

**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté de Génie Électrique et d'Informatique

Département d'Électronique

Mémoire de fin d'études de Master Académique

Spécialité : Instrumentation



Thème

**Implémentation d'un DSP dans
un Système embarqué**

Réalisé par :

M^{elle} Braik Sabrina

M^{elle} Gharout Ouiza

Encadré par :

Mr Lazri M.

Année 2017/2018

Remerciement

Avant toute chose, nous remercions Dieu tout Puissant, miséricordieux et clément, pour nous avoir donné santé, patience, Volonté et courage.

Nous tenons cordialement à exprimer notre profonde et Respectueuse reconnaissance à notre promoteur Mr Lazri M., pour la confiance qu'il nous a accordé en acceptant de diriger ce projet de fin d'études

Nous exprimons notre gratitude à tous les professeurs et enseignants qui ont collaborés à notre formation durant notre cursus universitaire à UMMTO.

Nous remercions infiniment les membres du jury qui nous font l'honneur de juger et critiquer notre travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*A mes parents, aucun hommage ne
pourrait être à la hauteur du soutien
qu'ils m'ont donné.*

A mon cher frère .

*A ma famille et à mes amis qui ont
contribué de près ou de loin pour que ce
travail se réalise,*

Je vous dis merci.

ouíza

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*A mes parents, aucun hommage ne
pourrait être à la hauteur du soutien
qu'ils m'ont donné.*

A mes chers frères

A mes chères sœurs

*A ma famille et à mes amis qui ont
contribué de près ou de loin pour que ce
travail se réalise,*

Je vous dis merci.

sabrina

Table de matières

| | |
|--|----|
| Introduction général | I |
| Chapitre I : Traitement du signal numérique | |
| I.1.Préambule | 1 |
| I.2. .Chaine de traitement de signal numérique | 1 |
| I.3.Généralités sur les outils de traitement de signal numérique | 2 |
| I.3.1.Transformée de Fourier Discrète (TFD) | 2 |
| I.3 .1.1.Transformée de Fourier discrète inverse | 3 |
| I.3.2.Transformée en z (TZ) | 4 |
| I.3.2.1.Définition | 4 |
| I.3.2.2. Propriétés | 4 |
| I.3.3.Les filtrage numérique | 6 |
| I.3.3.1.Définition | 6 |
| I.3.3.2.Les deux familles des filtres numériques | 9 |
| I.4.Echantillonnage | 10 |
| I.4.1. Définition | 10 |
| I.4.2. Echantillonnage idéal | 11 |
| I.4.3. Echantillonnage réel | 11 |
| I.4.4 Echantillonnage-blocage | 13 |
| I.5. Quantification | 14 |
| I.5.1. Définition | 14 |
| I.5.2. Quantification uniforme | 14 |

| | |
|--|----|
| I.6.codage | 15 |
| I.7. Avantage du traitement numérique | 16 |
| I.8.Inconvénients du traitement numérique..... | 17 |
| I.9.Discussion | 17 |

Chapitre II: les systèmes embarqués

| | |
|--|----|
| II.1.préambule | 18 |
| II.2.Définition | 18 |
| II.3.historique | 18 |
| II.4.Le marché des systèmes embarqués | 19 |
| II.5.Architecture d'un système embarqués..... | 19 |
| II.6.Caractéristiques d'un système embarqué | 22 |
| II.7.Domaines d'application des systèmes embarqués | 23 |
| II.8.Contraintes des systèmes embarqués | 24 |
| II.9. Le téléphone mobile | 25 |
| II.9.1.Définition d'un mobile GSM | 25 |
| II.9.2.Historique | 26 |
| II.9.3.Caractéristique | 26 |
| II.9.4. Périphériques du téléphone mobile | 29 |
| II.9.5. Constitution d un téléphone mobile | 32 |
| II.10.Discussion..... | 32 |

Chapitre III : les processeurs de traitement de signal numérique (DSP)

| | |
|---------------------------------|----|
| III.1.Préambule | 33 |
| III.2.Définition d'un DSP | 33 |

| | |
|--|----|
| III.3.Historique | 34 |
| III.4.Domains d'applications | 34 |
| III.4.1.Evolution du marché des DSP | 36 |
| III.4.2 .Principaux fabricant de DSP | 36 |
| III.5 .Caractéristiques principales des DSP | 37 |
| III.5.1Deux grandes catégories de DSP | 38 |
| III.5.2.Classification des DSP | 42 |
| III.6.Types d'architectures internes des processeurs | 42 |
| III.6.1.Utilisations des ces architectures dans les DSP | 44 |
| III.7.Avantages des systèmes à base de DSP | 45 |
| III.8.Différence entre DSP et microprocesseur ordinaire | 47 |
| III.9.Discussion | 50 |
| Chapitre IV : Implémentation d'un DSP dans un téléphone mobile GSM. | |
| IV.1.Préambule | 51 |
| IV.2.La structure générale d un mobile GSM à base d un DSP | 51 |
| IV.3.A l'émission | 52 |
| IV.3.1.Le traitement de la voix | 53 |
| IV.3.2. Le principe du vocodeur | 55 |
| IV.3.3.La protection des données numérique | 56 |
| IV.3.4.Le filtrage Gaussien du signal binaire | 58 |
| IV.3.5.La Modulation MSK (minimum shift keying) | 59 |
| IV.3.6.Modulation GMSK minimum shift keying | 61 |
| IV.3.7.Production de la porteuse modulé | 63 |

| | |
|---|----|
| IV.4.A la réception | 63 |
| IV.4.1.Traitement de la voix dans DSP | 65 |
| IV.5.Discussion | 65 |

Listes des figures

Chapitre I :

| | |
|---|----|
| Figure I.1 : chaine de traitement de signal numérique | 1 |
| Figure I.2 : exemple sur le pas fréquentiel f_i | 3 |
| Figure I.3 : filtre à réponse impulsionnelle | 6 |
| Figure I.4 : filtre à réponse indicielle | 7 |
| Figure I.5: filtre calculé avec le produit de convolution | 7 |
| Figure I.6 : la zone de stabilité d un filtre numérique | 8 |
| Figure I.7 : échantillonnage d'un signal analogique | 10 |
| Figure I.8 : spectre obtenu après un échantillonnage idéal | 11 |
| Figure I.9 : suite de fonction rectangle (porte) | 12 |
| Figure I.10 : spectre modulé en amplitude par une fonction sinus cardinale..... | 13 |
| Figure I.11 : fonction port décalé $\tau/2$ | 13 |
| Figure I.12 : Quantification uniforme | 14 |

Chapitre II :

| | |
|---|----|
| Figure II.1 : architecture d'un système embarqué..... | 19 |
| Figure II.2 : convertisseur analogique numérique..... | 21 |
| Figure II.3 : le clavier..... | 28 |
| Figure II.4:Écran | 28 |
| Figure II.5 : Carte SIM..... | 30 |

Chapitre III :

| | |
|---|----|
| Figure III.1.Chaine complète typique d'un système de traitement numérique du signal..... | 34 |
| Figure III.2.Evolution du marché des circuits DSP..... | 36 |
| Figure III.3 : les deux catégories des DSP | 38 |
| Figure III.4 : codage à virgule flottante..... | 40 |
| Figure III.5 : codage à virgule fixe | 42 |
| Figure III.6: L'architecture Von Neumann | 43 |
| Figure III.7: architecture Harvard | 44 |
| Figure III.8 : Architecture de Harvard modifiée | 45 |
| Figure III.9 : Evolution du temps d'exécution d'une opération MAC, selon Texas Instrument..... | 48 |

Chapitre VI:

| | |
|---|----|
| Figure VI.1 : structure générale d'un mobile GSM à base d'un DSP..... | 47 |
| Figure VI.2 :le circuit d'emission d'un mobile GSM..... | 48 |
| Figure VI.3 : circuit de numérisation de la voix | 49 |
| Figure VI.4 : les étapes de numérisation du signal vocale | 49 |
| Figure VI.5 : traitement numérique du signal dans le DSP..... | 50 |
| Figure VI.6 : trame de 20ms découpé par le vocodeur | 50 |
| FigureVI.7 :Les étapes de protection des données | 52 |

| | |
|--|----|
| Figure.VI.8 : spectre d'une porteuse modulée en fréquence par un signal binaire non filtré et filtré | 53 |
| Figure VI.9. : courbe de réponse d un filtre Gaussien..... | 53 |
| Figure VI.10 : allure du signal binaire filtré par un filtre Gaussien | 54 |
| Figure VI.11 : graphe de la modulation MSK..... | 55 |
| Figure VI.12 :circuit de modulation GSMK | 56 |
| Figure VI.13 : graphe de la modulation GSMK..... | 56 |
| Figure VI.14 : représentation de l émission de signal vocale de CAN jusque à l'antenne. | 57 |
| Figure VI.15 : le traitement numérique de signal vocal à la réception | 57 |

Liste des abréviations

| | |
|------------------|---|
| TNS | Traitement Numérique de Signal |
| CAN | Convertisseur Analogique Numérique |
| CNA | Convertisseur Numérique Analogique |
| TZ | Transformé en Z |
| TFD | Transformée de Fourier Discrettes |
| IIR(RII) | Réponse Impulsionnelle Infinie |
| FIR (RIF) | Réponse Impulsionnelle finie |
| DSP | Densité Spectrale de Puissance ou Digital Signal Processing |
| CPU | Central Processing Unit |
| MAC | Multipliy and Accumulat |
| ASIC | Application Specific Integrated Circuit |
| IHM | Interface Homme-Machine |
| RAM | Random-Access Memory |
| EEPROM | Electrically Erasable Programmable Read Only Memory |
| SIM | Subscriber Identity Module |
| IMEI | International Mobile Equipment Identity |
| GSM | Global System Mobile |
| MSK | Minimum Shift Keying |
| GMSK | Gaussian Minimum Shift Keying |
| VCO | Voltage Controlled Oscillator |

DECT **D**igital **E**nhanced **C**ordless **T**ele**co**m**mu**n**ic**ation

DCS **D**istributed **C**ontrol **S**ystem

TDMA **T**ime **D**ivision **M**ulti **A**ccess

Le Traitement numérique du signal est une des grandes innovations technologiques de ces dernières années dans le domaine de l'Electronique, l'idée de base est de représenter un signal quelconque par une séquence de nombres, que l'on va traiter d'une manière numérique en principe par un Ordinateur , pour modifier le signal, ou pour extraire une information, pour cela les systèmes nécessitent une implémentation des processeurs de traitement de signal numérique (DSP) qui est un microprocesseur optimisé pour exécuter des applications de traitement numérique du signal (filtrage, extraction de signaux, etc.) le plus rapidement possible.

Parmi ces systèmes, on trouve les systèmes embarqués qui jouent un rôle important dans plusieurs domaines tel que : l'astronomie, la télécommunication, le médical, les satellites,...

Le processeur de traitement numérique du signal (DSP) faisant partie de la famille des microprocesseurs, mais dont les jeux d'instructions et l'architecture le rendent performant dans le domaine du traitement numérique du signal. qui est l'élément indispensable dans la chaine de traitement pouvant assurer autant de travaux différents que possible dans les systèmes embarqués Pour mettre en évidence le DSP, nous avons présenté son implémentation dans le téléphone mobile GSM.

Notre mémoire est divisée en quatre chapitres :

Nous avons consacré le premier chapitre à la présentation des généralités sur le traitement du signal. Dans un premier temps, nous décrivons la chaine de traitement de signal numérique. Ensuite, nous donnons des outils de traitement de signal, à savoir la TZ et la TFD. A la fin de ce chapitre, nous montrons les étapes de numérisations d'un signal analogique.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons tout d'abord la notion des systèmes embarqués ainsi que ces caractéristiques, dans ce contexte, nous discuterons aussi de ces domaines d'applications puis des contraintes relatives a ce type de système.

Ensuite, le troisième chapitre, nous donnons les généralités des processeurs de traitement de signal (DSP), où nous décrivons ses différents domaines d'applications et ses caractéristiques ainsi que leurs architectures et ses avantages d'utilisation.

Le quatrième chapitre est consacré à la présentation de la structure générale d'un mobile GSM à base d'un DSP. Dans un premier temps, nous décrivons les étapes de transmissions de l'information. Dans un second temps, nous montrons les étapes de réception de l'information.

Nous terminons notre travail par une conclusion.

Chapitre I:

Traitement

Du Signal Numérique

I.1. Préambule :

Le traitement numérique de l'information apporte de nombreux avantages techniques ainsi qu'une flexibilité accrue dans beaucoup de domaines. Le traitement du signal par transformée de Fourier pose cependant un certain nombre de problèmes. En effet, un ordinateur ne peut traiter que des signaux numériques, ceux-ci sont obtenus après un échantillonnage et une quantification. Leur étude devra tenir compte des effets induits sur le spectre par ces deux techniques. De plus, un calcul de transformée de Fourier est une somme d'une infinité d'échantillons. Le temps nécessaire ainsi que la mémoire de l'ordinateur vont forcément emmener certaines contraintes à ce niveau. Pour traiter donc l'information par ordinateur, il est indispensable de numériser les signaux analogiques.

L'objectif de ce chapitre est de présenter des généralités sur le traitement du signal. Dans un premier temps, nous décrivons la chaîne de traitement de signal numérique. Ensuite, nous donnons des outils de traitement de signal, à savoir la TZ et la TFD. A la fin de ce chapitre, nous montrons les étapes de numérisation d'un signal analogique.

I.2. Chaîne de traitement de signal numérique :

Les étapes de traitement d'un signal sont données par la figure suivante :

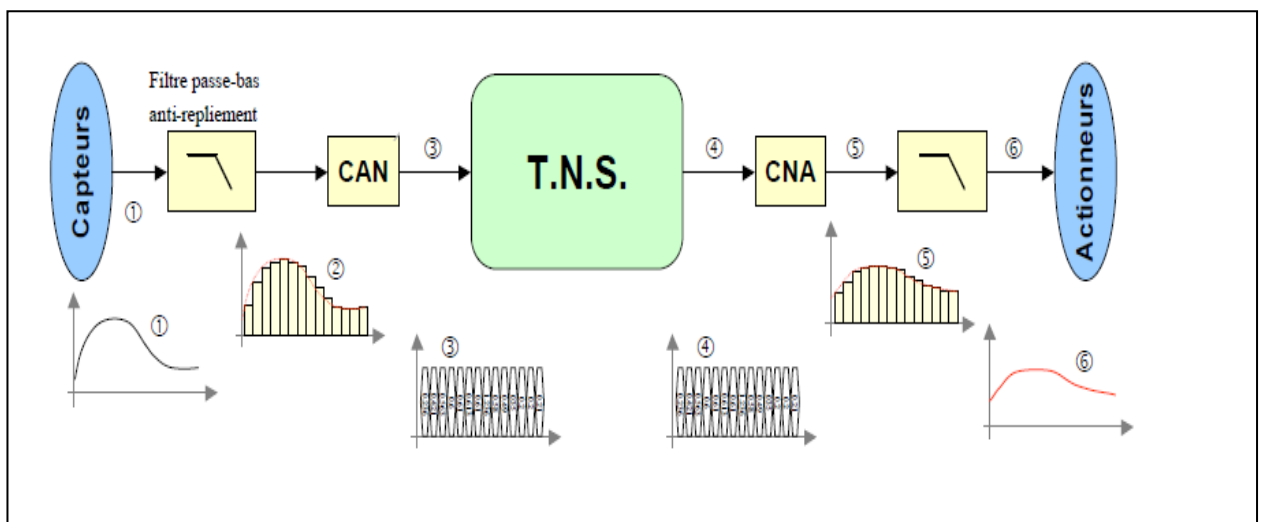


Figure I.1 : chaîne de traitement de signal numérique

- Filtre passe-bas anti repliement : est un filtre analogique qui procède l'échantillonnage utilisé pour éliminer les signaux et bruits qui ne respectent pas la condition de Shannon (filtrage).
- CAN : Conversion et codage.

- T.N.S : Tout traitement numérique de signal.
- CNA : Conversion analogique et blocage pour avoir un signal analogique à temps continu.
- Filtre de lissage : Le lissage est utilisé pour atténuer les effets indésirables des marches d'escalier du bloqueur d'ordre Zéro.

I.3.Généralités sur les outils de traitement de signal numérique :

I.3.1.Transformée de Fourier Discrète (TFD) :

La transformée de fourier discret (TFD) est la TF exacte d'un signal discret. Elle est très simple à calculer à partir de série mathématique limitées et ce calcul s'implante facilement sur calculateur ou circuit spécialisé (DSP) avec un algorithme FFT (Faste Fourier Transform) permettant d'en accélérer le temps de calcul de plusieurs centaine de fois.

Son principe consiste, à partir de M échantillons du signal $s_0, s_1, \dots, s_k, \dots, s_{M-1}$ de déterminer M échantillons de la TFD : $S_0, S_1, \dots, S_n, \dots, S_{M-1}$. Les M échantillons de la transformée représentent une période de cette transformée, soit prise entre $-\frac{F_e}{2}$ et $\frac{F_e}{2}$ (c'est – à – dire entre $-\frac{1}{2.F_e}$ et $\frac{1}{2.F_e}$), soit entre 0 et F_e .

L'expression mathématique de la TFD est la suivante :

$$S(n, f_i) = \sum_{k=0}^{M-1} s(kT_e) e^{-j2\pi k T_e n f_i} \dots \dots \dots (I.1)$$

Ou

$$S\left(\frac{n}{M}\right) = \sum_{k=0}^{M-1} s(kT_e) e^{-j2\pi k \frac{n}{M}} \dots \dots \dots (I.2)$$

Où $s(kT_e) = s_k$ représente le $k^{\text{ème}}$ échantillon du signal temporel,

$S(n f_i) = S(n/M) = s_n$ le $n^{\text{ème}}$ échantillon de la TFD,

k est l'indice temporel.

n est l'indice fréquentiel.

