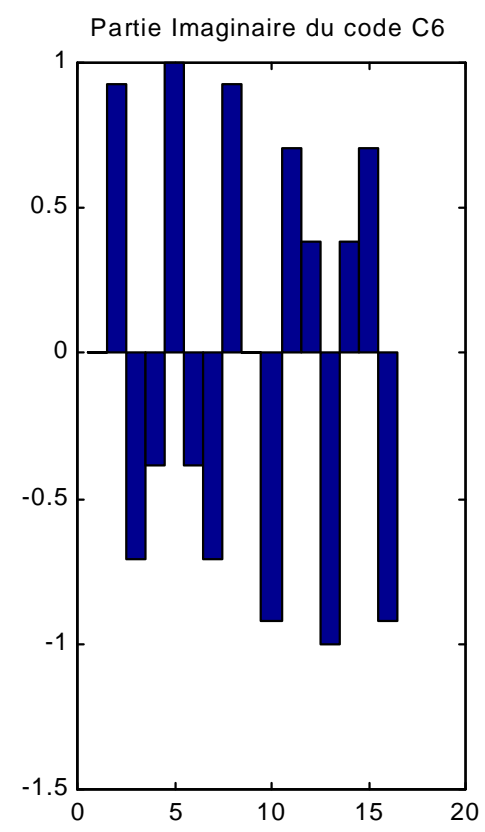
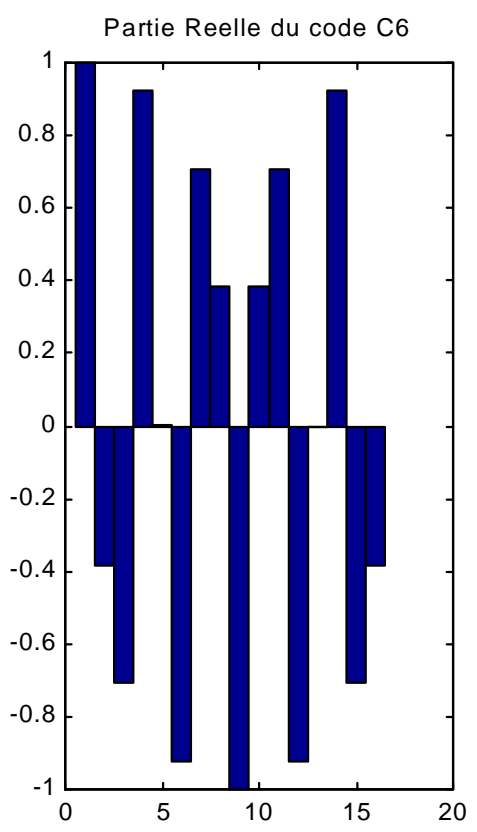
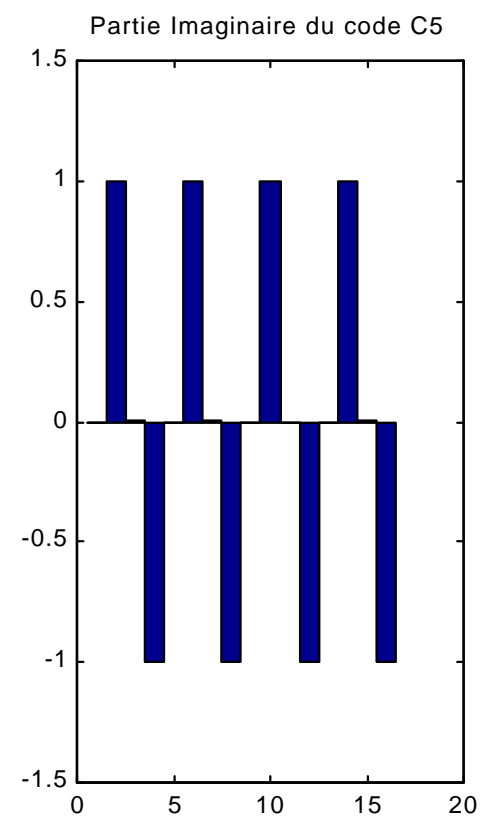
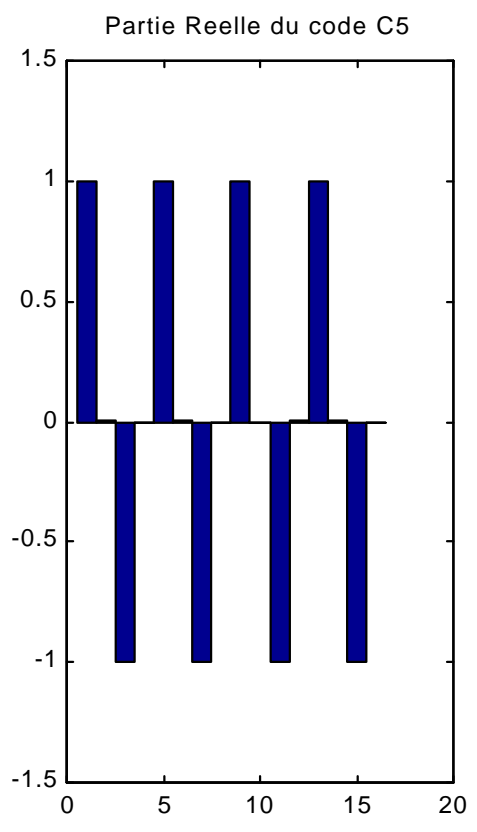
Programme sous **MATLAB** représentant les parties réelles et imaginaires de la famille de codes **AMOUR**

