

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE UNIVERSITÉ
MOULOUD MAMMÈRI, TIZI-OUZOU.



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET DE L'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ÉLECTROTECHNIQUE

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme : De Master académique
Spécialité : Entraînements Électriques

Thème

**Développement d'une interface pour
capteur CND à courants de Foucault**

Proposé et encadré par :
Mr. MOHELLEBI Hassane

Rédigé par
Mr. ZAIDI Mouloud
Mr. MAUCHE Med Amine

Promotion 2013

Remerciement

Nous tenons profondément à remercier Dieu de nous avoir éclairci les chemins du savoir et ceux de la vie, à nos familles respectives pour leurs soutiens moraux et surtout financier.

Nous tenons à remercier notre encadreur Mr. MOHELLEBI Hassane qui nous a guidés et orienté pendant toute la durée de la réalisation de ce travail. Particulièrement, par les discussions et les débats qu'on échangeait, qui ont fait avancer le travail.

Nos remerciements vont aussi à nos professeur Mr HOCINI pour sa patience et son soutien moral, à Mr CHALLAL et Mr LAÂROUCHE qui nous ont fournis des conseils et remarques qui nous ont été très utiles à notre travail, aux membres de jury qui ont accepté de juger ce modeste travail.

Nôtres profondes gratitudes vont à Mr HAMADOUCHE Ali, OUADAHI Nazim, CHABI Kamel, BENBAKHTI Anwar, BENMERABET Salim, HOCINE Merouane, pour leurs soutiens moraux, matériels et technique qui nous ont permis de mener à bien notre projet.

Pour devenir un bon ingénieur, il faut toujours réviser ses examens le plus tard possible. Ainsi cela vous apprend à travailler dans l'urgence et à vous organiser de la manière la plus efficace possible.

Bill GATES

Sommaire

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I : Généralités

I.1 Introduction.....	4
I.2 Généralités sur le contrôle non destructif.....	5
I.2.1 Les Techniques du CND	5
I.2.1.1 Examen visuel.....	5
I.2.1.2 Ressuage	5
I.2.1.3 Flux de fuite magnétique (Magnétoscopie).....	6
I.2.1.4 Radiographie.....	6
I.2.1.5 Thermographie.....	7
I.2.1.6 Ultrasons.....	7
I.2.1.7 Courants de Foucault.....	8
I.3 Le CND par courant de Foucault	8
I.3.1 principe.....	8
I.3.2 Avantages du CND par courants de Foucault	9
I.3.3 Limites du CND par courants de Foucault.....	9
I.3.4 Épaisseur de peau	10
I.3.5 Effet de la distance capteur/cible (lift off).....	11
I.3.6 Impédance normalisée et plan d'impédance normalisé	11
I.3.7 Modes d'excitation.....	12
I.3.7.1 Excitation mono fréquence.....	12
I.3.7.2 Excitation multi fréquence.	13
I.3.7.3 Excitation pulsée.....	13
I.3.8 Gamme de fréquence	13
I.3.8.1 Gamme basse fréquence [1Hz :1kHz]	13
I.3.8.2 Gamme moyenne fréquence [1kHz :1MHz]	13
I.3.8.3 Gamme haute fréquence : >1MHz	13
I.3.9 fonction des capteurs	14
I.3.9.1 Les Capteur à double fonction (Bobine émettrice-réceptrice).	14
I.3.9.2 Les capteurs à fonctions séparées.....	14
I.3.9.3 Capteur utilisé.....	15
I.3.10 Mode de contrôle	16
I.3.10.1 Mode de contrôle absolu	16
I.3.10.2 Mode de contrôle compensé.....	16
I.3.10.2 Mode de contrôle différentiel	16
I.4 Conversion analogique-numérique et acquisition de données.....	17
I.4.1 La mesure et le numérique	17
I.4.2 Signal analogique.....	18
I.4.3 Signal numérique	18
I.4.4 La numérisation	18
I.4.5 Principe d'une numérisation.....	19
I.4.6 Filtre d'entrée	19

Sommaire

I.4.7 Échantillonneur bloqueur	19
I.4.8 La quantification (conversion analogique-numérique)	21
I.4.9 Acquisition.....	22
I.4.9.1 Paramètres fondamentaux d'une carte d'acquisition de donnée	22
I.4.9.1.1 Résolution	22
I.4.9.1.2 Gamme et gain	22
I.4.9.1.3 Vitesse et fréquence d'échantillonnage	23
I.5 Conclusion	24

Chapitre II : conception Hardware

II.1 Introduction	26
II.2 Fonctionnement général	26
II.3 Conception	27
II.3.1 Générateur de fonction.....	27
II.3.1.1 Mode de fonctionnement	27
II.3.1.2 symétrie des formes d'ondes et Fréquence	28
II.3.1.2.1 La symétrie des formes d'onde :	28
II.3.1.2.2 fréquence.....	28
II.3.1.3 Schéma électrique.....	29
II.3.2 Amplification en tension.....	30
II.3.2 Amplification en courant.....	30
II.3.2.1 le push-pull.....	31
II.3.2.2 Montage Darlington.....	31
II.3.2.3 Schéma électrique du push-pull réalisé	32
II.3.3 alimentation symétrique stabilisé	33
II.3.2 Carte d'acquisition	35
II.3.2.1 Caractéristique de la carte	35
II.3.2.1 Configuration de la carte d'acquisition	36
II.4 Conclusion.....	37

Chapitre III : conception Software

III.1. Introduction	39
III.2 LabVIEW	39
III.2.1 Environnement de Logiciel LabVIEW.....	39
III.2.1.1 La face avant.....	39
III.2.1.2 le diagramme.....	40
III.2.1.3 Les Outils.....	41
III.2.1.3.1 Barres d'outils de la face avant et du diagramme.....	41
III.2.1.3.2. Les palettes	42
II.2.1.3.3 La fenêtre d'aide contextuelle.....	44
III.2.1.4 Les types de données utilisés dans LabVIEW	45
III.2.1.5 Les Bibliothèques.....	45
III.2.2 Logiciel LabVIEW en acquisition de données	46
III.2.2.1 DAQ Assistant	46
III.2.3 Déroulement du programme	51

III.3 conclusion	51
------------------------	----

Chapitre IV : Implémentation et résultats

IV.1 Introduction	53
IV.2 Réalisation pratique	53
IV.2.1 test et résultats.....	55
IV.2.2 limite et performance.....	56
IV.3 application et résultats	56
IV.3.1 application.....	56
IV.3.1.1 Présentation de l'objet à contrôler	56
IV.3.2 Résultats.....	58
IV.3.2.1 Déplacement suivant l'axe Ox.....	58
IV.3.2.1.1 application avec variation de la fréquence	58
IV.3.2.1.2 Application avec variation de lift-off.....	62
IV.3.2.2 Déplacement du capteur s'effectue suivant l'axe Oy.....	63
IV.3.2.3 La comparaison.....	64
IV.3.2.4 Interprétation.....	65
IV.4 Conclusion	65
Conclusion générale.....	66
Bibliographie	68
Annexe	71

Introduction générale

Dans l'industrie, les exigences de fiabilité, de réduction des coûts et de sécurité deviennent de plus en plus contraignantes. Au niveau de la production, il faut dimensionner les pièces au plus juste tout en garantissant leurs disponibilités et leurs performances. Durant l'exploitation d'un produit industriel, son maintien en état de marche dans de bonnes conditions de sécurité nécessite une bonne connaissance de l'évolution des pièces qui le constitue. Cette connaissance implique en particulier de réaliser des contrôles ne portant pas atteinte à l'intégrité des pièces et en entravant le moins possible la disponibilité du produit. Ceci justifie l'importance croissante que prend le contrôle non destructif (CND) [1].

En se basant sur plusieurs phénomènes physiques, de nombreuses méthodes ont été développées pour effectuer la tâche du CND. Parmi les méthodes les plus utilisées, on peut citer les ultrasons, les méthodes utilisant des rayonnements ionisants (radioscopie) et les méthodes électromagnétiques (magnétoscopie, courants de Foucault...)...etc. Le choix d'une méthode dépend d'un certain nombre de facteurs tels que les propriétés physiques de la pièce à contrôler, la nature de l'information recherchée (défaut débouchant ou enfoui...), les conditions de mise en œuvre... [2].

Le contrôle par courants de Foucault est une méthode à la fois simple à mettre en œuvre et complexe (il est très facile de créer des courants de Foucault dans un milieu conducteur à l'aide d'une sonde). En effet, pour un contrôle donné, comment créer une "bonne" répartition des courants de Foucault permettant d'avoir un "signal de défaut" aussi important que possible ? Il est nécessaire avant toute chose d'avoir une bonne connaissance du phénomène physique.

Les courants de Foucault n'étant pas directement accessibles par la mesure, ils ne peuvent être observés que par l'intermédiaire de mesures sur d'autres grandeurs sur lesquelles ils agissent. Dans notre cas nous exploiterons principalement une grandeur électromagnétique qui sera l'impédance mesurée aux bornes du capteur [1].

L'électronique analogique est à la base de toute l'électronique actuel, l'invention du numérique a été un grand pas technologique, dans le sens où, il apporta une grande part d'innovation dans tous les domaines de l'électronique moderne, du fait de sa flexibilité et sa simplicité de compréhension, cependant il semblerait qu'il y ait toujours une séparation entre le monde analogique et le monde numérique. Actuellement, les microprocesseurs qu'équipent nos différents dispositifs électroniques sont de plus en plus performants et moins gourmands en énergie, ils y intègrent des périphériques de traitement analogique, ce qui permet d'amoiner cet écart.

Nous avons toujours eu besoin de mesurer et connaître des grandeurs physiques tel que la température, la pression, la force....etc. Ces données sont de nature analogique, afin d'utiliser et traiter ces données sur ordinateur ou système embarqué, il est nécessaire de numériser ces données analogiques plus connus sous l'appellation 'conversion analogique numérique' CAN qui constitue le deuxième maillon d'une chaîne d'acquisition après le capteur.

Afin de pouvoir analyser et traiter les différentes données récoltées aux bornes de notre capteur, nous nous sommes intéressés au domaine de l'acquisition en générale dans le but d'obtenir les connaissances nécessaires qui nous seront utiles pour mener à bien le travail qui nous est demandé de réaliser.

Le travail décrit dans ce présent document est structuré en une introduction générale, quatre chapitres, une conclusion générale, une bibliographie et pour finir une partie annexe.

- Le chapitre I : Porte essentiellement sur les généralités et les notions de base concernant notre projet.
- Le chapitre II : Portera sur la conception hardware où on présentera la solution électronique liée à notre cahier des charges.
- Le chapitre III : Une solution software sous forme d'un programme venant compléter le hardware.
- Le chapitre IV : Sera dédié à la réalisation, tests, résultats et interprétations des résultats.
- Une conclusion générale pour clôturer ce présent travail.

Chapitre I

Généralités

I.1 Introduction

Le contrôle non destructif (CND) a pour objectif, de déceler un défaut dans une pièce le plus souvent métallique, toute en respectant son intégrité ainsi que la particularité de sa structure, qui peut avoir une influence sur son comportement en service. Il en sera de même pour les pièces en cours d'utilisation qui risquent d'être altérées par les conditions d'emploi auxquelles elles sont soumises (contraintes mécaniques, thermiques ou chimiques). Aujourd'hui, on assiste à une demande très importante et généralisée, provenant de tout les secteurs industriels comme l'industrie aéronautique, automobile, navale et nucléaire. La qualité étant devenue une nécessité vitale pour les entreprises confrontées à la concurrence internationale et à une clientèle exigeante, cette étape du processus industriel est destinée à garantir la sécurité d'utilisation des pièces contrôlées. Elle joue un rôle économique non négligeable, dans le sens où elle permet une gestion optimisée de la maintenance [3][4].

Cette procédure de contrôle se produit souvent plusieurs fois au cours de la vie d'une pièce et doit satisfaire au mieux les critères suivants [5] :

- la rapidité d'exécution : Il faut que le contrôle soit rapide pour qu'il ne soit pas trop pénalisant à la fois en termes d'immobilisation physique de chaque pièce, mais aussi au niveau des coûts du travail de la main-d'œuvre ou des frais de fonctionnement de l'usine.
- le coût : Le contrôle qualité représente sur les pièces complexes un coût non négligeable et qui doit être minimisé dans la mesure du possible.
- la reproductibilité : La mesure ne doit pas souffrir des circonstances extérieures : une même pièce contrôlée plusieurs fois doit toujours donner le même résultat.
- la fiabilité: Le contrôle doit remplir son cahier des charges, et par exemple détecter tous les défauts qu'il est censé être capable de détecter.
- la sensibilité : La sensibilité est le rapport des variations de la mesure et de la grandeur que l'on veut mesurer. Plus la sensibilité est grande, plus les petites variations de la grandeur que l'on veut mesurer sont détectables, comme par exemple les défauts de faibles dimensions.
- la résolution : La résolution est la plus petite variation de signal pouvant être détecté, par exemple la dimension du plus petit défaut. Usuellement est défini le pouvoir de résolution, ici la dimension du plus petit défaut visible. Le pouvoir de résolution est fort si cette dimension est petite.

I.2 Généralités sur le contrôle non destructif

I.2.1 Les Techniques du CND

La diversité des pièces à inspecter, de leurs géométries, leurs matériaux et des conditions d'inspection, interdit à une méthode de CND d'être universelle. Un certain nombre de techniques existe et chacune présente certains avantages et inconvénients. Il n'est pas question ici d'établir une liste exhaustive des techniques utilisées dans le domaine du (CND), mais de donner un aperçu global des techniques les plus répandues industriellement [5].

I.2.1.1 Examen visuel

Le contrôle visuel est le plus ancien des contrôles non destructifs. C'est la méthode la plus utilisée de par le monde, car elle est moins chère à mettre en œuvre. Le contrôle visuel nécessite néanmoins une compétence certaine pour reconnaître la nature des défauts observés [5]. Il peut être aidé, par un éclairage laser ou classique. Il reste cependant sujet aux inconvénients liés à l'œil humain, c'est-à-dire une faible productivité et une certaine subjectivité, entraînant un manque de fiabilité [4].

I.2.1.2 Ressuage

Le contrôle par ressuage est utilisé pour détecter les défauts qui débouchent à la surface d'une pièce. Il consiste tout d'abord à nettoyer et à sécher la pièce à inspecter puis à appliquer sur sa surface un liquide, coloré ou fluorescent, qui va pénétrer les ouvertures des défauts. Après un certain temps, la surface de la pièce est lavée de nouveau puis est recouverte d'une fine couche de révélateur qui absorbe le pénétrant retenu dans les défauts. Ceci donne une tâche colorée en surface et permet de localiser le défaut.