M est le nombre total d'échantillons du signal ainsi que celui de la TFD (typiquement 1024).

f_i est appelé le pas fréquentiel et représente la distance entre deux échantillons du spectre, cette valeur est donc telle que $f_i = \frac{F_e}{M}$

Ex : pour M=11

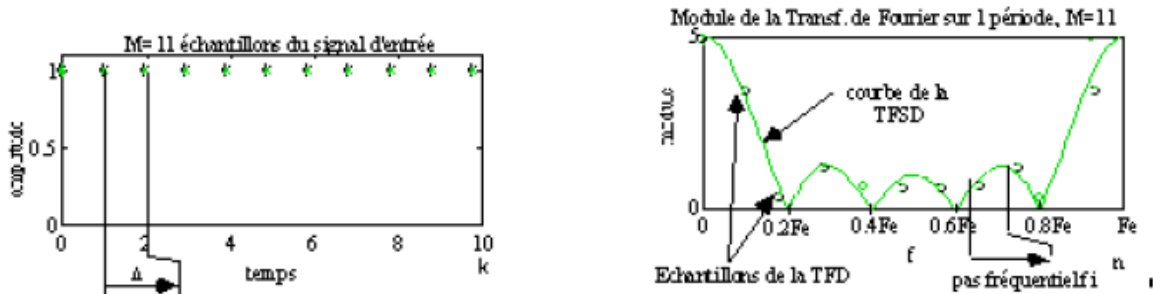


Figure I.2 : exemple sur le pas fréquentiel f_i

I.3 .1.1.Transformée de Fourier discrète inverse :

$$s_k = \frac{1}{M} \sum_{n=0}^{M-1} s_n e^{j2\pi k T_e n f_i} = \frac{1}{M} \sum_{n=0}^{M-1} s_n e^{j2\pi k \frac{n}{M}} \dots\dots\dots(I.3)$$

TABLE DE TRANSFORMÉE DE FOURIER DISCRETE
(T_e est la période d'échantillonnage)

| | $s(kT_e) = s_k$ | $S_n = \sum_{k=0}^{M-1} s_k e^{-j2\pi k T_e n f_i}$ |
|-------------------------|---|---|
| Propriétés ou théorèmes | domaine temporel | domaine fréquentiel |
| Linéarité | $\{x_k + y_k\}$ $\{A \cdot s_k\}$ $\{0\}$ | $X_n + Y_n$ $A \cdot S_n$ 0 |
| Théorème du retard | $\{s_{k-k_0 \text{ modulo } M}\}$ | $S_n \cdot e^{-j2\pi \cdot k_0 \cdot n / M}$ |
| | $\{s_k \cdot e^{j2\pi \cdot n_0 \cdot k / M}\}$ | $S_{n-n_0 \text{ modulo } M}$ |

Tableau I.1 : propriétés et domaines de TFD

I.3.2. Transformée en z (TZ) :**I.3.2.1. Définition :**

La transformation en Z est un outil mathématique de l'automatique et du traitement du signal, qui est l'équivalent discret de la transformée de Laplace.

Elle est utilisée entre autres pour le calcul de filtres numériques à réponse impulsionnelle infinie et en automatique pour modéliser des systèmes dynamiques de manière discrète.

La TZ est la généralisation de la TFTD. Soit un signal discret $x(n)$. Sa TZ est définie par :

$$X(z) = \sum_{n=0}^{+\infty} X(n)Z^{-n} \dots\dots\dots(I.4)$$

I.3.2.2. Propriétés :

Soit $x(n)$, un signal discret. Soit $X(z)$ sa TZ est caractérisé par les propriétés suivantes :

- Linéarité:

$$TZ [a x(n) + b x(n)] = a TZ [x(n)] + b TZ[x(n)] \dots\dots\dots(I.5)$$

- Retard :

$$TZ [x (n-a)] = Z^{-a} TZ [x(n)] = Z^{-a} x(z) \dots\dots\dots (I.6)$$

Dans le domaine de Z, Z^{-1} correspond à un retard d une période

Z^{-n} Correspond à un retard de n période

- Avance :

$$Z [n+a] = Z^a (x(z) - \sum_{i=0}^{a-1} x(z) Z^{-i}$$

$$X(z) = i (x(n)) \dots\dots\dots(I.7)$$

- théorème des valeurs initiales :

La valeur initiale d un signal continu se décrit de sa transformé de Laplace comme suit :

$$X(0) = \lim_{t \rightarrow 0} x(t) = \lim_{p \rightarrow +\infty} Px(p) \dots \dots \dots (I.8)$$

La version discrète de cette théorie est :

$$X(0) = \lim_{n \rightarrow 0} x(n) = \lim_{z \rightarrow +\infty} x(z) \dots \dots \dots (I.9)$$

- Théorème de la valeur finale :

Dans le domaine continu :

$$X(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = \lim_{p \rightarrow 0} Px(p) \dots \dots \dots (I.10)$$

Dans le domaine discret :

$$x(\infty) = \lim_{n \rightarrow +\infty} x(n) = \lim_{z \rightarrow 1} \frac{(z-1)}{z} X(z) \dots \dots \dots (I.11)$$

- Dérivation en z :

$$nx(n) \rightarrow -z \frac{dX(z)}{dz} \dots \dots \dots (I.12)$$

- Produit de convolution :

$$x(n) * y(n) \rightarrow X(z) \cdot Y(z) \dots \dots \dots (I.13)$$

- Transformée en z inverse :

- Intégrale de Cauchy $x(n) = \frac{1}{j2\pi} \oint X(z) Z^{n-1} dz \dots \dots \dots (I.14)$

- Décomposition en éléments simples

$$X(z) = \sum_i X_i(z) \rightarrow x(n) = \sum_i x_i(n) \text{ Les } X_i(z) \dots \dots \dots (I.15)$$

sont des fonctions à TZ^{-1} connues.

- Développement en série de puissance

$X(z) = \sum_{n \rightarrow -\infty}^{+\infty} c_n z^{-1} \rightarrow x(n) = c_n \dots \dots \dots (16) \forall n$ Si $X(z)$ peut être décomposé en série alors $x(n)$ est le coefficient associé à z . [3]

I.3.3. Les filtrage numérique :

I.3.3.1. Définition :

Un filtre numérique est un algorithme de calcul par lequel une réponse de nombre $x(n)$ dite séquence d'entrées est transformée en une autre séquence de nombre $y(n)$ dite séquence de sortie.

Mathématiquement : est un système linéaire pour le quelle il existe entre le signal d'entrée $x(t)$ et le signal de sortie $y(t)$ une relation mathématique représentée par l'équation différentielle suivante :

$$b_0 y(t) + b_1 \frac{dy}{dt} + \dots + b_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} = a_0 x(t) + a_1 \frac{dx(t)}{dt} + \dots + a_n \frac{d^n x(t)}{dt^n} \dots \dots \dots (17)$$

$\left\{ \begin{matrix} a_0, a_1, \dots \\ b_0, b_1, \dots \end{matrix} \right\}$ Coefficients constants tout filtre est caractérisé par :

a-Réponse impulsionnelle:

Est définie comme la réponse que fournirait ce filtre si la fonction d'entrée est une impulsion de Dirac

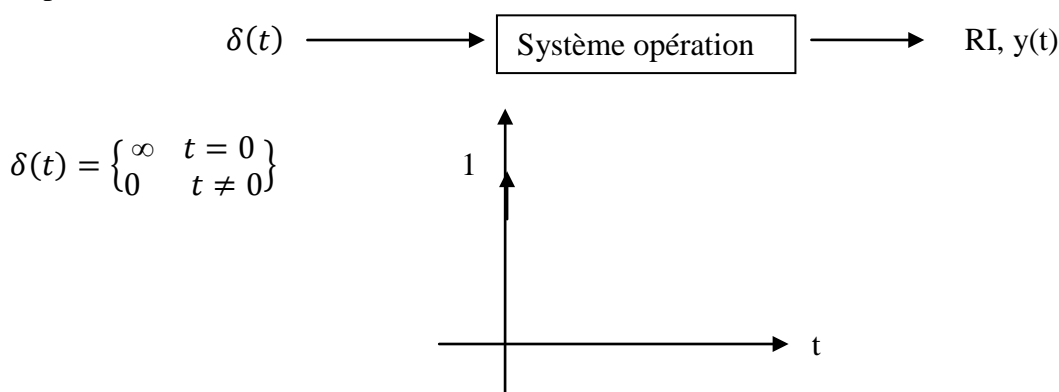


Figure I.3 : filtre à réponse impulsionnelle

b-Réponse indicielle :

Est la réponse qui fournirait ce système de la fonction d'entrée est une impulsion de Heaviside (échelon –unité) $H(t)$

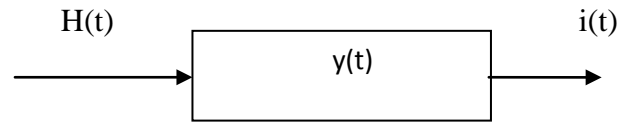


Figure I.4 : filtre à réponse indicielle

Les $x(n)$ sont des valeurs discrètes tous les nT_e d'un signal analogique.

c-Produit de convolution :

$e(n)$ →entrée.

$s(n)$ →sortie.

Le produit de convolution permet de calculer la sortie $s(n)$ du filtre a tout entrée $e(n)$.

$$s(n)=h(x)*e(n) = \sum_{i=0}^{+\infty} h(x - i)e(i).....(I.18)$$

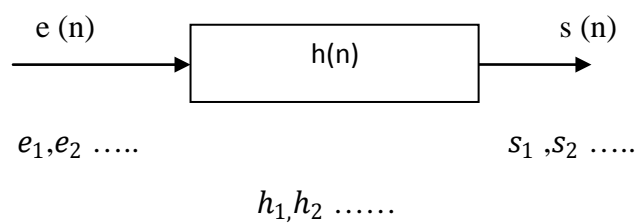


Figure I.5: filtre calculé avec le produit de convolution

Si le filtre est causal $h(n) = 0$ pour tout $n < 0$

d-Fonction de transfert :

Soit un filtre numérique décrit par l'équation :

$s(n) + a_1 s(n-1) + \dots + a_n s(n-N) = b_0 e(n) + b_1 e(n-1) + \dots + b_m e(n-m)$ calculons la TZ aux

Deux nombres :

$$\text{TZ} [s(n) + a_1 s(n-1) + \dots + a_n s(n-N)] = \text{TZ} [b_0 e(n) + b_1 e(n-1) + \dots + b_m e(n-m)]$$

$$s(n) \rightarrow \text{TZ} s(n) = \delta(z)$$

$$s(n-1) \rightarrow \text{TZ} [s(n-1)] = Z^{-1} s(z)$$

$$[1 + a_1 Z^{-1} + \dots + a_N Z^{-N}] S(z) = [b_0 + b_1 Z^{-1} + \dots + b_m Z^{-m}] E(z)$$

$$H(z) \cdot E(z) = S(z) \implies H(z) = \frac{S(z)}{E(z)}$$

$$\frac{S(z)}{E(z)} = \frac{b_0 + b_1 Z^{-1} + \dots + b_m Z^{-m}}{1 + a_1 Z^{-1} + \dots + a_N Z^{-1}} = \frac{s(z)}{e(z)} \dots \dots \dots \text{(I.19)}$$

Zéros de $H(z)$: les valeurs qui annulent le numérateur.

Pôles de $H(z)$: les valeurs qui annulent le dénominateur.

e-Stabilité d'un filtre numérique :

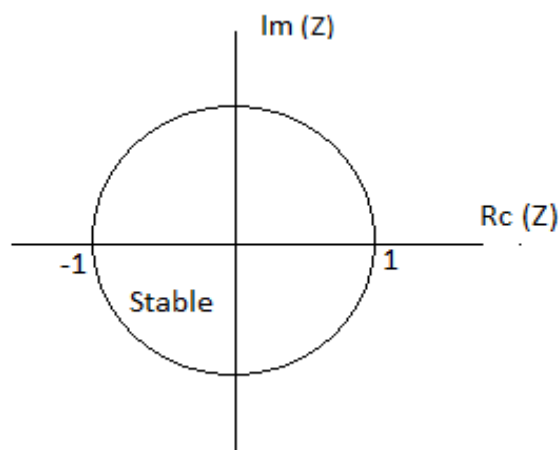


Figure I.6 : la zone de stabilité d'un filtre numérique

$$\frac{S(z)}{E(z)} = \frac{b_0 + b_1 Z^{-1} + \dots + b_m Z^{-m}}{1 + a_1 Z^{-1} + \dots + a_N Z^{-1}} = \frac{s(z)}{e(z)}$$

Un filtre numérique est dit stable si tous les pôles P_i (racine du dénominateur de $H(z)$) ont un module < 1

$$P_i < 1$$

I.3.3.2. Les deux familles des filtres numériques :

On distingue deux grandes familles des filtres numérique qui chaque une leurs propriétés particulières :

➤ Le filtre a réponse impulsionnelle finie (RIF) :

Ce sont des filtres pour lesquelles la sortie ne dépend que des entrées et pas des sorties précédentes les coefficients a_k $\neq 0$ sont nuls. Les étapes de conception d un filtre non récursif RIF sont les suivantes :

- Définir la réponse fréquentielle désirée et l ordre du filtre (le nombre de coefficients de la réponse impulsionnelle).
- Echantillonner la réponse impulsionnelle correspondante.
- Tronquer la réponse impulsionnelle pour ne garder qu'un nombre fini d échantillon.
- Retarder la réponse impulsionnelle pour obtenir un filtre causale (réalisable).

➤ Filtres à réponse impulsionnelle infinie (RII) :

Ce sont des filtres pour les quelles la sortie dépend des entrées et des sorties précédents sont plus flexible que les filtres RIF leur rapport de fonction de transfert est le rapport de deux polynômes en z .

Nécessitent moins de calcule que les filtres RIF moins de paramètres pour les même performances.

Leur stabilité n'est pas garantie : position des pôles à vérifier.

La synthèse de ces filtres se fait à partir de filtres analogiques ce qui nécessite de définir une transformation du plan de (Laplace) au plan des Z qu'on appelle transformation bilinéaire.

Le filtre est stable si tous ses pôles sont à l'intérieure du cercle unité.

I.4.Echantillonnage :

I.4.1. Définition :

L'échantillonnage consiste à utiliser un interrupteur parfait que l'on ferme pendant un intervalle de temps très court puis que l'on ouvre pendant T_E . On prélève ainsi une valeur $x(nT_E)$ tous les T_E . Le signal analogique $s(t)$, continu dans le temps, est alors représenté par un ensemble de valeurs discrètes :

$$S_e(t) = s(n.T_e) \dots\dots\dots (I.20)$$

Avec :

n entier.

T_e : période d'échantillonnage.

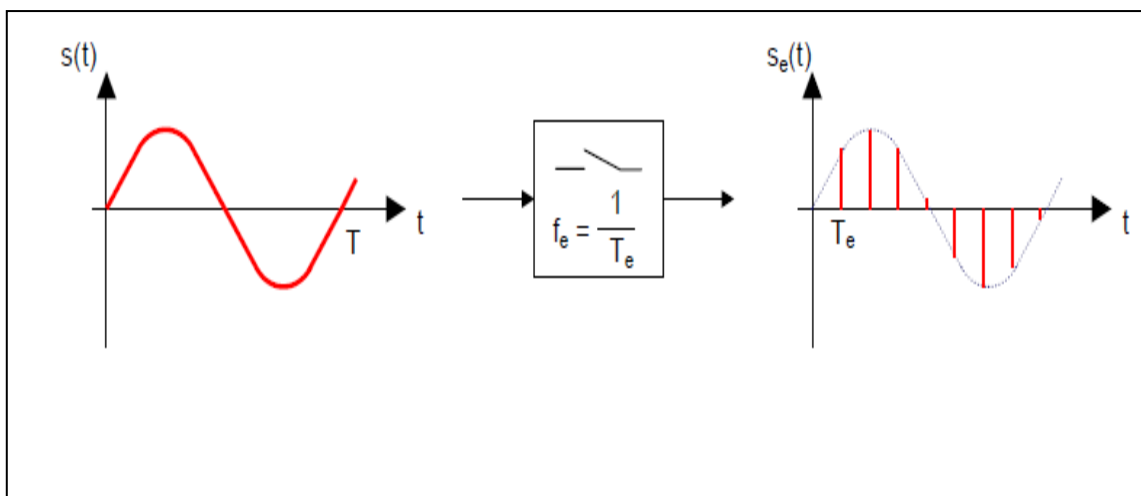


Figure I.7 : Echantillonnage d'un signal analogique

I.4.2. Echantillonnage idéal :

L'échantillonnage idéal est modélisé par la multiplication du signal continu $s(t)$ et d'un peigne de Dirac de période T_e .

$$s_e(t) = s(t) \cdot \delta_{T_e}(t) = s(t) \sum_{n \rightarrow \pm\infty} \delta(t - nT_e) = s(nT_e) \sum_{n \rightarrow -\infty}^{+\infty} \delta(t - nT_e) \dots\dots\dots (I.21)$$

Le spectre du signal échantillonné est donc le suivant :

$$S_e(f) = \frac{1}{T_e} \sum_{n \rightarrow -\infty}^{+\infty} S(f) * \delta(f - n f_e) \rightarrow S_e(f) = \frac{1}{T_e} \sum_{n \rightarrow -\infty}^{+\infty} S(f - n f_e) \dots \dots \dots (I.22)$$

On obtient donc un spectre infini qui provient de la périodisation du spectre du signal d'origine autour des multiples de la fréquence d'échantillonnage.

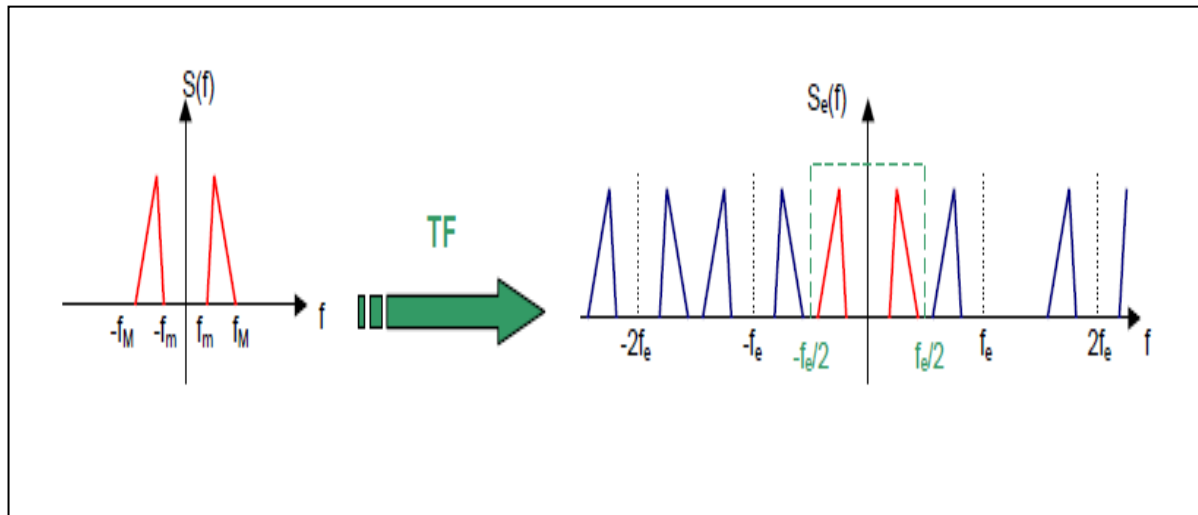


Figure I.8 : Spectre obtenu après un échantillonnage idéal

I.4.3. Échantillonnage réel :

En pratique, l'échantillonnage s'effectue en commandant un interrupteur par un train d'impulsions étroites. Il est donc impossible d'obtenir des échantillons de durée quasiment nulle. La modélisation de l'échantillonnage par un peigne de Dirac est donc erronée. En fait, chaque impulsion va avoir une durée très courte τ . L'échantillonnage peut donc être modélisé par la multiplication du signal par une suite de fonction rectangle (ou porte) de largeur τ .