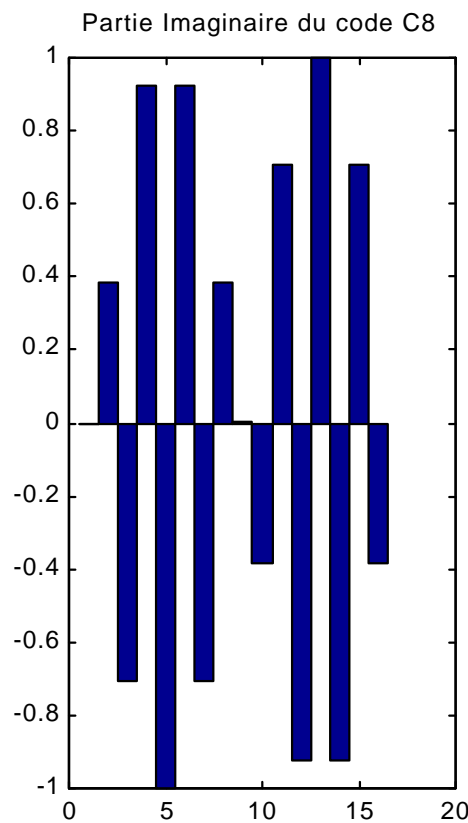
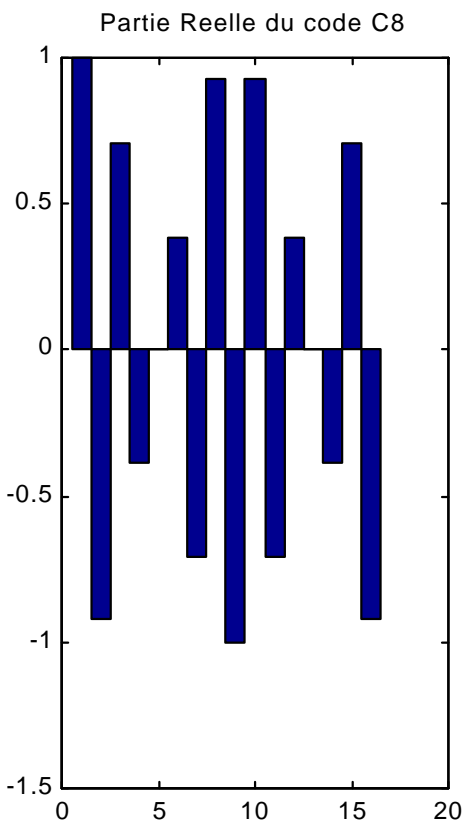
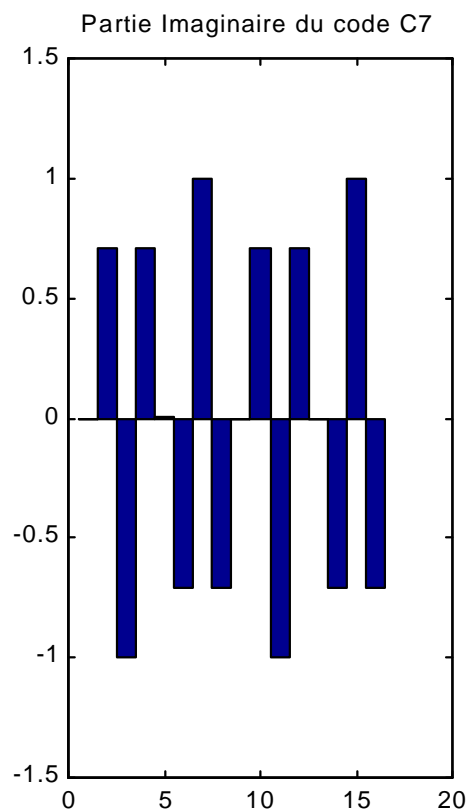
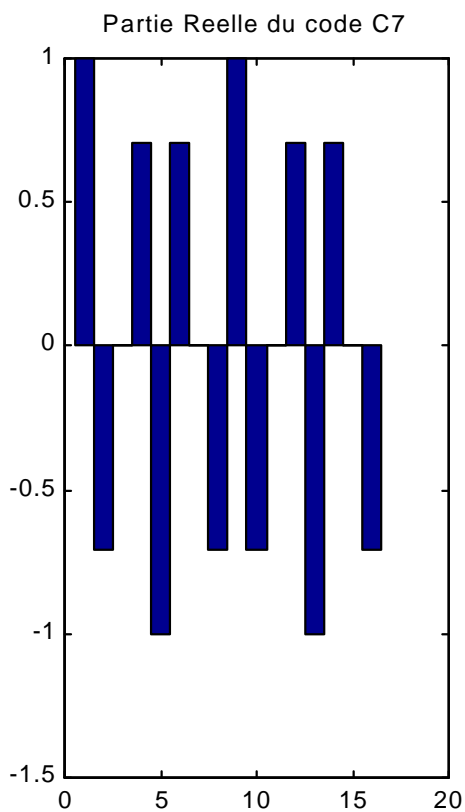
```
N=16;
rho = exp(j*2*pi*[0:N-1]/N);
subplot(1,2,1); bar(real(poly(rho([2:N])),1)); title('Partie Reelle du code C1'); subplot(1,2,2);
    'Partie Imaginaire du code C1';
subplot(1,2,1); bar(real(poly(rho([1 3:N])),1)); title('Partie Reelle du code C2'); subplot(1,2,2);
    'Partie Imaginaire du code C2';
subplot(1,2,1); bar(real(poly(rho([1:2 4:N])),1)); title('Partie Reelle du code C3'); subplot(1,2,2);
    'Partie Imaginaire du code C3';
subplot(1,2,1); bar(real(poly(rho([1:3 5:N])),1)); title('Partie Reelle du code C4'); subplot(1,2,2);
    'Partie Imaginaire du code C4';
subplot(1,2,1); bar(real(poly(rho([1:4 6:N])),1)); title('Partie Reelle du code C5'); subplot(1,2,2);
    'Partie Imaginaire du code C5';
subplot(1,2,1); bar(real(poly(rho([1:5 7:N])),1)); title('Partie Reelle du code C6'); subplot(1,2,2);
    'Partie Imaginaire du code C6';
subplot(1,2,1); bar(real(poly(rho([1:6 8:N])),1)); title('Partie Reelle du code C7'); subplot(1,2,2);
    'Partie Imaginaire du code C7';
subplot(1,2,1); bar(real(poly(rho([1:7 9:N])),1)); title('Partie Reelle du code C8'); subplot(1,2,2);
    'Partie Imaginaire du code C8';
subplot(1,2,1); bar(real(poly(rho([1:8 10:N])),1)); title('Partie Reelle du code C9'); subplot(1,2,2);
    'Partie Imaginaire du code C9';
subplot(1,2,1); bar(real(poly(rho([1:9 11:N])),1)); title('Partie Reelle du code C10'); subplot(1,2,2);
    'Partie Imaginaire du code C10';
subplot(1,2,1); bar(real(poly(rho([1:10 12:N])),1)); title('Partie Reelle du code C11'); subplot(1,2,2);
    'Partie Imaginaire du code C11';
subplot(1,2,1); bar(real(poly(rho([1:11 13:N])),1)); title('Partie Reelle du code C12'); subplot(1,2,2);
    'Partie Imaginaire du code C12';
subplot(1,2,1); bar(real(poly(rho([1:12 14:N])),1)); title('Partie Reelle du code C13'); subplot(1,2,2);
    'Partie Imaginaire du code C13';
subplot(1,2,1); bar(real(poly(rho([1:13 15:N])),1)); title('Partie Reelle du code C14'); subplot(1,2,2);
    'Partie Imaginaire du code C14';
subplot(1,2,1); bar(real(poly(rho([1:14 N])),1)); title('Partie Reelle du code C15'); subplot(1,2,2);
    'Partie Imaginaire du code C15';
subplot(1,2,1); bar(real(poly(rho([1:15])),1)); title('Partie Reelle du code C16'); subplot(1,2,2);
    'Partie Imaginaire du code C16';
r(imag(poly(rho([1:15])),1)); title('Partie Imaginaire du code C16');
```

