
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد نخلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Filière Électronique
Spécialité Instrumentation

présenté par

SEMMAD Ghania

&

KHIDER Fella

Réalisation d'une plateforme pour les Tps d'électronique d'instrumentation

Proposé par : Mme.Nesrine Amirouche

Année Universitaire 2020-2021

Dédicace 1:

Je dédie ce modeste travail:

À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études ;

À mon cher mari Hamza pour l'assistance morale et physique, le soutien technique et professionnel sans oublier mes deux garçons Imad et Amir que Dieu les protège.

À ma chère tante Hakima pour l'encouragement permanents, et le soutien moral,

À mes chers frères, Youcef et Fouad, pour leur appui et leur encouragement,

À mes chers grands-parents, pour leur esprit de réussite qui m'a vraiment aidé à d'avancer sur le cursus universitaire,

À mon binôme Fella.

À toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi.

Ghania

Dédicace 2 :

Je dédie ce modeste travail :

À mes chers parents pour leur soutien, leur patience, leur encouragement et leur sacrifice durant mon parcours scolaire. Pour moi, vous êtes tout amour et vie.

À mon frère Amine, je vous remercie pour votre soutien, et je vous souhaite un très bon parcours et plein de succès. Aucun mot ne serait exprimer mon immense attachement, ma reconnaissance et mon profond amour et respect envers vous.

À mon mari Hamza, je remercie une personne de très grande importance dans ma vie, qui m'accompagne et qui me soutient tout le temps par sa force et l'énergie qui lui sont disponibles. Il s'agit de mon mari et de l'amour de ma vie. je te remercie d'exister.

À ma fille, mon amour, et ma princesse Isyne, je vous dédie tout l'amour et la tendresse qui existent dans l'univers. je t'aime mon cœur.

À la famille de mon mari, en particulier la mère de mon mari, je vous remercie tous pour tout le soutien que vous m'avez apporté.

À tous les membres de ma famille

À tous mes ami(e)s et mes proches que j'aime beaucoup pour leur soutien inconditionnel et leurs conseils sincères.

À mon binôme Ghania.

Fella...

Sommaire

Résumé.....	1
Abstract	1
الملخص	1
Introduction générale	2
Chapitre 1 : ETAT DE L'ART.....	4
1.1 Introduction à l'électronique d'instrumentation :	4
1.2 Historique de l'électronique d'instrumentation	5
1.3 L'objectif de l'électronique d'instrumentation	5
1.4 Défis et avantages de l'électronique d'instrumentation :.....	7
1.5 1.4.1 Les défis :	7
1.6 1.4.2 Les avantage :	7
1.7 1.4.3 Domaine d'application.....	7
1.8 Conclusion	8
Chapitre 2 : TP d'instrumentation et problématique	9
2.1 Introduction.....	9
2.2 Description de la plateforme de gestion du Tp d'électronique d'instrumentation .	9
2.3 Problématique	10
2.4 Détails de TPD'électronique d'instrumentation « Conversion analogique- numérique »	11
2.4.1 Introduction :	11
2.4.2 But du TP:	11
2.4.3 Partie théorique:	12
2.4.3.1 Signal analogique-numérique :.....	12
2.4.3.2 Caractérisation d'un signal analogique:	13
2.4.3.3 Caractérisation d'un signal numérique:	15
2.4.3.4 La conversion analogique-numérique:	17
A. L'échantillonnage :	18
1.9	19
B. La quantification :	19
C. Le codage :.....	22
2.4.4 Le convertisseur analogique-numérique (CAN)	23
2.5 Conclusion :	25

Chapitre 3 : Descriptions de la plateforme et détails techniques :	26
3.1 Introduction :	26
3.2 Le langage de programmation utilisé :	26
3.2.2 Interface graphique GUI:	28
3.2.2.1 Elaboration d'une interface graphique GUI :	28
3.3 Réalisation du GUI :	35
3.3.1 Le développement détaillé de notre GUI :	35
3.4 L'organigramme du GUI :	40
3.5 Conclusion :	42
Chapitre 4 : implémentation et résultats du GUI :	43
4.1 Introduction :	43
4.2 L'étude des valeurs théoriques du TP :	43
4.2.1 Calcule du temps d'acquisition d'un signal :	43
4.2.2 Calcule de l'amplitude d'un signal (signal sinusoïdal) :	44
4.2.3 Calcule de La fréquence d'échantillonnage :	44
4.2.4 Le Calcul du pas de la quantification :	44
4.3.5 Le Calcul du poids en octets :	45
4.3 Test de la plateforme et Interprétation des résultats :	46
4.3.1 Le temps d'acquisition d'un signal analogique :	46
4.3.2 L'amplitude d'un signal (signal sinusoïdal) :	48
4.4 Conclusion	57
Conclusion Générale	58
Bibliographie	59

Liste des figures

Figure 01 : Type de CAN & CNA

Figure 02 : Signal analogique et signal numérique

Figure 03 : Caractérisation d'un signal analogique

Figure 04 : Caractérisation d'un signal analogique périodique

Figure 05 : Caractérisation d'un signal sinusoidal

Figure 06 : Signal numérique

Figure 07 : Exemple : Dispositif d'enregistrement numérique d'un son

Figure 08 : signale continu

Figure 09 : Signal échantillonné résultant

Figure 10 : Signal échantillonné à T_{e1}

Figure 11 : Signal échantillonné à $T_{e2} > T_{e1}$

Figure 12 :Caractéristique de transfert d'un CAN – Quantification à 4 bits

Figure 13 : Convertisseur analogique/ numérique (CAN) sur 3 bit

Figure 14 : Exemple d'un bruit de quantification

Figure 15 : Exemple de codage de 3 bits

Figure 16 : Codage sur 3 bits d'un signal sinusoïdal

Figure 17 : Symbole d'un CAN

Figure 18 : L'octet

Figure 19 :Mathworks Editeur Matlab figure parmi les Leaders du Magic Quadrant 2021 de Gartner.

Figure 20 : L'interface graphique GUI.

Figure 21 :Interface GUIDE

Figure 22 :Plan de disposition.

Figure 23 :Inspecteur de propriété du Push Button Mapping

Figure 24.Zones définies au moyen du composant Panel

Figure 25 : Signal analogique

Figure 26 : Signal échantillonnée

Figure 27 : La quantification.

Figure 28 : Le codage.

Figure 29 : poids en octet.

Figure 30 : Symbole de logigramme.

Figure 31 : Un signal analogique avec une grande valeur du temps d'acquisition.

Figure 32 : Un signal analogique avec une faible valeur du temps d'acquisition.

Figure 33 : Un signal analogique avec une convenable valeur du temps d'acquisition.

Figure 34 : L'amplitude.

Figure 35 : Faible fréquence d'échantillonnage.

Figure 36: Grande fréquence d'échantillonnage

Figure 37 : Le calcul du pas de la quantification

Figure 38 : Le calcul poids en octets

Figure 39: Exemple de fonctionnement de l'interface graphique GUI développée

Figure 40: Signal analogique

Figure 41: Signal échantillonné.

Figure 42: Signal quantifié.

Figure 43 : Bruit de quantification.

Figure 44: Conversion en bits.

Listes des acronymes et abréviations

TP :Travaux pratique.

CAN:Convertisseur analogique-numérique.

CNA:Convertisseur numérique-analogique

GBF: Générateur de basses fréquences.

Bit :Binary digit.

RMS: Root Mean Square.

LSb: least Significant bit.

Msb:Most significant bit.

IA : Intelligence Artificielle.

GUI :Graphical User Interface.

Guide : Graphical User Interface Development Environment.

CD : Compact Disc.

Résumé

Ce mémoire consiste en la conception et la réalisation d'une plateforme de réalisation des Tps.

Nous avons commencé notre projet par une étude bibliographique des définitions et des concepts liés au domaine d'instrumentation.

Ensuite, nous avons présenté la démarche de conception de notre système.

Nous avons commencé par la définition et l'analyse des besoins.

Ensuite, nous avons entamé la conception du système en définissant son architecture.

Après cela, Nous avons fait la conception de chaque élément de l'architecture du système.

En fin, nous avons entamé la phase de mise en œuvre des éléments de l'architecture du système où nous avons implémenté une partie considérable du système.

Abstract

This thesis consists of the design and implementation of a Tps realization platform.

We started our project with a bibliographic study of definitions and concepts related to the field of instrumentation.

Then, we presented the design process of our system.

We started with the definition and analysis of the needs.

Then we started designing the system by defining its architecture.

After that, We designed each element of the system architecture.

Finally, we have entered the phase of implementing the elements of the system architecture where we have implemented a considerable part of the system.

المخلص

تتكون هذه الأطروحة من تصميم وتنفيذ منصة تحقيق أعمال موجهة. بدأنا مشروعنا بدراسة بليوغرافية للتعريفات والمفاهيم المتعلقة بمجال الأجهزة. ثم قدمنا عملية تصميم نظامنا. بدأنا بتحديد وتحليل الاحتياجات. هذا من حاجة عبّر عنها مشرفنا. ثم بدأنا في تصميم النظام من خلال تحديد بنيته. بعد ذلك ، قمنا بتصميم كل عنصر من عناصر بنية النظام. أخيرًا ، لقد دخلنا مرحلة تنفيذ عناصر بنية النظام حيث قمنا بتنفيذ جزء كبير من النظام.

Introduction générale

L'électronique est une branche de la science et de la technologie qui traite du mouvement, des porteurs de charge dans le vide et des semi-conducteurs, ainsi que des phénomènes de conduction électrique qui en résultent et de leurs applications.

L'électronique est souvent utilisée dans le traitement des données, le commerce électronique, et la guerre électronique.

L'impact de l'électronique dans notre vie quotidienne est grand, car les produits électroniques sont nombreux et multiformes, avec des avantages divers selon leur domaine d'utilisation, Quand on regarde les produits nécessaires dans la vie quotidienne humaine, on se rend compte que l'électronique a révolutionné le monde.

Historiquement, la transmission analogique a dominé l'industrie d'électronique Aujourd'hui, Les ordinateurs sont présents dans la plupart des domaines, ce qui conduit à des profonds changements des techniques de transmission, qui évoluent vers la transmission numérique.

La conversion analogique-numérique est un traitement indispensable signal à l'entrée d'un dispositif électronique, ce qui rend sa compréhension fondamentale. Ainsi nous avons développé une plateforme qui détail les différentes étapes de cette conversion. Il s'agit d'une interface utilisateur graphique (GUI) dédiée aux étudiants de Master 1 en utilisant le Matlab cette application est capable de résoudre un TP de l'électronique d'instrumentation (conversion d'un signal analogique en numérique) et qui permet d'analyser les deux signaux.

Ce mémoire se compose de 04 chapitres ;

Dans le premier chapitre, nous présentons les dernières technologies : définitions et Concepts, avantages, inconvénients et domaines d'application liés aux appareils électroniques.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons la description de la plateforme de gestion des Tps d'électronique d'instrumentation et Le fonctionnement général de la plateforme expérimentale avec les détails des tps.

Dans le troisième chapitre nous présentons les descriptions de la plateforme et les techniques de détail.

Dans le quatrième chapitre, nous créons une plateforme de simulation conçue en Matlab à l'aide de Simulink.

Nous terminerons par Implémentation, simulation et test et discuterons des résultats.

Chapitre 1 : ETAT DE L'ART

1.1 Introduction à l'électronique d'instrumentation :

L'instrumentation est présente à chaque instant de notre vie, du lever, quand nous enfilons nos vêtements aux tailles et pointures bien précises, au coucher, lorsque nous réglons notre réveil pour le lendemain. Entre les deux, nous nous trouvons confrontés à quantité d'instruments de mesure (thermomètre, compteur d'électricité ou de gaz, capteurs) ou de valeurs chiffrées (résultats analysés médicales, statistiques, informations économiques).

Sa mise en œuvre peut aussi nécessiter l'emploi de techniques spécialisées, comme l'usage de réseaux de mesure et d'instrumentation.

L'exploitation des informations qu'elle délivre peut-être facilitée par des logiciels d'analyse du signal, de traitement et de visualisation de données.

En sciences, l'instrumentation est une technique de mise en œuvre d'instruments de mesure, d'actionneurs, de capteurs, de régulateurs, en vue de créer un système d'acquisition de données ou de commande. C'est un domaine en plein essor avec l'avènement des nouvelles techniques de perception, de mesure, de traitement et transmission des signaux dans les différentes industries. Cette formation ouvre un large bassin potentiel d'insertion, soit comme ingénieur et ce dans tout domaine scientifique ou industriel, soit comme chercheur ou enseignant-chercheur.

Actuellement dans le monde industrialisé il y'a une forte demande de spécialistes en instrumentation et capteurs sur plusieurs aspects de recherche et engineering depuis la conception d'instrument et capteurs jusqu'aux systèmes complexes en industrie pétrolière, aéronautique et aérospatiale, chimique, biomédicale, automobile, etc. que ce soit pour le développement d'une instrumentation appropriée ou pour le suivi et la maintenance d'instruments.

Cette diversité dans la spécialité proposée permettra à l'étudiant de réaliser un parcours correspondant à ses propres objectifs professionnels et de recherche.

1.2 Historique de l'électronique d'instrumentation

L'idée de consacrer la science électronique en tant que domaine distinct a émergé en raison des améliorations techniques de l'industrie du télégraphe à la fin du XIXe siècle et des industries de la radio et de la télévision à la fin du XXe siècle ; dans la période précédant la Première Guerre mondiale.

De manière générale, la spécialisation en génie électronique est née du développement des équipements téléphoniques, radio et télévision, ainsi que d'un grand nombre d'appareils électroniques développés pendant la Seconde Guerre mondiale, tels que les radars, les sonars, les systèmes de communication, les munitions avancées et les systèmes d'armement.

Le terme a été appelé « ingénierie radio » à l'époque. Cependant, le terme ingénierie électronique a commencé à apparaître et l'ingénierie électronique a pris son indépendance par rapport à l'ingénierie électrique, à partir du Royaume-Uni en 1960.

1.3 L'objectif de l'électronique d'instrumentation

Notre travail consiste à la création d'une plateforme de gestion des TP d'instrumentation dédiée aux les étudiants.

L'électronique d'instrumentation est un domaine en plein essor avec l'avènement des nouvelles techniques de perception, de mesure, de traitement et transmission des signaux dans les différentes industries. Ce domaine ouvre un large bassin potentiel d'insertion, soit comme ingénieur et ce dans tout domaine scientifique ou industriel, soit comme chercheur ou enseignant-chercheur.

L'objectif principal de l'électronique d'instrumentation répondre aux besoins de notre monde social et économique, d'une part, et doter nos laboratoires de recherche de chercheurs qualifiés dans ce domaine, et valoriser l'aspect pédagogique de nos établissements. "Ailleurs. Il permet d'actualiser les programmes d'enseignement et de les adapter aux besoins des secteurs sociaux et économiques et permet à l'étudiant de renforcer ses connaissances et ses compétences en électronique semi-conducteur, optoélectronique, micro-ondes et. De plus, pour les étudiants et les ingénieurs de bien se perfectionner -des cadres intégrés dans le monde industriel.

Actuellement dans le monde industrialisé il y'a une forte demande de spécialité électronique d'instrumentation sur plusieurs aspects de recherche et engineering depuis la conception d'instrument jusqu'aux systèmes complexes en industrie pétrolière, aéronautique et aérospatiale, chimique, biomédicale, automobile, etc. que ce soit pour le développement d'une instrumentation appropriée ou pour le suivi et la maintenance d'instruments.

Le rôle du service électronique d'instrumentation est également d'identifier chaque partie des systèmes de contrôle-commande en plus d'obtenir des données de mesure issues d'expériences de physique.

L'électronique d'instrumentation, en étroite collaboration avec les chercheurs, est impliqué dans la conception d'instruments pour les expérimentations, dans la recherche de solutions utiles, dans la réalisation de prototypes innovants, ainsi que dans la réalisation de dispositifs dont les besoins peuvent être répétés dans les expérimentations. (Systèmes de contrôle, systèmes de mesure).

Il garantit également l'entretien et la réparation des instruments et des appareils.

1.4 Défis et avantages de l'électronique d'instrumentation :

1.5 1.4.1 Les défis :

Les défis d'électronique d'instrumentation sont nombreux les principaux sont :

- La conception de tels dispositifs nécessite une bonne compréhension de la physique
- Disposer des nouvelles compétences requises.
- Assurer la sécurité des données.
- Répondre aux besoins en investissements.
- Les conceptions d'instrumentation électronique et de mesure repoussent les limites des performances, de la puissance et des fonctionnalités intégrées.
- Les experts en électronique d'instrumentation doivent s'adresser rapidement pour résoudre tout dysfonctionnement qui peut être soudainement résolu par les appareils.