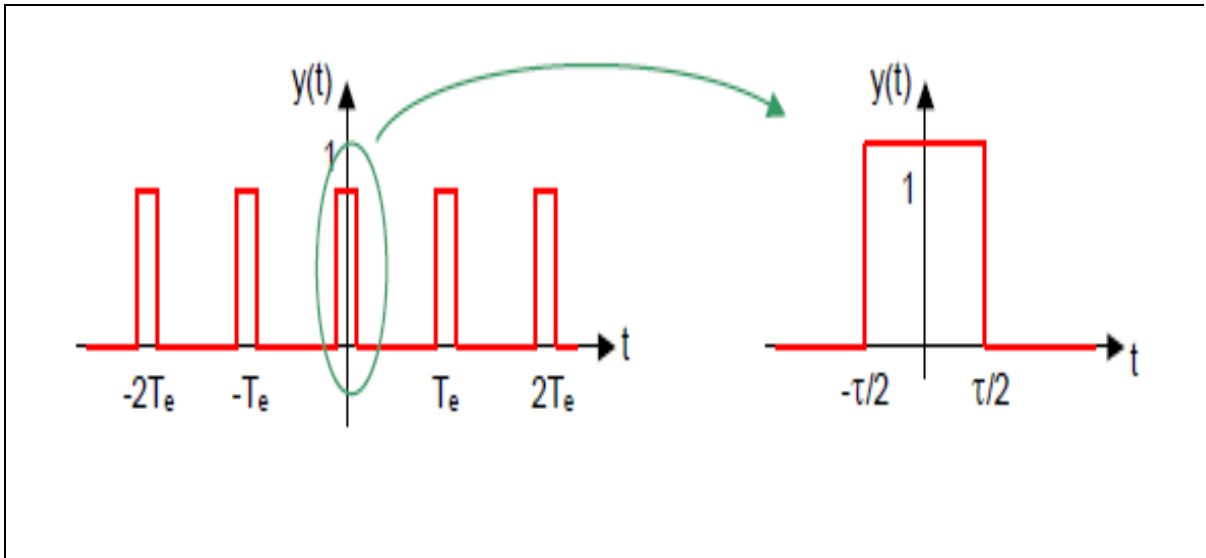


Figure I.9 : Suite de fonction rectangle (porte)

L'expression du signal d'échantillonnage devient donc :

$$Y(t) = \sum_{k \rightarrow -\infty}^{+\infty} \text{rec} \left(\frac{t - kT_e}{\tau} \right) = \text{rec} \left(\frac{T}{\tau} \right) * \sum_{k \rightarrow -\infty}^{+\infty} \delta(t - kT_e) \dots \dots \dots (I.23)$$

Et par conséquent, sa transformée de Fourier est égale à

$$Y(f) = \tau \text{sinc}(\tau f) \cdot \frac{1}{T_e} \sum_{k \rightarrow -\infty}^{+\infty} \delta(f - kf_e) \dots \dots \dots (I.24)$$

Comme l'expression du signal échantillonné est :

$$S_e(t) = s(t) \cdot y(t) \dots \dots \dots (I.25)$$

Sa transformée de Fourier devient

$$S_e(f) = S(f) \times Y(f) = S(f) * \frac{\tau}{T_e} \sum_{k \rightarrow -\infty}^{+\infty} \text{sinc}(\tau f) \cdot \delta(f - kf_e)$$

$$S_e(f) = \frac{\tau}{T_e} \text{sinc}(\tau f) \cdot \sum_{k \rightarrow -\infty}^{+\infty} S(f - kf_e) \dots \dots \dots (I.26)$$

On retrouve la même allure de spectre modulé en amplitude par une fonction en sinus cardinale.

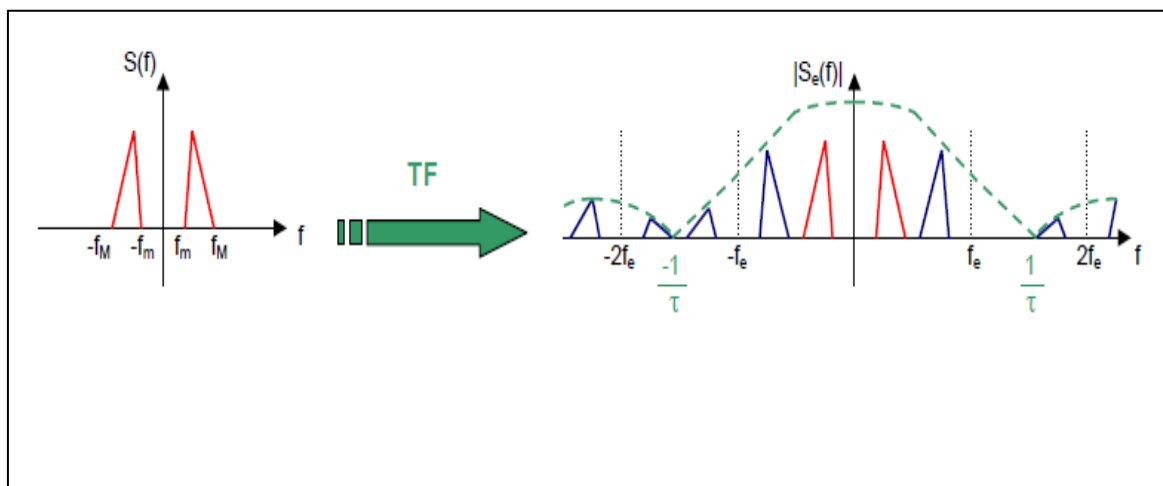


Figure I.10 : Spectre modulé en amplitude par une fonction sinus cardinale [8]

I.4.4 Echantillonnage-blocage :

En pratique, on n'échantillonne pas un signal pour le reconstruire juste après.

L'échantillonnage est utilisé pour prélever le signal à des instants multiples de T_e et ensuite convertir les échantillons sous forme d'un code binaire (8, 12, 16 bits, ...). Cette conversion est effectuée par l'intermédiaire d'un convertisseur analogique-numérique (CAN). Cette conversion n'est pas instantanée. Si le signal à convertir varie trop rapidement, il est nécessaire de procéder au blocage du signal pour avoir une conversion sans erreur. On utilise donc un échantillonneur-bloqueur qui mémorise la tension à convertir et la maintient constante pendant toute la durée de conversion.

L'effet de blocage peut être modélisé par une fonction porte décalée de $\tau/2$.

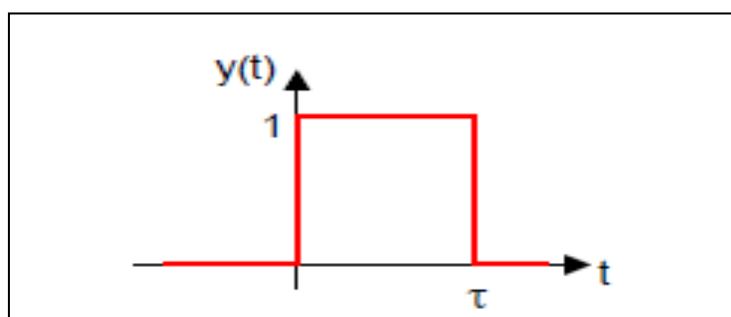


Figure I.11 : fonction porte décalé $\tau/2$

$$Y(t) = \sum_{k \rightarrow +\infty}^{+\infty} \text{rect} \left(\frac{t - \frac{\tau}{2} - kT_e}{\tau} \right) = \text{rect} \left(\frac{t - \frac{\tau}{2}}{\tau} \right) * \sum_{k \rightarrow -\infty}^{+\infty} \delta(t - kT_e) \dots \dots \dots (I.27)$$

I.5. Quantification :

I.5.1. Définition :

La quantification consiste à associer à une valeur réelle x quelconque, une autre valeur x_q appartenant à un ensemble fini de valeurs et ce suivant une certaine loi : arrondi supérieur, arrondi le plus proche, etc...

L'écart entre chaque valeur x_q est appelé pas de quantification P .

$$P = \frac{\text{La plage de mesure}}{2^n} \quad \text{Avec : } n \text{ c'est le nombre de bit}$$

Le fait d'arrondir la valeur de départ entraîne forcément une erreur de quantification que l'on appelle le bruit de quantification.

I.5.2. Quantification uniforme :

La loi de quantification uniforme utilise un pas de quantification (Δ) constant entre chaque valeur x_q .

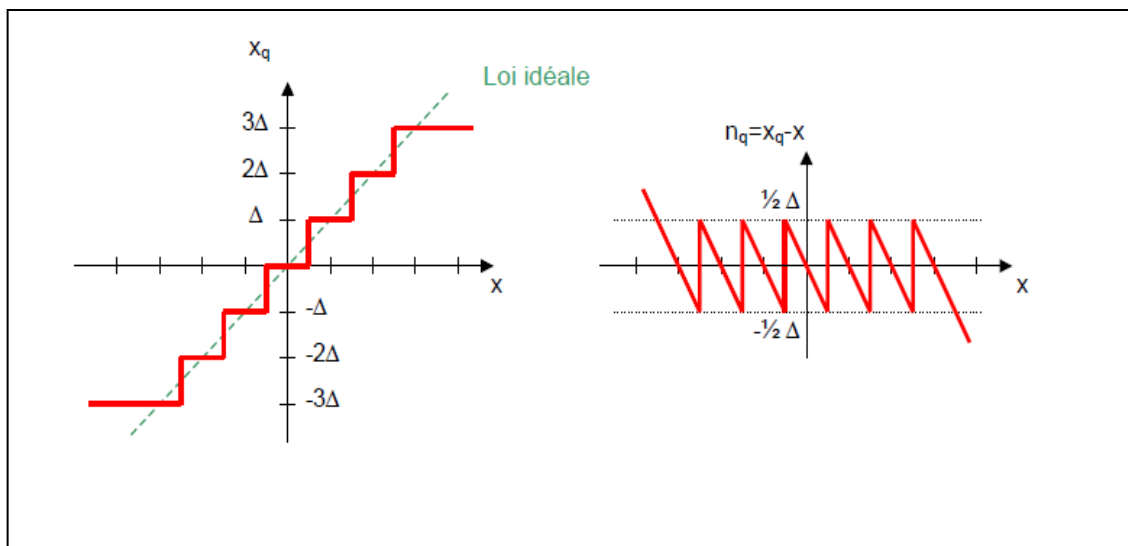


Figure I.12 : Quantification uniforme

Le bruit de quantification n_q est dans ce cas un signal aléatoire. Ces caractéristiques sont donc définies par ses propriétés statistiques. On peut alors démontrer que la puissance du bruit de quantification est égale à :

$$P_{n_q} = \frac{\Delta^2}{12} \dots\dots\dots(I.28) \quad (\text{Si sa densité de probabilité est uniforme})$$

Le rapport signal sur bruit dû à la quantification est donc égale à :

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = 10 \log\left(\frac{P_S}{P_{n_q}}\right) \dots\dots\dots(I.29)$$

La puissance du signal à quantifier est égale à sa valeur efficace au carré (*voir remarque*) :

$$\left(\frac{S}{P}\right)_{dB} = 10 \log \left[12 \left(\frac{V_{seff}}{\Delta} \right)^2 \right] \dots\dots\dots(I.30)$$

Si l'on décompose la plage de variation VPE du signal à quantifier en 2^n intervalles de largeur Δ (avec n le nombre de bits utilisés pour coder le signal quantifié).

Alors $V_{PE} = 2^n \times \Delta$ et $\Delta = \frac{V_{PE}}{2^n}$

Ainsi :

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = 10 \log 12 + 20 \log \left(2^n \frac{V_{seff}}{V_{PE}} \right) = 10 \log 12 + 20 \log 2^n + 20 \log \frac{V_{seff}}{V_{PE}}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} \approx 6.02n + 10.8 + 20 \log \left(\frac{V_{seff}}{V_{PE}} \right) \dots\dots\dots(I.31)$$

Ainsi, dans le cas d'un convertisseur analogique-numérique, chaque fois que l'on rajoutera un bit dans le résultat de conversion, on améliorera le rapport signal sur bruit dû à la quantification d'environ 6dB.

I.6.codage :

Le codage consiste à associer à un ensemble de valeurs discrètes un code composé d'éléments binaires.

Les codes les plus connus : code binaire naturel, code binaire décalé, code complément à 2, code DCB, code Gray.

| Nombre | Binaire | Binaire décalé | DCB | Gray | Complément à 2 |
|--------|---------|----------------|-----------|------|----------------|
| -8 | / | 0000 | / | / | 1000 |
| -3 | / | 0101 | / | / | 1101 |
| 0 | 0000 | 1000 | 0000 | 0000 | 0000 |
| 1 | 0001 | 0001 | 0001 | 0001 | 0001 |
| 5 | 0101 | 0101 | 0101 | 0111 | 0101 |
| 10 | 1010 | / | 0001 0000 | 1111 | / |
| 15 | 1111 | / | 0001 0101 | 1000 | / |

Tableau I.2 : les codes les plus connus [8]

I.7. Avantage du traitement numérique :

- ❖ Les machines numériques : obtention d'une meilleure précision et donc réalisation de différents filtres.
- ❖ Prédiction : simulation sur ordinateur.
- ❖ Grande résistance aux bruits
- ❖ Précisions arbitraires.
- ❖ Stabilité dans le temps.
- ❖ Stockage des données.

I.8. Inconvénients du traitement numérique:

- ❖ Coût : élevé pour des réalisations simples.
- ❖ Vitesse : bande passante large = vitesse de calcul élevée.

- ❖ Complexité : réalisation à la fois matérielle et logiciel
Souplesse : plusieurs tâches simultanées possibles

I.9.Discussion :

Au cours des dernières années, avec l'amélioration rapide de la technologie informatique, le traitement de signal numérique est devenu plus important, vu son utilité dans plusieurs domaines tel que : la télécommunication, militaire.....

On a constaté que pour une meilleur transformation des signaux physiques aux signaux discrets ,nécessite de passer par l'échantillonnage ensuite un traitement de ses derniers en utilisant des microprocesseurs (dans notre cas c'est le DSP), pour obtenir à la fin un signal numérisé.

Chapitre II:

Les Systèmes Embarqués

II.1.Préambule :

A l'heure actuelle, les systèmes embarqués jouent un rôle important dans notre vie de tous les jours.ils sont présents dans plusieurs domaines, tel que : l'astronomie, le médical, la télécommunication.....

Ce chapitre présente tout d'abord la notion des systèmes embarqués ainsi que leurs caractéristiques. Dans ce contexte, nous discuterons aussi de leurs domaines d'applications puis des contraintes relatives à ce type de système.

En fin une présentation générale sur les téléphones mobiles.

II.2.Définition :

Un système embarqué est défini comme un système électronique et informatique autonome, souvent temps réel, spécialisé dans une tâche bien précise. Il contient généralement un ou plusieurs microprocesseurs destinés à exécuter un ensemble de programmes définis lors de la conception et stockés dans ces mémoires. [12]

Le système comprend une partie matérielle et une partie logicielle. [2]

Le temps réel peut se définir comme suit :

Un système est dit temps réel lorsque l'information après acquisition et traitement reste encore pertinente.

II.3.historique :

Les premiers systèmes embarqués sont apparus en 1971 avec l'apparition de l'Intel 4004. L'Intel 4004 développé en 1971, le premier microprocesseur, était le premier circuit intégré incorporant tout les éléments d'un ordinateur dans un seul boîtier : unité de calcul, mémoire, contrôle des entrées/sorties.

Alors qu'il fallait auparavant plusieurs circuits intégrés différents, chacun dédié à une tâche particulière, un seul microprocesseur pouvait assurer autant de travaux différents que possible. Très rapidement, des objets quotidiens tels que les fours à micro-onde, télévisions et automobile à moteur à injection électronique ne tardèrent pas être équipés de microprocesseurs.

Ce sont alors les débuts de l'informatique embarqué.

II.4. Le marché des systèmes embarqués :

Le marché des systèmes embarqués est en pleine croissance. Il représentait un chiffre d'affaires mondial de 153 Milliards de dollars en 2016 et devrait atteindre 223 Milliards de dollars d'ici à 2021, portant le taux de croissance ralenti, de estimé à 4% par an entre 2008 et 2013 (Le taux de croissance de 2004 à 2008 était de 19% par an), dû au ralentissement de certains secteurs clés tel que l'automobile, la taille de marché a tout de même progressé de 35% en quelques années. Le premier secteur d'application de ce marché est l'automobile, la reprise du marché automobile en 2015 a donc largement tiré le marché des systèmes embarqués. [13]

II.5. Architecture d'un système embarqué :

L'architecture d'un système embarqué se définit par le schéma suivant :

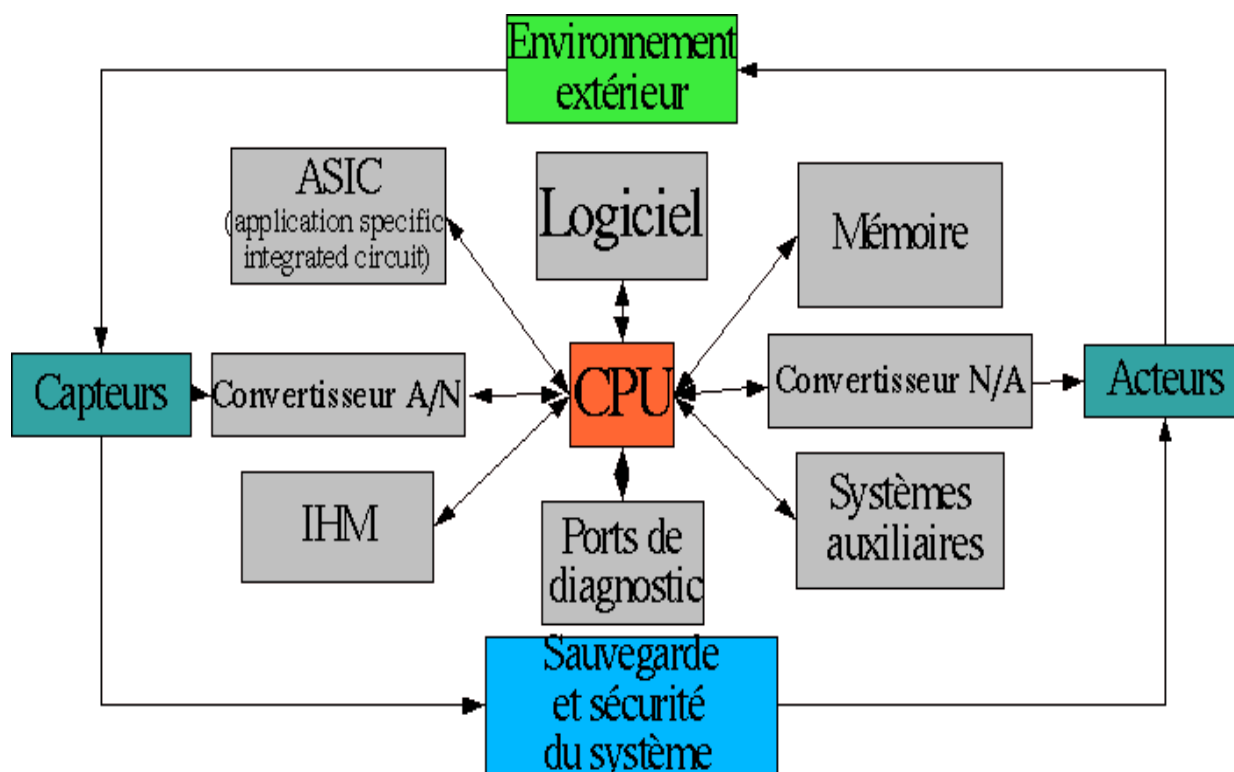


Figure II.1. Architecture d'un système embarqué

Cette architecture peut varier selon les systèmes: on peut par exemple, ne pas trouver de systèmes auxiliaires dans de nombreux systèmes embarqués autonome et indépendants. En

revanche, l'architecture de base est la plupart du temps composée d'une unité centrale de traitement (CPU), d'un système d'exploitation qui réside parfois uniquement en un logiciel spécifique, ou une boucle d'exécution. De même l'interface IHM n'est pas souvent existante, mais est souvent utile pour reconfigurer le système ou vérifier son comportement. Le fonctionnement du système se résume ainsi:

- Il reçoit des informations de l'environnement extérieur qu'il convertit en signal numérique.
- L'unité de traitement composée du CPU, de la mémoire, du logiciel, de l'ASIC et éventuellement de système externes traite l'information.
- Le traitement génère éventuellement une sortie qui est envoyée vers la sortie.