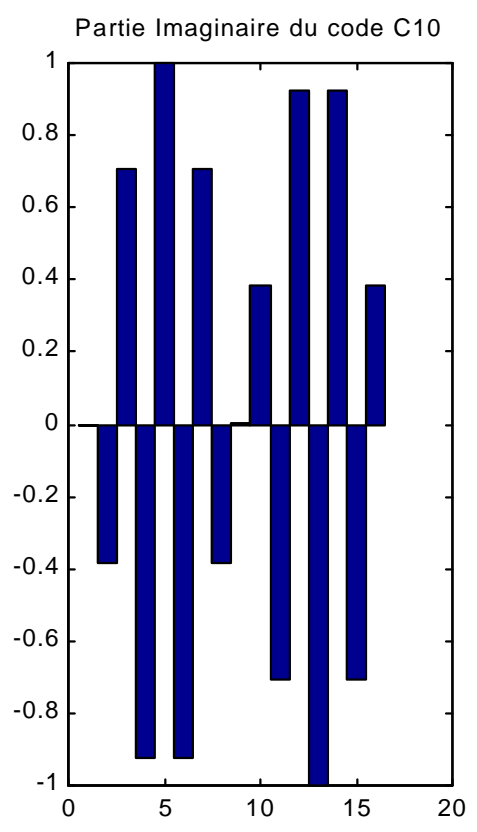
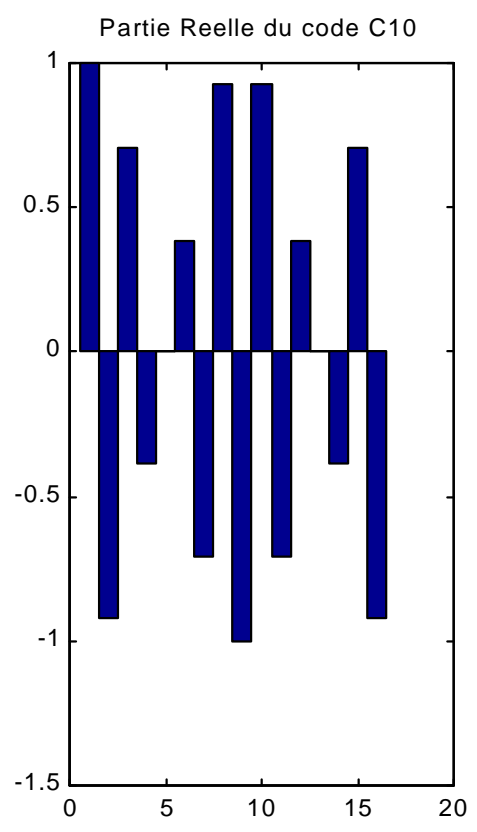
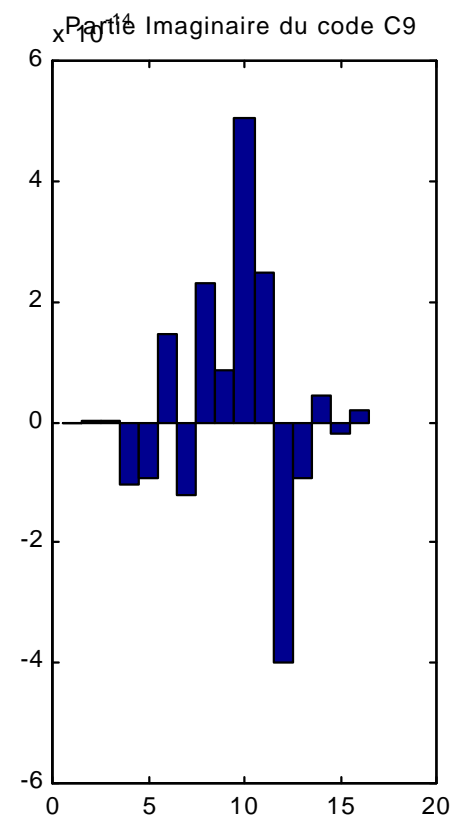
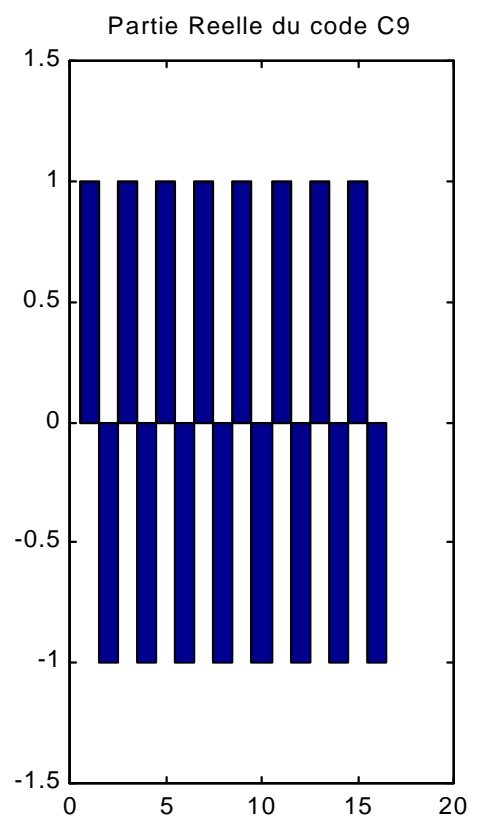