1.6 1.4.2 Les avantages :

- Diverses grandeurs physiques peuvent être converties en un signal électrique par des transducteurs.
- Le signal électrique peut être amplifié, multiplexé, filtré et mesuré facilement.
- Le signal électrique peut être converti à partir d'un signal A/D ou D/A.
- Les signaux électriques peuvent être transmis sur de longues distances par liaison filaire ou sans fil.
- Plusieurs mesures peuvent être effectuées simultanément.
- Le signal numérique est compatible avec les ordinateurs.
- Haute sensibilité, faible consommation d'énergie, haute fiabilité.
- Tout instrument ou mesure peut être représenté par un schéma montrant les composants nécessaires et leurs fonctions. L'ensemble du processus du système de mesure peut être compris à partir du schéma fonctionnel suivant.

1.7 1.4.3 Domaine d'application

L'instrumentation est utilisée dans divers domaines et secteurs d'activités (industrie, recherche et développement, universités, etc.). Elle va par exemple permettre :

- D'automatiser ;
- De faire des tests sur des produits (exemple : crash test) ;
- D'observer des phénomènes (travaux pratiques dans l'éducation) ;
- De simuler des vieillissements (tests répétitifs) ;
- De faire des contrôles qualité (sur des chaînes de production) ;
- D'alerter ou de surveiller.

1.8 Conclusion

L'électronique d'instrumentation est une branche de l'électronique, qui intervient quasiment partout, dans ce qui précède nous avons posé le contexte de notre travail, ainsi qu'un bref aperçu de ce domaine si complexe.

Chapitre 2 : TP d'instrumentation et problématique

2.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous donnons d'abord une description de la plate-forme de gestion des Tps d'électronique d'instrumentation. Et nous expliquons tous les problèmes, détails et les outils utilisés qui se trouvent dans ce Tp et comment nous allons procéder pour intégrer dans la plateforme.

2.2 Description de la plateforme de gestion du Tp d'électronique d'instrumentation

Le système sur lequel se base notre travail est une plateforme du Tp d'électronique d'instrumentation sous la forme d'une interface graphique (GUI), en utilisant le langage Matlab et Simulink, lorsque toutes les équations mathématiques et les actions appliquées trouvées dans le manuel des Tps sont utilisé sur le Matlab, pour les schémas graphique et les montages sont utilisées avec Simulink,

On programme toutes les données de Tp en entrant des équations, des graphes ou des montages pour chaque partie de Tp par ordre avec le respect de l'utilisation du langage de programmation.

Lorsque nous avons terminé la programmation, nous exécuté le travail en entrant des nombres bien étudiés qui conviennent à l'équation ou au schéma, et le résultat du travail que nous recherchons apparaît sous la forme des signales ou bien des valeurs.

2.3 Problématique

Les travaux pratiques sont une partie essentielle de l'enseignement et de l'apprentissage des sciences technologiques.

D'autre part, les enseignants ont constaté que l'apprentissage des sciences technologiques en particulier l'électronique d'instrumentation, et la participation à des expériences pratiques au niveau du laboratoire augmentent le niveau de compréhension des étudiants et aident à maîtriser les concepts qui gèrent le fonctionnement des appareils.

Par conséquent, les travaux pratiques ne doivent pas être enseignés en tant que données, mais doivent être validés empiriquement, et les travaux pratiques doivent être effectués en petits groupes d'étudiants pour permettre la consolidation de la théorie apprise.

Notre problématique dans ce travail consiste que nous n'avons pas fait les travaux pratiques en laboratoire avec des appareils et équipements électroniques et des pratiques expérimentales, mais nous avons utilisé le langage de Matlab.

- Cela est dû au manque d'équipements scientifiques électroniques, en particulier d'équipements d'électronique d'instrumentation.
- Le taux d'encadrement des enseignants a augmenté avec l'augmentation du nombre d'étudiants.
- La quantité de travaux pratiques n'est pas proportionnelle à la quantité de temps pour chaque travail pratique afin de couvrir tous les concepts théoriques et expérimentaux.
- Les étudiants doivent maîtriser les aspects théoriques liés à la manipulation du matériel et le manipuler correctement, et lire et interpréter les résultats.

2.4 Détails de TP d'électronique d'instrumentation « Conversion analogique-numérique »

2.4.1 Introduction :

Dans la science d'électronique d'instrumentation nous allons voir un dernier type des circuits, qui font les conversions entre de l'analogique et du numérique. Il existe deux types. Le circuit qui convertit un signal analogique en signal numérique cela est un CAN (**convertisseur analogique-numérique**). Le circuit qui fait la conversion inverse est un CNA (**convertisseur numérique-analogique**).

Nous parlerons spécifiquement dans ce TP sur la **conversion analogique – numérique** , c'est un dispositif électronique permettant la conversion d'un signal analogique (c'est-à-dire un signal continu en temps et en amplitude) en un signal numérique (c'est-à-dire un signal discret en temps et en amplitude)

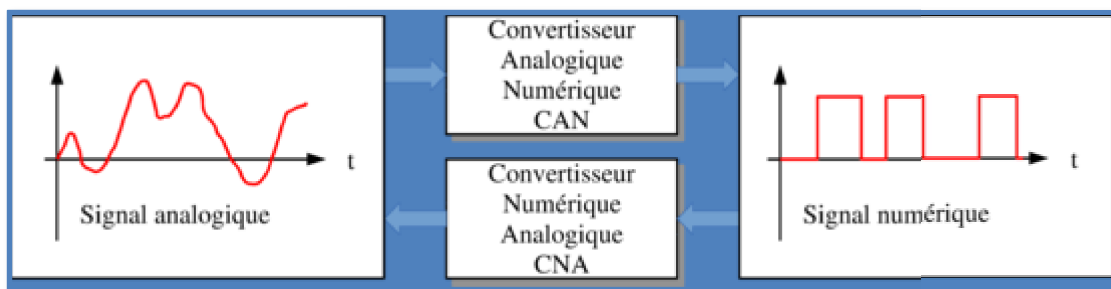


Figure 01 : Type de CAN & CNA

2.4.2 But du TP:

Le but de ce TP est d'élaborer un protocole permettant de déterminer le nombre de bits d'une conversion A/N et la comprendre de la mise en œuvre de les étapes de la fréquence d'échantillonnage et la quantification et le codage; ainsi que leur influence sur la qualité du signal numérique final.

3. Les outils utilisés:

En pratique ce TP nécessite du matériel présentés en:

A:Alimentation continu symétrique.

B:Générateur de fonction (GBF).

C:Oscilloscope numérique.

D : Platine d'étude de conversion.

Mais pour des raisons évidentes d'indisponibilitédece dernier, par le manque de temps et la crise sanitaire « covid19 » nous somme orienté vers une réalisation soft, cependant cette dernière permet de comprendre et d'intégrer les aspects pratiques fondamentaux de ce TP et cela grâce à les outils Matlab et Simulink.

2.4.3 Partie théorique:

Dans cette partie, nous aborderons tout ce que l'étudiant doit comprendre avant d'entrer dans les travaux pratiques; de la théorie des concepts, des définitions, des lois et des signales.

2.4.3.1 Signal analogique-numérique :

Un signal analogique est un signal continu qui peut prendre une infinité de valeurs, Il les également continu en amplitude. alors que le signal numérique est un signal discret (discontinu), qui se résume en une succession de « 0 » et de « 1 ».

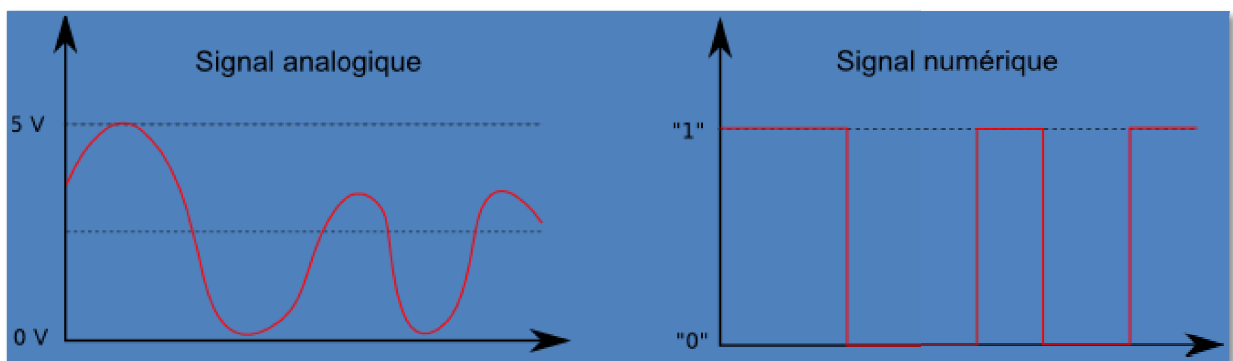


Figure 02. Signal analogique et signal numérique

2.4.3.2 Caractérisation d'un signal analogique:

Un signal analogique évolue de façon continue en fonction du temps. Il peut-être périodique ou non périodique:

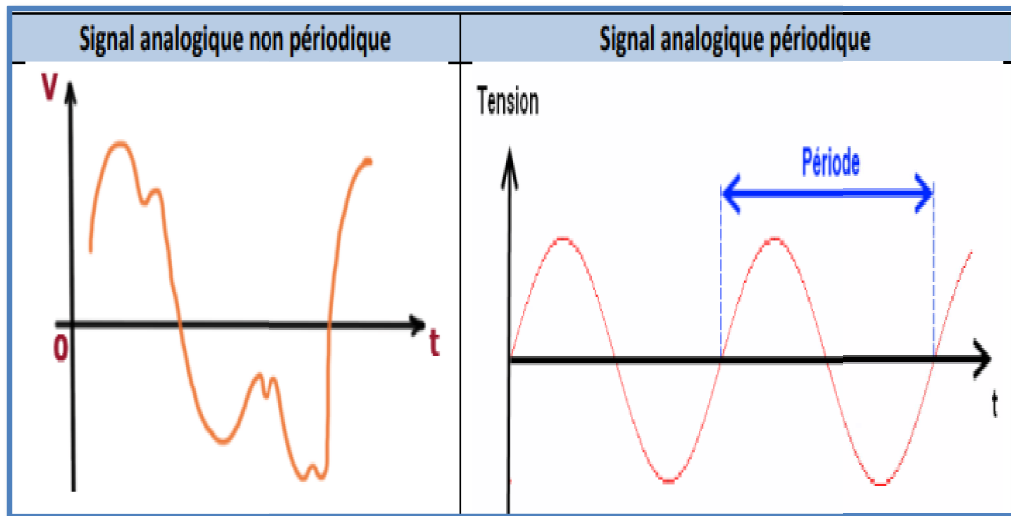


Figure 03. Caractérisation d'un signal analogique

Caractérisation d'un signal analogique périodique

- ✓ • La période(t) $T=1/f$ (en seconde, s) La période représente la durée d'une variation.

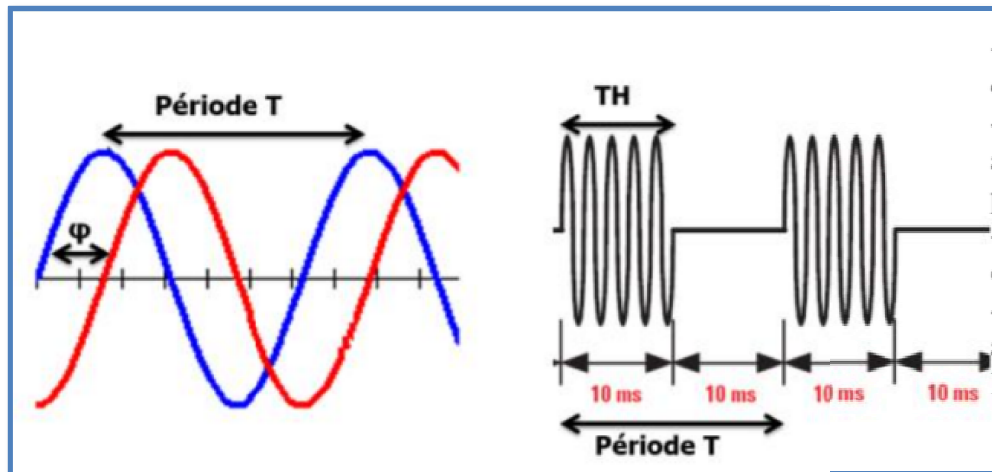


Figure 04. Caractérisation d'un signal analogique périodique

- ✓ **La fréquence (f)** $F=1/T$ en (hertz, Hz) La fréquence correspond au nombre d'oscillations d'un phénomène périodique par unité de temps .

Exemple : Signal sinusoïdal

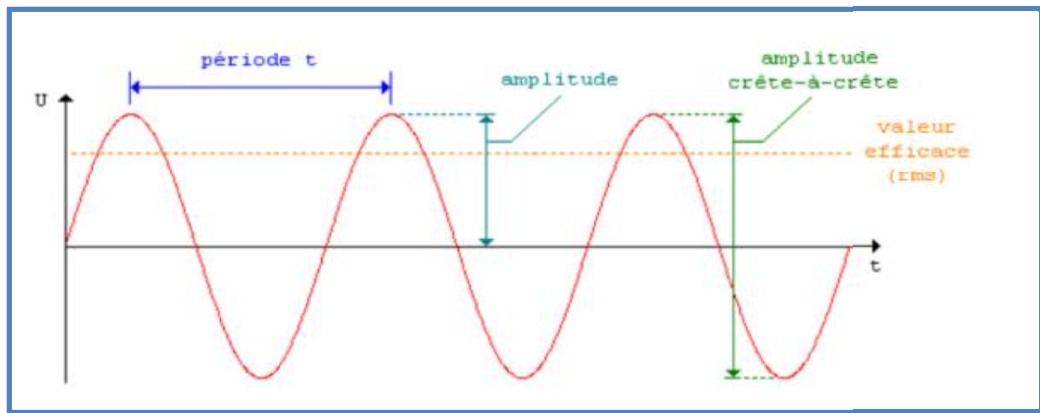


Figure 05. Caractérisation d'un signal sinusoïdal

- ✓ **L'amplitude** est l'écart maximal par rapport à la valeur moyenne du signal.

$$A = V_{eff} \times \sqrt{2}$$

- ✓ **La valeur efficace** (ou rms: root mean square) correspond à la valeur de la tension continue qui produirait le même effet.

$$U_{eff} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$$

- ✓ **Le déphasage** ϕ correspond au décalage temporel entre deux signaux de même période. Pour faciliter son analyse, on convertit cette durée de décalage en angle en considérant que la période correspond à 1 tour : – en radians : $\phi = \Delta$

– en radians : $\phi = \frac{\Delta t \times 2\pi}{T}$

– en degrés : $\phi = \frac{\Delta t \times 360}{T}$

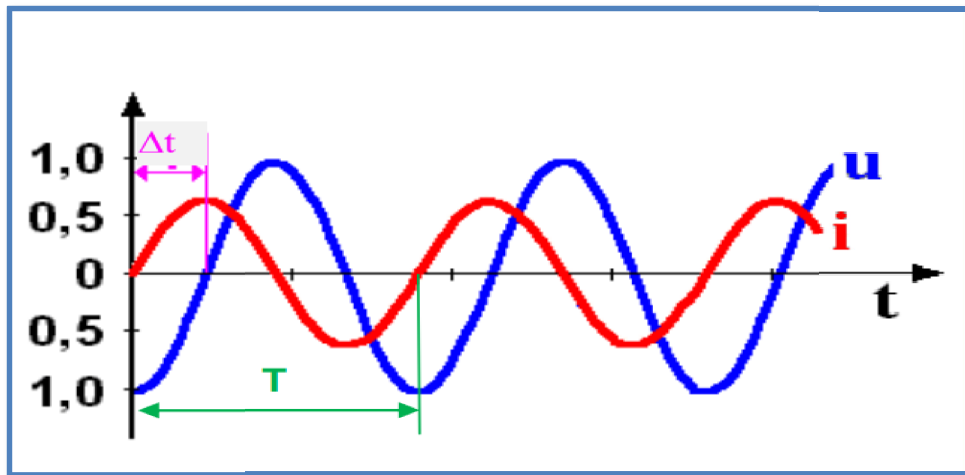


Figure 05. Caractérisation d'un signal sinusoïdal

- ✓ **la forme** il s'agit de la forme géométrique du signal.