Capteur :

Un capteur est un dispositif permettant de détecter, en vue de le quantifier et de le représenter, un phénomène physique sous la forme d'un signal, généralement électrique.

Acteur :

Un dispositif qui transforme l'énergie qui lui est fournie en un phénomène physique qui fournit un travail.

ASIC : (Application Specific Integrated Circuit) en anglais, ou (Circuit intégré propre à une application) en français

Est un type de circuit électronique particulier. Il s'agit d'un circuit qui intègre, sur une même puce, l'ensemble des éléments actifs indispensables pour qu'une fonction ou qu'un ensemble électronique puisse se réaliser. Autrement dit, l'**ASIC** est un circuit intégré exclusivement dédié à une application et à un utilisateur. Il s'oppose en cela aux circuits intégrés standards qu'il fallait auparavant assembler sur plusieurs cartes afin d'accéder à une fonction précise.

Convertisseur A/N :

Un convertisseur analogique - numérique transforme une grandeur physique (tension, courant) en une valeur numérique. Généralement, il possède:

- une entrée " début de conversion " qui permet de démarrer la conversion (Start)
- une sortie " fin de conversion " qui indique que la conversion est terminée (End)
- une entrée analogique (courant ou tension)
- plusieurs sorties numériques

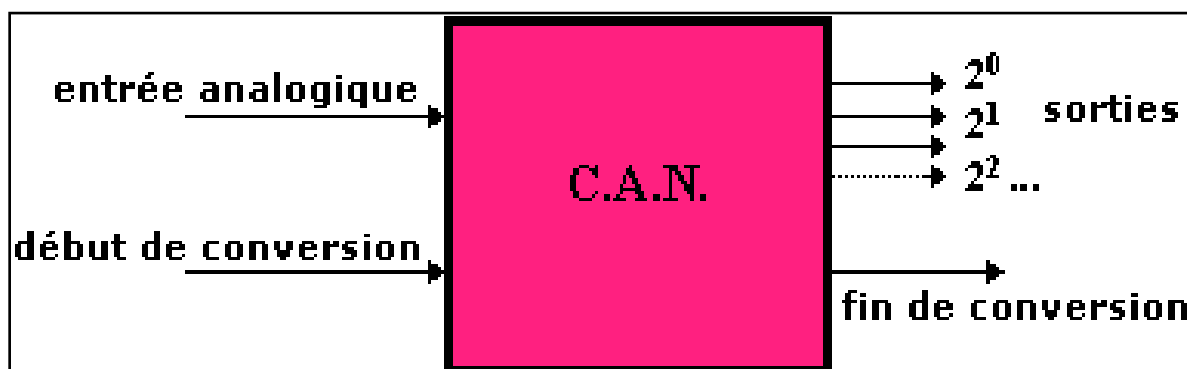


Figure II.2. Convertisseur analogique numérique

Convertisseur N/A :

Un convertisseur numérique-analogique permet de traduire une information numérique (binaire) en une information analogique.

IHM : (Interface homme-machine)

Est l'interface utilisateur qui relie l'opérateur au dispositif de commande d'un système. Certaines de ces interfaces traduisent les données des systèmes en représentations graphiques, textuelles, tactiles ou vocales lisibles par l'humain. Dans ce type d'interfaces l'opérateur voit des schémas des systèmes.

CPU : (central processing unit)

Se dit (unité centrale de traitement) en français, désigne la plus parts du temps le processeur d'un ordinateur, son rôle est de réaliser les différents calculs nécessaires au bon fonctionnement de l'ordinateur et d'exécuter les instructions, elle représente l'élément indispensable de la machine.

II.6. Caractéristiques d'un système embarqué :

Les caractéristiques principales d'un système embarqué sont :

- Un système embarqué:
 - Des ressources limitées.
 - Système principalement numérique.
 - Le moins cher possible.
 - Une puissance de calcul limitée.
 - Pas de consommation d'énergie inutile.

- Faible coût:
 - Solution optimale entre le prix et la performance.
 - À la portée de toute personne.
 - Par conséquent, les ressources utilisées sont minimales.
 - Un système embarqué n'a que peu de mémoire.

- Faible consommation:
 - Utilisation d'une batterie d'emmagasins d'énergie.
 - Gérer la consommation pour rester autonome le plus possible.
 - Pas de consommation excessive, moins de prix et des batteries de faibles capacités.

- Faible encombrement et faible poids:
 - Minimiser la taille et le poids pour un système embarqué.

- Les composants électroniques (analogique et/ou numérique) doivent cohabiter sur une faible surface.
- Fonctionnement en temps réel:
 - Les applications embarquées doivent répondre rapidement aux événements internes ou externes.
 - Nécessaire dans les applications de système de contrôles.
 - Le résultat peut être néfaste si le système ne réagit pas à l'immédiat à un événement du système. [2]

II.7. Domaines d'application des systèmes embarqués :

Les systèmes embarqués sont introduit dans divers domaines, à savoir :

- Le domaine grand public :

Smart phone, appareil photo, lecteur audio, console de jeux.

- Les moyens de transport :

GPS, automobiles, avions, trains, bateau.

- Les équipements médicaux :

Imagerie (rayon, ultra-son) endoscopie, Caméra, lasers, chirurgie.

- équipements de télécommunication :

Station mobile, satellite, routeur.

- Les équipements industriels :

Productions automatisées, systèmes de commande d'énergie, équipements de stockage.

- Les équipements de bureautique :

Répondeurs, copieurs, imprimante.

- Les équipements de bâtiments :

Systèmes d'éclairage, ascenseurs, système de surveillance, contrôle d'accès.

II.8. Contraintes des systèmes embarqués :

Nous avons vu que les domaines d'application des systèmes embarqués sont très variés. Ils sont donc soumis à des différentes contraintes :

- Autonomie :

L'utilisation du système embarqué nécessite que la consommation énergétique soit au minimum afin de garantir une performance optimale et avec un coût réduit.

- Temps :

L'électronique embarquée est composée d'objets qui possèdent des propriétés temps réel qui doivent avoir un temps de réaction minimal.

- Sécurité :

Le système embarqué doit être capable de collecter et de conserver en permanence et en toute sécurité des centaines de données qui peuvent être confidentielles.

- Pertinence :

Le système embarqué doit fournir des résultats exacts et pertinents en temps réel.

II.9. Le téléphone mobile :

Aujourd'hui, les appareils que nous utilisons dans notre vie quotidienne contiennent une quantité croissante de logiciel. Ce dernier, contribue à la compétitivité de ces appareils en permettant des utilisations plus simple pour l'utilisateur, mais souvent plus complexe en réalité, il s'agit des appareils de terminaux mobiles, tel que : les téléphone mobiles (les mobile GSM) qui sont considérés comme des systèmes embarqués.

II.9.1. Définition d'un mobile GSM :

Le mobile GSM est un moyen de télécommunications, qui permet de communiquer par téléphone sans être relié par câble à une centrale. Les sons sont transmis par des ondes électromagnétiques dans un réseau spécifique.

II.9.2.Historique :

L'histoire de la téléphonie mobile débute réellement en 1982. En effet, à cette date, le groupe spécial mobile, appelé GSM, est créé par la conférence Européenne des administrations des postes et télécommunications afin d'aborder les normes de communications mobiles pour l'Europe dans la bande de fréquence de 890 à 915 MHz pour l'émission à partir des stations mobiles et 935 à 960 pour l'émission à partir des téléphones fixes.

Ainsi en 1987, le groupe GSM fixe le choix technologique relatifs à l'usage des télécommunications mobiles, transmission numérique, multiplexage temporel des canaux radios, chiffrement des informations ainsi qu'un nouveau codage de la parole. Il faut attendre 1991 pour que la première communication expérimentale par GSM ait lieu. Au passage, le sigle GSM change de signification et devient *Global System For Communications* et les spécifications sont adaptées pour les systèmes fonctionnant dans la bande de 1800 MHz.

II.9.3.Caractéristique :

Sa fonction d'usage est la communication vocale mais le téléphone mobile permet aussi d'envoyer des messages succincts, appelés « SMS ». Avec l'évolution de l'électronique, le texte a pu être agrémenté d'images, puis de photographies, de sons et de vidéos. Des équipements embarqués associés à des services à distance permettent aussi de :

- Lire et rédiger des emails .
- Naviguer sur Internet.
- Jouer.
- Photographier et enregistrer des vidéos.
- Écouter de la musique.

- Regarder la télévision.
- Assister la navigation ou les déplacements.
- Écouter la radio.
- Servir de modem pour un ordinateur.

II.9.4.Périphériques du téléphone mobile :

- L'antenne :

L'antenne, particulièrement utile en limite de couverture, favorise l'émission et la réception (sur deux fréquences différentes) .Il existe plusieurs modèles :

Antennes fixes, antennes internes..... Des experts étudient les effets a long termes de la présence d'un rayonnement magnétique important près de la tête. Les effets semblent limités, mais il est toujours possible d'utilisé un Kit piéton (oreillette et miro) pour éloigner le combiné.

- Le clavier :

Le clavier permet de composé les numéros de téléphone, mais également de tapé des messages à envoyer, de configurer l'appareil, la tendance est a la simplification de l'interface.

Quelques marques par exemple ont mis au point un système de commande vocale avec lequel l'utilisateur n'a qu'à prononcer le numéro de téléphone a appeler ou le nom d'une personne répertoriée. Certains claviers sont rétro éclairés .Ce qui pose des problèmes de consommation d'énergie



Figure II.3 : le clavier d'un téléphone GSM

- L'écran :

L'écran de téléphone affiche les informations qui sont utiles pour l'utilisateur tel que les numéros appelés ou appelant, la couverture du réseau, l'état de votre batterie, lire les messages alphanumérique reçus, les menus de configuration etc.

Ils deviennent de plus en plus sophistiqués et rassemblent à de petits écrans d'ordinateurs avec une meilleure définition et de couleur.



Figure II.4: Ecran d'un téléphone GSM

- Micro et haut parleur :

Le microphone est généralement de type électrique (retient un moment électrique après que le champ qui l'a créé a été enlevé). Les volets pliables permettent d'améliorer le rapport signal/bruit en réduisant le bruit ambiant.

Le haut parleur fait parfois office de buzzer (sonnerie). La sonnerie avise l'utilisateur de l'arrivée d'une communication. Elle peut être remplacée par un vibreur, plus discret mais plus gourmand en énergie.

- Le boîtier :

Il est nécessaire que le boîtier constitue un blindage performant contre les émissions extérieures. Les boîtiers sont moulés et blindés par métallisation. Afin de réduire leur poids, on utilise des matières plastiques rendant la réalisation de cloisons d'environ 1 mm d'épaisseur, ce qui nécessite l'utilisation de produits présentant une très bonne aptitude au moulage.

- Batterie :

L'objectif pour les batteries est de maximiser l'énergie disponible dans un minimum de volume et de poids pour obtenir l'autonomie la plus longue.

Les batteries comportent un système de contrôle de surcharge.

- Carte SIM :

La carte SIM est un peut l'élément de base d'un mobile GSM. En effet elle est indispensable pour accéder à la quasi-totalité des services GSM (hormis certains fonctionnalités particulières, par exemple comme les appels d'urgence). En outre, c'est elle qui va personnaliser le mobile en stockant les informations relatives à son propriétaire, telle que le numéro IMEI mais aussi les données relative a son abonnement.

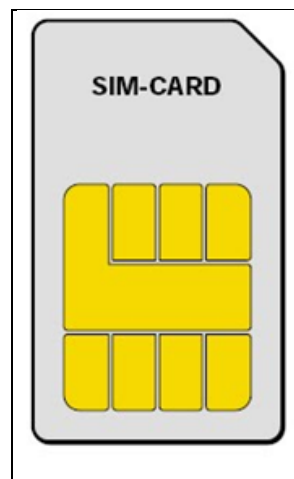


Figure II.5 : Carte SIM

- Le vibreur :

Caractériser par un petit moteur, ce dernier fait vibrer le portable par ces multiples rotations.

- Les sonneries :

Les téléphones mobiles d'aujourd'hui permettent d'utiliser plusieurs sonneries qui sont « en standard » sur votre appareil : Il faut alors utiliser le menu pour choisir celle qui vous convient le mieux.

- Le port Infrarouge :

Certains modèles de téléphone mobiles sont équipés d'un port infrarouge, ce port sert à connecter à un autre appareil avec une liaison infrarouge.

Il existe des kits mains-libres utilisant ce mode de connexion. Il est également possible d'utiliser ce port pour connecter le téléphone mobile à votre PC portable ou à votre assistant personnel (à condition bien sûr qu'il dispose d'un port infrarouge aussi !) qui pourra ainsi se connecter à Internet via le téléphone.

Il suffit alors de placer votre téléphone face à face par rapport à votre PC portable pour qu'ils se connectent.

- Le port Bluetooth :

Le Bluetooth est disponible sur certains téléphones mobiles, et son utilisation est la même que celle de port infrarouge.

La technologie infrarouge étant très limitée en termes de distance, la norme de communication radio Bluetooth la remplace avantageusement puisque sa portée est de quelques dizaines de mètres. Elle permet d'établir une connexion entre un téléphone et un PC portable sans s'encombrer de câbles il vous permet de faire communiquer ces appareils de façons très simple, vous pourrez ainsi être averti de l'arrivée de vos e-mail et y répondre avec votre téléphone même si votre PC portable est dans une mallette par exemple.

Vous serez averti de l'arrivée de votre e-mail par votre téléphone et vous pourrez les lire sur l'écran de ce téléphone.

Vous pourrez aussi accéder à Internet par l'intermédiaire de cette connexion en Bluetooth, vous pourrez envoyer des photos ou même des vidéos en établissant une connexion en mode Bluetooth entre un appareil photo ou une caméra et votre téléphone, puis les envoyer sur le réseau.

- Les mains –libres :

Certains téléphones mobiles possèdent une fonction « mains-libres ».

En activant cette fonction, vous pouvez téléphoner sans les mains en posant votre téléphone pas trop loin de vous, sur un bureau par exemple :

- Les kits « mains-libres » pour la voiture.
- Les kits « mains-libres » pour les piétons :

Les téléphones mobiles supportent différents types de kits mains-libres de piétons (que vous pouvez d'ailleurs également utiliser en voitures).

Or les kits « standard » qui sont supportés par tous les modèles de téléphones.

II.9.5. Constitution d un téléphone mobile :

Le téléphone mobile est constitué d'une carte mère formé de plusieurs circuits intégrés tel que la mémoire, circuit RF, le DSP. Le circuit sont alimentés avec une tension passée de 6 à 4.8V et arrive désormais à 3.6 V.

Les éléments essentiels de mobiles insérés dans une carte mère qui permet leurs connexions parmi ces éléments on distingue :

- La mémoire :

La mémoire est tout composant électronique permet la conservation, l'enregistrement et la restitution de données .Elle sert aussi à stocker les programmes et des informations initiales de mobile .En générale les mobiles contiennent trois types de mémoires :

La mémoire flash.

La mémoire EEPROM.

La mémoire RAM.

- IMEI :

Est un code unique de 15 chiffres, sur certain model il est composé de 16 ou 17 mais seul les 15 chiffres sont significatifs, il est également inscrit sur l'étiquette se trouvant sous la batterie.

- Le DSP : (Digital signal processeur)

C'est un type particulier de microprocesseur .Il est optimisé pour travailler dans le domaine de traitement de signal. [7]

II.10.Discussion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté brièvement les systèmes embarqués, qui font plus que jamais partie de notre vie quotidienne, ils nécessitent une fiabilité irréprochable.

En effet, l'électronique se trouve maintenant embarquée dans de très nombreux objets et parmi ces objets, on trouve : les téléphone mobiles.

Chapitre III:

Le processeur de Traitement Numérique Du Signal

III.1.Préambule :

Depuis maintenant plusieurs années, le traitement numérique du signal est une technique en pleine essor.

Nous allons dans ce chapitre nous intéresser aux processeurs de traitement du signal numérique (les DSP) qui sont mis en œuvre dans de très nombreuses applications. Nous donnons des généralités de ce processeur, ses différents domaines d'applications et ses caractéristiques ainsi que son architecture et ces avantages d'utilisation.

III.2.Définition d'un DSP :

DSP (digital signal processor) est un processeur spécialement conçu pour le traitement numérique du signal en temps réel. Son architecture est optimisée pour traiter une grande quantité de données en parallèle à chaque cycle d'horloge. Ce mode de fonctionnement est très efficace pour traiter des signaux numériques (filtrage, compression, extraction, etc.) comme de la vidéo ou de la musique.