**Représentation des parties réelles et imaginaires
de la famille de codes AMOUR pour N = 16**

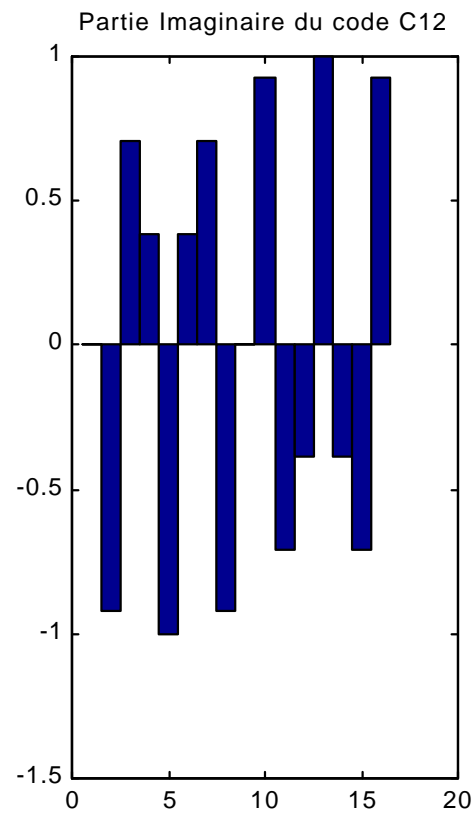
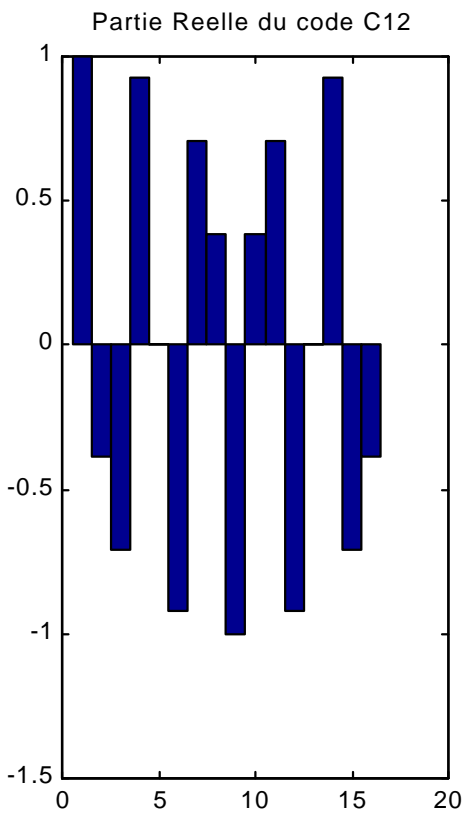
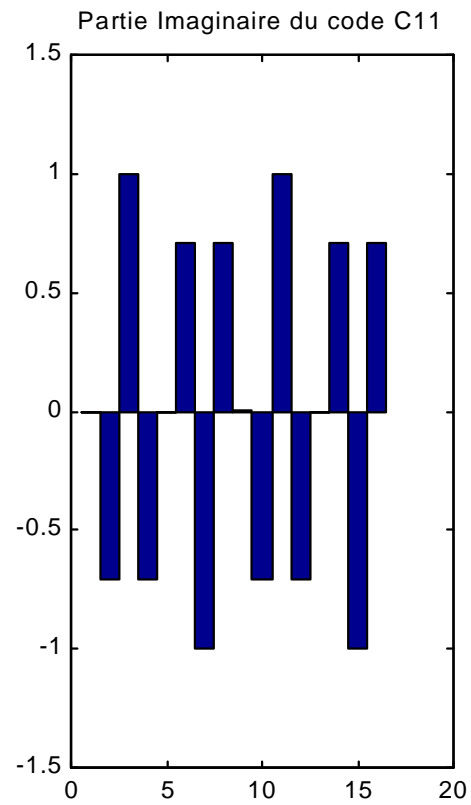
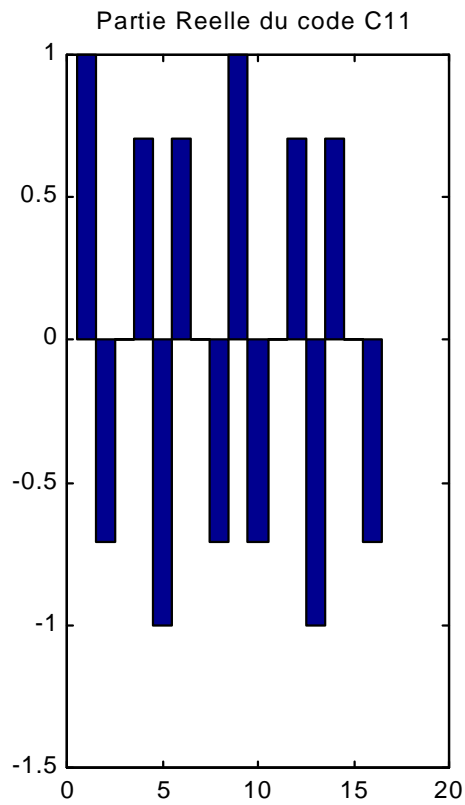