2.4.3.3 Caractérisation d'un signal numérique:

On distingue deux niveaux :

- niveau haut : H (High), NL1, 1 ;
- niveau bas : L (Low), NL0, 0.

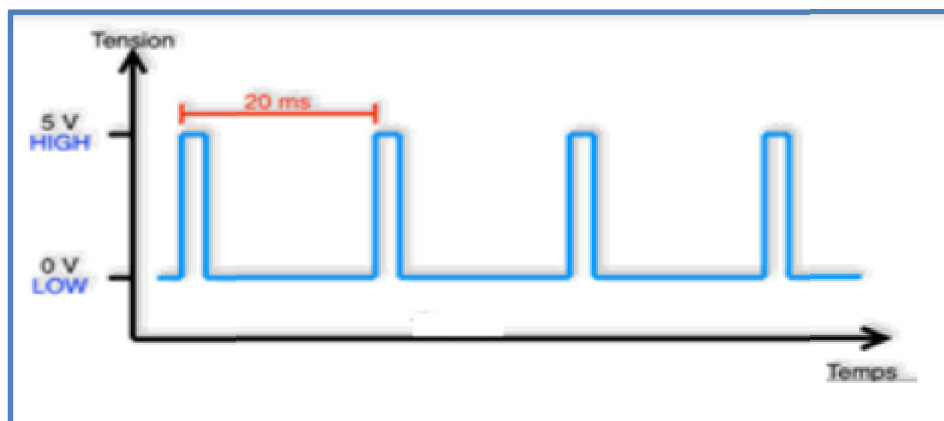


Figure 06. Signal numérique

- ✓ **Le chronogramme:** Le chronogramme est un diagramme utilisé pour représenter les signaux en fonction du temps.
- ✓ **Le train d'impulsions:** Le train d'impulsions est un signal ayant deux états stables dont les changements d'états dans le temps constituent l'information utile.

2.4.3.4 La conversion analogique-numérique:

Une information peut être un son, une image, une vidéo, un texte... L'information que l'on désire transmettre doit être adaptée au mode de fonctionnement des éléments utilisés (ordinateur, carte électronique...). Il faut donc coder les informations sous forme de signaux numériques (suites de « 0 » et de « 1 »).

L'objectif de la numérisation est de transformer un signal analogique en un signal numérique contenant une quantité finie de valeurs.

Le passage de l'analogique au numérique comprend trois étapes :

- l'échantillonnage
- la quantification
- le codage

Le nombre d'échantillons composant le signal numérique devra être suffisamment grand pour pouvoir représenter le signal analogique de départ, mais pas trop grand non plus pour que le signal numérique ne soit pas trop volumineux.

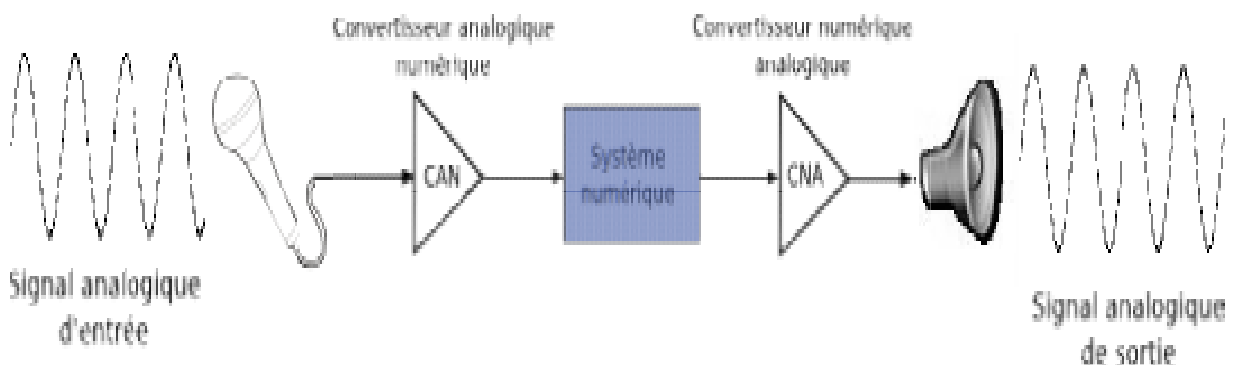


Figure 07. Exemple : Dispositif d'enregistrement numérique d'un son

A. L'échantillonnage :

Principe :

L'échantillonnage consiste à prélever des valeurs du signal à intervalle de temps réguliers, appelée période d'échantillonnage. Pour un période d'échantillonnage T_e la grandeur $f_e=1/ T_e$ s'appelle la fréquence d'échantillonnage.

La fréquence d'échantillonnage :

. La **fréquence d'échantillonnage** est le nombre d'échantillons par unité de temps. Si l'unité de temps est la seconde, la fréquence d'échantillonnage s'exprime en hertz et représente le nombre d'échantillons utilisés par seconde. Le choix de la fréquence d'échantillonnage dépend de la rapidité des variations que l'on se propose de décrire.

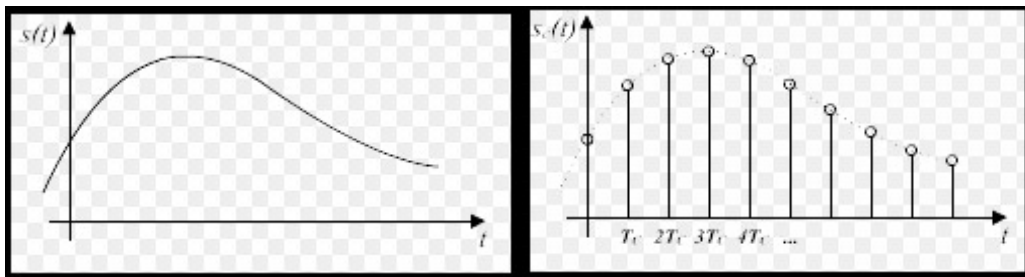


Figure 08: signale continu Figure 09:Signal échantillonné résultant

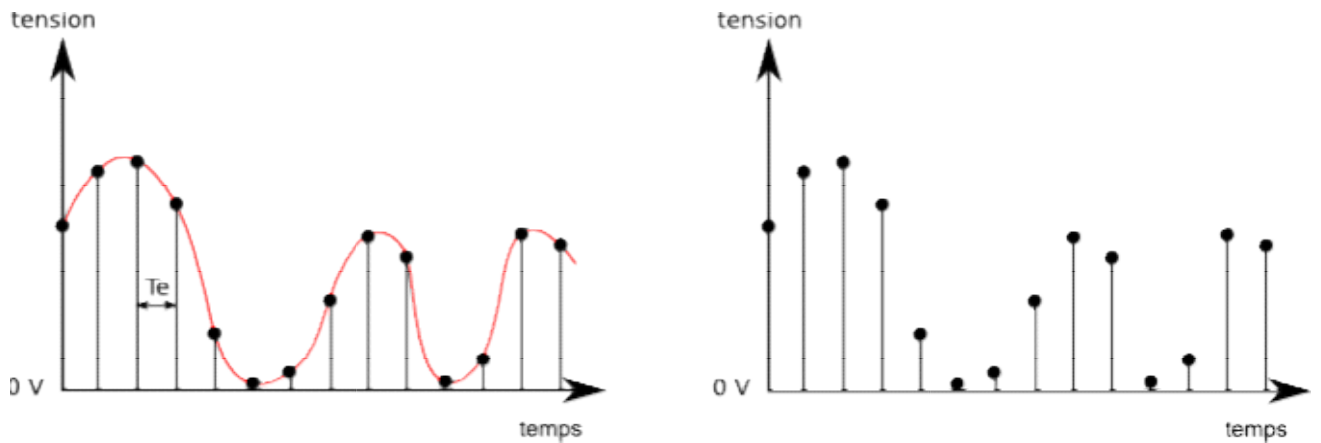
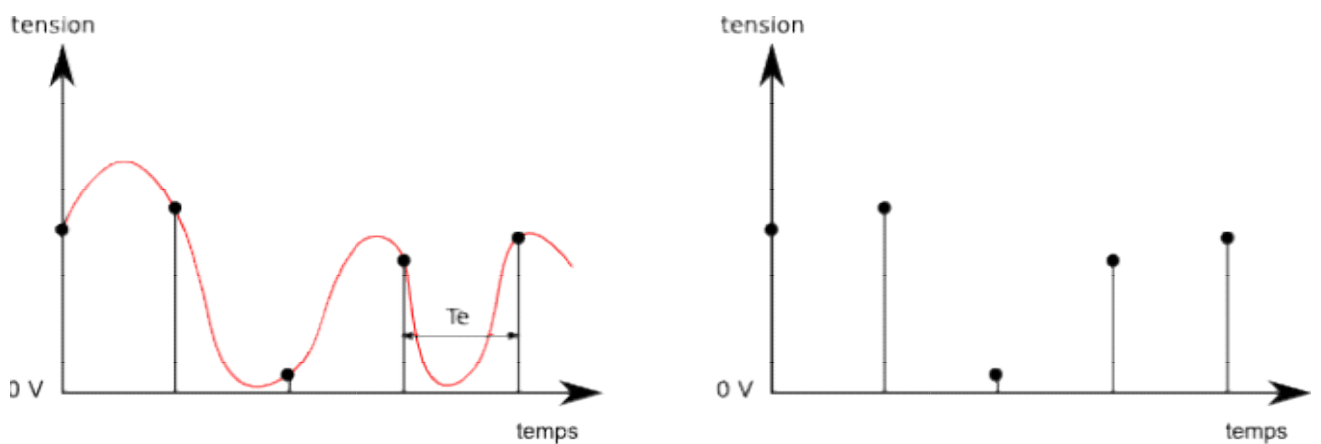
La fréquence d'échantillonnage doit être suffisamment grande. En effet, si celle-ci est trop faible, les variations rapides du signal ne pourront être retranscrites.

Théorème de Shannon :

Le théorème de Shannon permet de connaître la fréquence d'échantillonnage à choisir pour un signal donné, Pour reconstruire un signal de sortie de manière fidèle au signal d'entrée, il faut choisir une fréquence d'échantillonnage au moins deux fois supérieure à la fréquence maximale contenue dans le signal d'entrée.

$$f_e > 2f_{max}$$

Voici deux exemples d'échantillonnage du même signal pour deux fréquences $f_{e1}=1/T_{e1}$ et $f_{e2}=1/T_{e2}$.

Figure 10. Signal échantillonné à T_{e1} Figure 11. Signal échantillonné à $T_{e2} > T_{e1}$

Dans le premier exemple, la fréquence d'échantillonnage choisie permet de reproduire les variations du signal. Par contre dans le second exemple, il est clair que les échantillons recueillis ne sont pas suffisants pour reconstruire le signal d'origine.

1.9

B. La quantification :

Principe :

L'opération de quantification consiste à attribuer un nombre binaire à toute valeur prélevée au signal lors de l'échantillonnage. C'est le CAN (convertisseur analogique numérique) qui réalise cette opération. Chaque niveau de tension est codé sur p bits, chaque bit pouvant prendre deux valeurs (**0 ou 1**). Donc un convertisseur à p bits possède 2^p niveaux de quantification. Considérons un CAN **4 bits**, il n'y a donc que $2^4 = 16$ valeurs

possibles attribuables à toutes les valeurs prélevées lors de l'échantillonnage. L'opération se fait donc avec une perte d'information d'autant plus grande que p est petit. Le schéma ci-dessous représente une partie de la caractéristique de transfert d'un convertisseur **4 bits** ; à tous les niveaux de tension d'un même palier, le convertisseur fait donc correspondre un seul et même nombre binaire :

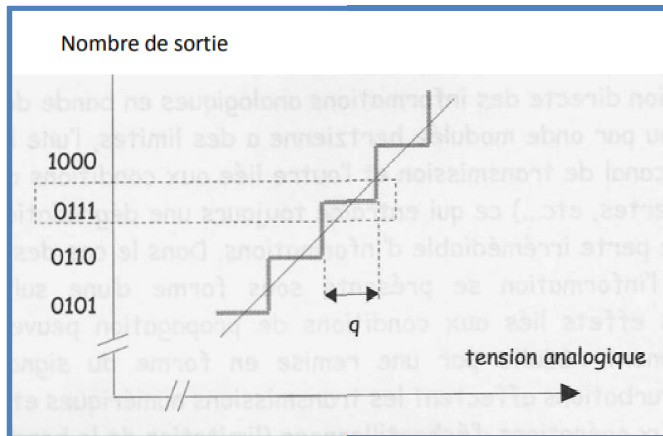


Figure 12 : Caractéristique de transfert d'un CAN – Quantification à 4 bits

Le pas de quantification (q) : il correspond à la plus petite variation de tension que le convertisseur peut coder. On voit bien que plus q est faible, meilleure sera la précision de codage.

Sa formule:

$$q = \frac{2 \times A}{2^n}$$

A : la tension maximum.

n : nombre de la quantification en bit.

La résolution:

Est la plus petite variation du signal analogique d'entrée qui provoque un changement d'une unité sur le signal numérique de sortie. Elle est liée au quantum. La résolution est définie en % de l'amplitude maximale du signal analogique.

Le quantum (q):

est la variation minimale de l'amplitude d'entrée qui garantit une variation d'une unité de la donnée numérique de sortie. Le quantum s'exprime dans l'unité de la grandeur analogique d'entrée

$$q = \frac{V_{max} - V_{min}}{2^n}$$

q : le quantum du convertisseur (en V),

V_{ref} : la valeur maximale de l'amplitude d'entrée

n : nombre de bits du convertisseur.

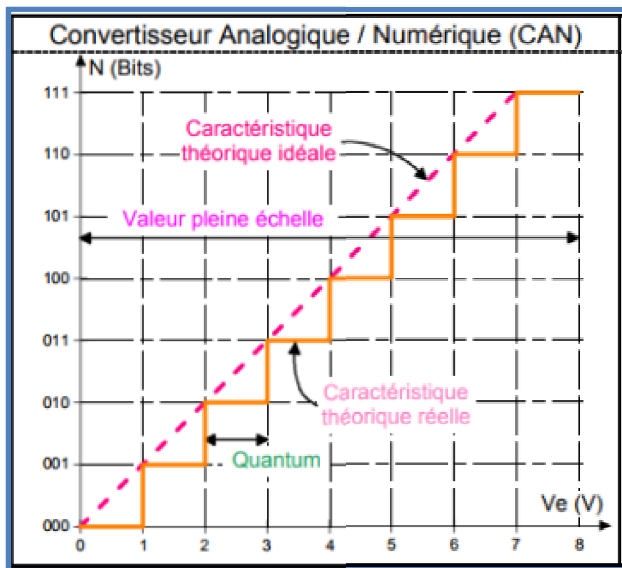


Figure 13 : un convertisseur analogique/ numérique (CAN) sur 3 bit .

L'erreur de la quantification :

La différence entre un signal original analogique et un signal numérique à valeur discrète reproduit est désignée d'erreur de quantification. Le signal d'erreur est parfois considéré comme un signal aléatoire supplémentaire appelé bruit de quantification en raison de son comportement stochastique (aléatoire).