Le DSP représente le cœur de système de traitement numérique du signal. [5]

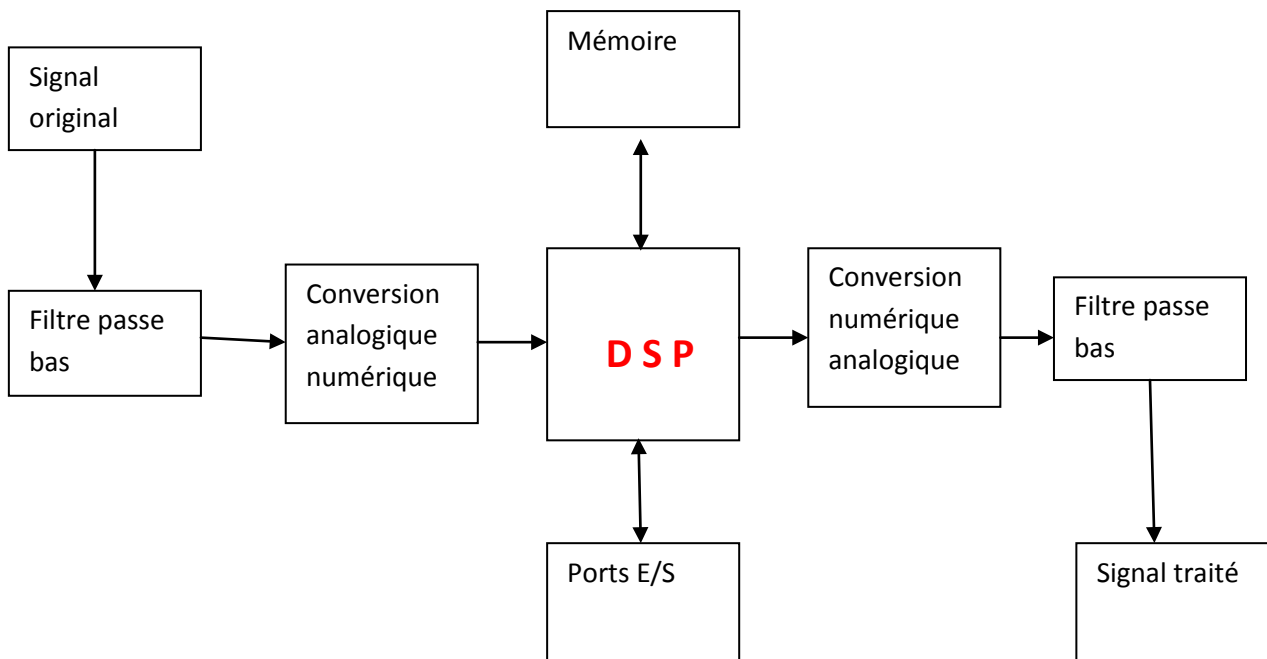


Figure III.1. Chaîne complète typique d'un système de traitement numérique du signal

III.3. Historique :

Dans les années 70 les DSP étaient spécialement développés pour les applications de radars militaires et pour le cryptage des télécommunications. En 1978, TEXAS INSTRUMENT utilise les DSP pour la synthèse de la voix et d'autres applications utilisées par le large public.

15 ans plus tard, les DSP sont devenu des composants incontournables de l'électronique.

III.4. Domaines d'applications :

A quels besoins répond le DSP ?

Les domaines d'applications des DSP sont de plus en plus nombreux, nous citons quelques uns :

➤ Communications :

- Filaire (DSL, câble)
- Sans fil (cellulaires, télévision numérique, radio numérique)
- Modem
- Image/Vidéo :
- Compression/Codage
- Traitement

➤ Militaire :

- Imagerie (radar, sonar)
- Guidage de missiles

➤ Audio :

- Suppressions de bruit

➤ Biomédical :

- Radiographie

➤ Instrumentation :

- Analyseurs de spectre
- Générations de fonctions

➤ Automatisation :

- Commande de machine
- Contrôle de moteurs
- Robots

➤ Electronique Automobile :

- Contrôle du moteur
- Assistance au freinage
- Commandes vocales [6]

III.4.1. Evolution du marché des DSP :

Le marché des circuits DSP affiche à lui seul une progression de 57%, ce qui s'explique principalement le succès des circuits DSP dans les applications embarquées. Et ce phénomène semble durer, comme le montre les prévisions présentées sur la figure suivante :

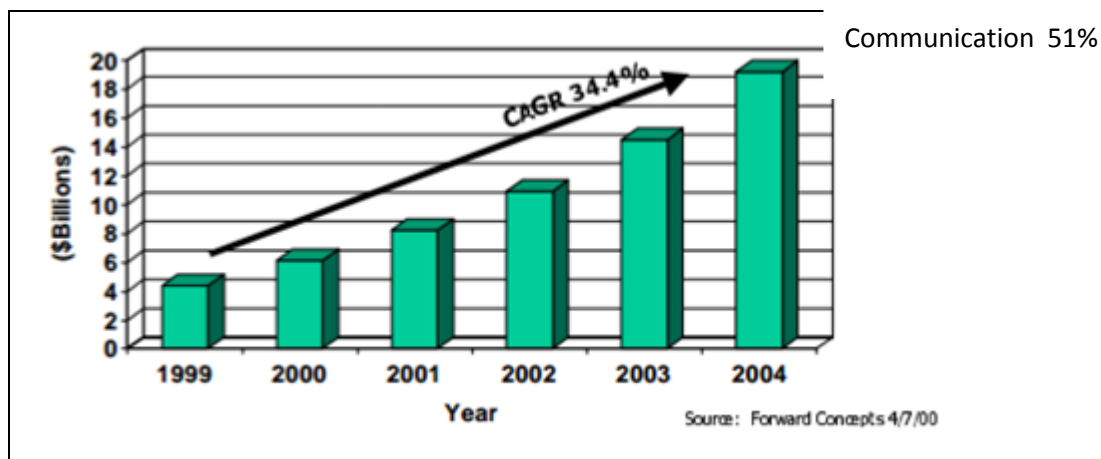


Figure III.2. Evolution du marché des circuits DSP

III.4.2 .Principaux fabricant de DSP :

Les principaux fabricants de DSP sont :

- Texas instruments

- Analog Devices
- Motorola
- Zilog
- Luccent
- Nec
- Zoran
- Zsp
- Microchip

Les trois premiers constructeurs sont les plus connus. Malgré cela, certains petits constructeurs développent des architectures originales.

Microchip, vient de mettre sur le marché une famille de DSP.

III.5 .Caractéristiques principales des DSP :

- Coût relativement faible
- Faible consommation électrique
- Chemin de données organisé pour traitement du signal
- Jeu d'instructions spécialisé
- Plusieurs bancs mémoire et plusieurs bus
- Modes d'adressage spécialisé
- Contrôle d'exécution spécialisé
- Périphériques spéciaux pour le traitement du signal

- Multiplication-addition rapide (MAC) avec un format de calcul étendu pour éviter les dépassements

III.5.1 Deux grandes catégories de DSP :

Un point essentiel des DSP est la représentation des nombres (les données) qu'ils peuvent manipuler. Il est possible de distinguer deux familles

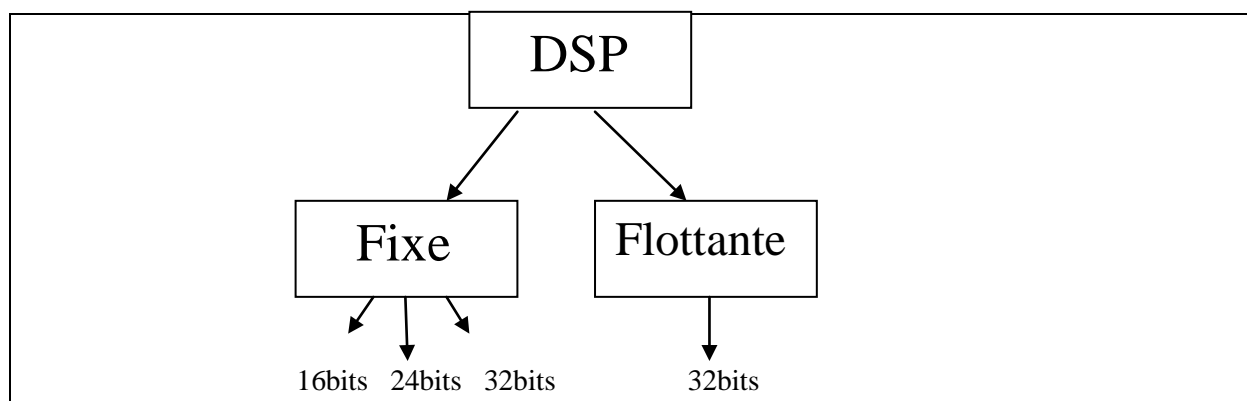


Figure III.3 : les deux catégories des DSP

✓ LES DSP à virgule flottante :

Les DSP à virgules flottantes sont plus souples et plus faciles à programmer que les DSP à virgules fixes. Les temps de développement sont donc réduits de façon conséquente. De plus, les calculs sont transparents pour l'utilisateur.

Un DSP manipule des nombres formés avec une mantisse de 24 bits et un exposant de 8 bits, soit une taille de 32 bits de donnée en mémoire. La dynamique disponible est très grande, toutefois la résolution reste limitée à 24 bits au mieux.

Mais les opérations effectuées par les circuits (hardware) sont beaucoup plus complexes qu'avec un DSP à virgule fixe. Ceci implique que les DSP à virgule flottante sont vendus à des prix bien supérieurs aux fixes.

De plus, la puce d'un DSP à virgule flottante nécessitant à la fois une surface de silicium plus importante et un nombre de broches supérieur, car la mémoire externe est elle aussi au format 32 bits, augmente le coût.

C'est pourquoi, un DSP à virgule flottante est plutôt adapté à des applications dans lesquelles :

- Les coefficients varient dans le temps (exemple : les filtres adaptatifs)
- Le signal et les coefficients ont besoin d'une grande dynamique,
- on a besoin de grandes capacités de calcul
- La structure mémoire est importante (exemple : traitement d'image)
- La précision est recherchée sur toute une gamme dynamique importante (exemple : traitements audio phoniques de qualité professionnelle).

De part leurs facilités de programmation, ils peuvent également se justifier dans des projets où le temps et la facilité de développement sont des facteurs importants. On les trouve également dans des produits de faible volume de production, pour lesquels le prix du DSP n'est pas significatif.

Les principaux consommateurs de DSP à virgule flottante sont les militaires et les grands systèmes de télécommunications.

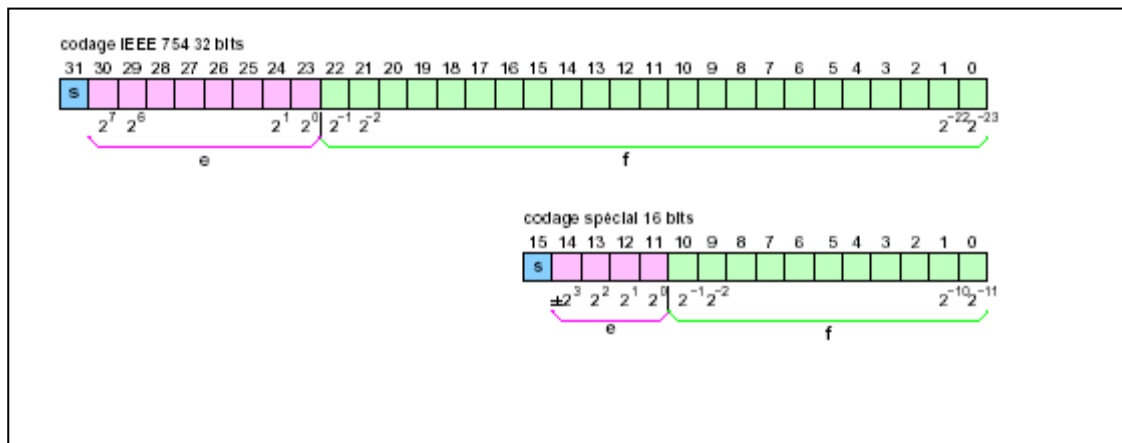
➤ **Codage en virgule flottante :**

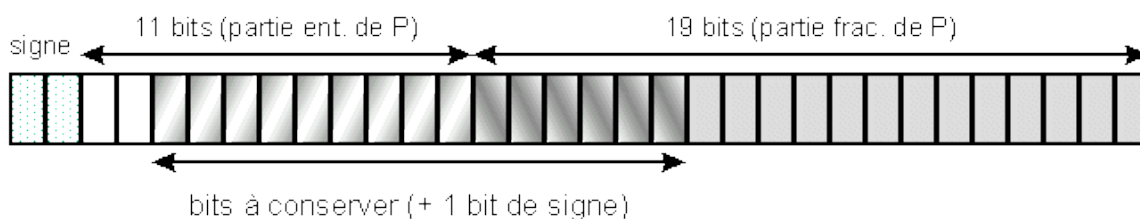
Figure III.4 : codage à virgule flottante

La mantisse est composée du 1 implicite et de la fraction f . Suivant les DSP, il ya des codages différents de l'exposant (avec ou sans biais) et des valeurs particulières.

❖ **Les DSP à virgule fixe :**

Un DSP à virgules fixes est un peu plus compliqué à programmer qu'un DSP à virgules flottantes. Le programmeur doit être très attentif lors de la programmation car c'est à lui de connaître à tout instant l'état du système. Dans un DSP à virgules fixes, les nombres sont codés sur 16 bits.

Toutefois, sur ce DSP, les calculs sont effectués avec des accumulateurs de 32 bits. Lorsque les résultats doivent être stockés en mémoire, les 16 bits les moins significatifs sont perdus. Ceci permet de limiter les erreurs d'arrondis cumulatives.



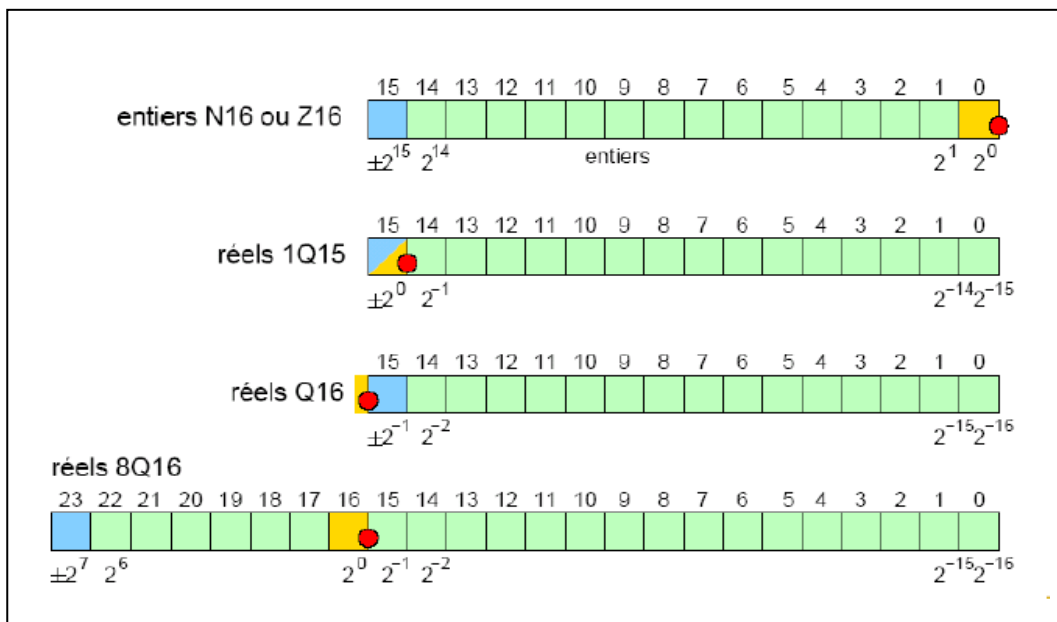
La précision des calculs est un point critique des DSP à virgules fixes, car le concepteur de programmes doit rester vigilant à chaque étape d'un calcul. Il doit rechercher la plus grande dynamique possible (c'est à dire exploiter au mieux la gamme des nombres disponibles), pour conserver une bonne précision des calculs

Les programmeurs contournent les limites des DSP à virgule fixe en déterminant à l'avance la précision et la dynamique nécessaire pour réaliser leurs projets.

Il est également possible d'effectuer des opérations en virgule flottante dans un DSP à virgules fixes par le biais de routines logicielles adéquates. Cette approche est néanmoins pénalisante en temps d'exécution, même sur un DSP à virgules fixes très rapide.

En termes de rapidité, les DSP à virgules fixes se placent d'ordinaire devant leurs homologues à virgules flottantes, ce qui constitue un critère de choix important.

Les DSP à virgules fixes sont les plus utilisés, car ils sont moins chers que les DSP à virgules flottantes. On les trouve dans tous les produits de grande diffusion où le coût est un facteur important.

❖ **Codage en virgule fixe :***Figure III.5: Codage en virgule fixe***III.5.2. Classification des DSP :**

Il est impossible d'effectuer une classification « définitive » des DSP, car chaque constructeur met sur le marché tout les ans un nouveau composant qui surclasse les anciens ou les concurrents par la puissance de calcul, la rapidité, le nombre des registres, de Timers, de ports série.....

Chaque DSP est donc adapté pour des applications spécifiques : par exemple, les DSP 16 bits à virgule fixe sont utilisés pour le conditionnement de signaux vocaux, tandis que les DSP virgule flottante de 32 bits ayant une dynamique beaucoup plus élevée, sont principalement utilisés dans le traitement de l'image et en graphique tridimensionnel.

III.6.Type d'architecture interne des processeurs :

Elle définit la manière dont les éléments d'un système à microprocesseur sont interconnectés et échangent leurs informations. On distingue :

❖ Architecture de Von Neumann :

Dans l'architecture de la machine de Von Neumann, les programmes et les données sont enregistrés sur la même mémoire. Chaque instruction contient la commande de l'opération à effectuer et l'adresse de la donnée à utiliser, il faut donc souvent plusieurs cycles d'horloge pour exécuter une instruction.

La caractéristique de cette architecture est qu'elle ne possède qu'un système de bus et une mémoire globale. Un microprocesseur basé sur cette architecture stocke les programmes et les données dans la même zone.

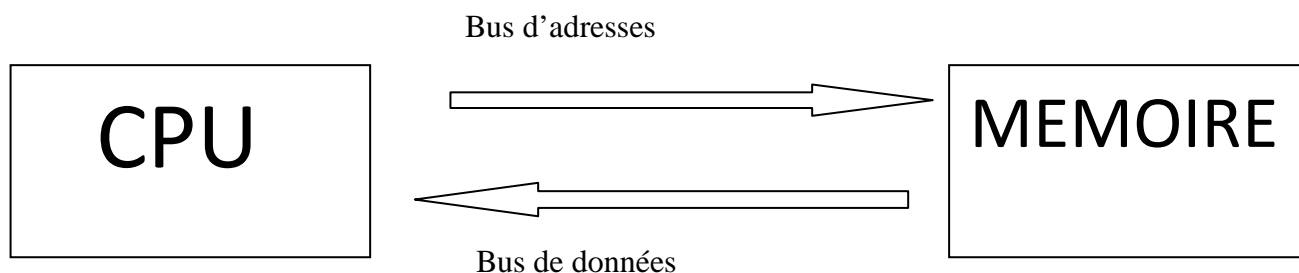


Figure III.6: L'architecture Von Neumann

❖ Architecture Harvard :

Avec cette architecture, les mémoires sont séparées l'exécution des instructions est plus rapide. Il n'y a aucun risque de conflit d'adresse.