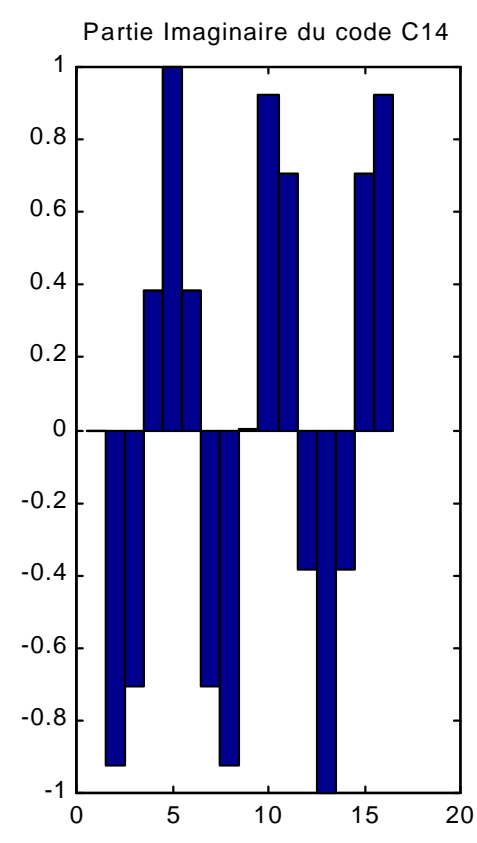
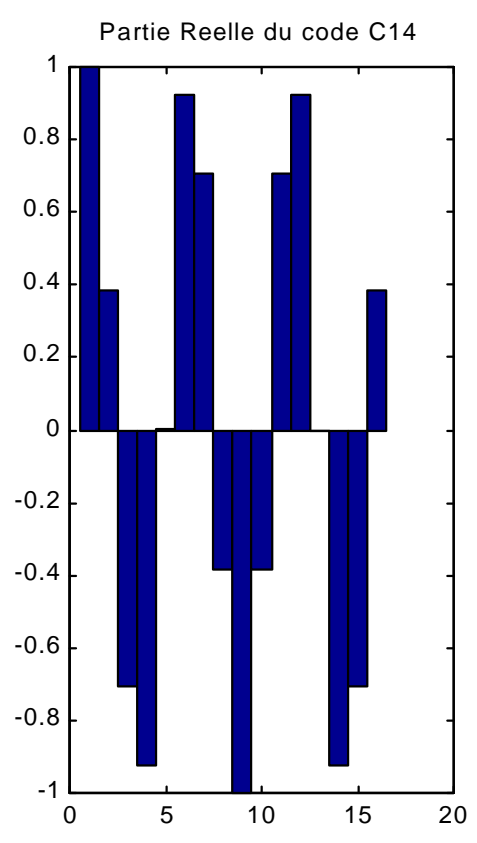
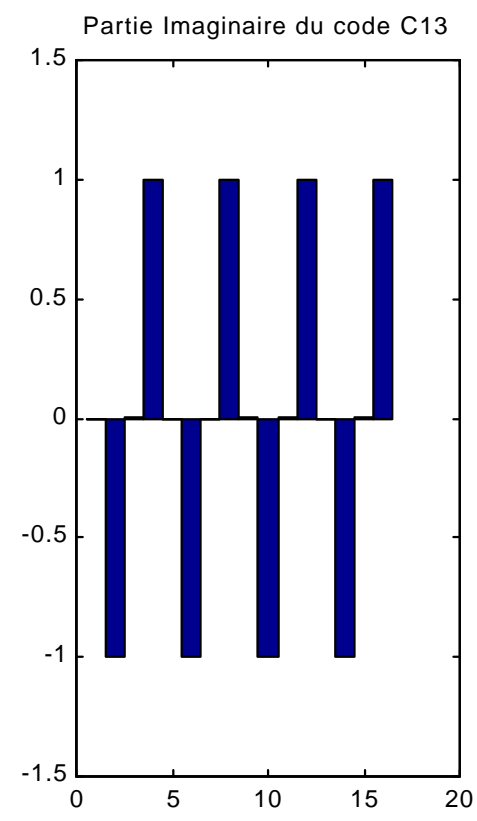
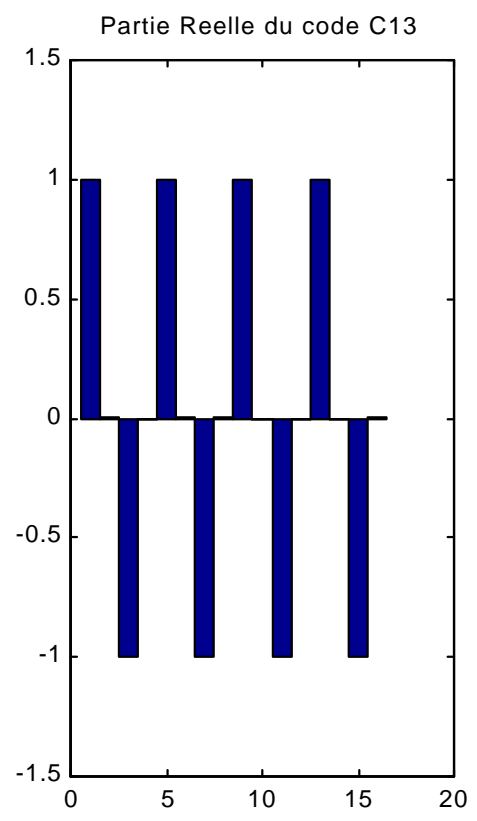