Ci-dessous vous trouverez un exemple de l'erreur de quantification :

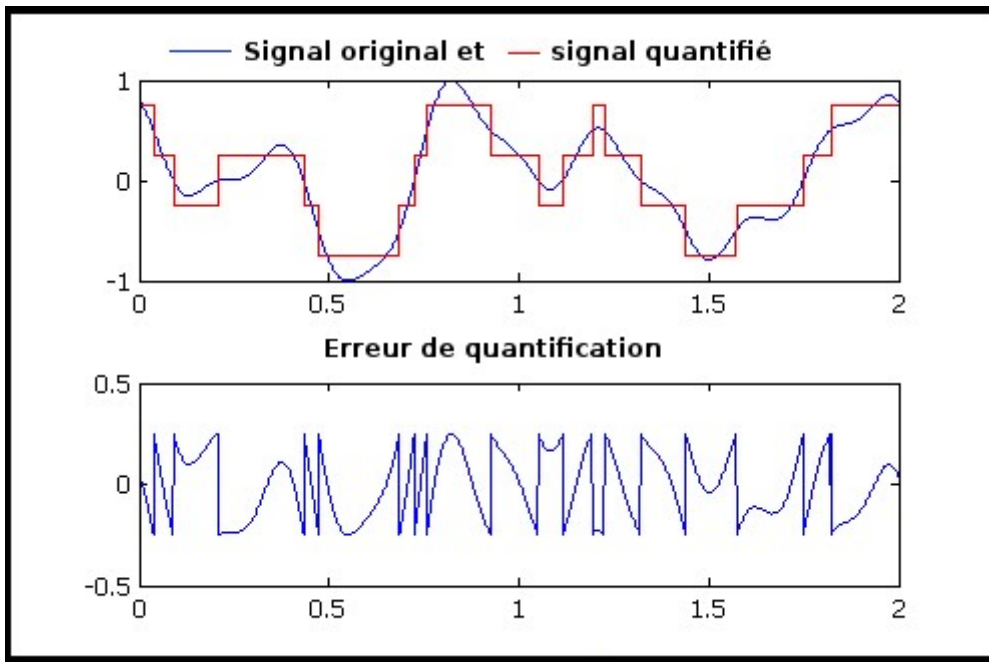


Figure 14. Exemple d'un bruit de quantification

C. Le codage :

Principe :

Le codage c'est la conversion en bit qui consiste à associer à chaque niveau de quantification une suite binaire, ci-dessous vous trouverez un exemple,

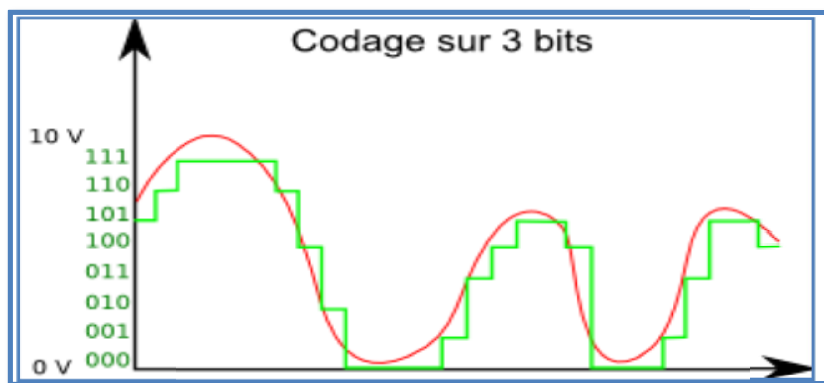


Figure 15 : Exemple de codage de 3 bits

Le bit :

Le terme bit (b avec une minuscule dans les notations) signifie « binary digit », c'est-à-dire 0 ou 1 en numérotation binaire. Il s'agit de la plus petite unité d'information manipulable par une machine numérique. Dans un nombre binaire, la valeur d'un bit, appelée poids, dépend de la position du bit en partant de la droite. À la manière des dizaines, des centaines et des milliers pour un nombre décimal, le poids d'un bit croît d'une puissance de deux en allant de la droite vers la gauche. Le bit de poids faible (en anglais least significant bit, ou LSB) est, dans le nombre binaire, le bit le plus à droite. Le bit de poids fort est celui le plus à gauche (en anglais most significant bit, ou MSB)

2.4.4 Le convertisseur analogique-numérique (CAN)

Un convertisseur analogique – numérique (CAN) est un dispositif électronique permettant la conversion d'un signal analogique en un signal numérique.

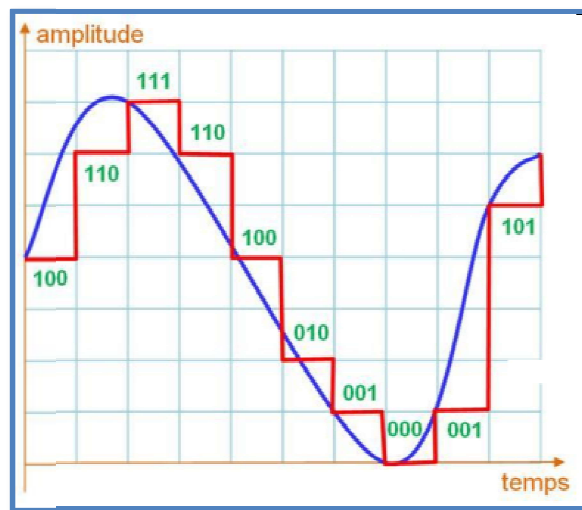


Figure 16: codage sur 3 bits d'un signal sinusoïdal

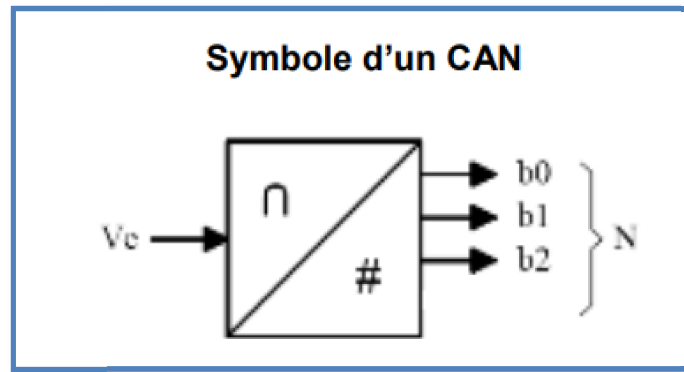


Figure 17 : symbole d'un CAN

Sur la gauche se trouve la tension d'entrée V_e , c'est une grandeur analogique (elle peut varier de façon continue entre une valeur minimale et une valeur maximale). Sur la droite, se trouve le mot numérique codé, dans cet exemple, sur 3 bits.

Le poids en octet :

Il est simple de calculer le poids en octet en connaissant le nombre d'échantillons par seconde (fréquence d'échantillonnage), la quantification, le temps de la séquence (en seconde) et le nombre de voies utilisées :

Le nombre N d'octets (ensemble de 8 bits) nécessaires pour « décrire » numériquement une minute de son est :

$$N = F * (Q / 8) * t * n$$

avec :

F : fréquence échantillonnage en Hz ;

Q : quantification en bits ;

t : le temps en seconde ;

n : nombre de voies (si le son est stéréo, $n = 2$; en mono : $n = 1$) ;

N s'exprime en octets.

L'octet:

L'octet (en anglais Byte ou B avec une majuscule dans les notations) est une unité d'information composée de 8 bits. Pour un octet, le plus petit nombre est 0 (représenté par huit zéros : 00000000), et le plus grand est 255 (représenté par huit chiffres « un » : 11111111), ce qui représente $256 (= 2^8)$ possibilités de valeurs différentes.

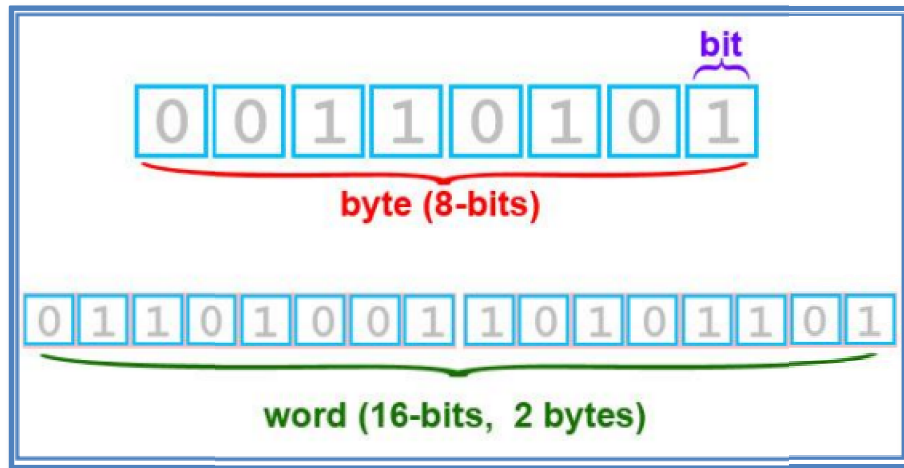


Figure 18 : L'octet

2.5 Conclusion :

Les avantages des systèmes numériques sont certains, nous avons donc présenté comment passer d'un signal analogique très fréquemment utilisé en un enregistrement numérique. C'est donc un convertisseur analogique numérique qui, à chaque instant, prélève la tension du signal, ce processus est appelé l'échantillonnage. Par la suite, ce convertisseur transforme la valeur de ce signal en données numériques, soit en 0 et en 1. L'utilisateur peut changer ces paramètres comme la fréquence d'échantillonnage ou le nombre de bits et peut ainsi faire varier la qualité de cette conversion. Il doit donc choisir un bon compromis pour que la qualité ne soit pas trop dégradée et que les données numériques ne prennent pas une place trop importante.

Chapitre 3 : Descriptions de la plateforme et détails techniques :

3.1 Introduction :

La simulation des systèmes de communication est un moyen efficace pour évaluer les performances. Il existe plusieurs logiciels de simulation numérique, dans ce projet nous avons utilisé Matlab, afin de créer une interface graphique dans le but de la conversion analogique numérique.

3.2 Le langage de programmation utilisé :

Il existe plusieurs langages de programmation permettant de réaliser des interfaces graphiques GUI, parmi les langages utilisés le langage python, Java et Matlab,

Nous avons envisagé d'utiliser le langage ou l'outil puissant Matlab afin de développer notre plateforme, nous avons donc défini que le Matlab serait le plus approprié en fonction du :

- Le plus utilisé durant le cursus de notre parcours universitaire donc le plus abordable aux étudiants ;
- Disponibilité de la documentation ;
- Dispose des prérequis d'installation matériel abordable par les étudiants ;
- Figure dans le quadrant des leaders mondiaux pour la deuxième année consécutive, MATLAB® est la plateforme pour l'ingénierie de l'IA en entreprise.



Figure 19 : Mathworks Editeur Matlab figure parmi les Leaders du Magic Quadrant 2021 de Gartner.

Simulink :

Afin de concevoir notre système dans un environnement de simulation nous avons utilisé MATLAB et Simulink ensemble afin de combiner la programmation textuelle et graphique,

Simulink est l'extension graphique de MATLAB permettant de représenter les fonctions mathématiques et les systèmes sous forme de diagramme en blocs.

Simulink c'est un outil de modélisation et de simulation du comportement des systèmes. Il s'agit d'un outil très puissant utilisé en bureau d'étude, il permet entre autres :

- ✓ D'établir (dessiner) le modèle du système (ou d'une de ses fonctions) en utilisant les "blocs" présents en librairie.
- ✓ De Placer des sources de signaux aux "entrées" du modèle.
- ✓ De Placer des "instruments de visualisation" en sortie du modèle.
- ✓ De Paramétrer et lancer la simulation du fonctionnement du modèle.
- ✓ D'observer les résultats à l'aide des "instruments de visualisation".

3.2.2 Interface graphique GUI:

3.2.2.1 Elaboration d'une interface graphique GUI :

1 L'interface graphique GUI :

Le GUI est un affichage graphique dans une ou plusieurs fenêtres permettant à l'utilisateur de réaliser des tâches interactives.

Un exemple d'interface interactive est présenté ci-dessous qui est une capture d'écran. L'utilisateur utilise des boutons qui sont situés à gauche de l'écran pour activer certains traitements ou ajuster les paramètres via l'interface.

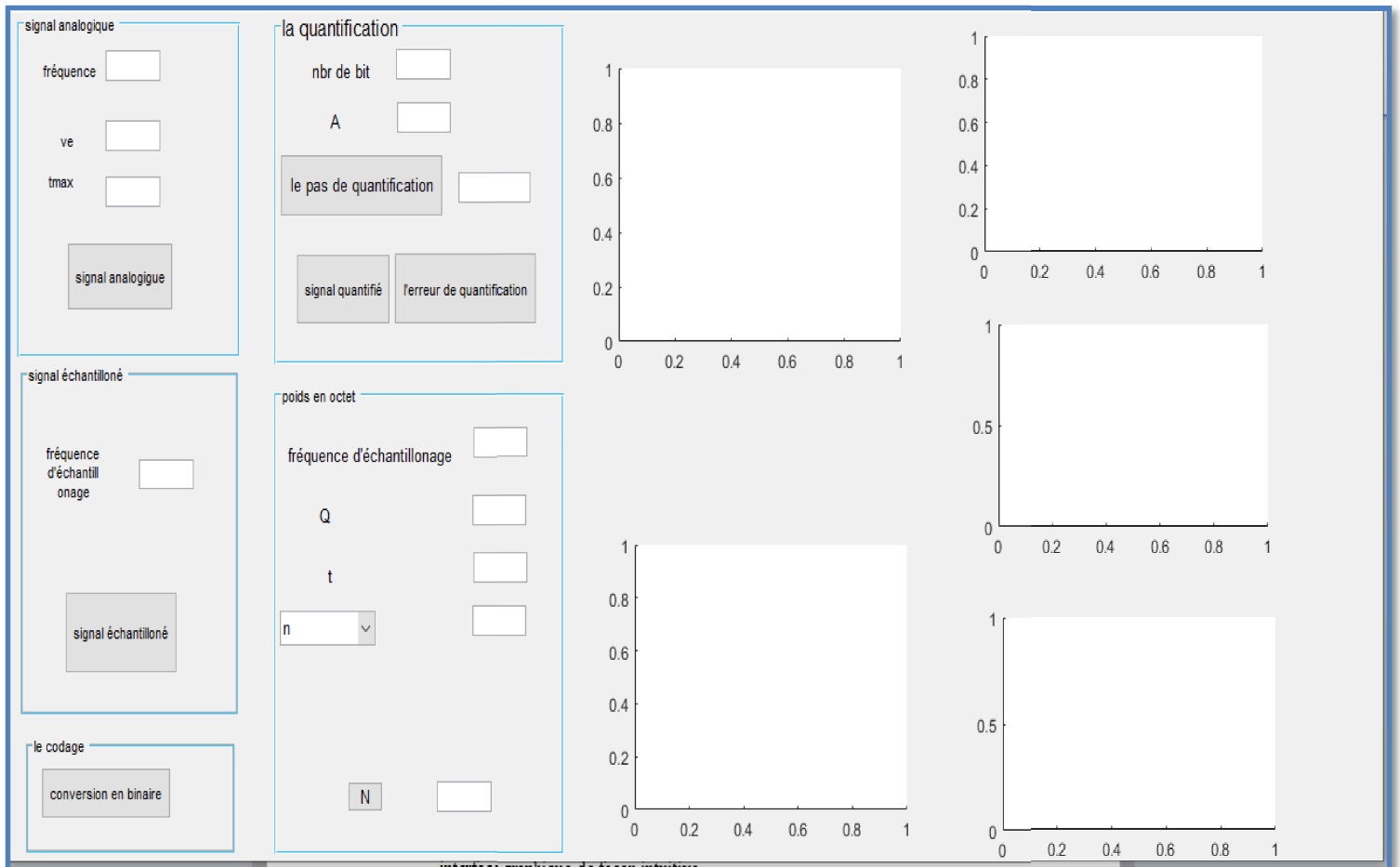


Figure 20 :L'interface graphique GUI.

2 Le programme Guide :

Le programme permettant de réaliser une interface graphique (un GUI) est le GUIDE. Il regroupe tous les outils dont le programmeur a besoin pour créer cette interface graphique de façon intuitive.

Il s'ouvre, soit en cliquant sur l'icône de la barre d'outils Matlab, soit en tapant la commande "guide" dans la fenêtre de commande Matlab. L'interface qui s'ouvre alors est présentée figure 21 Elle est divisée en 3 parties :

- A. Une barre d'outils,
- B. Une palette de composants,
- C. Un plan de disposition.