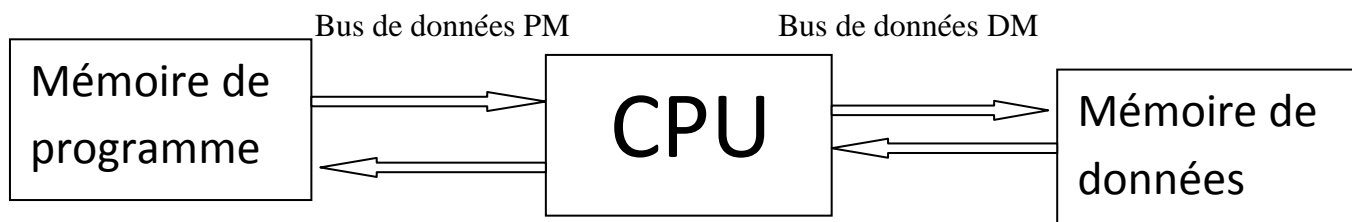


Figure III.7: architecture Harvard

III.6.1. Utilisations des ces architectures dans les DSP :

L'architecture généralement utilisée par les microprocesseurs est la structure Von Neumann. L'architecture Harvard est plutôt utilisée dans des microprocesseurs spécialisés pour des applications temps réels, comme les DSP.

Il existe cependant quelques rares DSP à structure Von Neumann. La raison de ceci est liée au coût supérieur de la structure de type Harvard. En effet, elle demande deux fois plus de bus de données, d'adresses.

Pour réduire le coût de la structure Harvard, certains DSP utilisent l'architecture dite « Structure de Harvard modifiée ». À l'extérieur, le DSP ne propose qu'un bus de Données et un bus d'adresse, comme la structure Von Neumann. Toutefois, à l'intérieur, la puce DSP dispose de deux bus distincts de données et de deux bus distincts d'adresses. Le transfert des données entre les bus externes et internes est effectué par multiplexage temporel.

La figure III.8 présente la structure de Harvard modifiée :

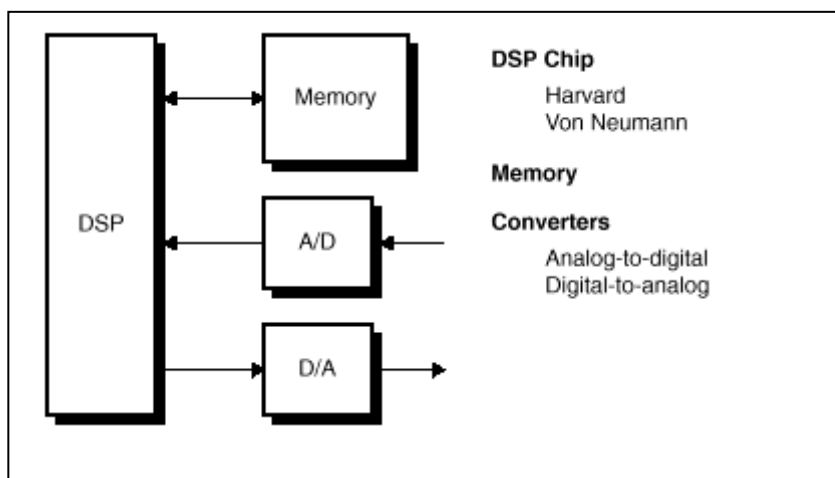


Figure III.8 : Architecture de Harvard modifiée

III.7. Avantages des systèmes à base de DSP :

Tous les systèmes à base de DSP bénéficient des avantages suivants :

✓ Souplesse de la programmation :

Un DSP est avant tout un processeur exécutant un programme de traitement du signal. Ceci signifie que le système bénéficie donc d'une grande souplesse de développement. De plus, les fonctions de traitement numérique peuvent évoluer en fonction des mises à jour des programmes, et cela pendant toute la durée de vie du produit incluant le système. La modification d'un filtre numérique ne nécessite pas un changement matériel.

✓ Implémentation d'algorithmes adaptatifs :

Une autre qualité issue de la souplesse des programmes. Il est possible d'adapter une fonction de traitement numérique en temps réel suivant certains critères d'évolutions du signal (exemple : les filtres adaptatifs).

✓ Des possibilités propres au système de traitement numérique du signal:

Certaines fonctions de traitement du signal sont difficiles à implanter en analogique, voire irréalisables (exemple : un filtre à réponse en phase linéaire).

✓ -Stabilité :

En analogique, les composants sont toujours plus ou moins soumis à des variations de leurs caractéristiques en fonction de la température, de la tension d'alimentation, du vieillissement, etc. Une étude sérieuse doit tenir compte de ces phénomènes, ce qui complique et augmente le temps de développement. Ces inconvénients n'existent pas en numérique.

✓ Répétitivité, reproductibilité :

Les valeurs des composants analogiques sont définies avec une marge de précision plus ou moins grande. Dans ces conditions, aucun montage analogique n'est strictement reproductible à l'identique, il existe toujours des différences qu'il convient de maintenir dans des limites acceptables. Un programme réalisant un traitement numérique est par contre parfaitement reproductible.

III.8. Différence entre DSP et microprocesseur ordinaire :

Sachant que le DSP est un type particulier de microprocesseur, il diffère des microprocesseurs ordinaire par :

✓ L'opération MAC :

Le signal se présente sous forme d'échantillons, est apte à être stockés et traités par un système informatique. Par nature, le traitement numérique du signal revient à effectuer essentiellement des opérations arithmétiques de base du type $A = (B * C) + D$.

Un microprocesseur classique va nécessiter plusieurs cycles d'horloge pour effectuer un tel calcul, et cela n'est pas acceptable pour faire du traitement rapide du signal. Les DSP sont donc conçus pour optimiser ce temps de calcul.

Dans la pratique, la plupart des DSP ont un jeu d'instructions spécialisé permettant de lire en mémoire une donnée, d'effectuer une multiplication puis une addition, et enfin d'écrire en mémoire le résultat, le tout en un seul cycle d'horloge.

L'évolution des DSP avait comme principal objectif l'amélioration du temps de calcul d'un MAC.

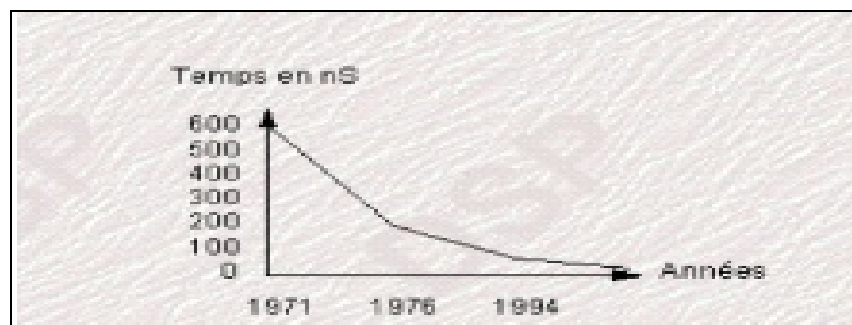


Figure III.9 : Evolution du temps d'exécution d'une opération MAC, selon Texas Instrument

✓ L'accès à la mémoire :

Les DSP ont la capacité à réaliser plusieurs accès mémoire en un seul cycle. Ceci permet à un DSP de chercher en mémoire une instruction et ces données réalisant un MAC, et simultanément, d'y ranger le résultat du MAC précédent. Mais, sur certains DSP basique, ce type d'opération simultanée est généralement limité à des instructions spéciales. Ces instructions utilisent un mode d'adressage restreint, c'est à dire ne portant que sur de la mémoire vive intégrée au DSP.

Les modes d'adressages des données sont un point particulier des DSP, un DSP peut posséder plusieurs unités logiques de génération d'adresse, travaillant en parallèle avec la logique du cœur du DSP. Une unité logique de génération d'adresse est paramétrée une seule fois via les registres appropriés. Elle génère alors toute seule, en parallèle avec l'exécution d'une opération arithmétique, les adresses nécessaires à l'accès des données.

Ceci permet de réaliser les accès mémoires simultanés en seul cycle, et incrémenter automatiquement les adresses générées. Ce mode d'adressage particulier, généralement appelé adressage indirect par registre avec post (ou pré) incrément, est très utilisé pour effectuer des calculs répétitifs sur une série de données rangées séquentiellement en mémoire.

✓ **Pipeline :**

Le principe de l'optimisation du pipeline logiciel est d'ordonnancer dans une boucle d'une façon à ce que de multiples itérations s'exécutent en parallèle dans la boucle

| | | | | |
|----|----|----|----|----|
| A1 | | | | |
| B1 | A2 | | | |
| C1 | B2 | A3 | | |
| D1 | C2 | B3 | A4 | |
| E1 | D2 | C3 | B4 | A5 |
| | E2 | D3 | C4 | B5 |
| | | E3 | D4 | C5 |
| | | | E4 | D5 |
| | | | | E5 |

Tableau III.10: tableau de pipeline

III.9.Discussion :

Cette étude a mis en avant certaines notions des DSP. Comme précisé dans ce chapitre, les DSP sont une partie importante du traitement numérique du signal, plus exactement ils sont un des supports clefs pour la réalisation pratique.

De ce fait, un traitement numérique du signal avec un DSP trouve des applications dans des domaines de plus en plus variés

Sous quelque forme que ce soit, l'utilisation des DSP, et donc du traitement numérique du signal, constitue un domaine qu'il devient de plus en plus indispensable de connaître.

Chapitre IV :

Implémentation Du DSP

Dans le Téléphone Mobile GSM

IV.1. Préambule

Aujourd'hui grâce au téléphone mobile on peut établir une communication malgré les longues distances, ce dernier effectue l'opération Transmission /Réception de l'information, pour réussir cette opération, l'information doit passer par un meilleur traitement qui se réalise à l'aide du processeur de traitement numérique du signal (DSP).

On a consacré ce chapitre pour présenter la structure générale d'un téléphone mobile qui est le mobile GSM, à base d'un DSP, où nous décrivons les étapes de l'émission/réception de l'information.

IV.2. La structure générale d'un mobile GSM à base d'un DSP

Le DSP est l'élément essentiel dans le mobile GSM. Pour illustrer le fonctionnement de DSP, nous avons utilisé la figure VI.1 dans laquelle nous avons mentionné toutes les étapes de transmission/réception de la voix.

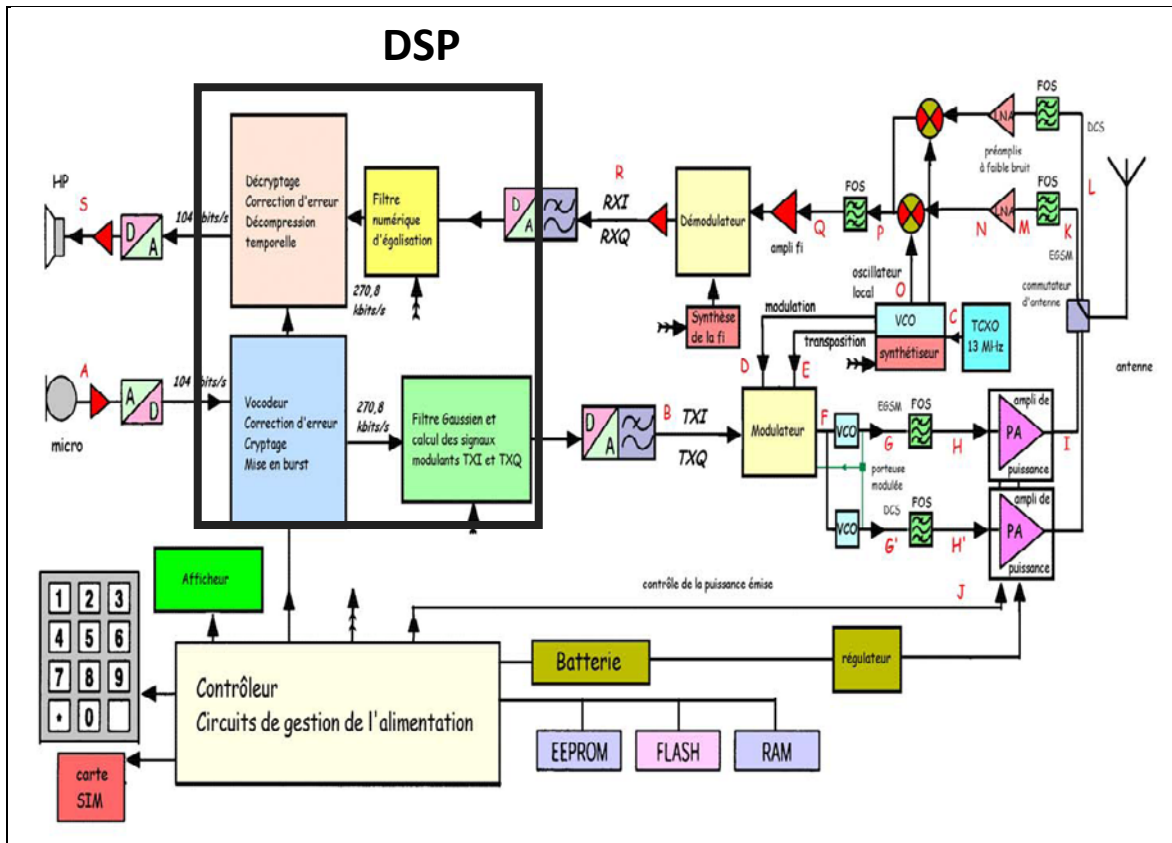


Figure IV.1 : structure générale d'un mobile GSM à base d'un DSP

De façon générale, on peut décomposer le mobile en 4 parties principales :

- Le codage/décodage de la voix appelé aussi traitement en bande de base
- Les circuits de modulation et d'émission
- Les circuits de réception et de démodulation
- Les circuits de contrôle (émission/réception, porteuse, puissance, alimentations...)

Le traitement en bande de base est effectué par un processeur de traitement de signal qui est le DSP

IV.3.A l'émission :

Dans le téléphone GSM l'information à l'émission passe par plusieurs étapes

Le circuit à l'émission :

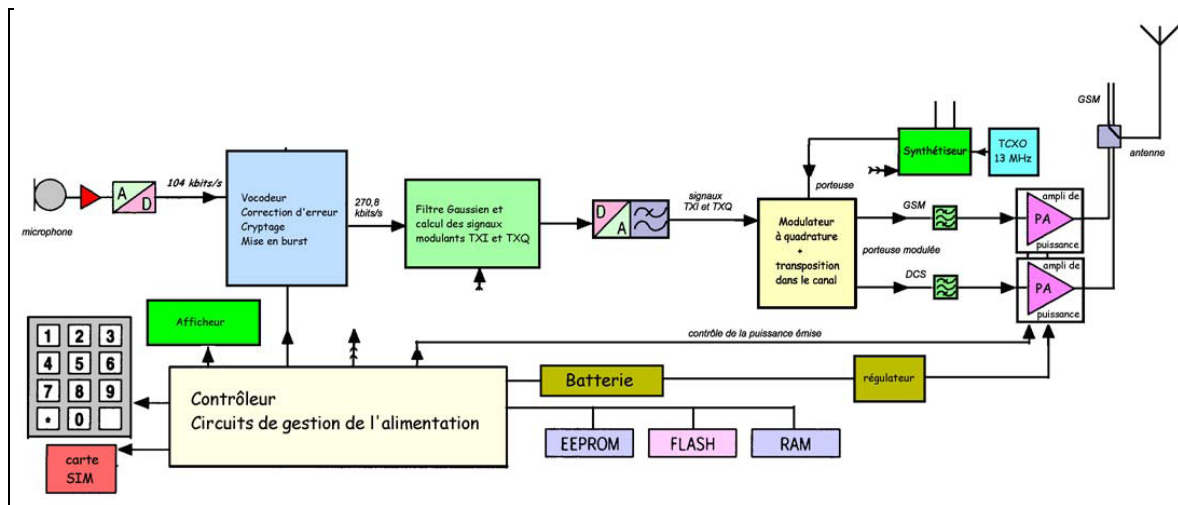


Figure IV.2 : le circuit d'émission d'un mobile GSM

- Le son est capté par le microphone, puis entre dans le processeur de signal (**DSP**) par un convertisseur CAN
- Le signal binaire est compressé par le vocodeur et crypté, puis les données regroupées en paquets
- Une porteuse auxiliaire est modulée par les signaux TXI et TXQ
- Ce signal est transposé à la fréquence d'émission par un autre signal sinusoïdal
- Le signal modulé sortant du VCO double GSM-DCS sera filtré, amplifié et envoyé sur l'antenne

IV.3.1. Le traitement de la voix :

Le DSP est l'élément essentiel dans le mobile GSM, la voix est digitalisée puis sera traitée par ce dernier.