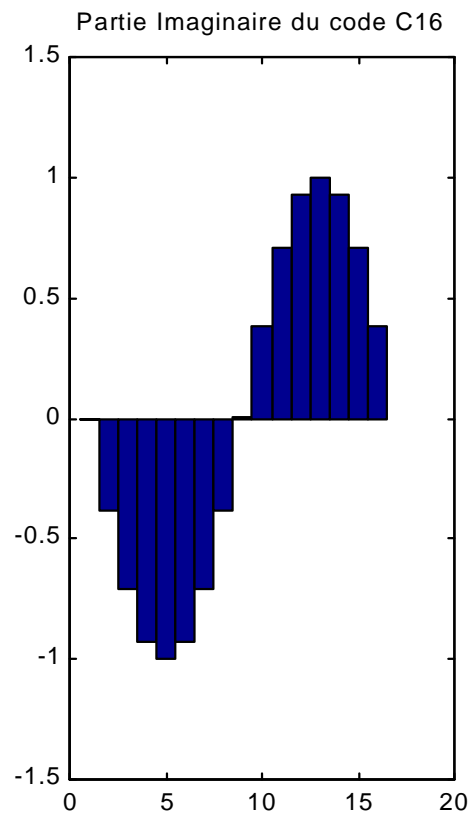
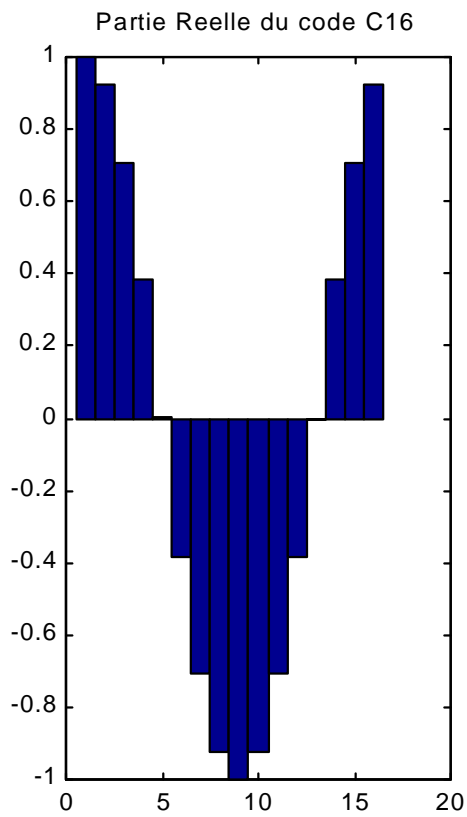
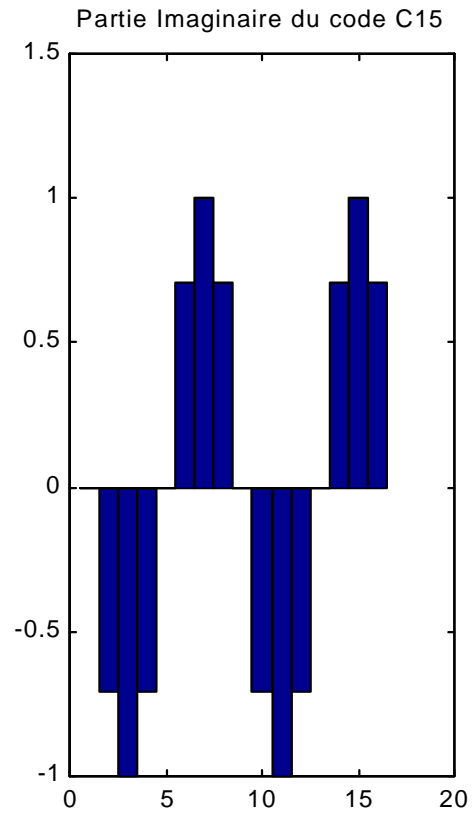
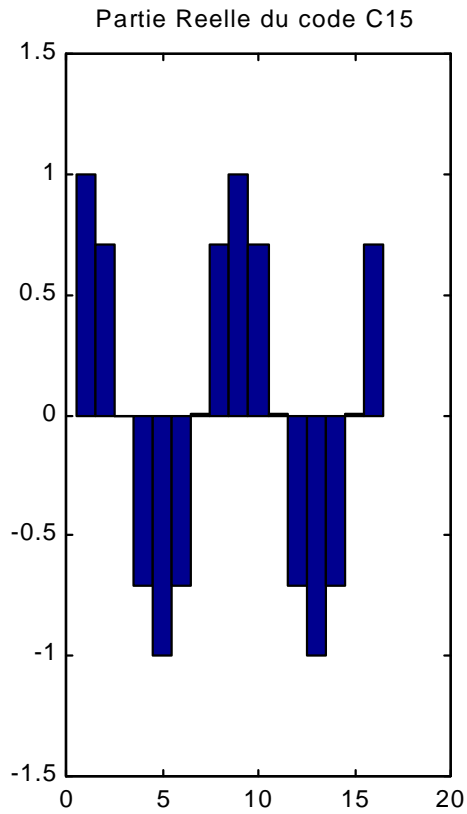