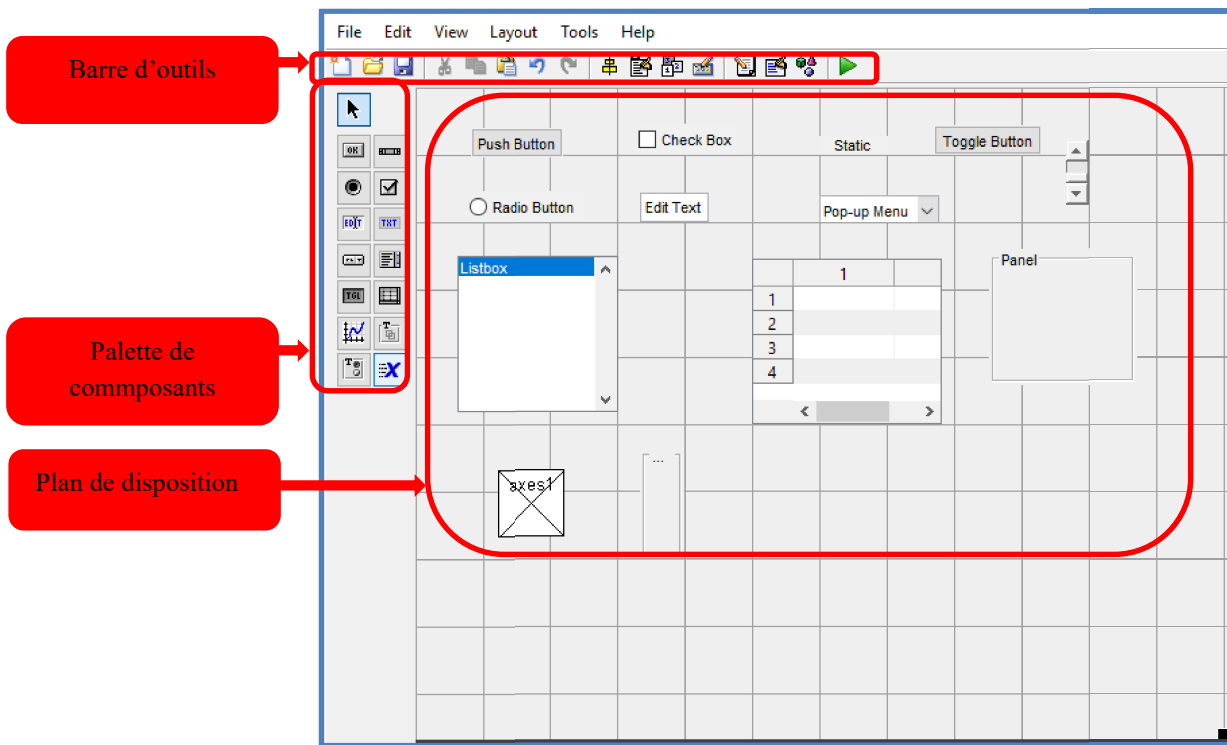


Figure 21 : Interface GUIDE.

A. La barre d'outils :

La barre d'outils permet entre autres :

- ✓ d'aligner les composants dans le plan de disposition,
- ✓ D'ouvrir un explorateur contenant les composants présents dans le plan de disposition,
- ✓ D'ouvrir un inspecteur de propriété qui permet de modifier les paramètres d'un composant,

- ✓ De sauvegarder le GUI réalisé.

Lors du premier enregistrement, le GUIDE crée :

- ✓ un fichier **.fig** qui contient la définition des objets (position, propriétés),
- ✓ un fichier **.m** qui contient les lignes de code qui assurent le fonctionnement de l'interface graphique,
- ✓ Une structure handles où sont stockés les identifiants des composants et du plan de disposition du GUI. Cette structure est aussi utilisée par le programmeur pour stocker, récupérer ou modifier des variables nécessaires à la réalisation du programme. Cette structure est envoyée comme argument d'entrée dans chaque callback.

B. La palette de composants :

L'interface du GUIDE permet de manipuler facilement les composants dans le plan, nous avons utilisés les composants suivants :

- ✓ **Push Button** : bouton poussoir permettant à l'utilisateur de déclencher une action,
- ✓ **Static Text** : texte ne pouvant être modifié par l'utilisateur,
- ✓ **Edit Text** : texte ou nombre pouvant être modifié par l'utilisateur,
- ✓ **Pop-up Menu** : liste déroulante permettant à l'utilisateur de choisir une option dans la liste,
- ✓ **Axes** : permet l'affichage graphique des résultats,
- ✓ **Panel** : permet de grouper plusieurs composants.

C. Un plan de disposition :

C'est le plan sur lequel seront disposés les différents composants. Il constitue l'interface graphique GUI qui sera présentée à l'utilisateur. Le plan de disposition en lui-même possède un inspecteur de propriétés au même titre que les composants (l'inspecteur de propriétés est expliqué plus en détail au paragraphe Cité ci-dessous « L'inspecteur de propriétés et le callback : »).

Pour le plan de disposition de l'interface est présenté figure 22. Il comprend un certain

Nombre de boutons et 5 axes où seront affichés les graphes.

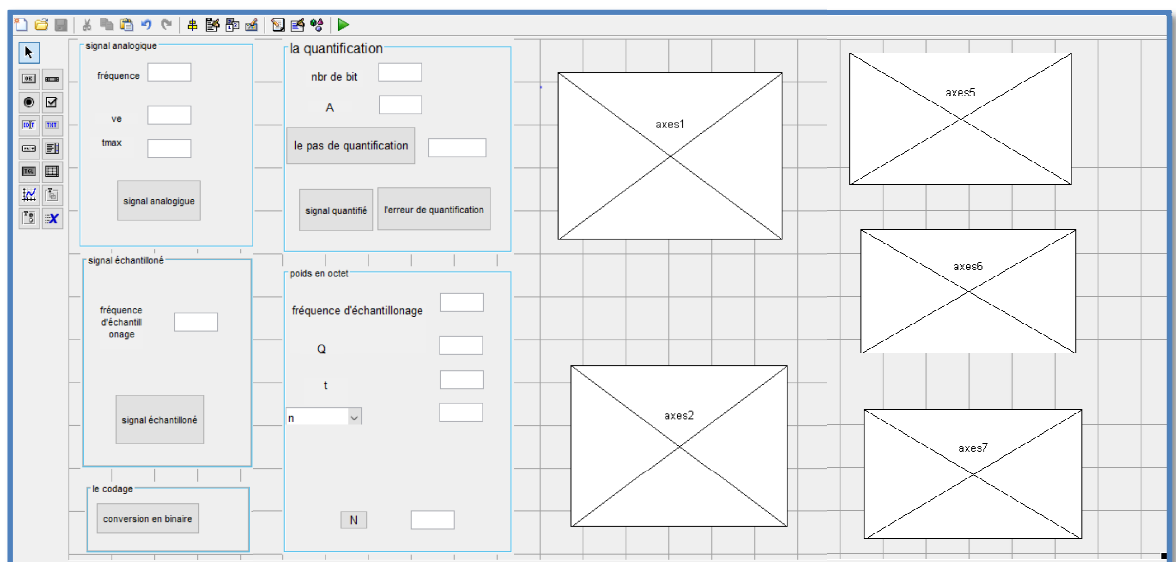


Figure 22 : plan de disposition.

L'inspecteur de propriétés et le callback :

Chacun de ces composants ainsi que le plan de disposition possèdent un inspecteur de propriétés obtenu par clic droit "Property Inspector" ou par double clic sur le composant ou plan de disposition. C'est au travers de cet inspecteur que sont définies les propriétés, les données et les actions relatifs au composant sélectionné. Un exemple d'inspecteur de propriétés du Push Button est présenté figure 23.

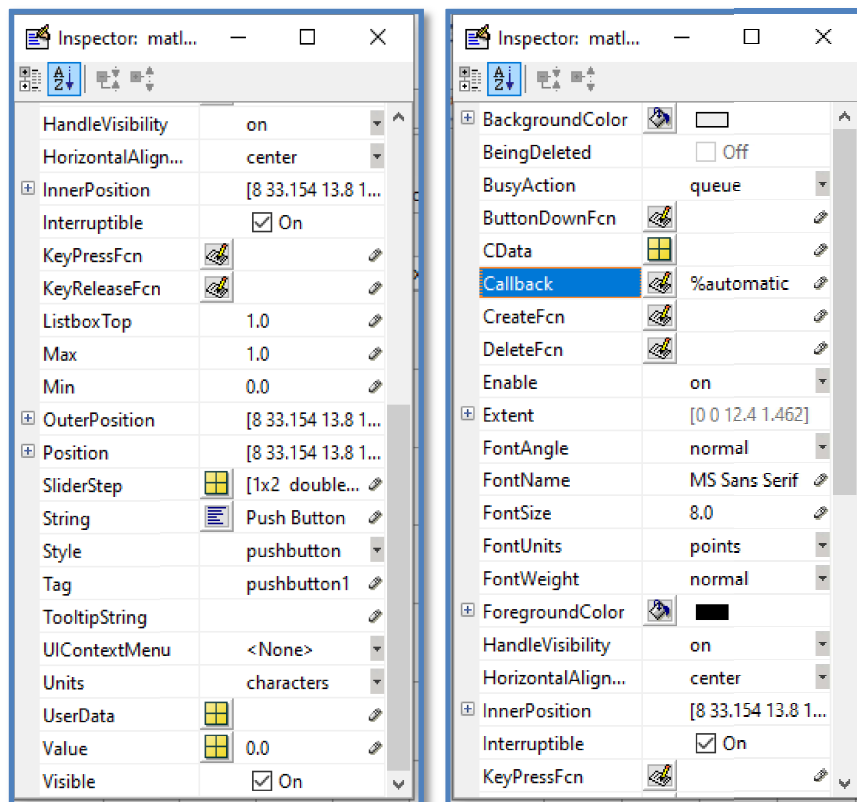


Figure 23 : inspecteur de propriété du Push Button Mapping

Parmi ces propriétés, les plus importantes concernant l'interaction avec l'utilisateur sont les callbacks. Quand un évènement est généré par l'utilisateur (click sur la souris, activation d'une touche...), le logiciel Matlab fait appel au callback lié à cet évènement et exécute le code défini par le programmeur qui y est associé. Il existe vingt types de callback qui sont disponibles en fonction du type de composant choisi. Pour le Push Button de l'exemple figure xx, il en contient cinq types qui sont :

- **ButtonDownFcn** : s'exécute lors de l'appui sur un bouton de la souris alors que le pointeur de la souris est sur un composant ou une figure ;
- **Callback** : s'exécute, par exemple, lorsque l'utilisateur clique sur un Push Button, sélectionne un Radio Button, choisit une option d'un Pop-up Menu...
- **CreateFunction** : s'exécute entre la création du composant et son affichage ;
- **DeleteFunction** : s'exécute juste avant la destruction du composant ;
- **KeyPressFunction** : s'exécute lorsque l'utilisateur appuie sur une touche du clavier tout en ayant le focus sur ce composant. Chaque callback est défini comme une fonction prenant trois arguments en entrée :
 - **hObject** : nombre correspondant à l'identifiant du composant dont le callback dépend,
 - **eventdata** : structure contenant les données des événements générés par le composant ou le plan de disposition (pour les Push Button et autres composants qui ne génèrent aucune donnée d'événement, cet argument contient une matrice vide). Par exemple, le callback KeyPressFcn associé au plan de disposition permet de connaître la touche du clavier activée par l'utilisateur, sa valeur (a, b, c,...x, y, z, return...) est alors mémorisée dans la structure eventdata. Il est ainsi possible d'utiliser ces données pour effectuer des actions.
 - **handles** : structure des identifiants et des variables du programme, elle peut être modifiée et mis à jour si nécessaire (voir paragraphe 4.2.2.1). Un exemple de callback du Push Button "x" est présenté en annexe x. Les autres propriétés concernent la mise en forme et la gestion du composant. Les principales pour le Push Button de l'exemple figure x sont :
 - **BackgroundColor** : permet de définir une couleur d'arrière-plan ;
 - **CData** : permet d'insérer une image sur le composant ;
 - **FontAngle**, **FontName**, **FontSize**, **FontUnits**, **FontWeight** et **ForegroundColor** : permettent la mise en forme du texte ;
 - **Position** : définit la position du composant sur le plan de disposition ;
 - **String** : permet d'insérer du texte ;
 - **Style** : définit le type de composant (Push Button, Edit Text...) ;
 - **Tag** : label qui est utilisé dans le nom donné aux callbacks lorsqu'ils sont générés dans le fichier .m ;
 - **UserData** : données stockées par l'utilisateur qui n'est pas utilisé par Matlab mais qui peuvent être récupérées ou modifiées à l'aide de commandes spécifiques ;
 - **Visible** : permet de définir si le composant sera visible ou pas.

3.3 Réalisation du GUI :

3.3.1 Le développement détaillé de notre GUI :

La figure 24 est extraite de L'interface graphique de TP. Cette figure se décompose en plusieurs zones définies au moyen du composant Panel, ces zones comprennent :

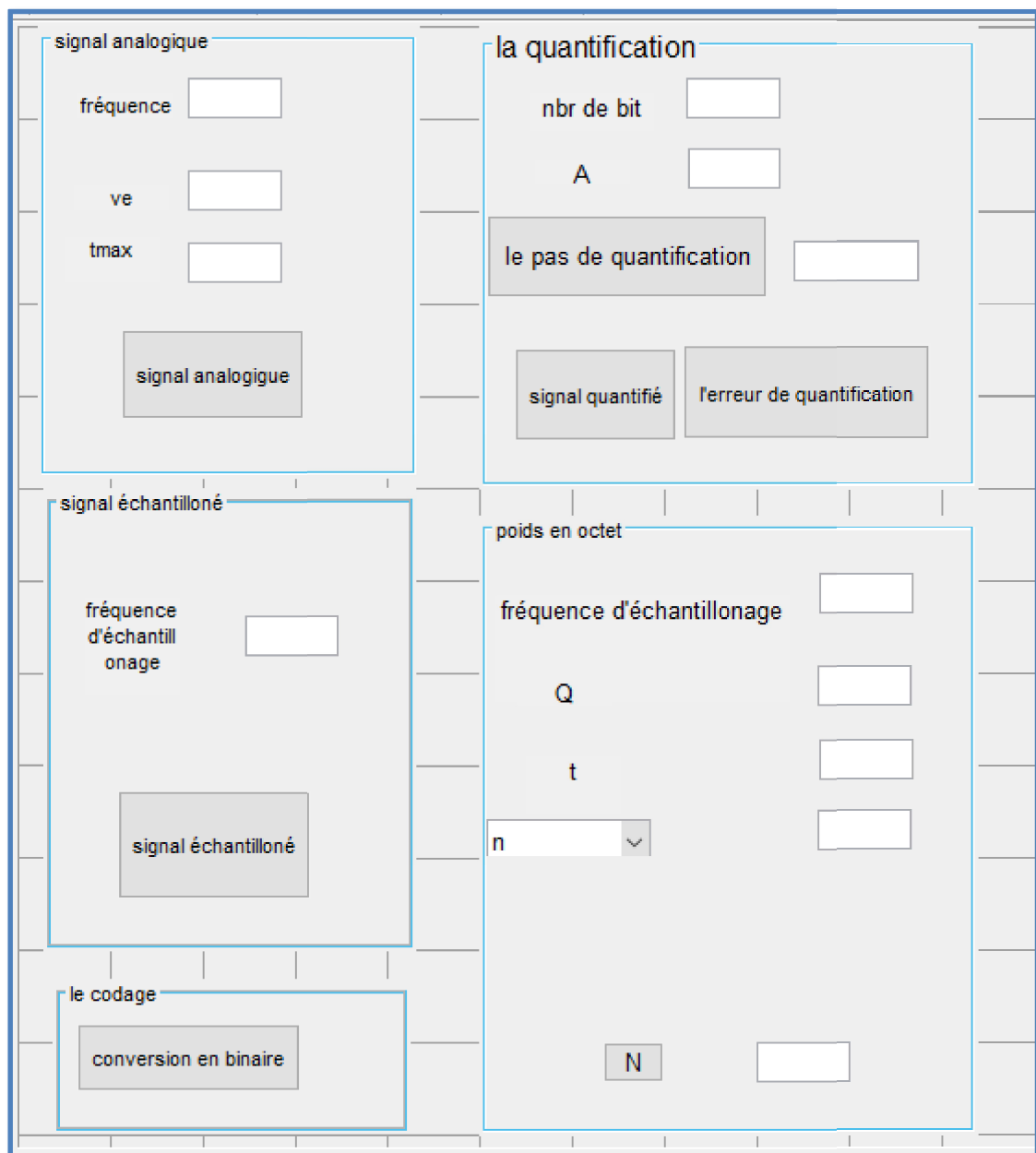


Figure 24. Zones définies au moyen du composant Panel.

1. Le Panel « signal analogique » qui permet de créer un signal analogique à partir le choix de la fréquence et la valeur efficace. Ce Panel présenté par la figure 25 comprend :

— un Edit Text dans lequel l'utilisateur définit la fréquence du signal analogique.

— un Edit Text dans lequel l'utilisateur définit la valeur du signal analogique.

— Edit Text dans lequel l'utilisateur définit la valeur maximale du temps.

— un Push Button « signal analogique » qui permet d'afficher le signal analogique qui fait appel à un script Matlab , qui en introduisant les valeurs de fréquence du signal « fréquence » ,la valeur efficace « V_e »,et la valeur maximale du temps « tmax » permet de tracer un sinussoïde qui représente notre signal analogique .

— un Axes (axes1) dans lequel l'utilisateur afficher la sinussoïde de notre signal analogique.