Le ressuage est une technique très simple. Elle permet de détecter la plupart des défauts débouchant sur la surface à condition que le matériau de la pièce ne réagisse pas chimiquement avec le pénétrant. Des limitations peuvent apparaître avec cette technique. Ainsi, elle est difficile à automatiser et limitée à l'inspection de pièces de géométrie simple. Certains produits de ressuage présentent par ailleurs des désagréments vis-à-vis de l'environnement, de la sécurité et de l'hygiène du travail. Il arrive également que des fissures soient bouchées par des produits mal nettoyables et qu'elles soient donc invisibles [2].

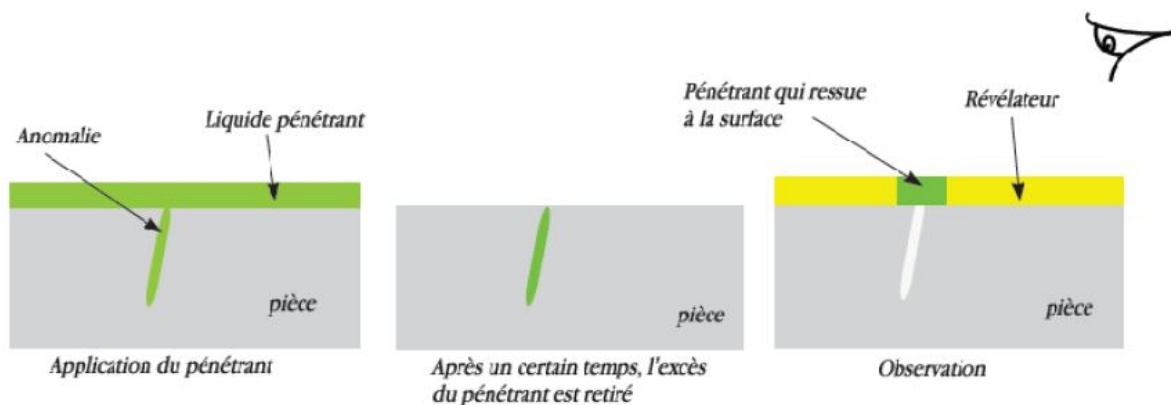


Figure (I.1) : principe de ressuage.

I.2.1.3 Flux de fuite magnétique (Magnétoscopie)

Le CND par flux de fuite magnétique n'est utilisable que pour les matériaux et alliages ferromagnétiques (fer, acier, fonte...). Cette technique est particulièrement efficace pour les défauts de surface de très petites dimensions. L'examen par magnétoscopie consiste à soumettre la pièce à un champ magnétique de valeur définie en fonction de la pièce. Une poudre magnétique est ensuite projetée à la surface et se répartit de façon homogène si la pièce est saine sinon hétérogène dans le cas contraire. Lorsqu'un défaut est présent dans la pièce au voisinage de la surface, l'orientation du flux d'induction magnétique est modifiée localement et son intensité augmente en surface. Il apparaît alors une concentration de particules magnétiques qui révèle la présence du défaut comme l'illustre la figure (I.2) [5][4].

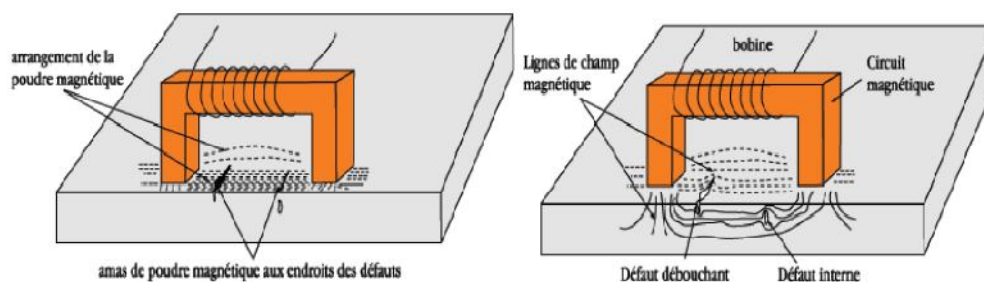


Figure (I.2) : Principe de la magnétoscopie.

I.2.1.4 Radiographie

La radiographie est une technique basée sur le bombardement d'un corps (un tube, une pièce...) par un rayonnement électromagnétique de très courte longueur d'onde (rayons X ou γ). Le rayonnement résiduel non absorbé après la traversée de l'objet est visualisé au moyen de films photographiques, d'écrans fluorescents ou d'autres détecteurs, comme l'illustre la figure (I.3).

Applicable généralement dans le domaine médical, mais actuellement elle s'applique dans d'autres domaines (mécanique, électrotechnique, matériaux...). C'est en effet la technique retenue lorsqu'il s'agit de mettre clairement en évidence et de dimensionner des hétérogénéités à l'intérieur des objets de toute nature, aussi bien au stade de la fabrication qu'à celui des contrôles de maintenance.

Les inconvénients principaux de cette technique sont :

- Coût de mise en œuvre des dispositifs et procédure de protection du personnel.
- Réglementation souvent très contraignante (transport et stockage de sources radioactives,...) [3][4][6].

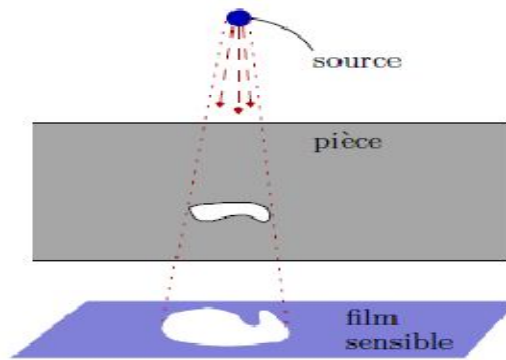


Figure (I.3) : principe de la radiographie.

I.2.1.5 Thermographie

La thermographie repose sur l'étude de la diffusion de la chaleur dans le matériau à contrôler. Une quantité de chaleur est une quantité d'énergie stockée dans la matière et la température en est un indicateur mesurable. La thermographie consiste en l'interprétation des cartes thermiques des surfaces observées.

Une distinction est faite entre la thermographie infrarouge passive, qui résulte de la simple observation des gradients thermiques sur une pièce ou un système, et la thermographie infrarouge active lorsqu'une perturbation thermique a été volontairement générée pour le contrôle (par un laser par exemple). Les discontinuités dans la pièce se traduisent par des différences de température (points froids) sur l'image. L'acquisition des images thermiques s'obtient alors à l'aide d'une caméra de thermographie couplée à un ordinateur.

Les principaux avantages de l'ensemble de ces techniques résident dans la possibilité d'effectuer un contrôle sans contact et automatisable.

Les inconvénients sont liés à la lenteur du contrôle, au coût de l'investissement et à la difficulté de mise en œuvre des étapes d'inversion pour établir le diagnostic [6][4].

I.2.1.6 Ultrasons

Les ultrasons, dans le cas particulier des appareils de contrôle non destructif, sont produits ou détectés par des « transducteurs » posés sur la pièce en examen. Le transducteur transforme l'énergie électrique alternative qu'on lui envoie en énergie mécanique et, inversement, l'énergie mécanique qui lui parvient de la pièce en énergie électrique, à la manière d'un écho, sur les obstacles qu'elle rencontre (anomalies, limite de la pièce). Les échos sont analysés sur un écran ou traités dans une chaîne de mesure.

Les principales difficultés rencontrées est d'assurer un couplage acoustique aussi constant que possible entre la sonde et la cible. L'utilisation d'un couplant, généralement un liquide (eau, huile, par exemple) ou une pâte (graisse, mastic), afin de permettre une bonne transmission des ondes entre elles [3][4][7].

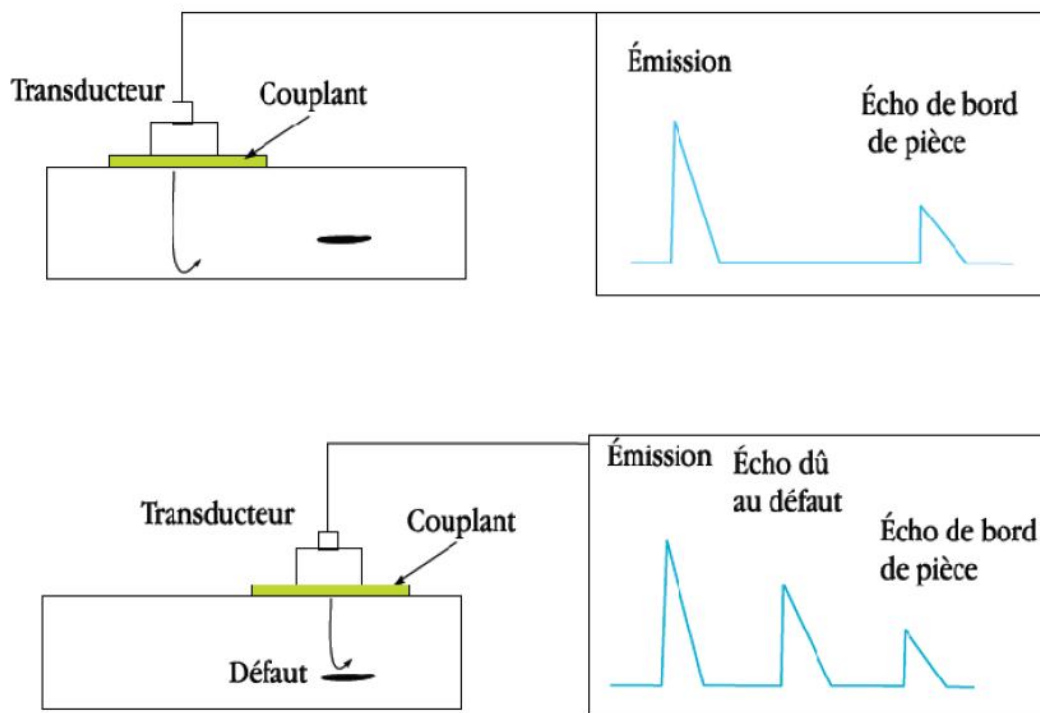


Figure (I.4) : principes des ultrasons.

I.2.1.7 Courants de Foucault

Le contrôle par courants de Foucault est une méthode de Contrôle Non Destructif (CND) fondée sur la circulation de courants induits dans un matériau conducteur. La configuration de contrôle la plus simple consiste à utiliser un bobinage alimenté par une tension sinusoïdale. Ce bobinage est placé à proximité de la pièce à contrôler. Le bobinage crée un champ magnétique sinusoïdal dans la pièce. Des courants apparaissent dans la pièce et s'opposent à la variation du champ magnétique (Loi de Lenz-Faraday) [8].

Dans le cadre de notre travail nous allons nous intéresser à cette technique et la voir d'une manière plus détaillée dans ce qui va suivre.

I.3 Le CND par courant de Foucault

I.3.1 principe

Le CND par courants de Foucault n'est applicable que sur les pièces réalisées en matériaux conducteurs d'électricité. Son principe consiste à soumettre la pièce à inspecter à l'action d'un champ magnétique variable dans le temps, à l'aide d'une bobine parcourue par un courant électrique. Ce faisant, on induit des courants de Foucault dans le matériau à contrôler. Ces courants ont pour effet de s'opposer au flux qui leur a donné naissance. Leur répartition et leur intensité dépendent des caractéristiques physiques et de la géométrie du corps ainsi que de l'intensité du champ [4][9].

Les courants de Foucault n'étant pas directement accessibles par la mesure, ils ne peuvent être observés que par l'intermédiaire de mesure d'une grandeur dérivée : l'impédance aux bornes du capteur. Cette grandeur est caractérisée par deux quantités : sa réactance et sa résistance. Les différents paramètres qui modifient cette impédance lorsque la bobine est placée au voisinage du matériau à contrôler sont la conductivité électrique et la perméabilité magnétique relative de ce matériau, les dimensions géométriques, la présence de discontinuités (craques, failles, lignes, fissures,...), le couplage entre la bobine et la pièce, la fréquence du champ alternatif [3].

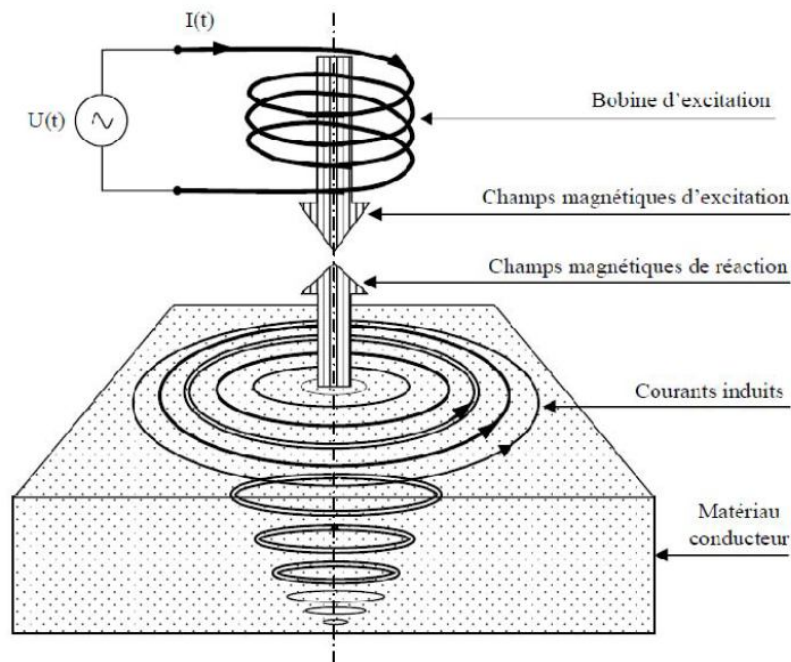


Figure (I.5) : Schéma principal du CND par courants de Foucault.

I.3.2 Avantages du CND par courants de Foucault

- Permet la détection des défauts débouchant ou faiblement enfouis (quelques millimètres) dans tout matériau conducteur.
- Ne nécessite pas l'utilisation de produits couplant. Ceci en facilite par conséquent l'utilisation. De même, aucune nuisance ou pollution n'est engendrée ni pour l'utilisateur ni pour l'environnement, contrairement, par exemple au ressuage, largement utilisé, qui nécessite l'application de produits chimiques nocifs.
- Transportabilité : le CND par courants de Foucault ne nécessite pas de dispositif encombrant, et peut donc être effectué à des endroits difficilement accessibles moyennant un équipement portable. De même les contrôles à température élevées sont possibles.

I.3.3 Limites du CND par courants de Foucault

- Il ne s'applique qu'à des matériaux électriquement conducteurs
- Il n'est pas adapté pour détecter des défauts à forte profondeur.
- L'interprétation des signaux est souvent complexe.

I.3.4 Épaisseur de peau

L'effet de peau ou effet pelliculaire (ou plus rarement effet Kelvin) est un phénomène électromagnétique qui fait que, à fréquence élevée, le courant a tendance à ne circuler qu'en surface des conducteurs. Ce phénomène d'origine électromagnétique existe pour tous les conducteurs parcourus par des courants alternatifs.