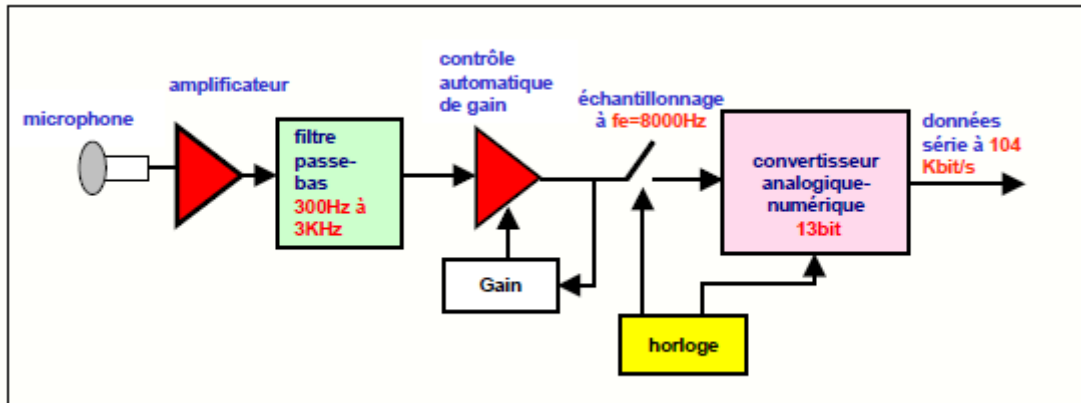


Figure IV.3 : circuit de numérisation de la voix

- Le son est capté par le microphone et amplifié
- Il est échantillonné et transformé en échantillons binaires codés sur 13 bits par un CAN
- Les mots binaires sont sérialisés avec un débit de $D=8000 \times 13 = 104 \text{ Kbits/}$

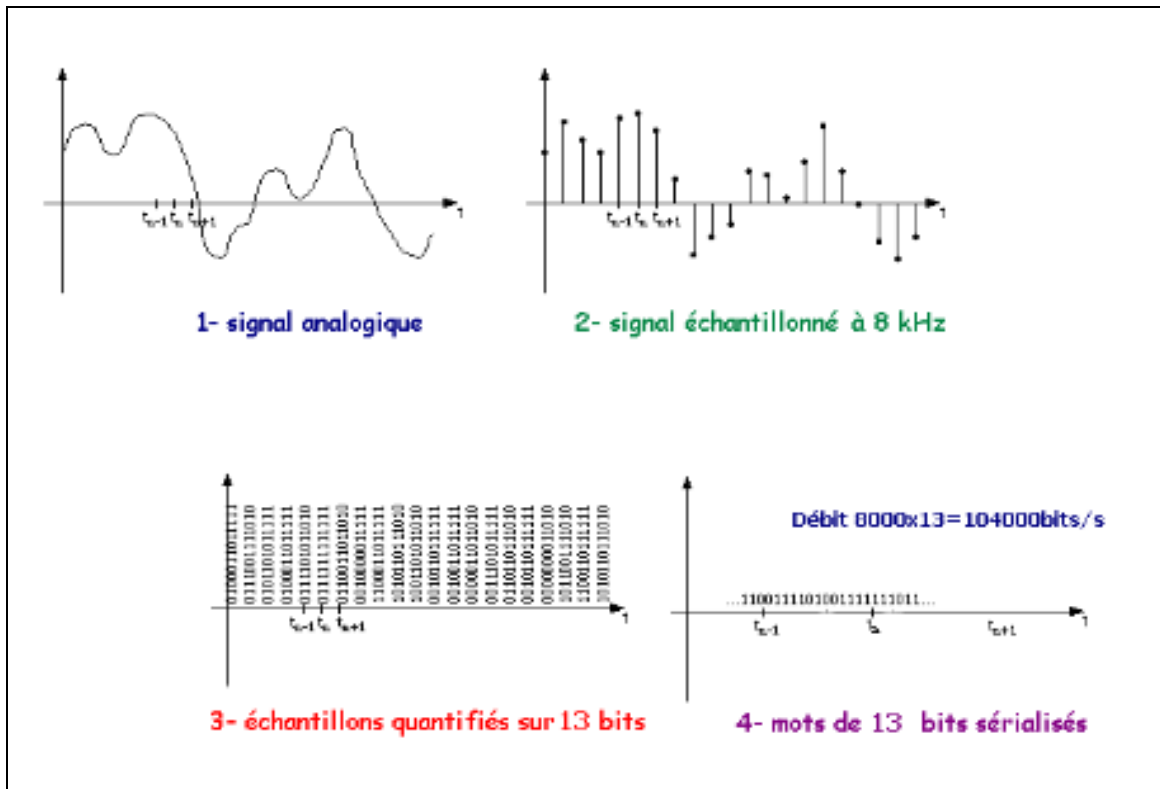


Figure IV.4 : les étapes de numérisation du signal vocale

Une fois le signal vocale est numérisé, il entre dans le **DSP** pour y subir un certain nombre de traitement numérique :

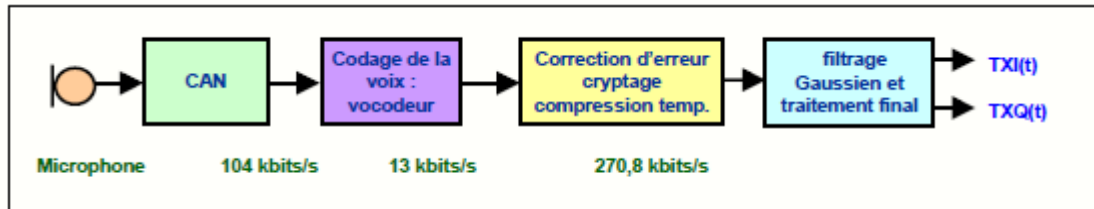


Figure IV.5 : traitement numérique du signal dans le DSP

- Une compression de débit par un vocodeur (ou codec) qui traite le signal vocal par tranches de 20 ms et abaisse le débit de 104 à 13 kbits/s avec une perte de qualité minimale.
- Les données numériques ainsi obtenues sont protégées par des codes correcteurs d'erreur permettant de réparer à l'arrivée les erreurs de transmission qui ont pu s'introduire à la suite d'aléas de propagation ou de parasite.
- L'application d'algorithme de cryptage assure la confidentialité des communications.
- Les données sont enfin regroupées en paquets de 156 bits et de durée de 557 us pour la constitution de la trame.
- Après tous ces traitements, les données sont regroupées en paquets de 156 bits sous la forme de deux signaux analogiques TXI(t) et TXQ(t) et sont prêts à entrer dans les circuits d'émission pour moduler la porteuse.

IV.3.2. Le principe du vocodeur :

Le vocodeur signifie codeur vocal permet de compressé le débit en traitant le signal vocal, le vocodeur découpe la voix numérisée en tranches de durée 20 ms, soit 160 échantillons codés sur 13 bits et donc 2080 bits comme le montre la figure suivante :

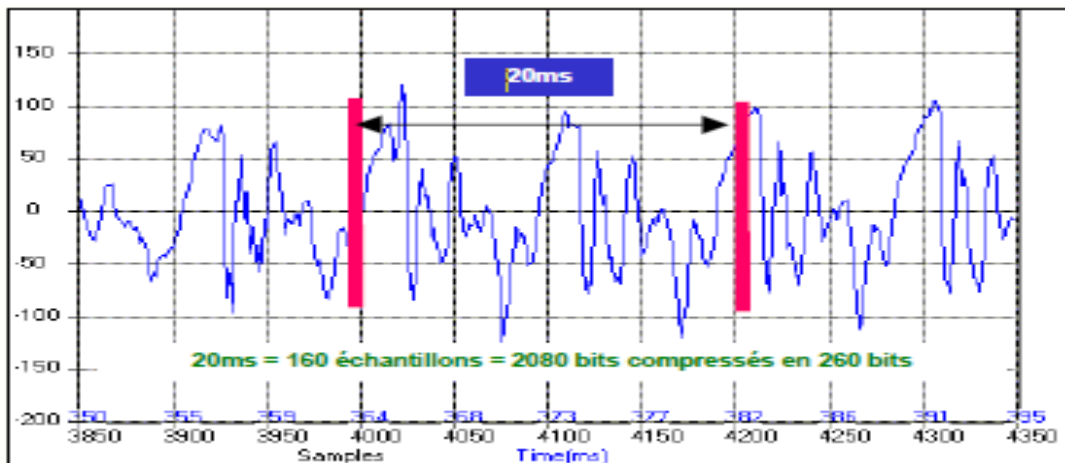


Figure IV.6 : Trame de 20ms découpé par le vocodeur

Le vocodeur du GSM est assez performant puisqu'il permet de conserver une qualité satisfaisante du message vocal en réduisant par un facteur d'environ 8 la quantité de données binaires nécessaires à la transmission de ce message.

IV.3.3. La protection des données numérique :

Une fois le débit vocal compressé par le vocodeur, il faut protéger le signal numérique contre les erreurs de transmission.

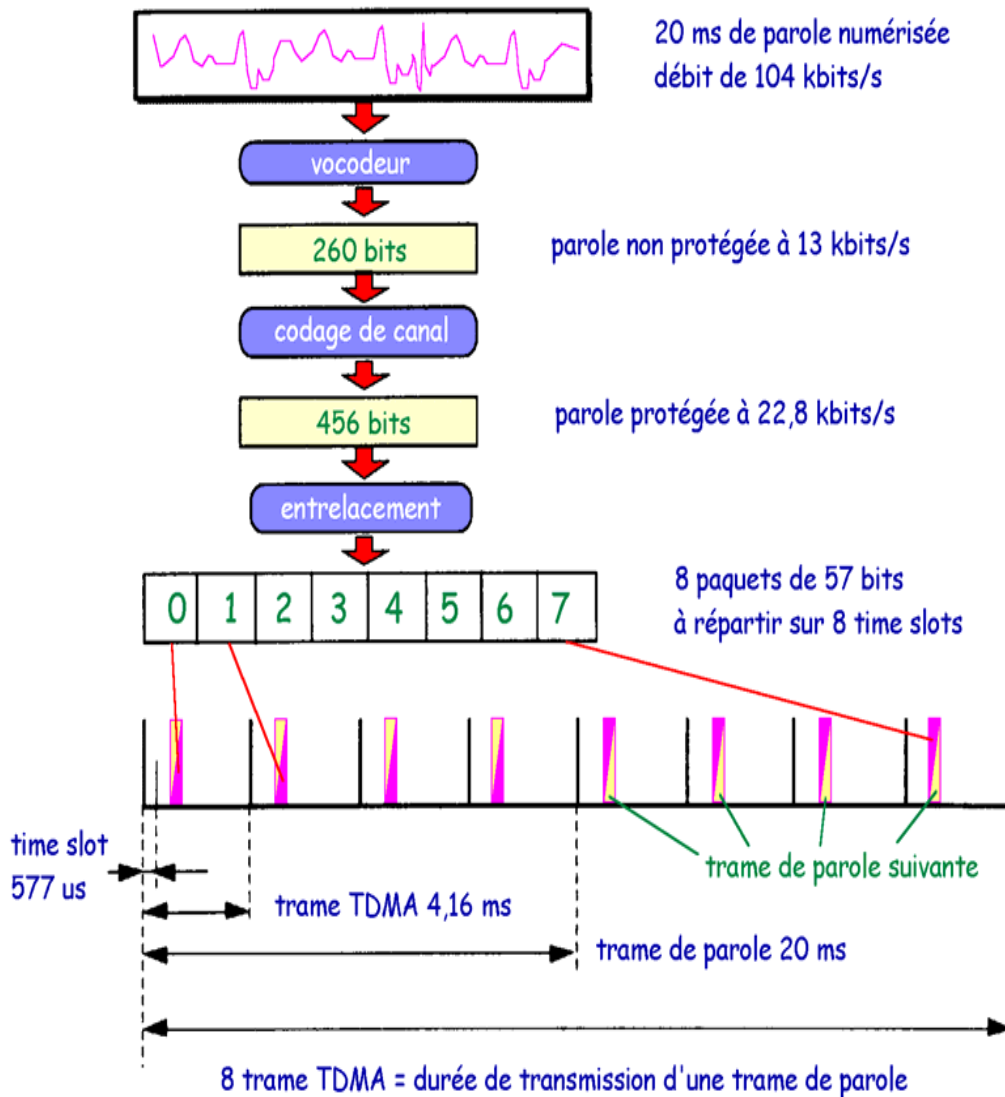
Les 260 bits produits par le vocodeur toutes les 20 ms n'ont pas tous la même importance vis-à-vis de la qualité du signal vocal. C'est la raison pour laquelle ils sont groupés en 3 classes :

- ✓ 50 bits très importants
- ✓ 132 bits importants
- ✓ 78 bits peu importants

Les bits de la première catégorie sont particulièrement bien protégés contre les erreurs par un codage convolutionnel introduisant une certaine redondance, et des bits de vérification permettant la détection des erreurs et la demande de retransmission du signal erroné.

Les deuxièmes et troisièmes classes sont respectivement moins bien ou pas du tout protégées contre les erreurs de transmission.

A l'issue de cette protection contre les erreurs de transmission, le débit binaire aura augmenté comme le montre la figure ci-dessous le représente:



FigureIV.7 :Les étapes de protection des données

Pour protéger les données durant la transmission, elles sont réparties dans 8 time-slots, mélangées aux données de la tranche précédente et de la tranche suivante.

Le message vocal a été numérisé, le débit a été compressé par le vocodeur, et les données numériques résultantes ont été protégées contre les erreurs, cryptées et entrelacées. Elles sont maintenant prêtes à moduler la porteuse.

IV.3.4. Le filtrage Gaussien du signal binaire :

Le filtre gaussien est un filtre passe bas utilisé dans le mobile GSM. Pour le lissage du signal, coupant à $f_c = 81,25$ kHz qui transforme les impulsions carrées du signal binaire en impulsions à profil gaussien en forme de «cloches».

Si on module une porteuse par un signal numérique, l'encombrement spectral du signal RF obtenu est excessif si on ne filtre pas le signal binaire.

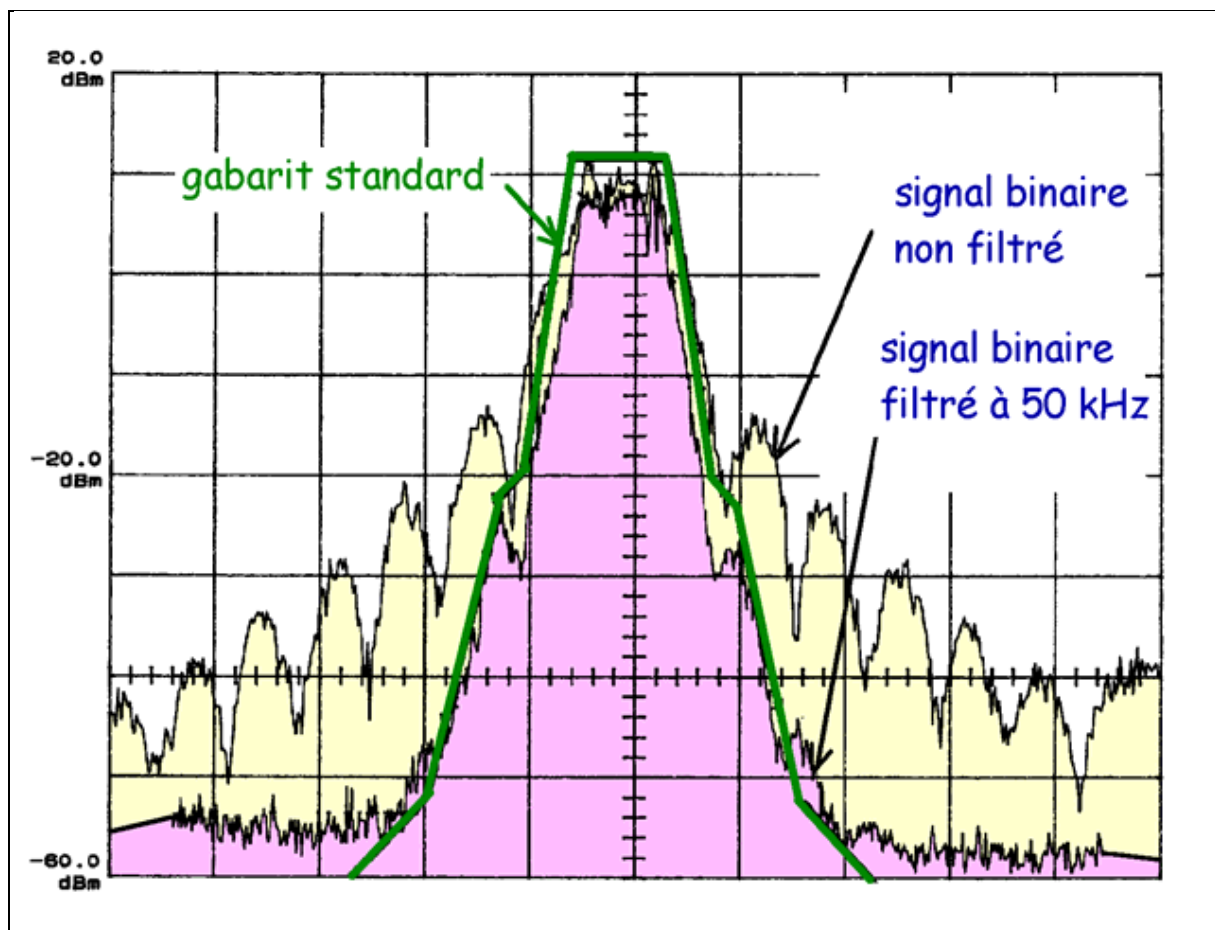


Figure. IV.8 : spectre d'une porteuse modulée en fréquence par un signal binaire non filtré et filtré

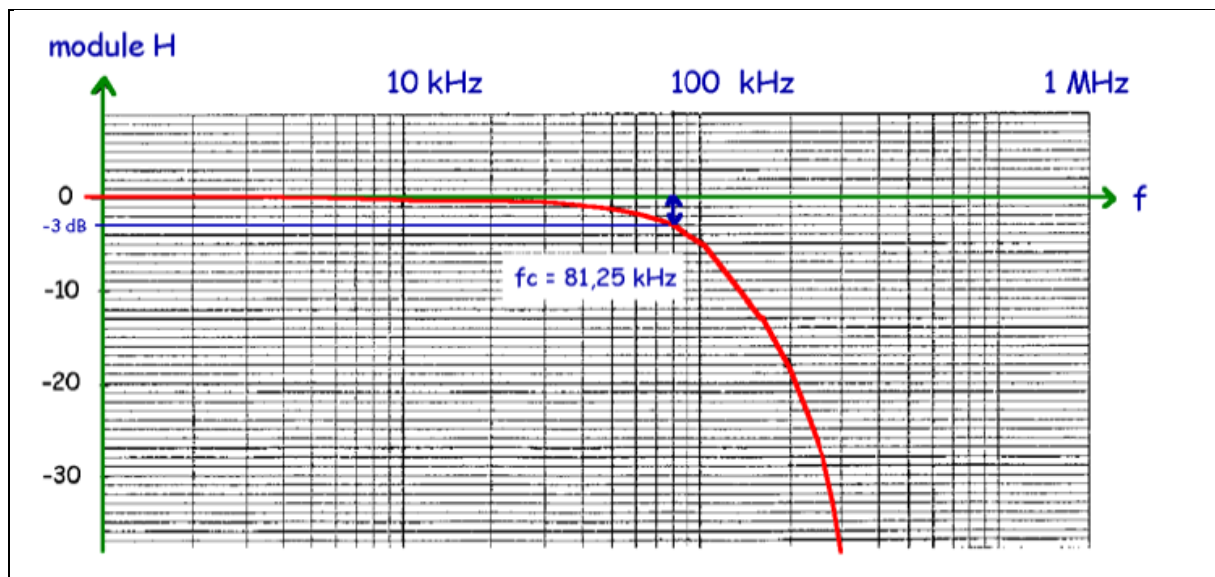


Figure IV.9. : courbe de réponse d un filtre Gaussien

Le diagramme de l'œil correspondant à un signal numérique filtré par un tel filtre gaussien montre bien que les fronts raides ont disparu et ont été remplacés par des impulsions arrondies.

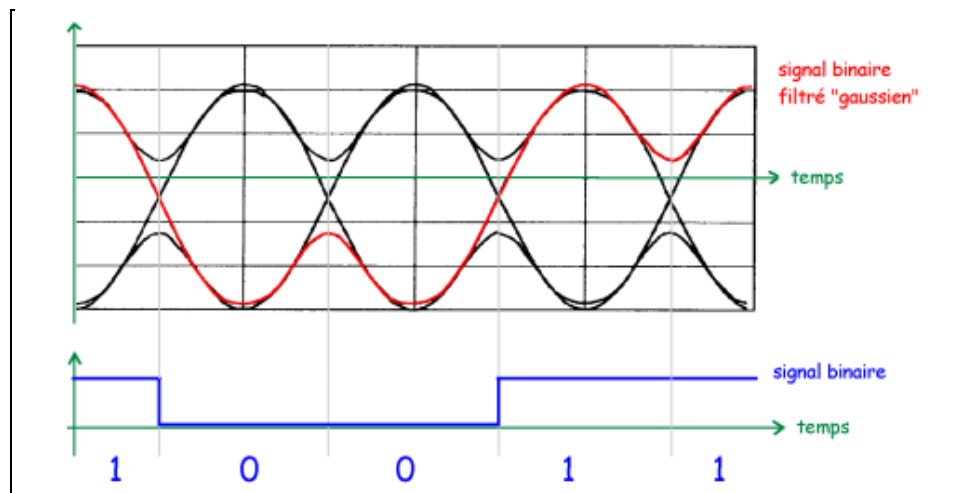


Figure IV.10 : allure du signal binaire filtré par un filtre Gaussien

IV.3.5. La Modulation MSK (minimum shift keying) :

Le mobile GSM émet une porteuse de fréquence f_0 modulée en phase qui s'écrit, si on fait abstraction du filtrage gaussien :

$$e(t) = E \cos(\omega_0 t + \phi(t)) \quad \text{avec} \quad \phi(t) = \pi t / 2T_{\text{bit}} \quad \text{si on transmet un «1»}$$

$$\phi(t) = -\pi t / 2T_{\text{bit}} \quad \text{si on transmet un «0»}$$

Pendant la durée d'un bit, la phase évolue linéairement avec une pente positive ou négative suivant la valeur du bit, et prend à la fin de la transmission du bit la valeur très particulière de $+90^\circ$ ou -90° .