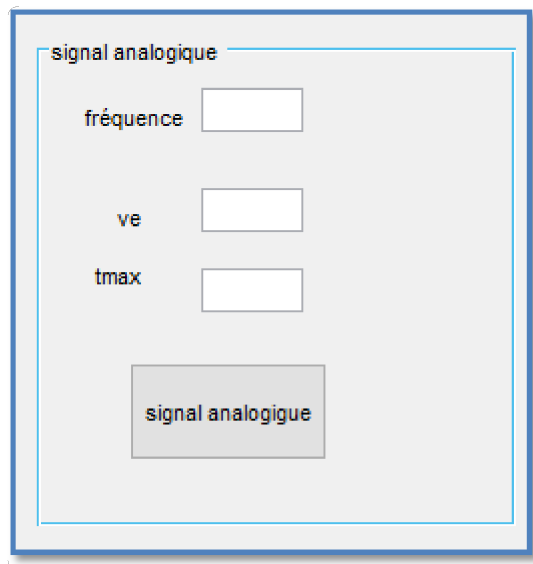


Figure 25 : signal analogique.

2. Le Panel « signal échantillonnée » qui permettent d'avoir le signal échantillonnée à partir le choix de la fréquence d'échantillonnage. Ce Panel présenté par la figure 26 comprend :

— un Edit Text dans lequel l'utilisateur définit la fréquence d'échantillonnage.

— un Push Button « signal échantillonnée » qui permet d'afficher le signal échantillonné qui fait appel à un script Matlab, qui en introduisant la valeur de la fréquence d'échantillonnage permet de tracer un sinussoïde qui représente notre signal échantillonné

—un Axes (axes2) dans lequel l'utilisateur affiche la sinusoïde de notre signal échantillonné.

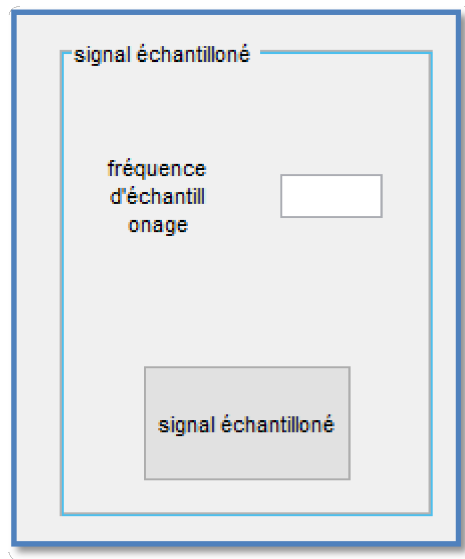


Figure 26 : signal échantillonné

3. Le Panel « quantification », qui permet d'avoir le signal quantifié à partir du choix du nombre de bit et calculer le pas de la quantification. Ce Panel présenté par la figure 27 comprend :
 - un Edit Text dans lequel l'utilisateur définit le nombre de bit. « nbr de bit ».
 - un Edit Text dans lequel l'utilisateur définit la valeur maximum « A ».
 - un Push Button « pas de quantification » qui fait appel à un script Matlab qui permet de calculer le pas de quantification.
 - un Edit Text qui permet d'afficher le pas de la quantification.
 - un Push Button « signal quantifiée » qui fait appel à un script Matlab qui permet de dessiner le signal quantifiée.
 - un Push Button « l'erreur de quantification » qui fait appel à un script Matlab qui permet de dessiner le signal de l'erreur de quantification.

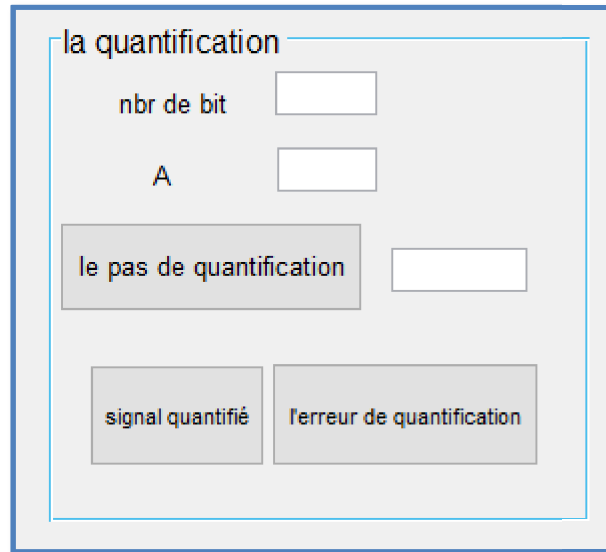


Figure 27 : la quantification.

4. le Panel « codage » qui permet d'avoir le signal analogique en version binaire. Ce Panel présenté par la figure 28 comprend :
- un Push Button « conversion en binaire » qui fait appel à un script Matlab qui permet de dessiner le signal analogique en version binaire.

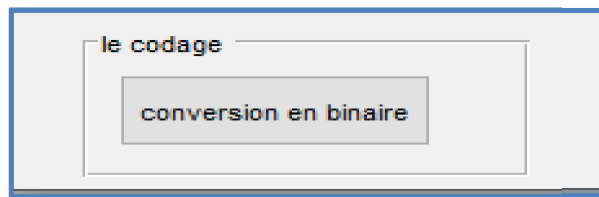


Figure 28 : le codage.

5. le calcul du poids en octet (poids en octet) qui permettent d'avoir le poids en octet N d'après le choix de : le temps en seconde (t), la quantification en bits (Q), fréquence d'échantillonnage en Hz (fréquence échantillonnage), nombre de voies (n) si le son est stéréo, $n=2$; en mono : $n=1$. . Ce Panel présenté par la figure 29 comprend :
- un Edit Text dans lequel l'utilisateur définit la fréquence d'échantillonnage.
 - un Edit Text « Q » dans lequel l'utilisateur définit la quantification.
 - un Edit Text « t » dans lequel l'utilisateur définit le temps.
 - un Pop-up Menu pour choisir le nombre de voies qui fait appel à un script Matlab, qui en introduisant la valeur $n=1$ si le signal est en mono et $n=2$ si le signal es stéréo.

— un Push Button « N » qui permet de calculer le poids en octet qui fait appel à un script Matlab, qui en introduisant les valeurs précédentes permet d'avoir notre calcul et l'afficher dans un Edit Text.

The image shows a MATLAB GUI window titled "poids en octet". Inside the window, there are several input fields and a button. The labels and their corresponding input fields are as follows:

- "fréquence d'échantillonnage" with a text input field.
- "Q" with a text input field.
- "t" with a text input field.
- "n" with a dropdown menu.
- A button labeled "N".
- An empty text input field, likely for the output of the calculation.

Figure 29 : poids en octet

3.4 L'organigramme du GUI :

L'organigramme ou logigramme ou diagramme est un outil d'analyse qui permet de représenter de façon ordonnée et séquentielle. Il est constitué d'un ensemble de symboles relié par des flèches. Chaque symbole représente un événement ou une tâche et la flèche matérialise la relation d'antériorité ou de succession entre deux tâches consécutives.


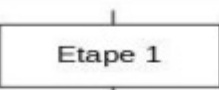
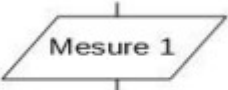
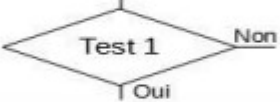



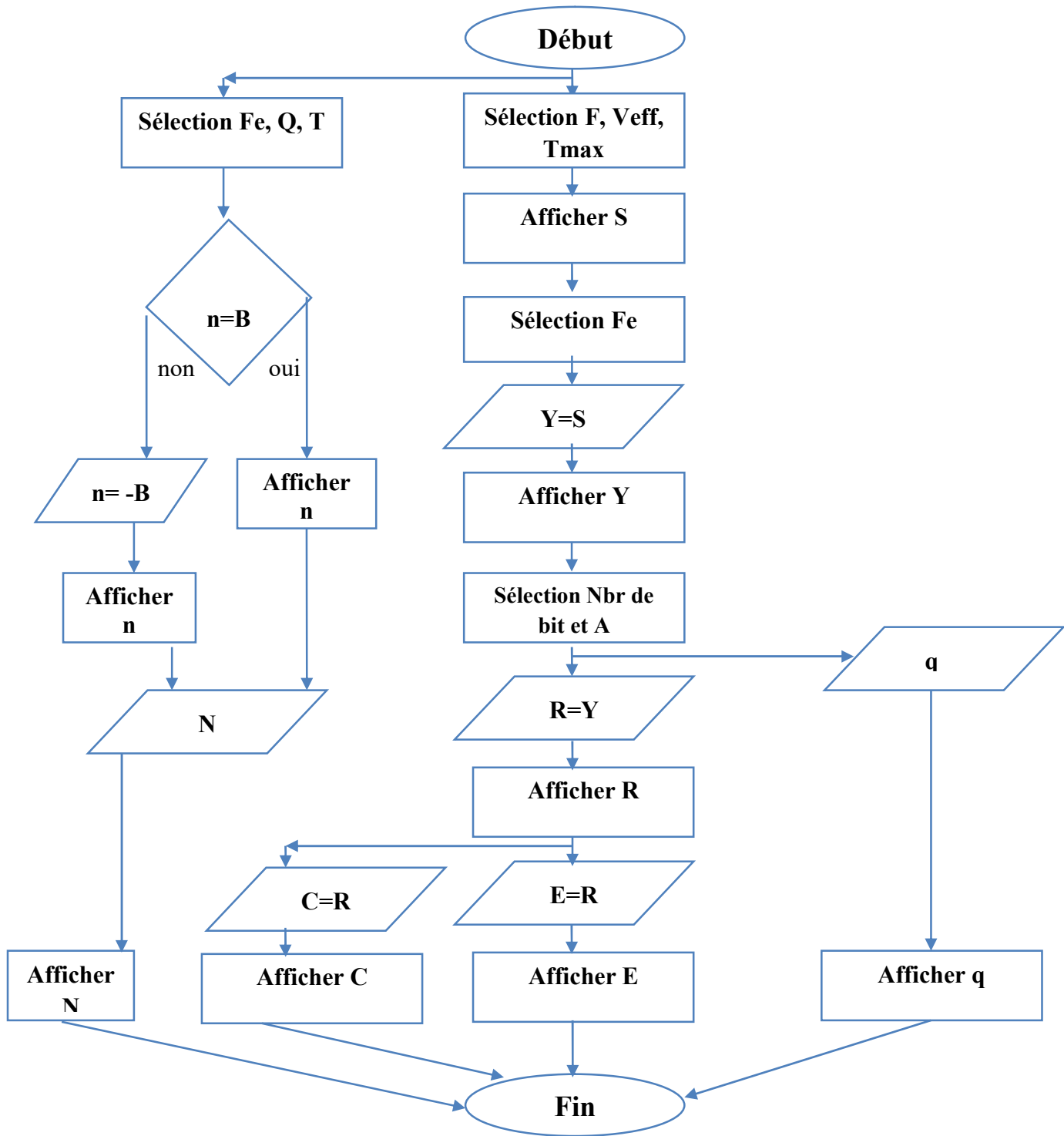
Symbole	Désignation
	Début ou fin d'un programme, d'un automatisme.
	Etape, opération, instruction , etc. ou opération pour laquelle il n'existe pas de symbole.
	Entrée ou Sortie , mesure, information capteur, ...
	Test, condition Décision d'un choix en fonction de la condition
	Sous-programme Appel d'un sous-programme
	Commentaire
	Liaison Les différents symboles sont reliés par des liaisons. Le cheminement va de haut en bas et de gauche à droite.

Figure 30 : Symbole de logigramme.



Où :

S : signal analogique.

q : le pas de quantification.

Y : signal échantillonné.

n : nombre de vois.

R : signal quantifié.

B : stéréo.

E : l'erreur de quantification.

- B : mono.

C : le codage.

N : le poids en octets .

3.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous allons rappeler ce qu'est une interface graphique GUI du logiciel MATLAB et nous décrivons la conception de notre GUI qui nous permettons de convertir un signal analogique à un signal numérique.

Chapitre 4 : implémentation et résultats du GUI :

4.1 Introduction :

Afin de mettre en œuvre le système, nous avons conçu chaque élément de l'architecture du système en créant une plateforme de simulation conçue dans Matlab, et ce en quatre étapes : mise en œuvre, simulation, test et discussion des résultats.

4.2 L'étude des valeurs théoriques du TP :

4.2.1 Calcule du temps d'acquisition d'un signal :

Pour traiter et visualiser un spectre d'un signal sinusoïdal de fréquence F avec le MATLAB pour pouvoir l'analyser, il est conseillé de visualiser un nombre de périodes du signal limité. À cet effet, nous devons choisir le nombre de point d'échantillons souhaités afin d'obtenir le temps d'acquisition (τ).

La formule du temps d'acquisition est : $\tau = N/F$.

τ : le temps d'acquisition ;
N : le nombre de point d'échantillons ;
F : la fréquence du signal ;

Exemple :

Si on prend un signal sinusoïdal de fréquence 500 Hz et le nombre de point d'échantillons souhaités est 10 échantillon. On obtient le temps d'acquisition

$$\tau = 0.02 \text{ s.}$$

4.2.2 Calcul de l'amplitude d'un signal (signal sinusoïdal) :

L'amplitude d'un signal sinusoïdal est égale à la valeur efficace du signal multipliée par $\sqrt{2}$

Si on prend une valeur efficace (V_{eff}) égale à 5, on obtient une amplitude de valeur $A=7.07$.

$$A = V_{eff} \cdot \sqrt{2}$$

V_{eff} = la valeur efficace.

A = l'amplitude.

4.2.3 Calcul de la fréquence d'échantillonnage :

- Lors de la phase d'échantillonnage, il y a risque de perte d'information. Claude E. Shannon a donné une condition pour ne pas perdre d'information dans un signal (théorème de Shannon) :

- La fréquence d'échantillonnage doit être au moins égale au double de la fréquence maximale du signal analogique : $F_e \geq 2 \times F_{max}$

- La distance entre deux échantillons se traduit par : $T_e \leq 1 / (2 \times F_{max})$

Si on prend un signal sinusoïdal de fréquence 500 Hz d'après le théorème de Shannon la fréquence d'échantillonnage doit être $F_e \geq 2 \times 500$ donc $F_e \geq 1000$ Hz

4.2.4 Le Calcul du pas de la quantification :

Le pas de la quantification (q) correspond à la plus petite variation de tension que le convertisseur peut coder.

La formule du pas de la quantification (q) : $q = \frac{2 \times V}{2^n}$

V : la tension maximum.

n : nombre de la quantification en bit.

Exemple :

Si on prend un signal sinusoïdal de fréquence 500 Hz, de valeur efficace 3 et le nombre **nombre de la quantification en bit $n=5$.**

On obtient le pas de la quantification $q=0.2651$.

4.3.5 Le Calcul du poids en octets :

Le nombre N d'octets nécessaires pour "décrire" numériquement un son est :

$$N = F \times Q / 8 \times t \times n$$

Avec F : fréquence échantillonnage en Hz, Q : quantification en bits, t : la durée du son et n : nombre de voies (si le son est stéréo, n = 2 ; en mono : n = 1). N s'exprime en octet.

Exemple :

On détermine le nombre d'octet nécessaires pour une minute d'en CD audio (44,1 kHz et 16 bits, stéréo). $N = 44\,100 \times 16 \times 8 \times 60 \times 2 = 10\,584\,000$ octets = $10\,584\,000 / 1024 = 10\,335$ kio = $10\,335 / 1024 = 10,9$ Mio

4.3 Test de la plateforme et Interprétation des résultats :

4.3.1 Le temps d'acquisition d'un signal analogique :

À l'aide de notre GUI développée, on veut réaliser un signal sinusoïdal de fréquence 500 HZ qui l'on peut étudier à partir de faire le choix du temps d'acquisition.

1 er cas : grande valeur du temps d'acquisition : on prend une valeur du temps d'acquisition supérieure à la valeur théorique calculée au paragraphe [4.2.1].