L'intensité des courants de Foucault dans une cible constituée d'un matériau conducteur caractérisé par une conductivité électrique σ [S/m] et une perméabilité magnétique μ [H/m], diminue avec la profondeur. Cet effet est décrit par la profondeur de pénétration conventionnelle δ [m]. L'épaisseur de peau est définie par la relation suivante [2] :

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\sigma f \mu \pi}} \quad (\text{I.1})$$

Si on considère un conducteur plan semi-infini excité par une nappe de courants extérieure au conducteur et parallèle au plan, on trouve pour le courant à l'intérieur du conducteur l'expression suivante [1]:

$$J_z = J_s e^{(-z\sqrt{\pi f \sigma \mu_0 \mu_r})} = J_s e^{(-z/\delta)} \quad (\text{I.2})$$

J_s : Le module de la densité de courant à la surface de la pièce ($z=0$) [A/m²].

z : La profondeur considérée à l'intérieur de la pièce [m],

f : La fréquence [Hz].

Nous pouvons constater que la densité de courant décroît de manière exponentielle dans la pièce, comme montré dans la figure (I.11).

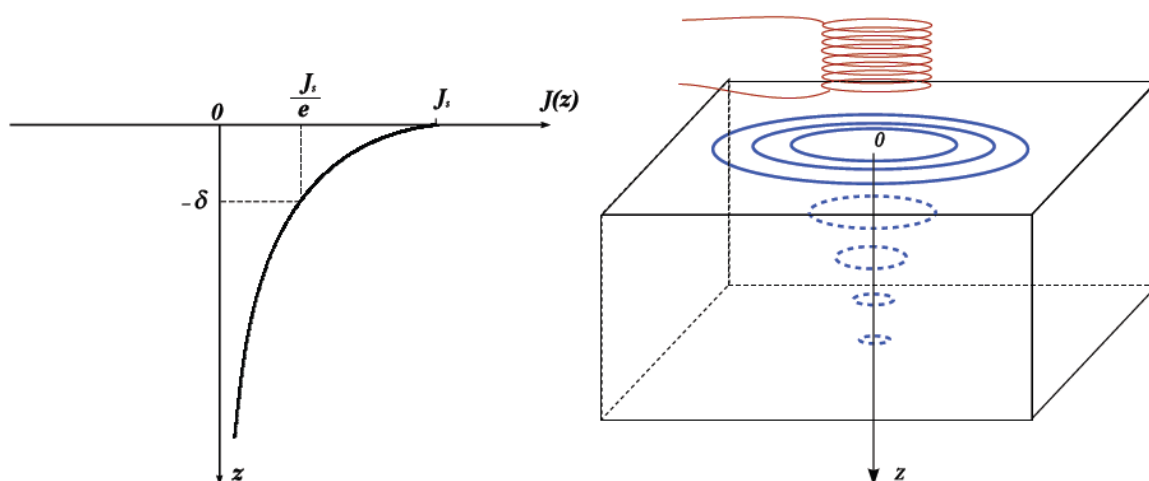


Figure (I.6) : répartition des courants de Foucault d'une pièce.

I.3.5 Effet de la distance capteur/cible (lift off).

La figure (I.7) illustre les différentes positions de la bobine par rapport à la pièce. Pour des grandes distances capteur/cible le champ n'atteint pas la surface du matériau et n'induit pas des courants de Foucault. Dans ce cas, l'impédance de l'enroulement demeure indépendante de toutes variations de conductivité. Cependant, comme l'enroulement s'approche progressivement de la surface, des courants de Foucault plus forts sont induits dans le matériau [6].

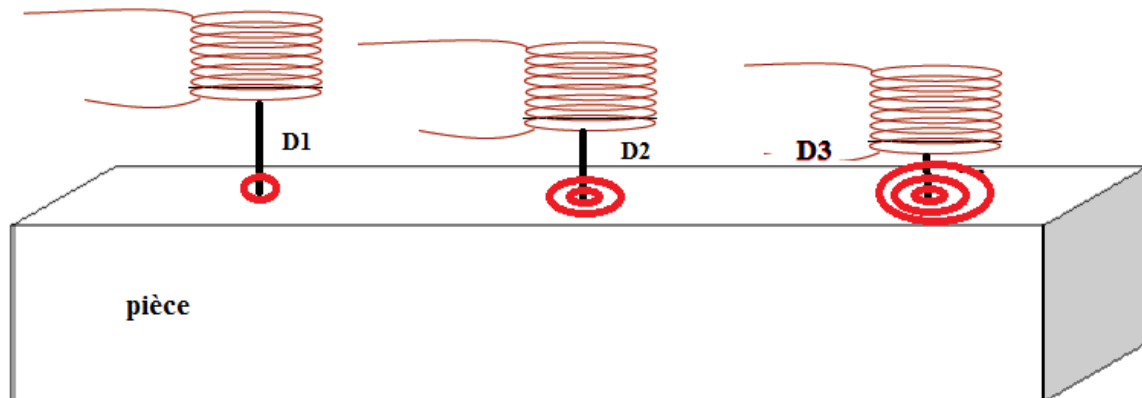


Figure (I.7) : Différentes positions de la bobine par rapport à la cible.

I.3.6 Impédance normalisée et plan d'impédance normalisé

L'inspection du matériau consiste à mesurer les variations d'impédance de la bobine. En générale, on utilise une méthode comparative, dont l'objet est de mesurer la différence entre l'impédance Z de la bobine en présence de la pièce à inspecter et l'impédance Z_0 de la bobine à vide. En absence du matériau à contrôler, impédance complexe \bar{Z}_0 du capteur est :

$$\bar{z}_0 = R_0 + jX_0 \quad (\text{I.3})$$

R_0 et X_0 représente la résistance et la réactance à vide de la bobine.

En présence de matériau à contrôler, le champ réactif provoque une modification de l'impédance du capteur. L'impédance complexe en charge \bar{Z} est :

$$\bar{Z} = R + jX \quad (\text{I.4})$$

R est la composante résistive qui englobe les pertes joule dues à la génération des courant de Foucault dans la charge et ainsi que les pertes internes du bobinage, et X es la composante inductive qui représente la réactance du bobinage d'excitation, liée à la topologie des lignes de champ magnétique émises par le capteur.

Pour éliminer les composantes de l'impédance à vide R_0 et X_0 et garder uniquement la géométrie du capteur, sa position relative au matériau (lift-off) et les caractéristiques géométriques et physiques du matériau, on procède à la normalisation de l'impédance complexe du capteur en présence du matériau. Cette normalisation est donnée par [4] :

$$z_n = \frac{Z-R_0}{X_0} = R_n + jX_n \quad (I.5)$$

$$R_n = \frac{R-R_0}{X_0} \quad (I.6)$$

$$X_n = \frac{X}{X_0} \quad (I.7)$$

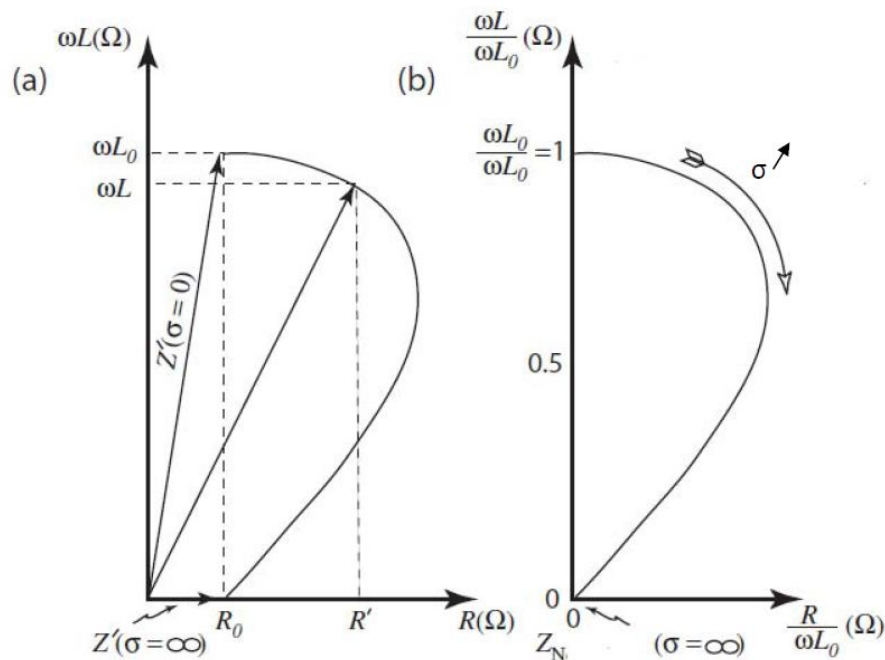


Figure (I.8) : (a) plan d'impédance non normalisée (b) plan d'impédance normalisée

σ : conductivité électrique

I.3.7 Modes d'excitation

Dans tout système de contrôle non destructif par courants de Foucault, au moins une bobine doit être alimentée pour pouvoir produire un champ magnétique et exciter la cible que l'on souhaite examiner [10]. On distingue principalement trois types d'excitation :

I.3.7.1 Excitation mono fréquence

Le courant d'excitation est une onde sinusoïdale de fréquence fixe qui peut-être fournie par un générateur ayant une ou quelques fréquences fixes commutables. Le choix de la fréquence dépend essentiellement de l'application visée et de la sensibilité aux paramètres recherchés. La fréquence intervient sur la profondeur de pénétration et sur la séparation en phase des réponses de divers défauts.

Il n'y a pas cependant des critères simples et uniques de choix de la fréquence. Pratiquement, le choix de la fréquence de sondage doit se faire après des essais sur échantillons de façon à mettre en évidence les paramètres perturbateurs. Ce mode d'excitation est limité en utilisation car il ne délivre pas une caractérisation fine des contrôles et il n'élimine pas l'influence de l'ensemble des paramètres perturbateurs [4].

I.3.7.2 Excitation multi fréquence.

En mono-fréquence, on dispose de deux informations qui ne permettent pas toujours de caractériser un défaut, ou d'éliminer l'influence de grandeurs perturbatrices (comme les entretoises dans les tubes de générateurs de vapeur). L'utilisation de n fréquences permet d'avoir $2n$ informations et peut permettre l'élimination de $2n-1$ perturbations. La technique de mesure peut être réalisée en fréquences séquentielles ou en fréquences simultanées. La mesure en séquence excite le capteur par mono fréquence successive. La mesure en fréquences simultanées consiste à injecter au capteur simultanément plusieurs signaux de fréquences différentes [4][11].

I.3.7.3 Excitation pulsée.

C'est une extension de la méthode multifréquences. L'utilisation d'une "impulsion" (signal à durée finie) permet d'avoir une excitation à large bande spectrale. L'analyse se fait alors soit de manière temporelle, soit de manière fréquentielle. La variation du contenu spectral de l'impulsion est obtenue en agissant sur la forme et la durée de l'impulsion. On utilise essentiellement des signaux rectangulaires, en forme de trapèze, de demi-sinusoïde, des impulsions de courtes durées [3].

I.3.8 Gamme de fréquence

I.3.8.1 Gamme basse fréquence [1Hz :1kHz]

Les courants de Foucault à basse fréquence permettent de déterminer l'état global d'une pièce en la mettant au centre de la bobine. Cette technique convient pour le contrôle de produits de forte épaisseur ou le contrôle de qualité (tri de matériaux selon leur nuance à cœur) et les défauts volumiques et profonds. C'est une technique très répandue dans l'industrie. Elle est relativement simple à mettre en œuvre, très peu coûteuses, très sensibles aux manques de matière. Néanmoins, si la fréquence est trop basse, l'amplitude des courants de Foucault sera faible et la mesure ne sera pas précise à cause du bruit.

I.3.8.2 Gamme moyenne fréquence [1kHz :1MHz]

C'est le domaine le plus employé en mesure de faibles épaisseurs, telles que les plaques ou barres co-filées. Ce domaine fréquentiel couvre également le contrôle de santé (détection hétérogénéité du type fissures débouchantes, inclusions, occlusion, ...), ainsi que le contrôle de caractéristiques métallurgiques (traitements superficiels, conductivité, ...).

I.3.8.3 Gamme haute fréquence : >1MHz

Les fréquences supérieures à 1MHz sont très peu utilisées. Elles peuvent engendrer des capacités parasites entre les spires du capteur et entre le capteur et le matériau. Son utilisation se limite essentiellement à des mesures d'entrefer [4].

I.3.9 fonction des capteurs

Il existe un grand nombre de façons de mettre en œuvre des bobinages pour réaliser un contrôle par courants de Foucault. Nous indiquons ici les montages de base à partir desquels d'autres montages peuvent être envisagés selon la nature du produit à contrôler [12].

I.3.9.1 Les Capteur à double fonction (Bobine émettrice-réceptrice).

Le montage le plus simple est celui de la sonde à double fonctions constituée d'une seule bobine. Les fonctions d'émission et de réception sont assurées par la même bobine [1].

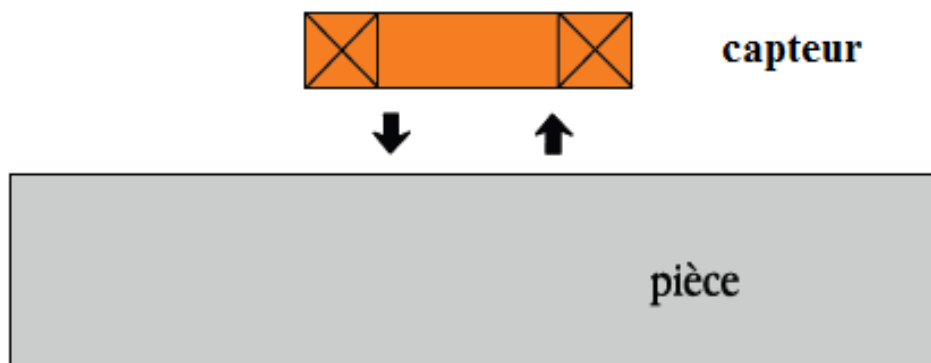


Figure (I.9) : capteur à double fonction.

L'extraction des informations se fait par la mesure de l'impédance équivalente ou de la variation de l'impédance due à la présence du matériau au voisinage, ou due à la présence d'un défaut dans ce matériau. Ce type de capteur favorise la mesure de grandeurs à évolution lente tel que l'épaisseur de revêtement, l'entrefer (lift-off) et la conductivité [4].

I.3.9.2 Les capteurs à fonctions séparées

Les capteurs à fonctions séparées, sont constitués de deux bobines, une pour créer le flux, l'autre pour recueillir les variations de couplage liées aux modifications dues au matériau. Cette conception est souvent utilisée pour la détection de défaut de grande taille ou profond [4].