Si on développe l'expression ci-dessus, on trouve:

$$e(t) = E \cos(\phi(t)) \cdot \cos(\omega_0 t) - E \sin(\phi(t)) \cdot \sin(\omega_0 t)$$

$$= E \cos(\phi(t)) \cdot \cos(\omega t) + E \sin(\phi(t)) \cdot \cos(\omega t + \pi/2) \quad \text{soit :}$$

$$e(t) = TXI(t) \cdot \cos(\omega t) + TXQ(t) \cdot \cos(\omega t + \pi/2)$$

La structure du modulateur découle de cette équation :

le signal binaire vaut +1 ou -1 il est intégré pour avoir la phase $\phi(t) = \pm \pi t / 2T_{\text{bit}}$

le processeur calcule $TXI(t) = E \cdot \cos(\phi(t))$ et $TXQ(t) = E \cdot \sin(\phi(t))$

les signaux $I(t)$ et $Q(t)$ sont multipliés par $\cos(\omega t)$ et $\sin(\omega t)$

les signaux résultants sont additionnés et donnent :

$$e(t) = E \cos(\phi(t)) \cdot \cos(\omega t) + E \sin(\phi(t)) \cdot \cos(\omega t + \pi/2) = E \cos(\omega t + \phi(t))$$

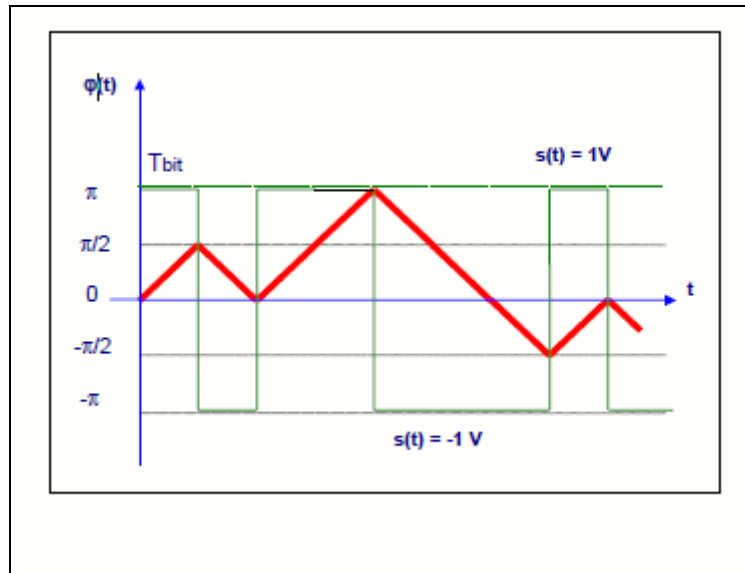


Figure IV.11 : graphe de la modulation MSK

IV.3.6. Modulation GMSK minimum shift keying:

On améliore la modulation MSK en filtrant le signal numérique avant l'intégrateur à l'aide d'un filtre à réponse impulsionnelle gaussienne : on parle alors de modulation GMSK

(Gaussian minimum shift keying)

Ce modulateur GMSK se trouve pour moitié dans le DSP et pour moitié dans le circuit RF.

Les signaux TXI et TXQ qui sortent des CNA du DSP se trouvent donc à l'interface entre le traitement numérique et RF et peuvent être visualisés (...en attendant le GSM en un boîtier)

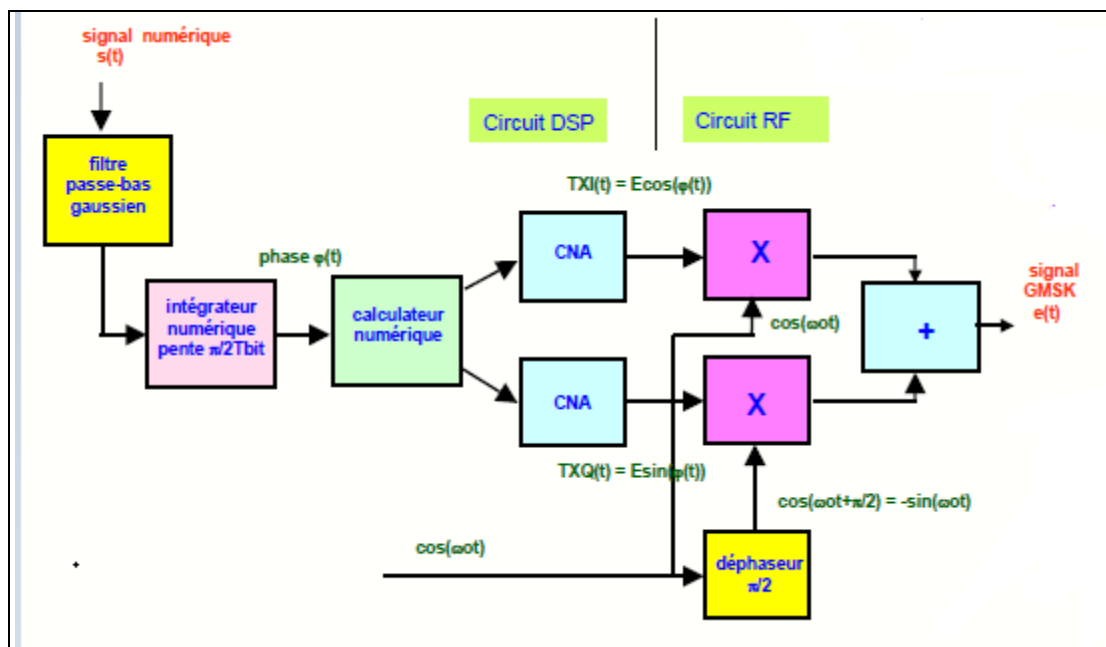


Figure IV.12 : circuit de modulation GSMK

Pour limiter les lobes secondaires dans le spectre du signal émis, il convient de filtrer le signal binaire $s(t)$ par un filtre numérique de type gaussien qui arrondit les signaux binaires.

Les variations de phase ne seront donc plus linéaires avec une pente qui est fonction de la valeur du bit transmis, mais plus progressives.

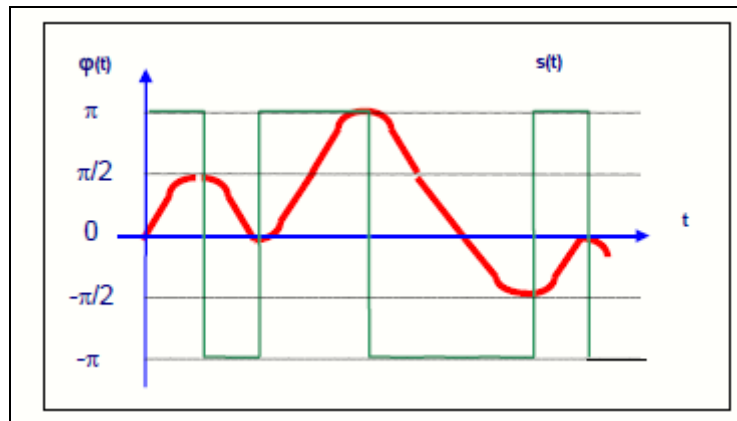


Figure VI.13 : graphe de la modulation GSMK

IV.3.7. Production de la porteuse modulé :

Le signal filtré par le filtre numérique passe bas gaussien va moduler la porteuse par l'intermédiaire d'un modulateur en quadrature, qui est un dispositif qui joue principalement le même rôle d'un VCO, mais qui à quelque propriétés intéressantes.

En sortie de ce modulateur on dispose donc d'une porteuse modulée en fréquence par le signal binaire filtré avec la modulation MSK (avec un indice de modulation $m=0.5$), pour limiter l'encombrement spectral de la puissance de montée et de descente en puissance, le signal de sortie sera commandé selon un gabarit qui est au mémoire de téléphone avec un temps de montée et descente de l'ordre de 30ms et le résultat est un spectre.

Le spectre du GSM déborde assez notamment du spectre du canal

La figure suivante résume l'émission du signal vocale du CAN jusque à l'antenne :

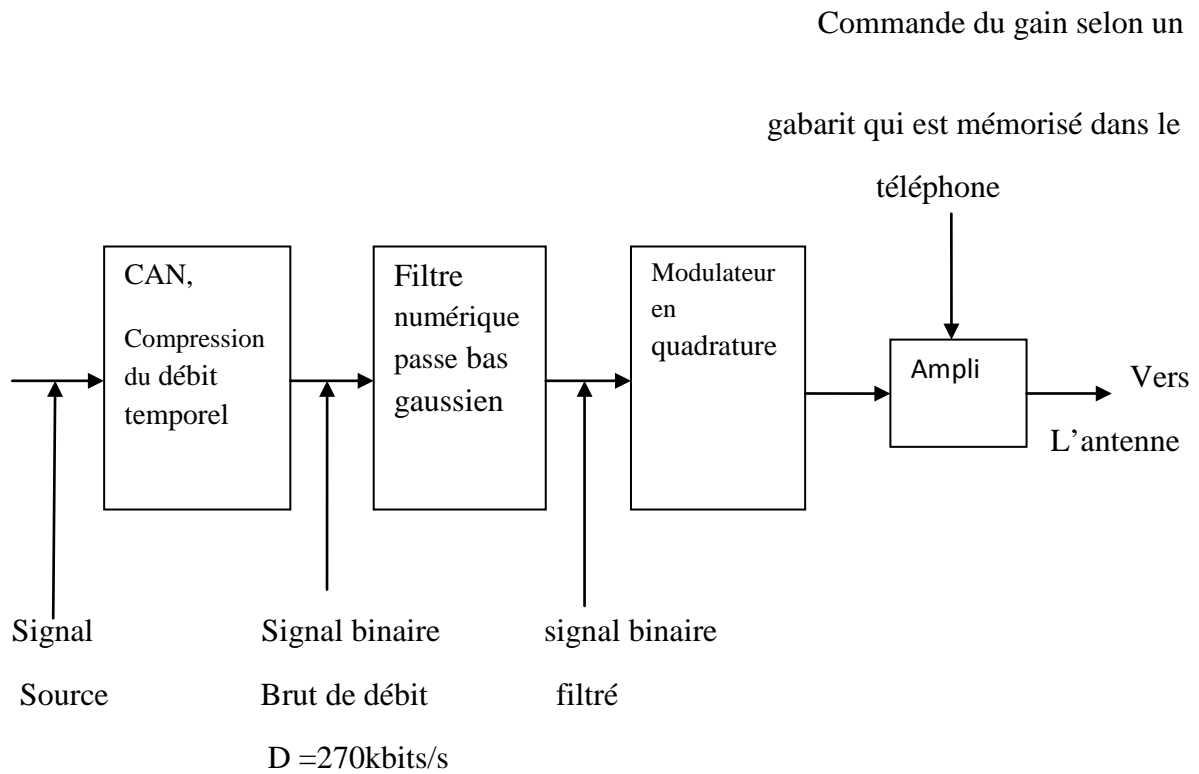


Figure IV.14 : représentation de l'émission de signal vocale de CAN jusque à l'antenne

IV.4.A la réception :

Pour assurer une bonne réception l'information passe par plusieurs traitement

Une fois l'antenne reçoit le signal émet se signale va subir à un ensemble de traitements

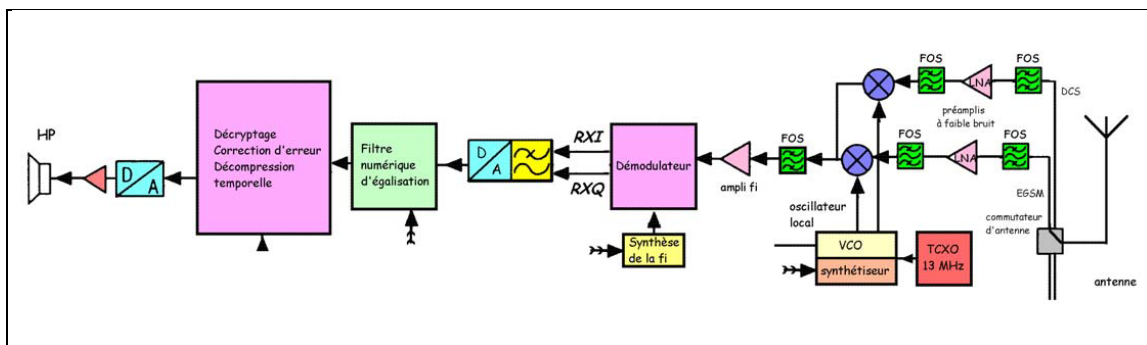


Figure IV.15 : le traitement numérique de signal vocal à la réception

L'ensemble des traitements sont résumé dans ce qui suit :

- Les filtres d'entrée GSM et DCS fixent la bande reçue et éliminent les signaux indésirables (fréquence image, émissions TV, DECT et autres mobiles GSM à proximité...)
- Les amplificateurs Low Noise Amplifier assurent une première amplification
- Les mélangeurs du circuit RF permettent de faire la transposition en fréquence des signaux reçus vers la fréquence f_i par mélange avec le signal issu du synthétiseur.
- L'amplificateur f_i à gain réglable permet de garantir des niveaux constants pour les signaux RXI et RXQ sachant que les niveaux à l'antenne sont variables (-40dBm à -110 dBm).
- Le démodulateur récupère le signal démodulé qui est numérisé pour être traité par le DSP

IV.4.1. Traitement de la voix dans DSP :

Ce traitement numérique va permettre de reconstituer le signal vocal :

Le démodulateur I/Q récupère RXI et RXQ

- Les signaux RXI et RXQ sortant de l'étage de réception entrent dans le DSP par un CAN le filtre d'égalisation compense les déformations liées à la propagation
- Les données binaires sont ensuite extraites des signaux RXI et RXQ par un dispositif de prise de décision logiciel
- Elles sont décryptées et subissent la décompression temporelle
- Le vocodeur reçoit ces données et restitue le signal binaire vocal à l'aide du signal d'excitation et des 2 filtres LPT et LTC
- Ce signal binaire est converti en analogique par le CNA, amplifié et envoyé sur le haut-parleur

IV.5.Discussion:

Le téléphone mobile GSM est un outil de communication qui a révolutionné le monde car il permet aujourd'hui de passer des appels, prendre des photos, et même visualiser des vidéos, grâce à les performances et fiabilité du processeur de traitement de signal numérique (DSP) qui est implémenté a son intérieur.

Le travail réalisé dans le cadre de ce mémoire est l'implémentation d'un DSP dans un système embarqué.

Dans le premier chapitre, une présentation générale du domaine de traitement de signal numérique a été effectuée. La numérisation d'un signal analogique consiste en l'échantillonnage. Pour traiter ces signaux numériques, des microprocesseurs sont utilisés. L'un des types de microprocesseur le plus adapté au traitement des signaux numériques est le DSP. En effet, ce dernier est spécifiquement conçu à cet effet.

Nous avons présenté dans le deuxième chapitre les systèmes embarqués qu'on retrouve dans plusieurs domaines, entre autres, l'astronomie, la télécommunication, le médical, les satellites,...

Dans le troisième chapitre, une étude des DSP a été réalisée. Dans le cas des systèmes embarqués, les DSP sont une partie importante du traitement numérique du signal grâce à leurs différents avantages tel que : leurs souplesse de programmation et leurs stabilité. Ils sont utilisés dans la plupart des applications; on les trouve dans les modems (modem RTC, modem ADSL), les téléphones mobiles, les appareils multimédia (lecteur MP3), les récepteurs GPS... Ils sont également utilisés dans des systèmes vidéo, les chaînes de traitement de son.

Enfin, dans le quatrième chapitre, nous avons étudié l'implémentation de DSP dans le téléphone mobile GSM, au cours duquel, nous avons mis en évidence le traitement des signaux numériques par le DSP. Ce dernier est une des applications des systèmes embarqués. En effet, le traitement de la voix par le DSP aussi bien dans la transmission que dans la réception est de très bonne qualité.

Comme perspectives, nous recommandons de faire une étude des DSP en utilisant la programmation en langage C et en langage assembleur recommandons également l'implémentation des algorithmes plus complexes sur le DSP, par exemple, les algorithmes de codage canal, de compression et des modulateurs numériques : ASK, PSK, FSK, OFDM,...

Pour conclure, maîtriser ou avoir des bases sur l'utilisation du DSP et le traitement numérique du signal devient indispensable vu le nombre de domaines concernés de nos jours.

Bibliographie

- [1] Bérmaud Pierre : <<signal et communication modulation, codage et théorie de l'information >>, Paris : Ellipses, 1995
- [2] Francine krief : <<les systèmes embarqués communicant mobilité, sécurité, autonomie >>, Paris ,2008
- [3]Guy Binet : <<traitement numérique du signal signaux et systèmes discret>>Paris : Ellipses ,2013
- [4] Wade.J.G : <<codage et traitement de signal l'exemple des systèmes vidéo numérique>>, Paris : Masson ,1991
- [5] Tadrict Nadia, diplôme d'ingénieur d'état : << implémentation d'un DSP TMS320LF240A>>, université de tizi ouzou, 2006
- [6]Arab Naima, diplôme d'ingénieur d'état : <<implémentation d'un DSP TMS320LF2407A en vue d'autopiloté une machine synchrone à aimants permanents >>, université de tizi ouzou, 2007
- [7] Chibane Mourad, diplôme d'études universitaire: <<maintenance des téléphones portables>>, université de tizi ouzou, 2008
- [8] www.greea.org/MG/pdf/coursTS pdf, 06/06/2018, 11:33h
- [9] [www.isir.upmc.fr>File>zarader>cours](http://www.isir.upmc.fr/File/zarader/cours) de, le 05/05/2018,14 :58h
- [10] <http://cairn.enssat.fr>TNS>SUPPORT> PTS, 28/04/2018, 23:00h
- [11] <http://www.technologuepo.com>cours-dsp> , le17/07/2018,13:15h
- [12] <http://www.technologuepo.com/cours-systèmes> embarqués, 25/04/2018,20:00h
- [13] <http://www.businesscoot.com/fr/page/le-marché> des systèmes embarqués, 26/04/2018,17:45h
- [14] <https://www.robertponge.com> > ebooks, 17/07/2018, 00:00h