Tmax= 100 s

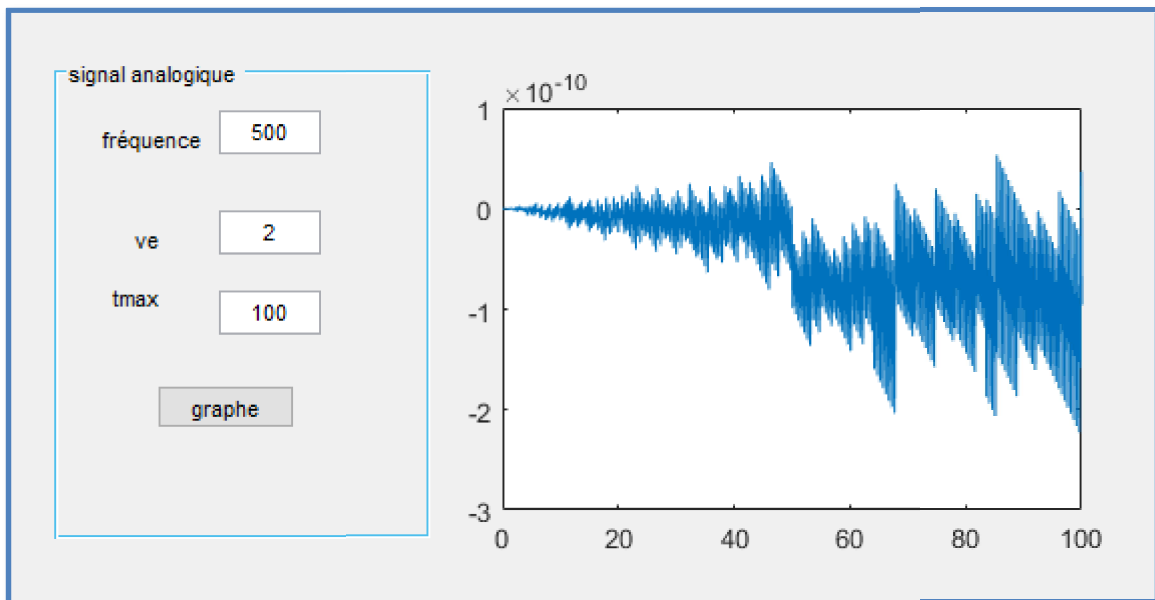


Figure 31 : un signal analogique avec une grande valeur du temps d'acquisition

2 er cas : faible valeur du temps d'acquisition : on prend une valeur du temps d'acquisition inférieure à la valeur théorique calculée au paragraphe [4.2.1].

Tmax= 0.0001 s

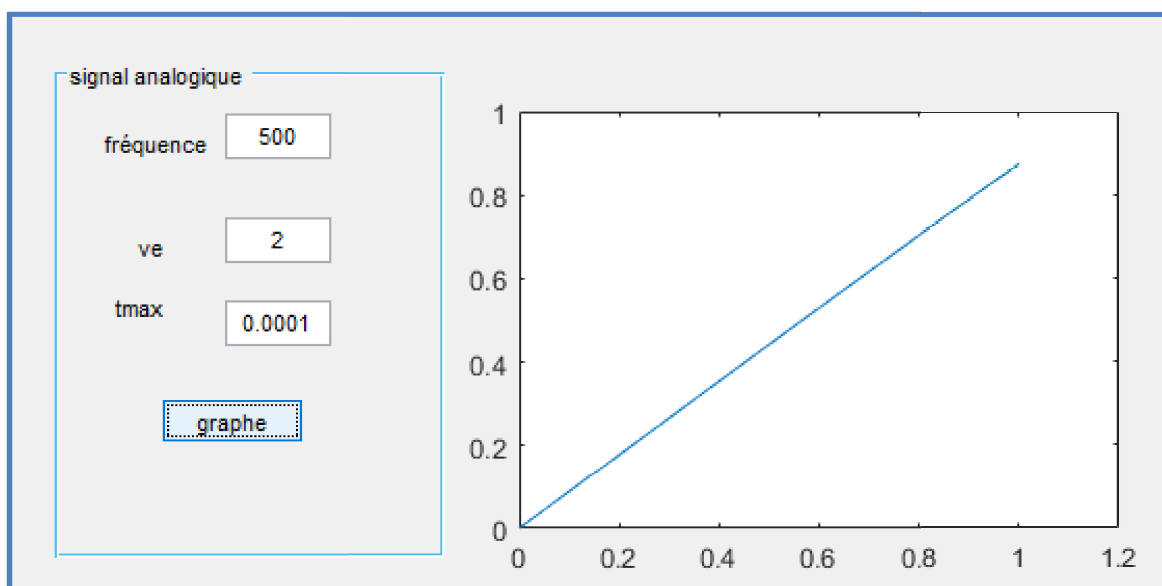


Figure 32 : un signal analogique avec une faible valeur du temps d'acquisition

3^{er} cas : convenable valeur du temps d'acquisition : on prend une valeur du temps d'acquisition égale à la valeur théorique calculée au paragraphe [4.2.1].

Tmax= 0.02 s

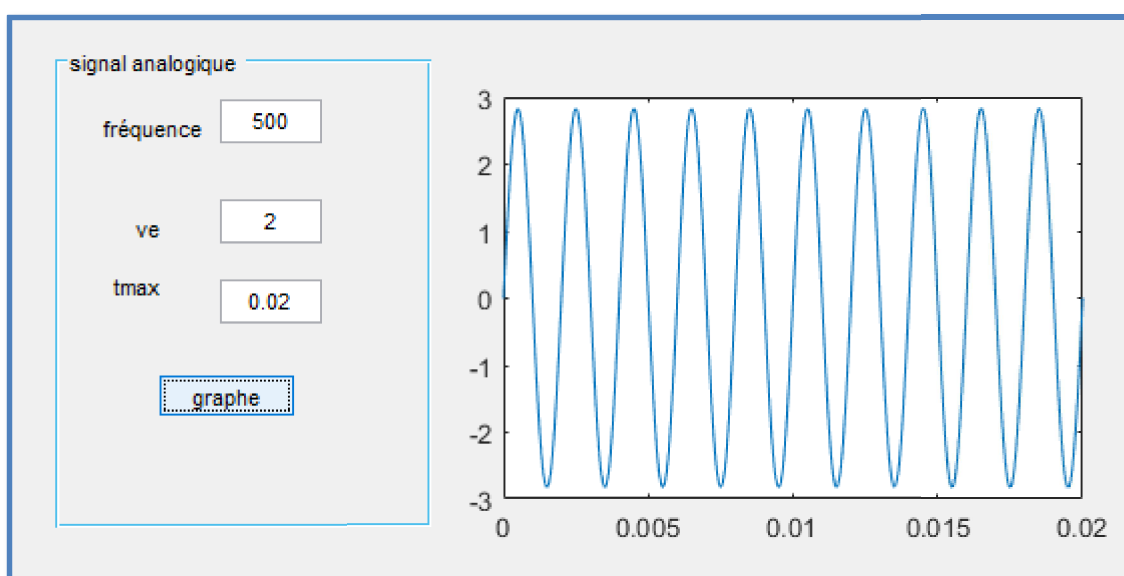


Figure 33 : un signal analogique avec une convenable valeur du temps d'acquisition

Interprétation des résultats :

On observe sur l'axe 1 de la figure 30 que le spectre du signal obtenu après la sélection du temps d'acquisition plus grand que la valeur étudiée est un spectre qui ressemble à un signal de bruit non étudiable aussi pour l'axe 1 de la figure 31 avec une sélection du temps d'acquisition plus faible de la valeur étudiée est un spectre du signal qui ressemble à une ligne droite. Par contre, sur l'axe 1 de la figure 32 on obtient un signal sinusoïdal étudiable grâce à sélection du temps d'acquisition égale à la valeur étudiée .

4.3.2 L'amplitude d'un signal (signal sinusoïdal) :

À l'aide de notre GUI développée, on veut réaliser un signal sinusoïdal de fréquence 500 HZ, de valeur efficace 5 et de temps d'acquisition égale à 0.02, et visualisé l'amplitude du signal.

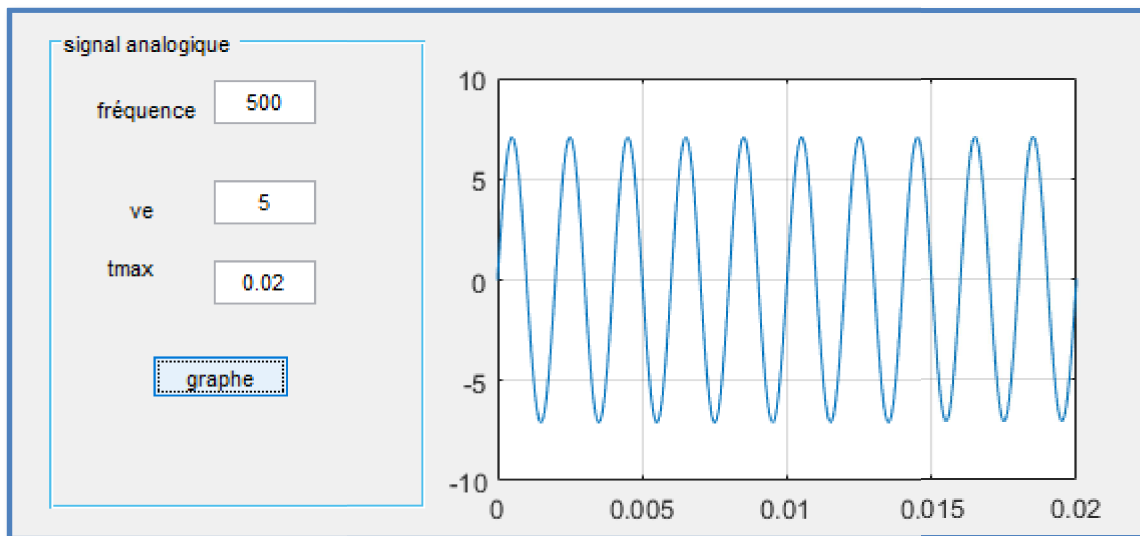


Figure 34 : l'amplitude.

Interprétation des résultats On observe sur l'axe 1 de la figure 33 que la valeur de l'amplitude du signal sinusoïdal est identique avec la valeur théorique calculée dans le paragraphe [4.2.2]. on constate que notre GUI développée respecte la loi de l'amplitude d'un signal.

4.3.3 La fréquence d'échantillonnage : à l'aide de notre GUI développée on va échantillonner un signal sinusoïdal de fréquence 500 Hz.

1 er cas : faible fréquence d'échantillonnage : on prend une valeur de fréquence d'échantillonnage inférieure à la valeur théorique calculée au paragraphe [4.2.3].

$$F_e = 600 \text{ Hz}$$

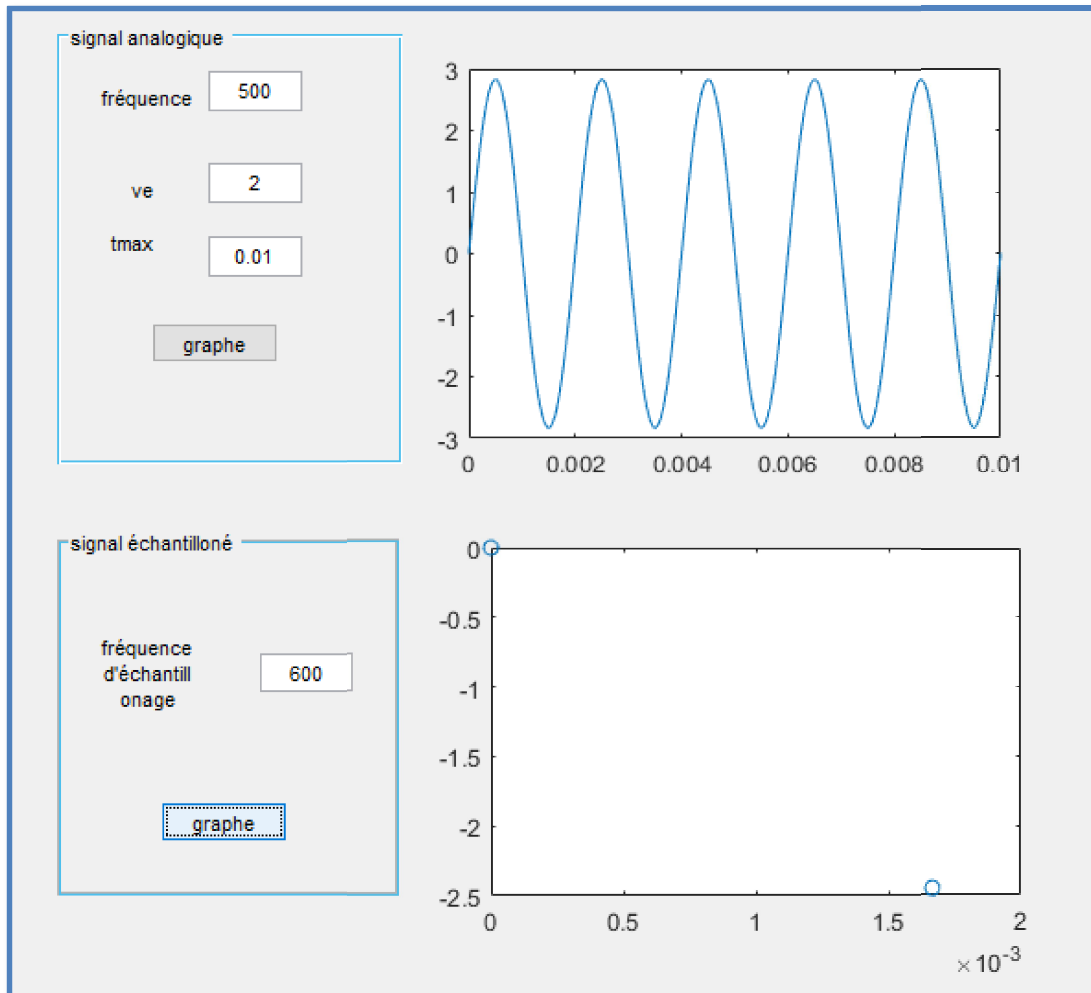


Figure 35 : faible fréquence d'échantillonnage.

. 2 ème cas : grande fréquence d'échantillonnage : on prend une valeur de fréquence d'échantillonnage supérieure à la valeur théorique calculée au paragraphe [4.2.3].

$$F_e = 20 \text{ KHz.}$$

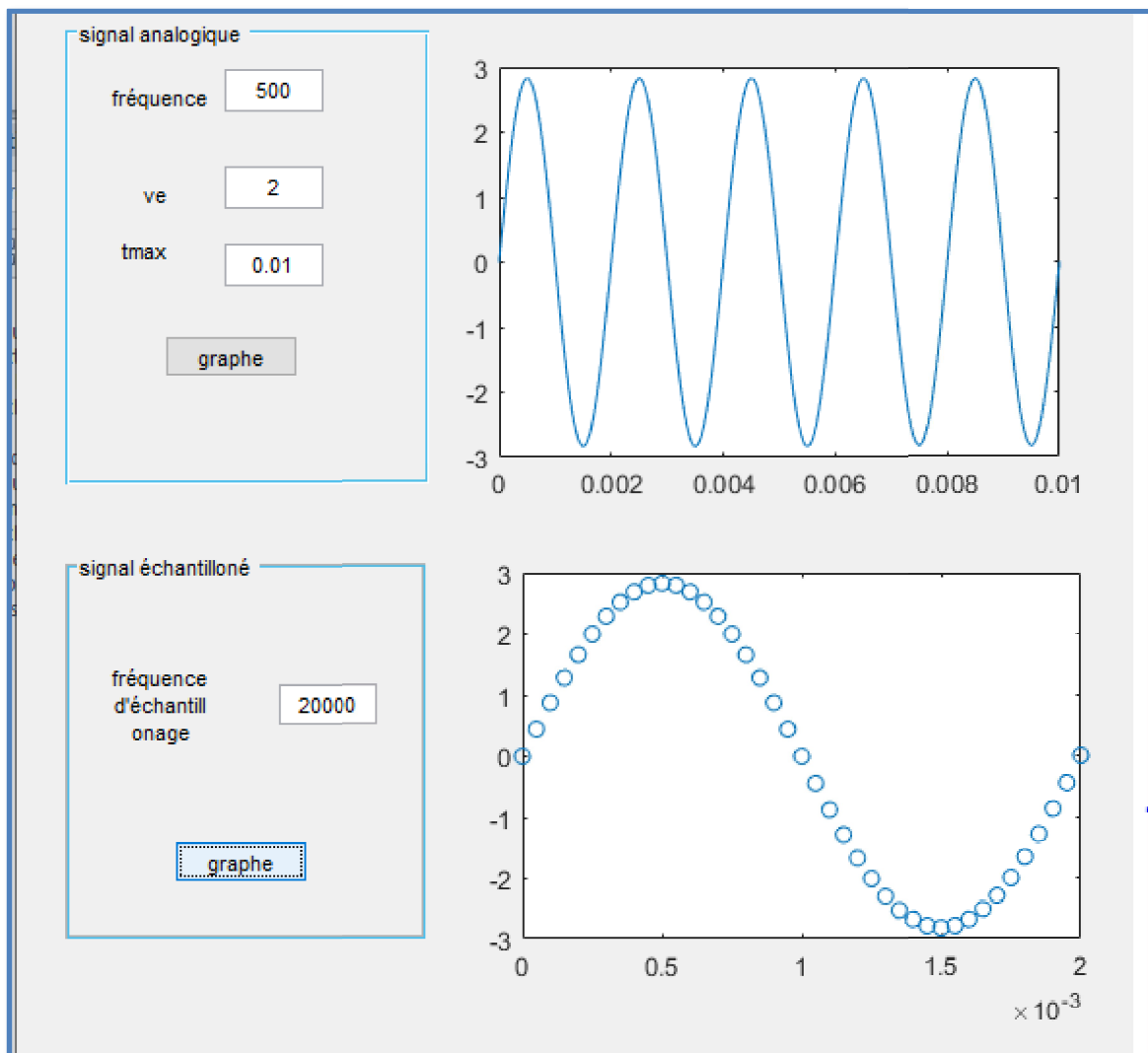


Figure 36: grande fréquence d'échantillonnage.