La détection de ce genre de défaut nécessite l'augmentation des dimensions de la bobine d'excitation. Cette augmentation de la taille du capteur se fait au détriment de sa résolution spatiale lors de la réception. C'est alors qu'on associe la réception à une autre bobine de taille souvent plus petite que celle de l'émetteur [4]. Ces bobinages sont moulés dans un même boîtier pour éviter toute modification fortuite de leur mutuelle induction [6].

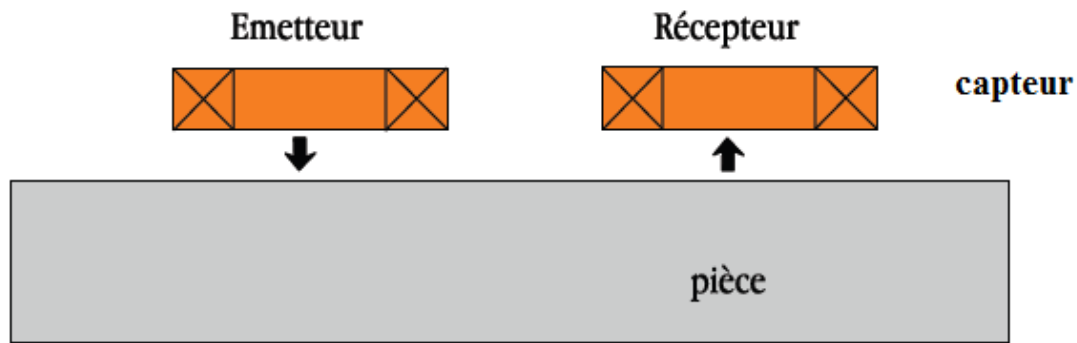


Figure (I.10) : capteur à fonction séparées.

I.3.9.3 Capteur utilisé

Le capteur qu'on va utiliser est de type double fonction dont les caractéristiques techniques sont comme suite :

- Nombre de spire : 170
- Rayon intérieur : 2.35mm
- Rayon extérieur : 4.5mm
- Hauteur : 2.2mm
- Conductivité électrique : 5.81×10^7 [Ω/m]⁻¹
- Perméabilité électrique : $4\pi \times 10^{-7}$ [H/m]

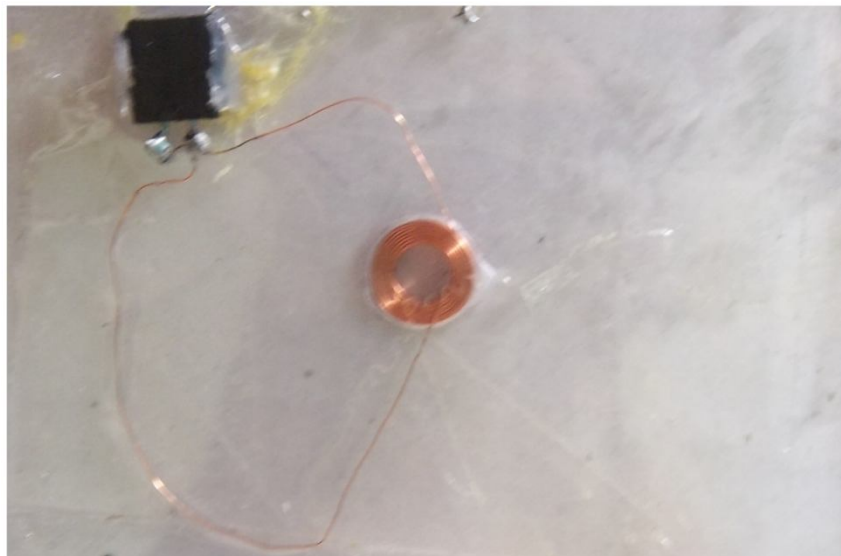


Figure (I.11) : Image réel du capteur

I.3.10 Mode de contrôle

En fonction de l'intensité du champ, qui dépend des caractéristiques électromagnétiques de la pièce à identifier ou à contrôler et des perturbations éventuelles. On distingue donc:

I.3.10.1 Mode de contrôle absolu

Un capteur absolu est destiné à mesurer la valeur effective des caractéristiques du produit à examiner par rapport à une référence fixe. Le signal récupéré par la bobine est très faible en comparaison au signal émis. C'est pourquoi on utilise, en contrôle par courant de Foucault, une mesure comparative par rapport à une référence artificielle électronique. Ce mode de mesure permet d'accéder simultanément aux grandeurs utiles et perturbatrices (par exemple la température qui fait varier la perméabilité magnétique et la conductivité électrique du matériau à tester).

Ce type de contrôle est préférentiellement utilisé dans le domaine de la caractérisation électromagnétique et géométrique [4].

I.3.10.2 Mode de contrôle compensé

Il consiste à utiliser deux capteurs absolus dont l'un sert de référence. La mesure compensée sert à éliminer une grandeur d'influence (température, conductivité, variation lente de l'entrefer, ...) et trouve des applications dans le tri de matériaux, la recherche de défauts débouchant importants [11].

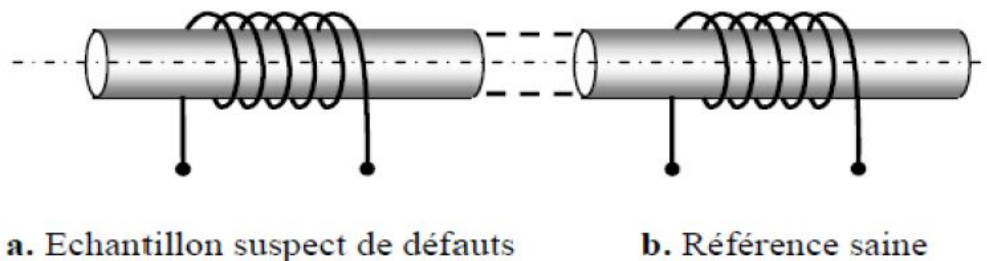


Figure (I.12) : mesure absolue compensée.

I.3.10.2 Mode de contrôle différentiel

Cette technique utilise deux capteurs absolus écartés, montés en tête-bêche parcourus par le même courant mais de signe opposé. On recueille alors directement la différence entre les deux valeurs fournies par les capteurs. La mesure différentielle consiste à comparer deux mesures effectuées en deux emplacements voisins et à un même moment. Elle est utilisée particulièrement pour détecter des discontinuités lors d'un déplacement du capteur le long d'une pièce. Dans le cas d'une pièce saine, l'impédance du capteur différentiel est nulle [4][11].

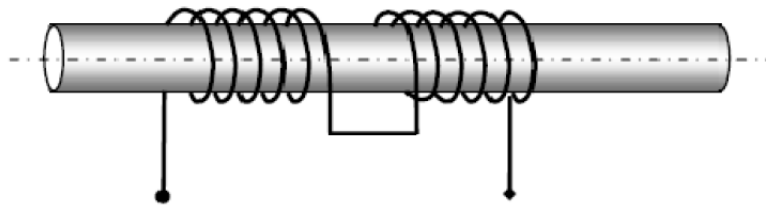


Figure (I.13) : mesure différentielle.

I.4 Conversion analogique-numérique et acquisition de données

I.4.1 La mesure et le numérique

Afin de pouvoir analyser des phénomènes physiques, il est dans certains cas, nécessaire d'utiliser des outils à base de capteurs nous délivrant des signaux analogiques, ces signaux doivent être numérisés pour pouvoir en faire l'acquisition sur ordinateur. La figure (I.14) représente une classification de différents signaux existant dont on donnera une brève définition [13].

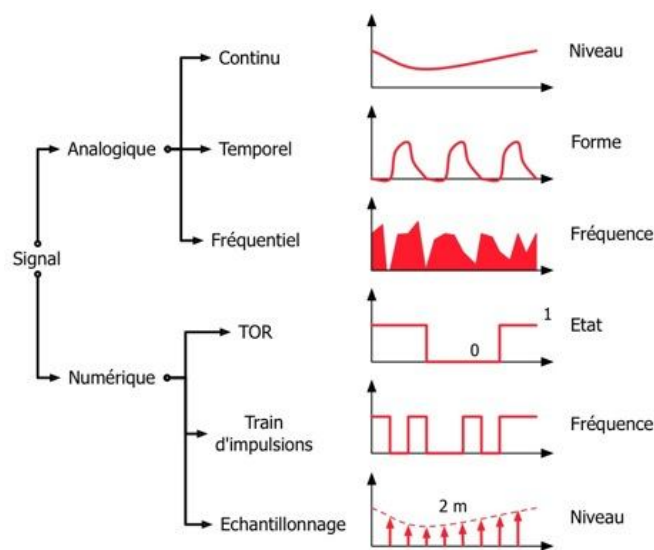


Figure (I.14) : classification des signaux.

I.4.2 Signal analogique

Un signal est dit analogique si l'amplitude de la grandeur physique le représentant peut prendre une infinité de valeurs dans un intervalle donné, on recense trois types :

- **Signal continu :**
C'est un signal qui varie lentement dans le temps : température, débit, niveau.
- **Forme :**
C'est la forme de ce signal qui est important : pression cardiaque, chromatographie, impact.
- **Fréquentiel :**
C'est le spectre fréquentiel qui transporte l'information désirée : analyse vocale, sonar, spectrographie.

I.4.3 Signal numérique

Un signal est numérique si l'amplitude de la grandeur physique le représentant ne peut prendre qu'un nombre fini de valeurs. En général ce nombre fini de valeurs est une puissance de 2, on distingue trois types :

- **Tout ou rien (TOR) :**
Il informe sur un l'état bivalent d'un système. Exemple : une vanne ouverte ou fermée.
- **Train d'impulsion :**
Chaque impulsion est l'image d'un changement d'état. Exemple :
Un codeur incrémental donne un nombre fini et connu d'impulsion par tour.
- **Échantillonnage :**
C'est l'image numérique d'un signal analogique. Exemple : température, débit, niveau.

I.4.4 La numérisation

La numérisation, est une opération qui consiste à convertir une donnée analogique en un équivalent numérique (binaire) compréhensible par un microprocesseur. L'outil permettant de réaliser cette numérisation est un Convertisseur Analogique Numérique (CAN), ce dernier est caractérisé par ses deux entrées, de référence et de signal, ainsi que sa sortie qui représente le mot numérique (de n bits) représentant la valeur analogique [13].

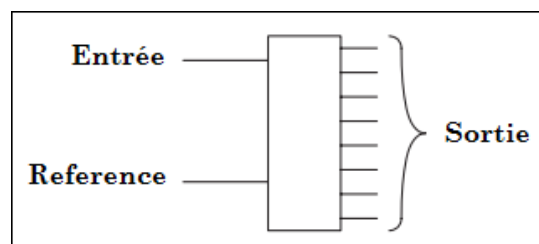


Figure (I.15) : représentation simplifié d'un CAN.

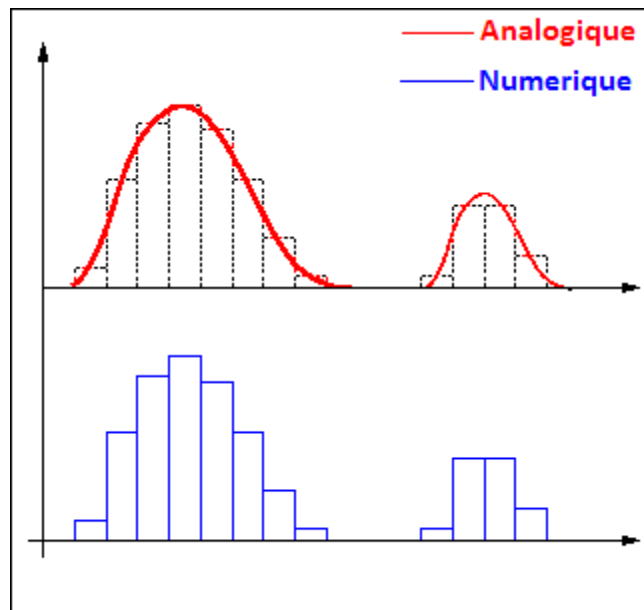


Figure (I.16) : représentation d'un signal analogique numérisé.

I.4.5 Principe d'une numérisation

Toute opération de numérisation suit un même processus, les techniques utilisées peuvent être différentes, et dépendent des conditions d'utilisation du dispositif [14].

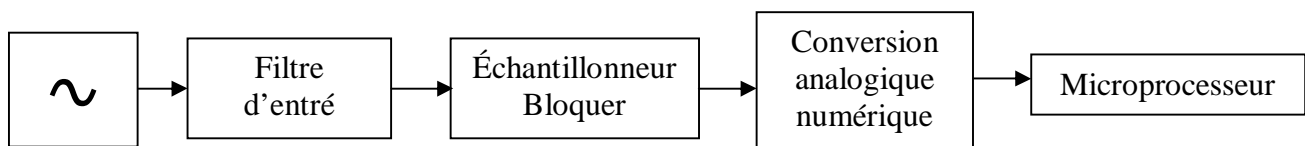


Figure (I.17) : processus d'une numérisation.

I.4.6 Filtre d'entrée

Ce filtre est communément appelé « *filtre anti-repliement* ». Son rôle va être de limiter le contenu spectral du signal à la partie utile. Il va participer aussi à limiter l'influence du bruit éventuellement présent sur le signal à numériser. C'est un filtre analogique passe-bas de fréquence de coupure $f_c / 2$ [14].

I.4.7 Échantillonneur bloqueur

Pour transformer un signal analogique en un signal numérique, il faut le discrétiser. On va donc prélever régulièrement des échantillons du signal analogique pour le rendre discret et permettre ainsi sa numérisation.

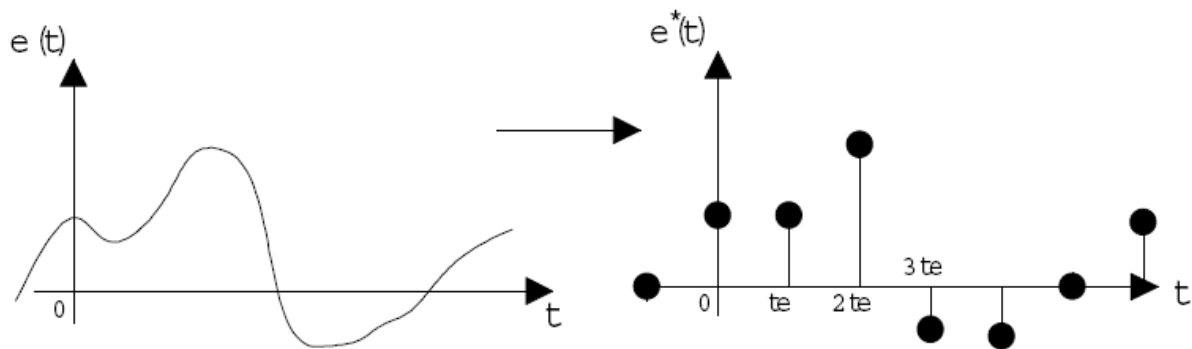


Figure (I.18) : allure d'un signal échantillonné.