Valeurs numériques des codes AMOUR pour N = 16

- C1** 1.0000 1.0000 + 0.0000i 1.0000 - 0.0000i 1.0000 - 0.0000i 1.0000 + 0.0000i 1.0000 + 0.0000i 1.0000 - 0.0000i 1.0000 - 0.0000i 1.0000 + 0.0000i 1.0000 - 0.0000i 1.0000 - 0.0000i 1.0000 - 0.0000i 1.0000 - 0.0000i 1.0000 - 0.0000i 1.0000 - 0.0000i 1.0000 - 0.0000i 1.0000 - 0.0000i
- C2** 1.0000 0.9239 + 0.3827i 0.7071 + 0.7071i 0.3827 + 0.9239i -0.0000 + 1.0000i -0.3827 + 0.9239i -0.7071 + 0.7071i -0.9239 + 0.3827i -1.0000 + 0.0000i -0.9239 - 0.3827i -0.7071 - 0.7071i -0.3827 - 0.9239i 0.0000 - 1.0000i 0.3827 - 0.9239i 0.7071 - 0.7071i 0.9239 - 0.3827i
- C3** 1.0000 0.7071 + 0.7071i 0.0000 + 1.0000i -0.7071 + 0.7071i -1.0000 + 0.0000i -0.7071 - 0.7071i -0.0000 - 1.0000i 0.7071 - 0.7071i 1.0000 + 0.0000i 0.7071 + 0.7071i 0.0000 + 1.0000i -0.7071 - 0.7071i -1.0000 + 0.0000i -0.7071 - 0.7071i -0.0000 - 1.0000i 0.7071 - 0.7071i
- C4** 1.0000 0.3827 + 0.9239i -0.7071 + 0.7071i -0.9239 - 0.3827i -0.0000 - 1.0000i 0.9239 - 0.3827i 0.7071 + 0.7071i -0.3827 + 0.9239i -1.0000 + 0.0000i -0.3827 - 0.9239i 0.7071 - 0.7071i 0.9239 + 0.3827i 0.0000 + 1.0000i -0.9239 + 0.3827i -0.7071 - 0.7071i 0.3827 - 0.9239i
- C5** 1.0000 0.0000 + 1.0000i -1.0000 + 0.0000i -0.0000 - 1.0000i 1.0000 - 0.0000i 0.0000 + 1.0000i -1.0000 + 0.0000i -0.0000 - 1.0000i 1.0000 - 0.0000i 0.0000 - 1.0000i 1.0000 - 0.0000i 0.0000 + 1.0000i -1.0000 + 0.0000i -0.0000 - 1.0000i 1.0000 - 0.0000i 0.0000 + 1.0000i -1.0000 + 0.0000i -0.0000 - 1.0000i
- C6** 1.0000 -0.3827 + 0.9239i -0.7071 - 0.7071i 0.9239 - 0.3827i 0.0000 + 1.0000i -0.9239 - 0.3827i 0.7071 - 0.7071i 0.3827 + 0.9239i -1.0000 + 0.0000i 0.3827 - 0.9239i 0.7071 + 0.7071i -0.9239 + 0.3827i -0.0000 - 1.0000i 0.9239 + 0.3827i -0.7071 + 0.7071i -0.3827 - 0.9239i
- C7** 1.0000 -0.7071 + 0.7071i -0.0000 - 1.0000i 0.7071 + 0.7071i -1.0000 + 0.0000i -0.7071 - 0.7071i 0.0000 + 1.0000i -0.7071 - 0.7071i 1.0000 - 0.0000i -0.7071 + 0.7071i 0.0000 - 1.0000i 0.7071 + 0.7071i -1.0000 + 0.0000i 0.7071 - 0.7071i 0.0000 + 1.0000i -0.7071 - 0.7071i
- C8** 1.0000 -0.9239 + 0.3827i 0.7071 - 0.7071i -0.3827 + 0.9239i 0.0000 - 1.0000i 0.3827 + 0.9239i -0.7071 - 0.7071i 0.9239 + 0.3827i -1.0000 + 0.0000i 0.9239 - 0.3827i -0.7071 + 0.7071i 0.3827 - 0.9239i 0.0000 + 1.0000i -0.3827 - 0.9239i 0.7071 + 0.7071i -0.9239 - 0.3827i
- C9** 1.0000 -1.0000 + 0.0000i 1.0000 + 0.0000i -1.0000 - 0.0000i 1.0000 - 0.0000i -1.0000 + 0.0000i 1.0000 - 0.0000i -1.0000 + 0.0000i 1.0000 + 0.0000i -1.0000 + 0.0000i 1.0000 - 0.0000i -1.0000 + 0.0000i 1.0000 - 0.0000i -1.0000 + 0.0000i 1.0000 - 0.0000i -1.0000 + 0.0000i
- C10** 1.0000 -0.9239 - 0.3827i 0.7071 + 0.7071i -0.3827 - 0.9239i -0.0000 + 1.0000i 0.3827 - 0.9239i -0.7071 + 0.7071i -0.9239 + 0.3827i -0.7071 - 0.7071i 0.3827 + 0.9239i -0.0000 - 1.0000i -0.3827 + 0.9239i 0.7071 - 0.7071i -0.9239 + 0.3827i
- C11** 1.0000 -0.7071 - 0.7071i -0.0000 + 1.0000i 0.7071 - 0.7071i -1.0000 - 0.0000i 0.7071 + 0.7071i 0.0000 - 1.0000i -0.7071 - 0.7071i 1.0000 + 0.0000i -0.7071 - 0.7071i 0.0000 + 1.0000i 0.7071 - 0.7071i -1.0000 - 0.0000i 0.7071 + 0.7071i -0.0000 - 1.0000i -0.7071 + 0.7071i
- C12** 1.0000 -0.3827 - 0.9239i -0.7071 + 0.7071i 0.9239 + 0.3827i 0.0000 - 1.0000i -0.9239 + 0.3827i 0.7071 + 0.7071i 0.3827 - 0.9239i -1.0000 + 0.0000i 0.3827 + 0.9239i 0.7071 - 0.7071i -0.9239 - 0.3827i -0.0000 + 1.0000i 0.9239 - 0.3827i -0.7071 - 0.7071i -0.3827 + 0.9239i
- C13** 1.0000 0.0000 - 1.0000i -1.0000 + 0.0000i -0.0000 - 1.0000i 1.0000 - 0.0000i 0.0000 - 1.0000i -1.0000 + 0.0000i 0.0000 + 1.0000i -1.0000 + 0.0000i -0.0000 - 1.0000i 1.0000 - 0.0000i -0.0000 - 1.0000i -1.0000 + 0.0000i 0.0000 + 1.0000i -1.0000 + 0.0000i -0.0000 - 1.0000i
- C14** 1.0000 0.3827 - 0.9239i -0.7071 - 0.7071i -0.9239 + 0.3827i 0.0000 + 1.0000i 0.9239 + 0.3827i 0.7071 - 0.7071i -0.3827 - 0.9239i -1.0000 + 0.0000i -0.3827 + 0.9239i 0.7071 + 0.7071i 0.9239 - 0.3827i -0.0000 - 1.0000i -0.9239 - 0.3827i -0.7071 + 0.7071i 0.3827 + 0.9239i
- C15** 1.0000 0.7071 - 0.7071i -0.0000 - 1.0000i -0.7071 - 0.7071i -1.0000 - 0.0000i -0.7071 + 0.7071i 0.0000 + 1.0000i 0.7071 + 0.7071i 1.0000 + 0.0000i 0.7071 - 0.7071i 0.0000 - 1.0000i -0.7071 - 0.7071i -1.0000 + 0.0000i -0.7071 + 0.7071i 0.0000 + 1.0000i 0.7071 + 0.7071i
- C16** 1.0000 0.9239 - 0.3827i 0.7071 - 0.7071i 0.3827 - 0.9239i 0.0000 - 1.0000i -0.3827 - 0.9239i -0.7071 - 0.7071i -0.9239 + 0.3827i -1.0000 + 0.0000i -0.9239 - 0.3827i -0.7071 + 0.7071i 0.3827 + 0.9239i -0.0000 + 1.0000i 0.3827 + 0.9239i 0.7071 + 0.7071i -0.9239 - 0.3827i -1.0000 + 0.0000i -0.9239 + 0.3827i