Interprétation des résultats

On observe sur l'axe 2 de la figure 34, le nombre d'échantillons total est deux points et cette numérisation n'est pas convenable au signal analogique. Par contre sur l'axe 2 de la figure 35 le signal le nombre d'échantillons total est plus de 40 échantillons et cette numérisation est convenable.

On conclure Pour numériser un signal, il faut que la fréquence d'échantillonnage soit au moins deux fois supérieure à la fréquence du signal à numériser et Plus la fréquence d'échantillonnage sera grande, plus le nombre d'échantillons sera grand, plus le signal numérique « collera » au signal analogique et donc meilleure sera la numérisation.

4.3.4 Le pas de la quantification :

À l'aide de notre GUI développée, on va calculer le pas de quantification, on prend l'exemple dans la partie [4.2.4], un signal sinusoïdal de fréquence 500 Hz, de valeur efficace 3 et le nombre **de la quantification en bit n=5**.

Le résultat de la valeur du pas de la quantification q obtenu est mentionné sur la figure ci-dessous :

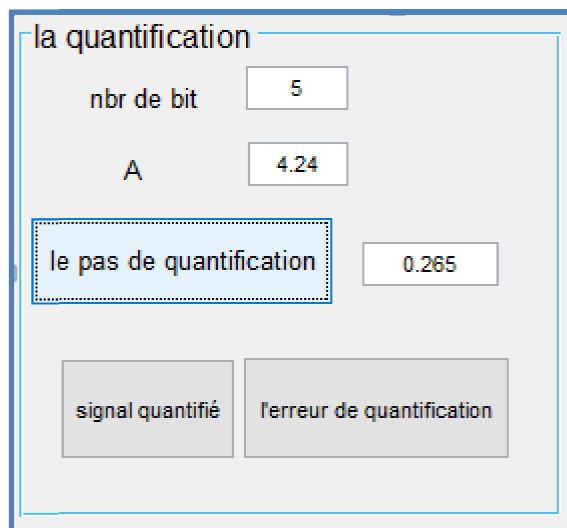


Figure 37 :Le calcul du pas de la quantification

Interprétation des résultats :

On observe sur la figure 36, la valeur du pas de la quantification calculée par notre GUI développée est identique avec la valeur théorique présentée dans la partie [4.2.4], et cette comparaison nous permettons de constater que le fonctionnement du panel « quantification » de notre GUI développée est correct.

4.3.5 Calcul du poids en octets :

À l'aide de notre GUI développée, on va mesurer le poids en octet d'un son, on prend l'exemple dans la partie [4.2.5] le nombre d'octet nécessaires pour une minute d'en CD audio (44,1 kHz et 16 bits, stéréo).

Le résultat du poids en octets N obtenu est mentionné sur la figure ci-dessous :

The image shows a graphical user interface (GUI) window titled "poids en octet". It contains several input fields and a dropdown menu. The inputs are: "fréquence d'échantillonnage" (44100), "Q" (16), "t" (60), and a dropdown menu set to "stéréo" with a value of 2. At the bottom, there is a button labeled "N" and a text box displaying the result "1.0584e+07".

Figure 38 : Le calcul poids en octets

Interprétation des résultats

On observe sur la figure 37, le **poids en octets** calculée par notre GUI développée est identique avec la valeur théorique présentée dans la partie [4.2.5], et cette comparaison nous permettons de constater que le fonctionnement du panel « poids en octet » de notre GUI développée est correct.

4.3.6 La conversion d'un signal analogique en signal numérique :

À l'aide de notre GUI développée, on va numériser un signal analogique. On passant par l'échantillonnage, la quantification et le codage. On prend un exemple d'un signal sinusoïdal de fréquence 1 Hz, la valeur efficace 2, le temps d'acquisition 1, la fréquence d'échantillonnage 20 Hz et le nombre de bit 2.

Les résultats obtenus sont mentionnés sur la figure ci-dessous :

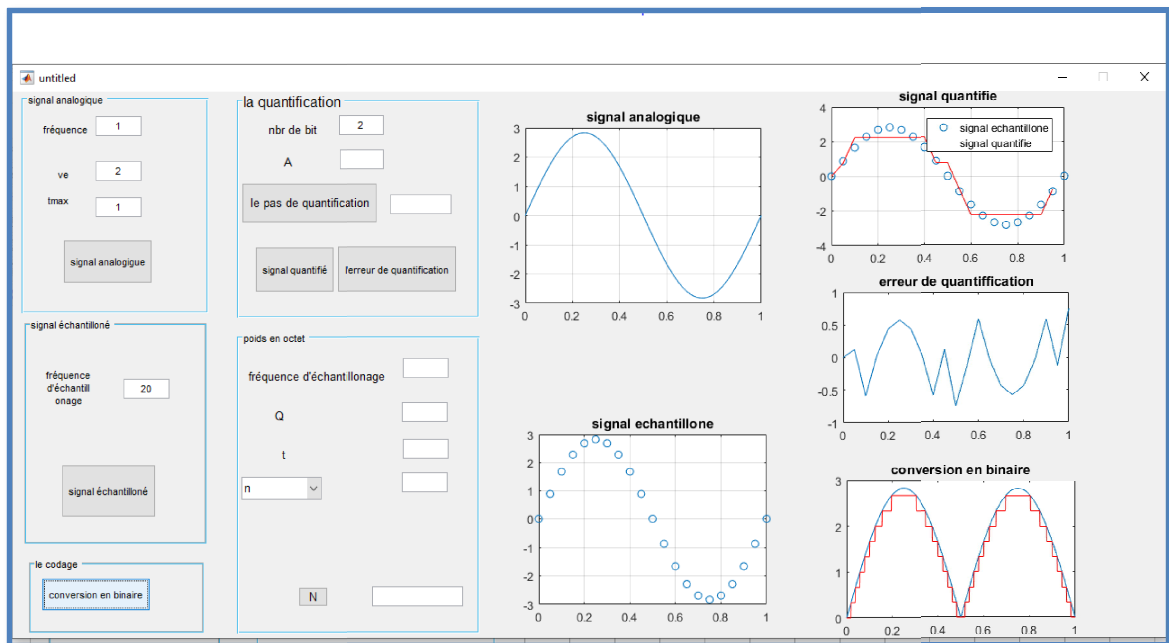


Figure 39: exemple de fonctionnement de l'interface graphique GUI développée

Interprétation des résultats :

- A. La figure (40) extraite de l'interface GUI correspond à un spectre d'un signal sinusoïdal analogique d'une valeur de fréquence $F=1$ Hz et d'une amplitude de $A=2.82$.

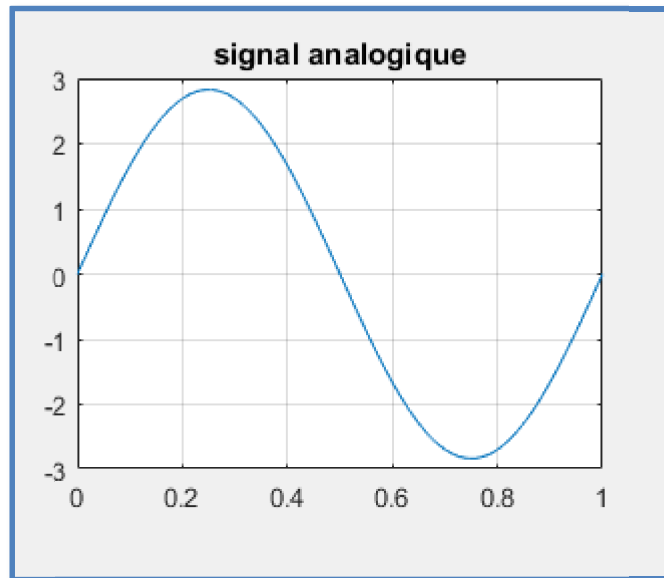


Figure 40: signal analogique

- B. signal échantillonné :

La figure 41 extraite de l'interface GUI correspond à l'échantillonnage du signal analogique généré précédemment avec GUI (figure 40) ;

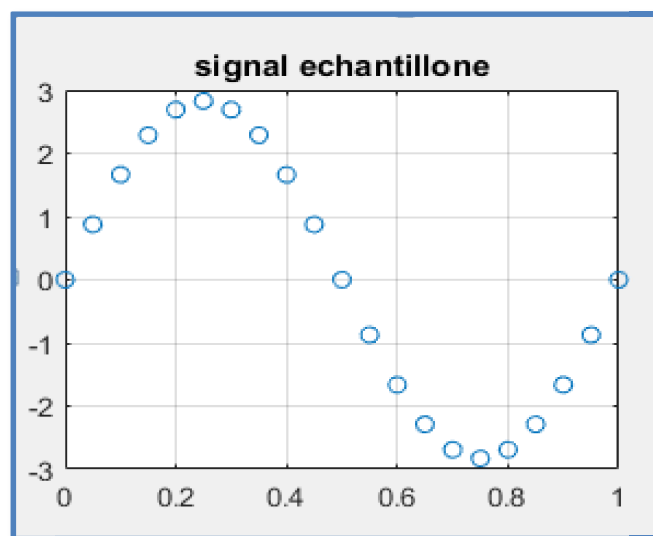


Figure 41: signal échantillonné.

Plus la fréquence d'échantillonnage choisie est grande, plus que nous permettons de mieux reproduire du signal analogique.

C. Signal quantifié :

La figure 42 extraite de l'interface GUI correspond à la quantification, contient le signal échantillonné et le signal quantifié du signal analogique généré précédemment avec GUI (figure 40) ;

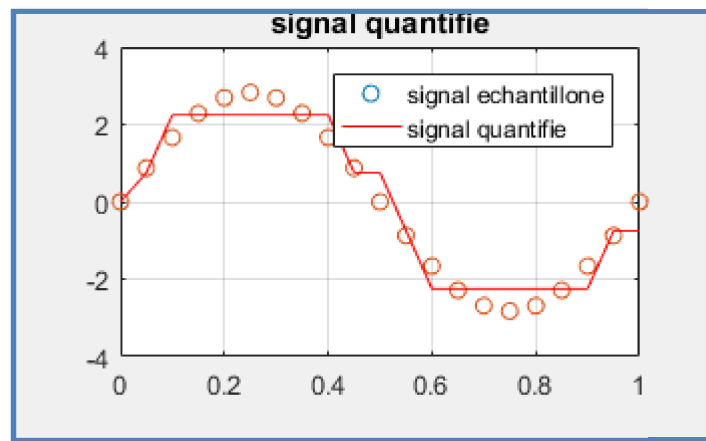


Figure 42: Signal quantifié.

D. Le bruit de quantification (le signal d'erreur de quantification) :

La figure 43 extraite de l'interface GUI correspond au bruit de la quantification :

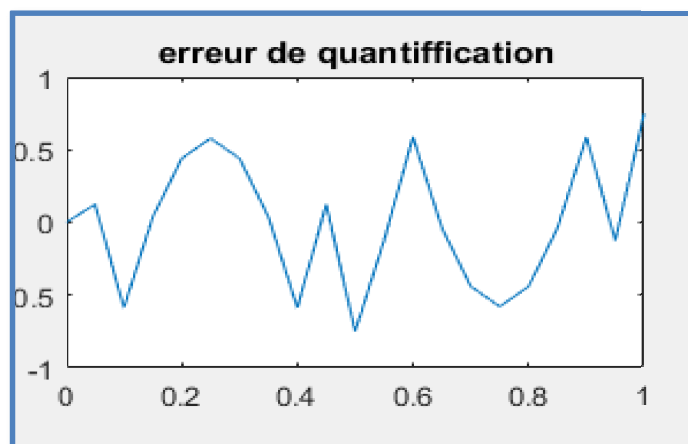


Figure 43 : bruit de quantification.

E. Le codage :

La figure 44 extraite de l'interface GUI correspond au codage, contient le codage et le signal analogique généré précédemment avec GUI (figure 40) ;

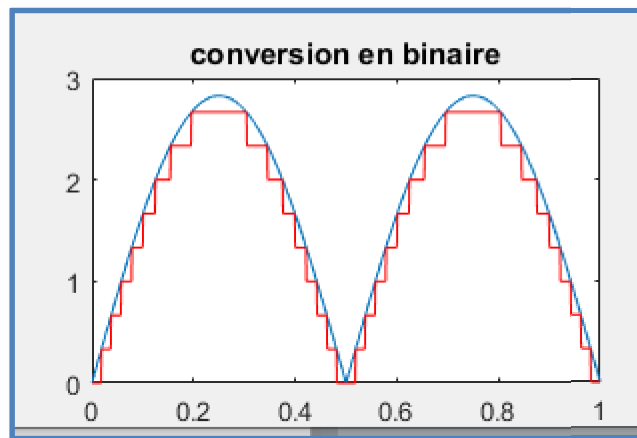


Figure 44: conversion en bits.

4.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'implémentation de notre interface graphique développée GUI, qui nous permettons de créer un signal analogique, l'échantillonnée le quantifiée, le coder, tracer le bruit de quantification et calculer le pas de la quantification et le poids en octet.

Selon l'étude des résultats obtenus, nous ne constatons que le fonctionnement de notre GUI est correct.

Conclusion Générale

Ce projet été consacré à la conception, la réalisation et la mise en œuvre d'une plateforme des TPs d'électronique d'instrumentation plus précisément la conversion analogique numérique, notre travail est basé sur une interface de travail (GUI) qui nous a permis de convertir un signal analogique en un signal numérique en suivant un passage en plusieurs étapes :

- Création d'un signal analogique.
- L'échantillonnage.
- La quantification.
- L'erreur de quantification.
- Le codage.

Les principaux points de ce système ont été atteints, à savoir :

- La formation de plan de disposition.
- La réalisation de programme.
- Teste de la plateforme.
- Interprétation des résultats.

Le travail qui a été réalisé nous a permet de maitriser plus le Matlab, d'enrichir nos connaissances théoriques et de les appliquées en tps d'électronique d'instrumentation et plus précisément à la conversion analogique-numérique (CAN), nous avons essayé de simplifier aux étudiants

Le covid-19 nous a ralenti pour terminer notre travail, alors nous proposons comme perspectives

- Ajouter d'autres Tps.
- Intégrer des présentations graphiques des données.

Bibliographie

- [1] Dr. Y. REMRAM: 'Master Ingénierie de l'Instrumentation Electronique' , 29 août 2021.
- [2] Engr A.Mouzam:'Introduction, avantages of electronic instrumentation, instrument',27 mai 2015
- [3] W. Jimmy et S. Larry: ' Instrumentation (science) . In *Wikipédia*', 20 février 2021.
- [4]« caractérisation signaux prof.pdf ». Consulté le 8 septembre 2021.
- [5] « quantification _ _ echantillonnage _ _ cours.pdf ». Consulté le 9 septembre 2021.
- [6] « Fonctionnement d'un ordinateur/Les circuits de conversion analogique-numérique — Wikilivres ».
- [7] G.Mathilde et D. Chareyron : 'Principe du passage de l'analogique au numérique — CultureSciences-Physique - Ressources scientifiques pour l'enseignement des sciences physiques ', 29 juin 2012.
- [8] O.Chaumette :20c_TP_Numerisation_signal_Analogique.doc TS Lycée JP Sartre – 69 BRON.