On prend ainsi des valeurs de $e(t)$ à des intervalles de temps régulier (tous les T_e , période d'échantillonnage) à une fréquence F_e dite fréquence d'échantillonnage, que l'on déterminera ultérieurement. Suite à cet échantillonnage, on quantifie chaque échantillon par une valeur binaire pour la stocker sur un support numérique.

Une fois le signal filtré et échantillonné, il reste à le quantifier. Pour pouvoir réaliser cette fonction, on doit maintenir constant la valeur à quantifier afin de permettre au CAN de traiter l'échantillon et de le numériser. On appelle cette opération, le blocage. Ce blocage doit être d'une durée supérieure au temps de conversion.

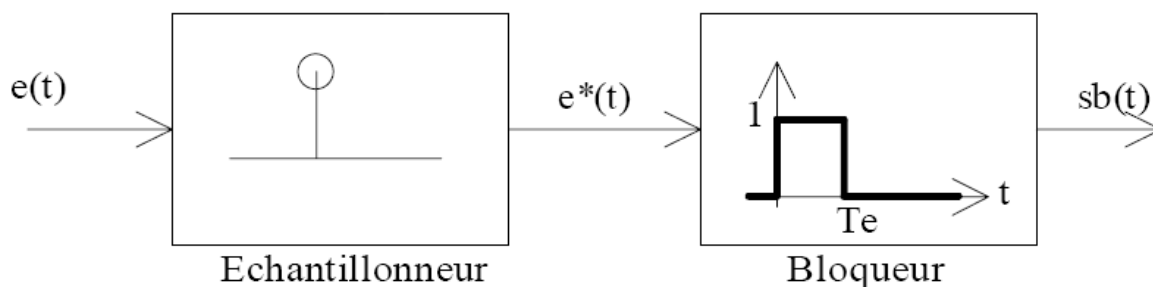


Figure (I.19) : association d'un bloqueur à échantillonneur.

NB :

Note importante à garder toujours à l'esprit; la fréquence d'échantillonnage obéit à certain théorème dit « *théorème de Shannon* » qui stipule que :

Il est nécessaire d'échantillonner le signal à une fréquence deux fois supérieur, ou plus, à la fréquence max du signal même, et ceci dans le but d'avoir une représentation correcte du signal analogique.

$$\text{Fréquence Echantillonnage} \geq 2 \times \text{Fréquence max signal}$$

Car dans le cas contraire si le spectre du signal d'origine à une largeur supérieur à $2 \cdot F_e$ on a ce qu'on appelle un repliement de spectre. S'il y a un repliement de spectre, il n'est plus possible de retrouver le spectre du signal d'origine. Dans ce cas, l'opération d'échantillonnage modifie les caractéristiques du signal d'entrée. Ainsi, si l'on ne veut pas perdre d'informations par rapport au signal que l'on échantillonne, on devra toujours respecter la condition :

$$(F_e \geq 2F_{\max}).$$

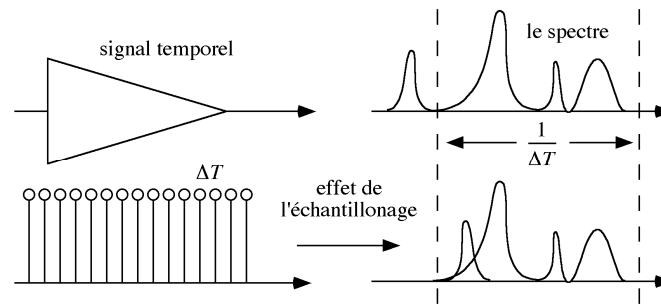


Figure (I.20) : phénomène du pliement.

I.4.8 La quantification (conversion analogique-numérique)

La quantification est une opération qui consiste à affecter une valeur numérique à une tension analogique par rapport à un référentiel, tension de référence, la tension à quantifier ne doit jamais excéder la tension de référence.

Il existe plusieurs types de convertisseurs analogiques numériques, avec pour chacun, des caractéristiques spécifiques, les principaux convertisseurs sont [13]:

- A intégration, simple ou double rampes
- A approximation successive
- Flash
- Sigma delta

Tout convertisseur est caractérisé par deux paramètres, le nombre de bit du mot en sortie du convertisseur et la vitesse de conversion, les différentes techniques utilisées pour chaque type permettent d'obtenir ces résultats :

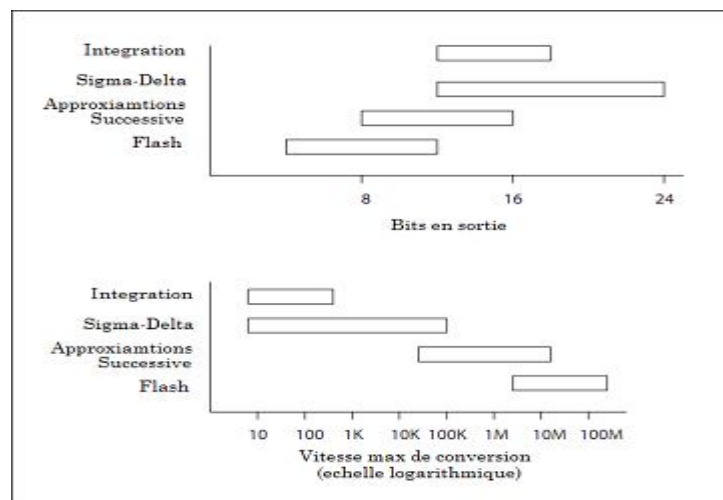


Figure (I.21) : Comparaison des caractéristiques de CAN.

On Remarque que la technique par approximation successive offre le meilleur compromis entre nombre de bits en sortie et vitesse de conversion, chose qui nous la incités à voir de plus près le principe de la méthode.

I.4.9 Acquisition

Afin d'enregistrer, analyser, traiter les données sur une unité de traitement, il est nécessaire d'acquérir ces données numériquement, pour cela plusieurs BUS et protocoles ont été établis afin de créer une communication entre deux unités numériques. De cette façon il est de plus en plus facile de traiter une quantité importante de données.

Chose que l'on trouve aujourd'hui sous forme de carte électronique dit carte d'acquisition qui regroupe tout les composants et chaîne de traitement vue jusqu'à maintenant, cependant bien que à l'heure actuelle nous disposant de carte de haute performance, certaines règles et critères doivent être pris en compte pour le choix de la carte à utiliser [15].

I.4.9.1 Paramètres fondamentaux d'une carte d'acquisition de donnée

On notera:

- La résolution
- Gamme et Gain
- Vitesse et fréquence d'échantillonnage

Généralement, tous les constructeurs font apparaître clairement la résolution, la gamme de tension et la vitesse de la carte. En effet, cela permet de classer rapidement les cartes. Avant de choisir une carte, il est important de vérifier ces informations. Quoiqu'il en soit, nous allons développer chacune de ces caractéristiques [15].

I.4.9.1.1 Résolution

La résolution d'une carte, c'est habituellement le premier paramètre auquel on s'intéresse. C'est aussi celui que les fournisseurs mettent en évidence. Il conditionne la qualité du signal échantillonné.

Attention toutefois, la résolution dépend généralement de la fréquence d'échantillonnage, ainsi la résolution diminue généralement lorsque la fréquence d'échantillonnage augmente. Une carte donnée pour 12 bits de résolution à 100 Hz peut très bien tomber à 9 bits de résolution à 100 kHz.

Il est donc important de connaître non pas la résolution de la carte, mais la résolution de la carte à la fréquence à laquelle vous allez la faire fonctionner.

I.4.9.1.2 Gamme et gain

- **Gamme** elle correspond à l'amplitude de variation du signal d'entrée autorisée par la carte.
- **Gain**: c'est le facteur par lequel est multipliée l'amplitude du signal d'entrée avant que ce signal soit numérisé par le CAN.

Ce gain permet d'obtenir, à l'entrée du CAN, un signal dont l'amplitude de variation est la plus proche possible de la pleine échelle du convertisseur (typiquement 0-10V). On bénéficie ainsi au maximum de la résolution offerte par le CAN.

Attention

Sur certaines cartes, le fait d'utiliser un gain limite la vitesse d'échantillonnage. Notez, par exemple, que la plupart des fournisseurs annoncent des vitesses avec des gains de 1.

Remarque

Si on a le choix entre plusieurs modèles de cartes utilisant des CAN différents, on préférera celle qui offre l'échelle d'entrée du CAN la plus proche de l'amplitude de variation du signal à convertir. Mieux vaut en effet utiliser un gain le plus faible possible.

I.4.9.1.3 Vitesse et fréquence d'échantillonnage

C'est la fréquence maximale du signal à acquérir qui impose la fréquence minimale d'échantillonnage. Le théorème de Nyquist (ou de Shannon, selon que l'on se trouve d'un côté ou de l'autre de l'Atlantique) indique qu'il faut au minimum échantillonner à deux fois la fréquence maximale que peut prendre le signal.

Échantillonner à deux fois la fréquence du signal, c'est prendre plus de deux points de mesure par période de signal. En effet, on voit qu'il est plus facile de redessiner le signal à main levée quand il y a plus de points par période.

De même, si l'on échantillonne à moins de 2 fois la fréquence du signal, cela veut dire que l'on a moins de 2 points par période (1 point par période par exemple). Si on relie à main levée les prises de mesure, on voit que tout se passe comme si on avait échantillonné un signal de fréquence beaucoup plus basse que celle du signal réel. On parle alors de signal ou de fréquence fantôme (phénomène de repliement) [15].

I.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différentes méthodes de contrôle non destructives en générale et plus particulièrement le contrôle par courant de Foucault. Le choix d'une technique dépend d'un grand nombre de facteurs tels que la nature des matériaux inspectés, des phénomènes utilisés (thermique, électromagnétique,...) et de la nature de la réponse recherchée.

Nous avons pu aussi nous familiariser avec le procédé de conversion analogique numérique que l'on retrouve dans divers appareillages utilisés au quotidien, ainsi que les contraintes et précaution liées à celles-ci.

Grace à ces généralités nous pouvons dresser un cahier des charges qui se résumera à développer une interface pour le capteur CND courant de Foucault. Le mode de fonctionnement choisi est le mode absolu mono-fréquence décrit précédemment.

Le cahier des charges sera le suivant :

- Conception et réalisation d'une alimentation capable de générer un signal sinusoïdal à des fréquences variables (50Khz, 100Khz, 150Khz et 200Khz).
- Créé un programme sur LabVIEW pour acquérir et traiter les données par ordinateur (l'impédance Z). Le tout via une carte d'acquisition qui sera présentée ultérieurement.



Chapitre II

Hardware

II.1 Introduction

Notre but est de concevoir un appareil capable de générer un signal sinusoïdal afin d'alimenter la bobine par une source alternative à fréquence variable, le dispositif doit être mobile et simple à utiliser.

L'appareillage se constituera donc de deux parties :

- L'alimentation du capteur : constitué d'un générateur de sinus à fréquence variable.
- La carte d'acquisition : de chez national-instrument de type NI PCI-6281.

II.2 Fonctionnement général

Le principe de fonctionnement du CND par courant de Foucault, comprend essentiellement un générateur alimentant le capteur avec une résistance shunte, lui-même qui est relié à la carte d'acquisition cette dernière branchée sur un ordinateur pour traiter et afficher des données, ainsi que la cible à contrôler dont éventuellement la présence du défaut.

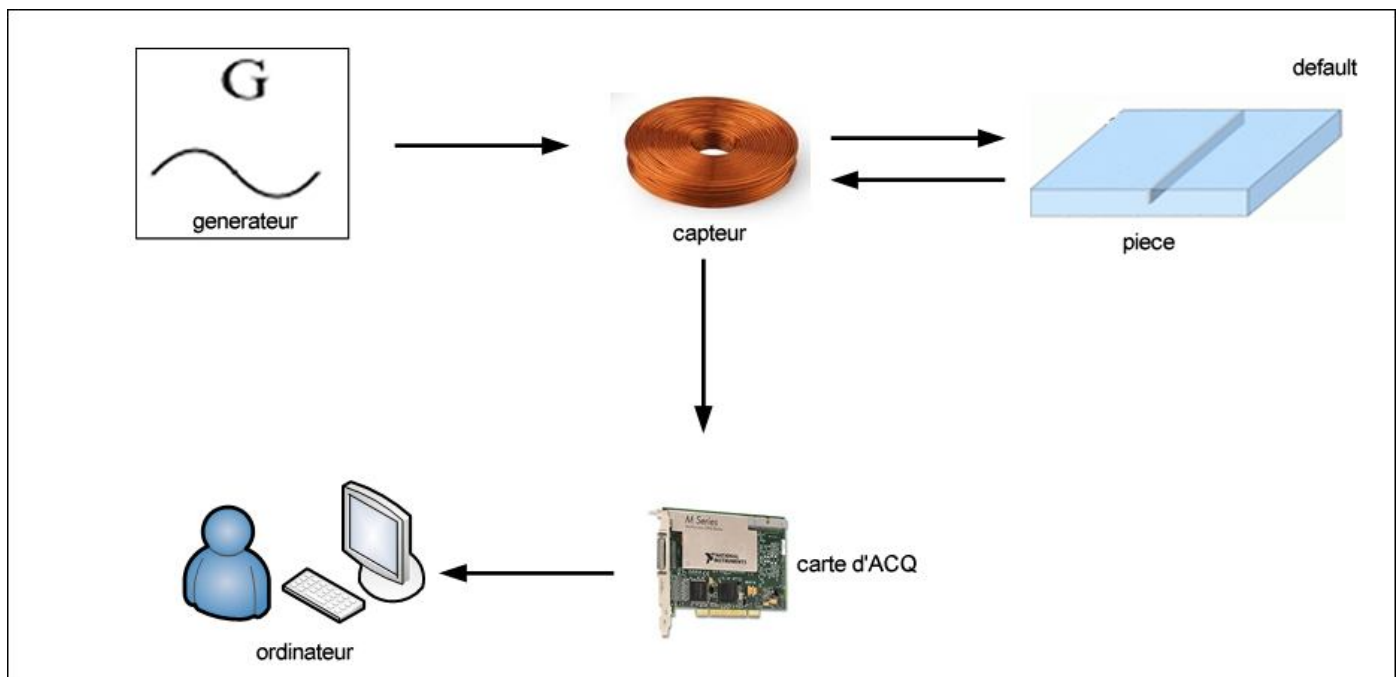


Figure (II.1) schéma synoptique de fonctionnement

Une fois le capteur alimenté, on commence à examiner la pièce à contrôler, la variation de la tension au borne du capteur est récoltée par la carte ainsi que l'image du courant aux bornes de la résistance shunte de 1Ω et des ces deux grandeurs on tire leur valeur efficace (V_{eff} et I_{eff}), d'après la loi d'ohm ($Z= V/I$) on obtient le module de l'impédance le tout traité par ordinateur.