CONCLUSION

Ce TP de synthèse nous a permis de nous familiariser avec la nouvelle technique d'accès multiple qu'est le CDMA et de comprendre son fonctionnement. Nous avons commencé à exploiter les équations du système CDMA sous forme matricielle mais n'avons pas eu le temps de tout terminer. La famille de codes proposée par *G. Giannakis* semble bien éliminer l'interférence entre utilisateurs et non pas l'interférence inter-symboles.

GLOSSAIRE

Voilà un petit glossaire qui contient quelques brèves explications sur des termes rencontrés lors de notre étude.

CCITT : Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique.

CDMA : Code Division Multiple Access
En français : Accès Multiple à Répartition de Codes (AMRC)

FDMA : Frequency Division Multiple Access
En français : Accès Multiple à Répartition de Fréquence (AMRF)

SDMA : Space Division Multiple Access
En français : Accès Multiple à Répartition Spatiale (AMRS)

TDMA : Time Division Multiple Access
En français : Accès Multiple à Répartition Temporelle (AMRT)

UMTS : Universal Mobile Telecommunications System

W-CDMA : Wideband CDMA

BIBLIOGRAPHIE

- « **Design of User Codes in QS-CDMA Systems for MUI Elimination in Unknown Multipath** » Article paru dans le « IEEE Communications Letter » (Fevrier 1999) de *Anna Scaglione* et *Georgios Giannakis*.
- « **Generalized Multi-Carrier CDMA for MUI / ISI – Resilient Uplink Transmissions Irrespective of Frequency-Selective Multipath** » Article de *Georgios Giannakis*, *Paul Anghel*, *Zhengdao Wang*, et *Anna Scaglione*.
- « **CDMA for Wireless Personal Communications** » de *Ramjee Prasad*, aux Editions Artech House.