II.3 Conception

II.3.1 Générateur de fonction

Le dispositif d'alimentation se base sur le générateur de forme d'onde **ICL8038**, qui est un circuit intégré capable de générer trois types de forme d'onde (sinusoïdal, carrée et triangulaire) simultanément. La fréquence f peut être ajustée entre 1mHz jusqu'à 300 kHz avec juste quelques composants externes se résumant à des résistances et condensateurs.

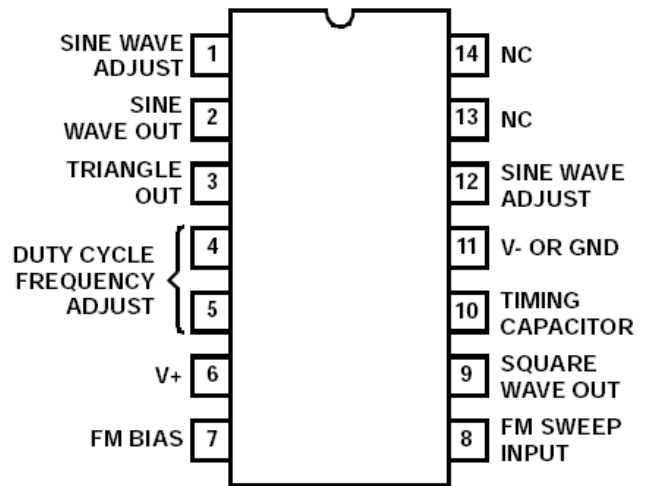


Figure (II.2) pinnes de sortie du ICL8038

II.3.1.1 Mode de fonctionnement

Un condensateur externe C (sur la pîne 10) est chargé et déchargé par deux sources de courants. La source courant 2 est commutée en marche et arrêt par une bascule, alors que la source courant 1 est allumé sans interruption. En supposant que la bascule est dans un état tel que la source courant 2 est éteinte, et le condensateur est chargé par la source 1, la tension à travers le condensateur augmente linéairement avec le temps. Quand cette tension atteint le niveau du comparateur 1 (placé à $2/3$ de la tension d'alimentation), la bascule est déclenchée, change d'état et libère la source de courant 2, celle-ci porte normalement un courant I' , ainsi le condensateur est déchargé avec un courant net et la tension chute linéairement avec le temps jusqu'à atteindre le niveau du comparateur 2 (placé à $1/3$ de la tension d'alimentation), la bascule revient a sont état original et débute un nouveau cycle.

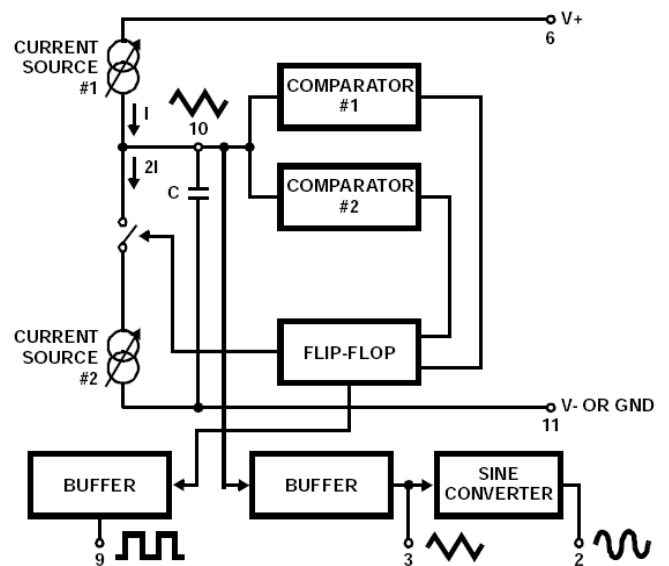


Figure (II.3) Diagramme fonctionnelle de l'ICL8038

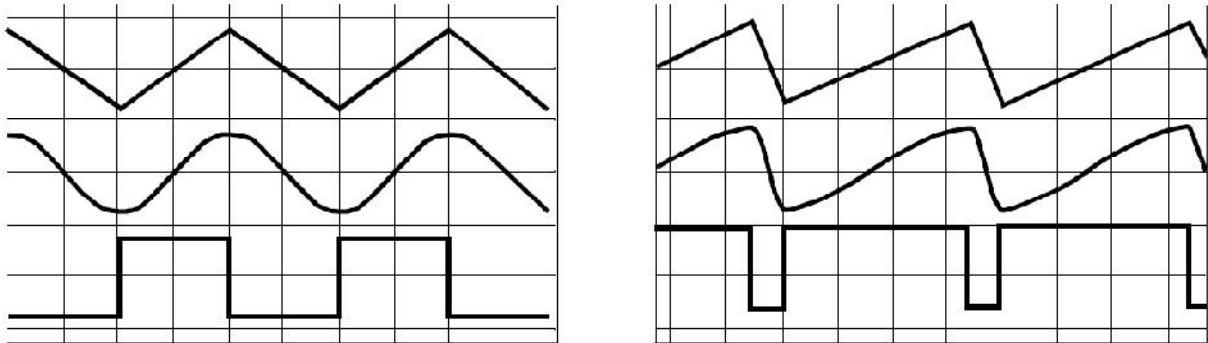
Deux formes d'ondes sont disponibles, les sources de courant étant places en I et I' respectivement, le temps de charge et de décharge sont égaux, ainsi une forme d'onde triangulaire est créée à travers le condensateur et la bascule produit une vague carrée. Les formes d'onde sont alimentées aux étapes de buffers (un montage spécifique destiné à amplifier le courant de sortie d'un circuit) disponible sur les pînes 3 et 9.

La vague sinus quant à elle, est créée en introduisant la vague de triangle dans un réseau non linéaire (convertisseur de sinus) [16].

II.3.1.2 symétrie des formes d'ondes et Fréquence

II.3.1.2.1 La symétrie des formes d'onde :

Elle peut être ajustée avec les résistances de synchronisation externe branchées sur les pins 4 et 5 respectivement R_A et R_B , avec R_A qui commande la partie montante de la vague de triangle et de sinus ainsi que l'état haut de la vague carrée, R_B la partie descendante. Ce qui influence directement le rapport cyclique des différents signaux de sortie, donc pour obtenir une parfaite sinusoïde le rapport cyclique doit être de 50% implique que $R_A=R_B$. [16].



RAPPORT CYCLIQUE 50%

RAPPORT CYCLIQUE 80%

Figure (II.4) influence du rapport cyclique sur la symétrie de la forme d'onde

II.3.1.2.2 fréquence

La fréquence de sortie est déterminée par la relation suivante :

$$f = \frac{1}{\frac{R_A C}{0.66} \left(1 + \frac{R_B}{2R_A - R_B}\right)} \quad (\text{II.1})$$

Donc pour un rapport cyclique de 50% on a $R_A=R_B=R$ l'équation (II.1) va se simplifier et on obtiendra la relation suivant :

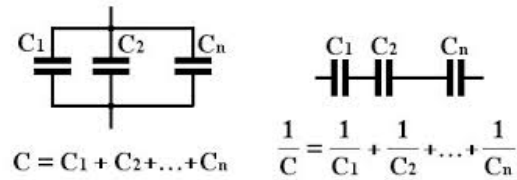
$$f = \frac{0.33}{R.C} \quad (\text{II.2})$$

Avec $R=10\text{k}\Omega$, $f_1 = 50\text{kHz}$, $f_2=100\text{kHz}$, $f_3=150\text{kHz}$, $f_4=200\text{kHz}$ et grâce à la relation (II.2) nous pouvons calculer les différentes valeurs de C reporté dans le tableau suivant :

F (kHz)	C (pF)
50	660
100	330
150	220
200	165

NB :

Il est à noter que dans le commerce les valeurs des capacités sont normalisées et que dans notre cas les valeurs disponibles sont les 330pF et 220pF, afin d'obtenir les autres valeurs on place deux capacité de 330pF en parallèle pour obtenir le 660pF, deux capacité de 330pF en série pour obtenir 165pF.



Figure(II.5) Condensateur série, parallèle

II.3.1.3 Schéma électrique

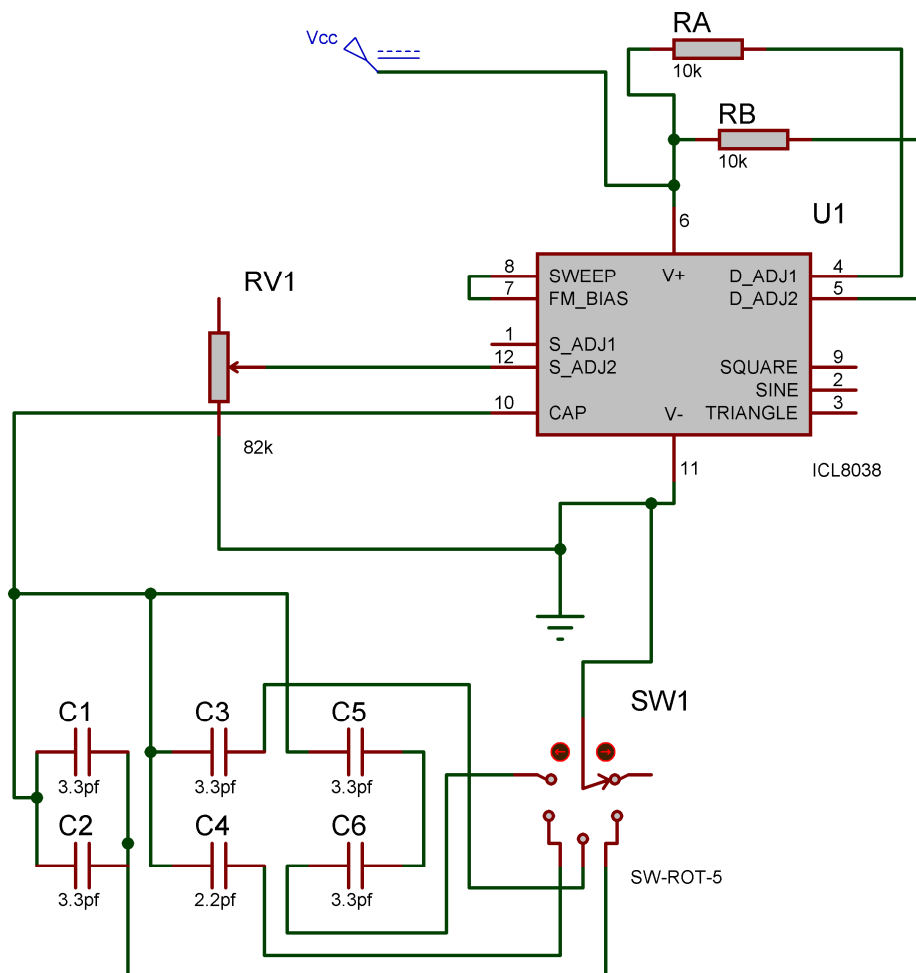


Figure (II.6) Schéma de mise en service de l'ICL8038

II.3.2 Amplification en tension

Pour un signal sinusoïdal l'amplitude de sortie vaut $0.22 \cdot V_{cc}$ crête à crête, ce qui veut dire pour une alimentation de 12v nous obtiendrons une tension de 2.64v ($12 \cdot 0.22 = 2.64$) crête à crête, c'est pour cela que nous avons ajouté un étage amplificateur de tension afin de mieux contrôler l'amplitude de la tension du signal de sortie, voir figure(II.7).

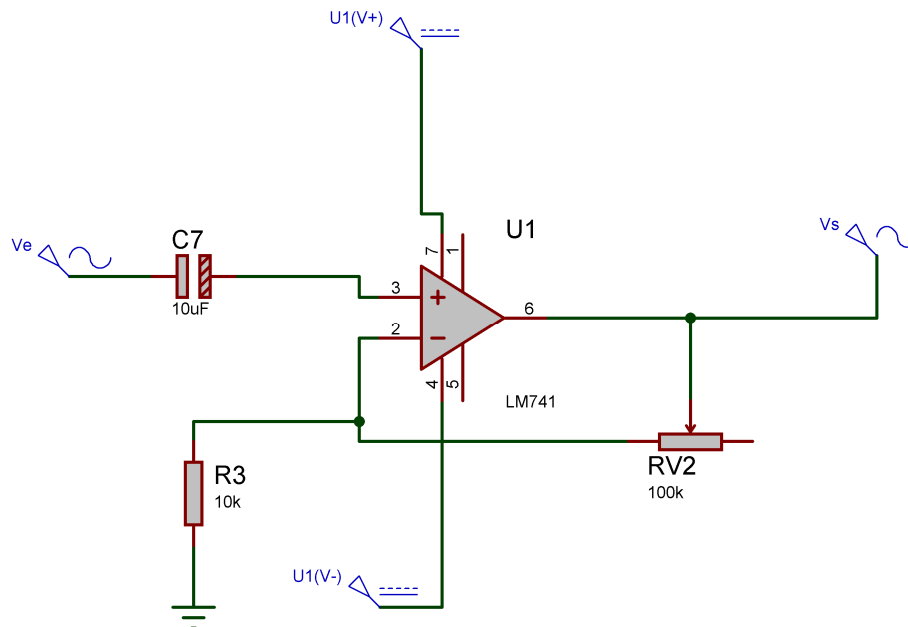


Figure (II.7) amplificateur de tension

Nous avons utilisé un montage non inverseur dont la tension de sortie est donnée par la relation suivante : $V_s = V_e * \left(1 + \frac{R_{v2}}{R_3}\right)$ (II.3)

Le rapport $\left(1 + \frac{R_{v2}}{R_3}\right)$ représente le gain et grâce à la résistance variable Rv2 nous pouvons modifier la valeur de ce dernier et ainsi Controller l'amplitude du signal de sortie.

La capacité polarisée C7 a pour rôle de filtrer la composante continue se trouvant dans la sinusoïde provenant de l'ICL8038.

II.3.2 Amplification en courant

La sortie en courant de l'ICL8038 est de l'ordre de quel vingtaine de mA et avec l'amplification en tension celle-ci se trouve altérer un peut plus.

Pour remédier à ce problème nous allons utiliser ce qu'on appelle un amplificateur de classe B, ou bien montage push pull idéal pour amplifier les signaux de type sinusoïdal.

II.3.2.1 le push-pull

Un montage en **Push Pull** se dit d'un montage dont l'étage de puissance est composé de deux transistors complémentaires (paire de NPN et PNP) dont les caractéristiques sont identiques (même β).

L'idée de base est de charger le transistor NPN d'amplifier uniquement la partie positive et le PNP la partie négative du signal. Cela permet de travailler dans un régime où la polarisation est moindre et donc la consommation est moins élevée, c'est le cas de la classe d'amplification Classe B.

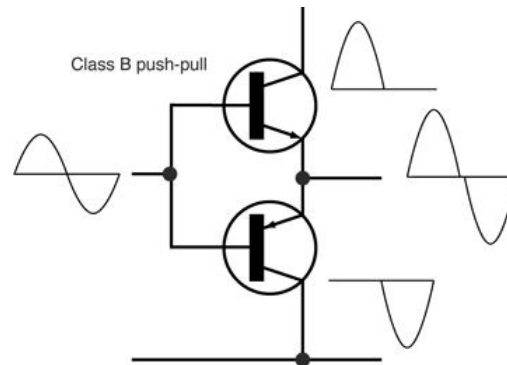


Figure (II.8) représentation d'un étage push pull

II.3.2.2 Montage Darlington

Dans notre circuit nous avons adopté aussi le montage Darlington ou transistor Darlington, qui est l'association en cascade de deux transistors du même types et ceci afin d'obtenir un gain β final égale à β^2 .

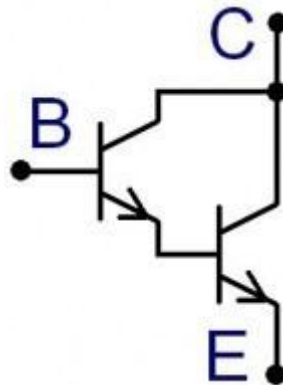


Figure (II.9) montage Darlington

II.3.2.3 Schéma électrique du push-pull réalisé

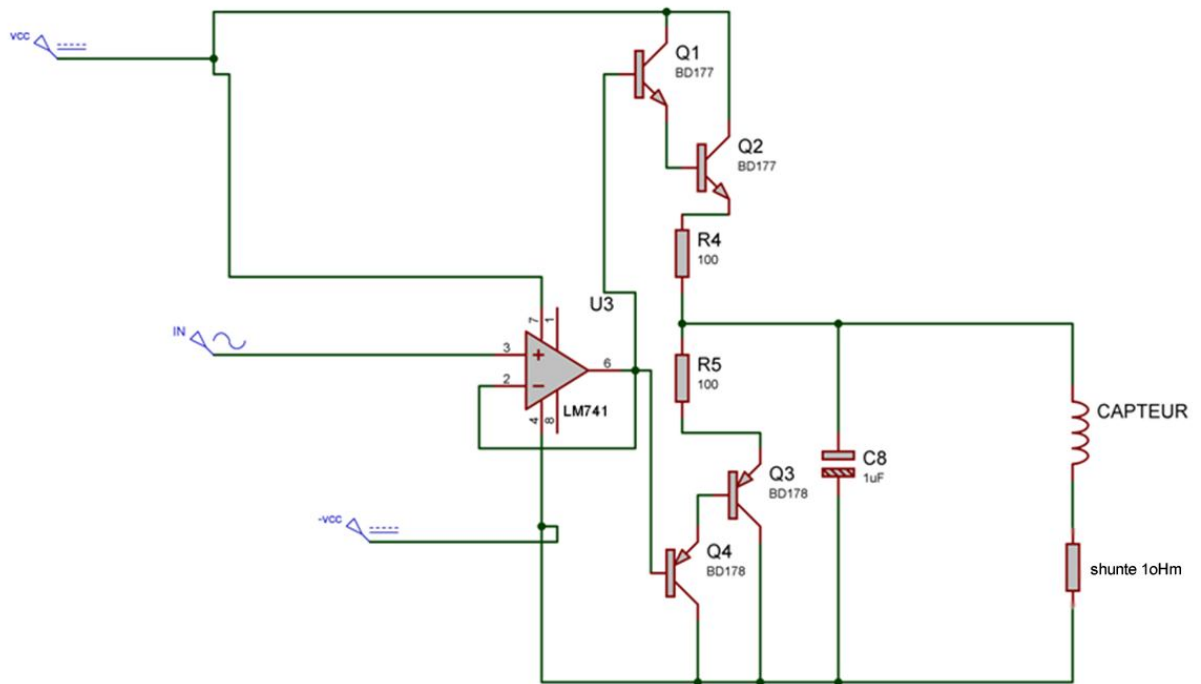


Figure (II.10) amplificateur de courant

Le montage push-pull est précédé d'un AOP monté en suiveur dans le but de créer une adaptation d'impédance.

II.3.3 alimentation symétrique

Afin de pouvoir alimenter tout les circuits vu précédemment nous devons créer une alimentation capable de fournir une tension continue de 12v pour l'ICL8038 ainsi que du +5/-5v en symétrique pour alimenter les différents AOP ainsi que les transistors. Voir figure(II.11).

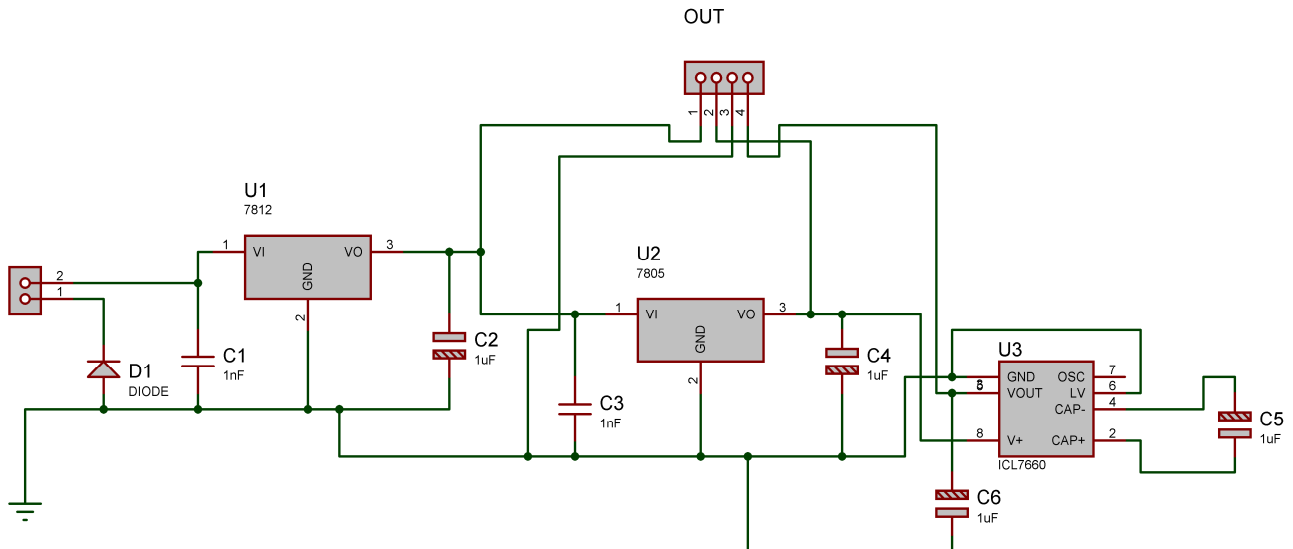


Figure (II.11) Alimentation stabilisée symétrique

Grâce au régulateur (7812) la tension d'entrée peut varier entre 12v-24v DC à sa sortie on aura toujours du 12volt que l'on va injecter à l'entrée du régulateur suivant (7805) pour obtenir à sa sortie du 5volt qui sera injecté à son tour dans le circuit ICL7660 qui joue le rôle d'inverseur de polarité ainsi à la sortie finale (le OUT dans schéma) nous obtiendrons sur les pines 1,2,3 et 4 respectivement 12v,5v,GNDet-5v, la diode D1 joue le rôle de protection pour le circuit en cas de mauvais branchement en inversant entre le +/-.

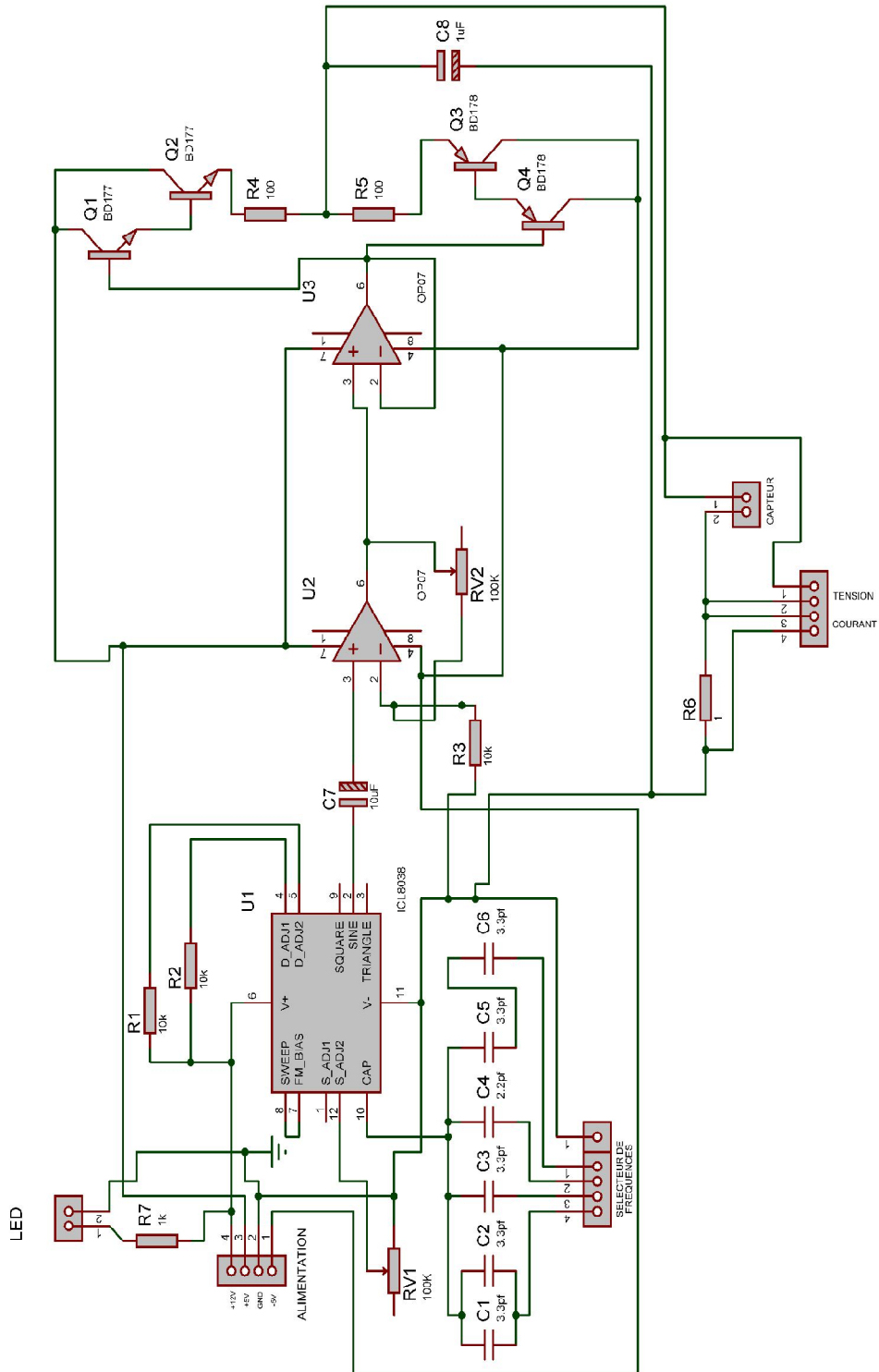


Figure (II.12) Schéma électrique globale du montage

II.3.2 Carte d'acquisition

National instruments est une société américaine qui propose une variété de familles de cartes d'acquisition de données (DAQ) multifonctions pour répondre aux besoins en matière de performance et de prix. Dans notre projet, nous allons utiliser une carte National Instruments M Series PCI-6281. Celle-ci s'implante dans un connecteur d'extension PCI du l'ordinateur [17].



Figure(II.13) carte d'acquisition NI PCI-6281 de M Series.

II.3.2.1 Caractéristique de la carte

La carte NI PCI-6281 de la M Series est une carte d'acquisition de données (DAQ) multifonctions haute précision optimisée pour une précision d'entrée analogique 18 bits. Les caractéristiques de cette carte sont les suivantes :

- 16 entrées analogiques avec un taux d'échantillonnage 625 k échantillons/S en mono-chanel.
- 2 sorties analogiques.
- 24 chaines d'entrée/ sorties numériques
- deux voies pour un compteur d'une fréquence de 80 MHz.
- filtres passe-bas programmables 40 kHz rejettent le bruit haute fréquence et éviter le repliement.

De même que la carte d'acquisition PCI-6281 dispose d'une d'interface SCB-68 qui est un bloc de connecteurs blindé, à 68 broches utilisées pour assurer la communication entre la carte d'acquisition et les grandeurs d'entrées, via un câble blindé SHC68-68-EPM [17].



Figure (II.14) Bloc de connections SCB-68



Figure(II.15) câble de connections SHC68-68-EPM

II.3.2.1 Configuration de la carte d'acquisition

Après avoir installé la carte dans le PC, il faudra dans un premier temps s'assurer que la carte est convenablement installée et reconnue. Pour cela National Instruments propose un utilitaire permettant la configuration et l'exploration des différents périphériques d'acquisition de données. Ce programme appelé MAX fait apparaître dans sa section périphériques et interfaces les différents matériels connectés. Permettant de modifier leur configuration, comme les plages de tension de la carte par exemple. MAX permet aussi de tester de façon manuelle la ressource matérielle et sa connexion au monde extérieur.

Le rôle de MAX est non seulement de permettre la configuration matérielle des périphériques d'acquisition mais aussi de transmettre ces configurations à LabVIEW qui peut alors faire les contrôles nécessaires lors de la mise en œuvre des Vis (virtual instruments). Un autre rôle important du MAX est d'attribuer les numéros de périphérique, numéros par lesquels LabVIEW fait référence aux différents matériels installés sur le PC [18].

II.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté notre solution liée à la réalisation d'un générateur sinusoïdal dont nous avons détaillé les étapes de sa conception ainsi qu' une brève description de la carte d'acquisition utilisé où on a décrit ses caractéristiques technique et aussi sa mise en service.



Chapitre III

Software

III.1. Introduction

Un langage de programmation graphique ou visuel est un langage de programmation dans lequel les programmes sont écrits par assemblage d'éléments graphiques. Sa syntaxe concrète est composée de symboles graphiques et de textes, qui sont disposés spatialement pour former des programmes. De nombreux langages visuels se basent sur les notions « de boîtes et de flèches » : les boîtes (ou d'autres d'objets) sont traités comme des entités, reliées par des flèches ou des lignes qui représentent des relations.

Parmi ces langages les plus connues on citera :

- Grafcet
- Le ladder
- Simulink (matlab)
- Langage G : de LabVIEW

Ce troisième chapitre portera essentiellement sur le logiciel LabVIEW, qu'on a choisi pour effectuer l'acquisition et le traitement de données, où on donnera une description brève et détaillée du logiciel qui sera suivi d'un petit TUTORIEL concernant les étapes d'une tâche d'acquisition.

III.2 LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) est un logiciel de développement d'applications mis au point par la société américaine National Instruments. Ce logiciel est utilisé dans un grand nombre de domaines plus particulièrement ceux destinés à l'acquisition de données et au traitement du signal. En effet, il offre de larges possibilités de communication entre l'ordinateur et le monde physique par cartes d'acquisitions, il fournit aussi de multitudes d'outils et de bibliothèques permettant de réaliser de divers traitements sur les signaux mesurés.

LabVIEW utilise un langage de programmation graphique (le langage G) pour créer un programme sous forme de diagramme, au lieu des lignes de textes (programmation par script) utilisées en C par exemple pour écrire des programmes [19].

III.2.1 Environnement de Logiciel LabVIEW

LabVIEW est centré autour du principe d'instrument virtuel (Virtual Instrument ou encore VI). Il se décompose en deux parties [20] :

III.2.1.1 La face avant

La face avant est l'interface utilisateur, elle comporte :

- Les contrôles
- Les indicateurs

Les contrôles simulent les entrées des instruments virtuels et fournissent les données au diagramme.

Les indicateurs simulent la réponse des instruments et affichent les données acquises ou engendrées par les VIs.

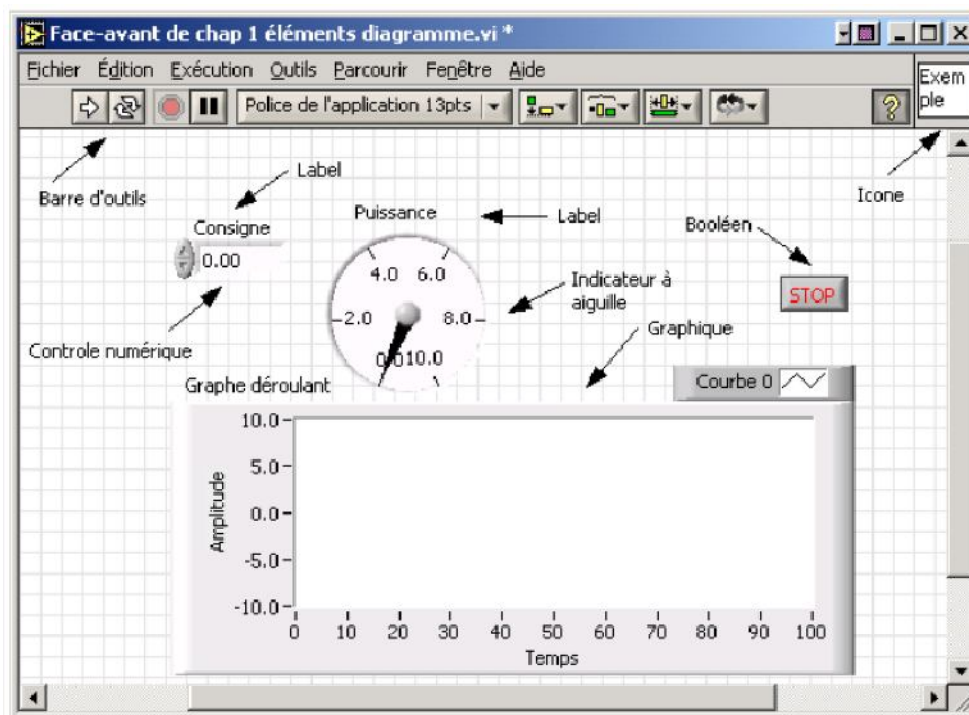


Figure (III.1) : Fenêtre face Avant

III.2.1.2 le diagramme

Le diagramme est chargé de mettre en relation les entrées et les sorties ainsi que les différents éléments fonctionnels du programme, Il se compose de :

- **nœuds**

Les nœuds sont des objets sur le diagramme. Ils possèdent des entrées et/ou des sorties et effectuent des tâches spécifiques lorsqu'un VI fonctionne. Ils sont équivalents à des fonctions dans les langages textuels.

- **terminaux**

Les objets situés dans la face avant apparaissent comme des terminaux dans le diagramme. Les terminaux sont des ports de communication entre la face avant et le diagramme reflétant le type de données du contrôle ou de l'indicateur. Ils sont équivalents aux paramètres et aux constantes dans les langages textuels.

- **fil**

L'ensemble des terminaux et des nœuds sont mis en relation par des fils pour transférer les données dans le diagramme. Chaque fil provient d'une seule source mais peut être distribué à plusieurs VIs ou de fonctions destinées à les traiter. Les fils sont analogues aux variables dans les langages textuels.

- **Structures**

Plus communément connues sous l'appellation BOUCLE. Comme dans beaucoup de langages, un programme ne peut être efficace qu'à conditions de disposer de mécanismes d'itération, dans le cas du LabVIEW les plus utilisés :

- Des boucles : For et While
- Des structures conditionnelles
- Des structures de séquence : Elles sont spécifiques à LabVIEW et permettent de déterminer l'ordre d'exécution de certaines parties de code.

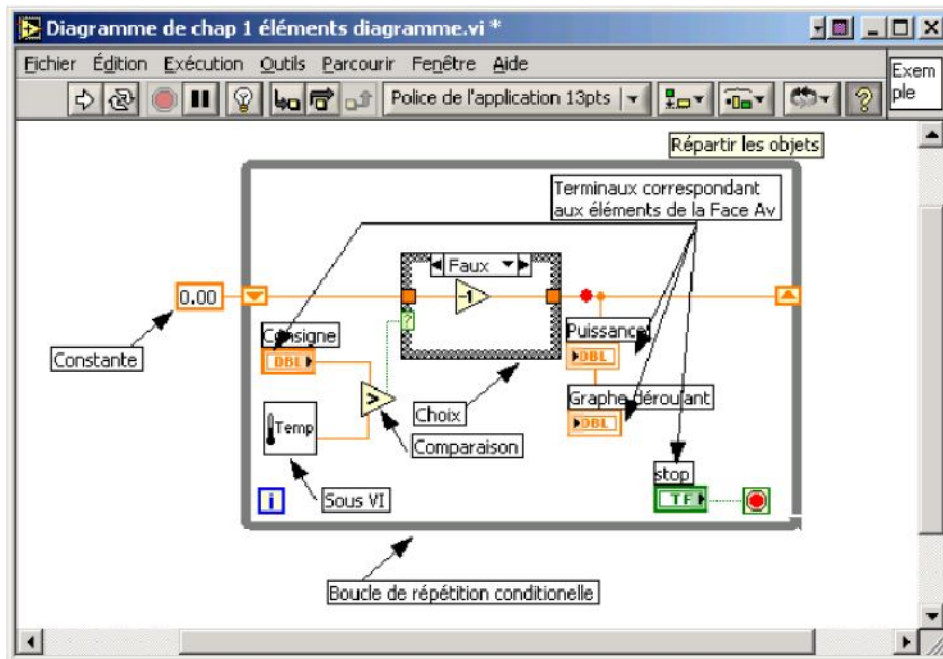


Figure (III.2) : Fenêtre diagramme.

III.2.1.3 Les Outils

III.2.1.3.1 Barres d'outils de la face avant et du diagramme.

Les barres d'outils donnent accès aux outils d'exécution et de présentation du programme.

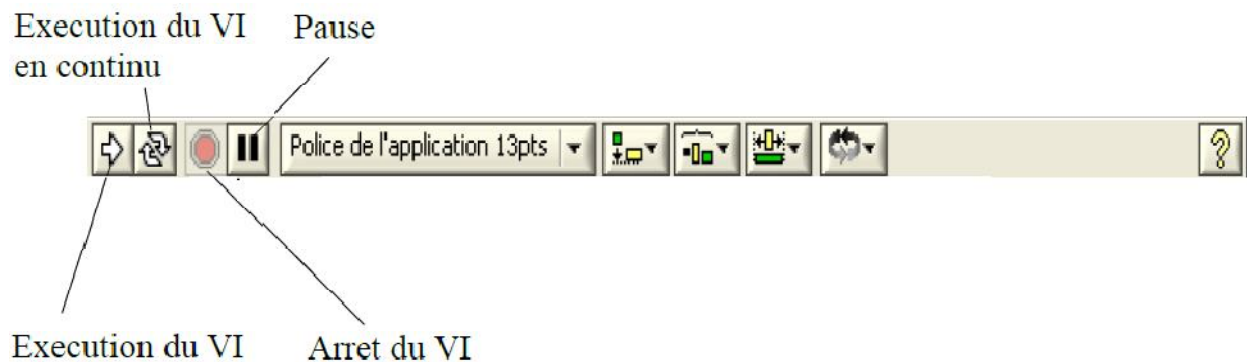


Figure (III.3) : Barre d'outils face avant

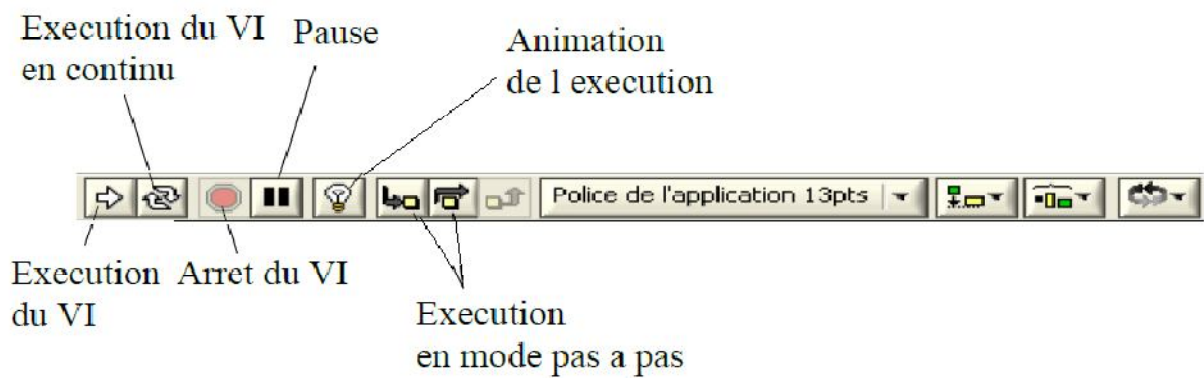


Figure (III.4) : Barre d'outils diagramme.

III.2.1.3.2. Les palettes

Les palettes LabVIEW nous fournissent les outils qui nous permettent de créer et d'éditer la face avant ou le diagramme de la face arrière, on trouve trois palettes :

➤ Palette d'outils

La palette d'outils existe sur le diagramme et sur la face avant. Elle permet de modifier des valeurs, des couleurs, mais aussi de câbler les entrées et les sorties des icônes entre elles, de poser des points d'arrêt, des sondes...



Figure (III.5) : palette d'outils.

➤ La palette Commande (control)

La palette Commande est uniquement accessible depuis la face avant Elle permet de créer toutes les commandes et indicateurs quels que soient leurs types. Chaque icône de la palette correspond à une rubrique qui permet d'accéder à une fenêtre secondaire contenant l'ensemble des éléments relatifs à cette rubrique utilisables sur la face avant par exemple :

- Nombres
- Booléens
- Chaînes de caractères
- Tableaux
- Clusters
- Graphiques
- Types spéciaux

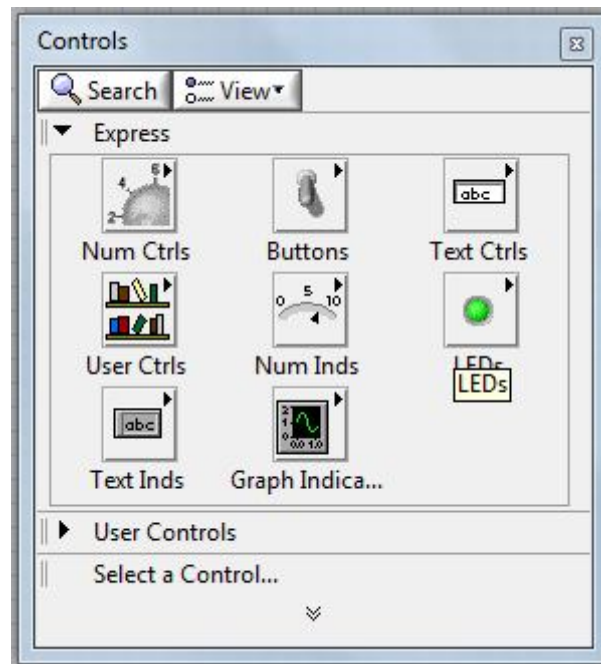


Figure (III.6) : La palette de commande.

➤ **Palette de fonctions**

La palette Fonctions est seulement accessible sur le diagramme, Elle permet de créer toutes les fonctions du LabVIEW. Chaque icône de la palette correspond à une rubrique qui permet d'accéder à une fenêtre secondaire contenant l'ensemble des éléments relatifs à cette rubrique utilisables sur le diagramme par exemple.

- Structures
- Opérations numériques
- Opérateurs logiques
- Comparaisons
- Fonctions temporelles
- Entrées/Sorties
- Acquisition
- Traitement du signal

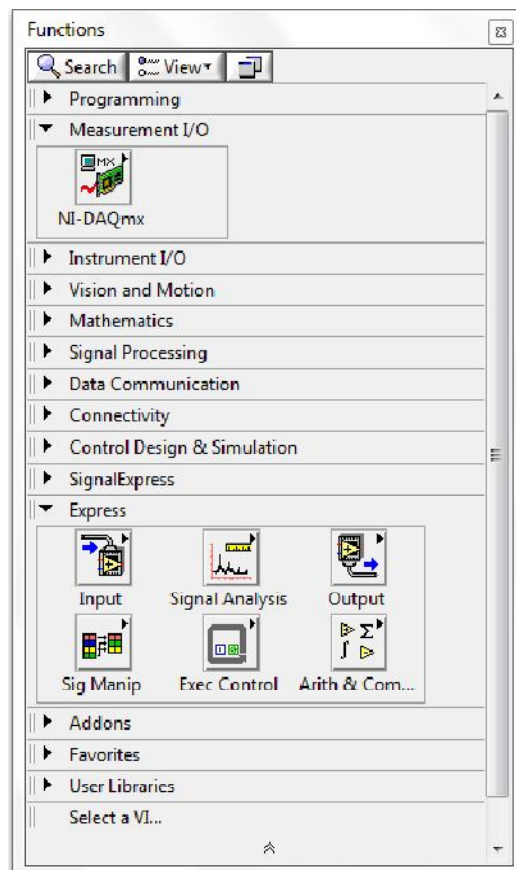


Figure (III.7) : palette de fonction.

III.2.1.3.3 La fenêtre d'aide contextuelle

Donne des informations relatives à l'objet situé sous le curseur de la souris, peut être une information sur la nature d'une liaison, le type de données à fournir à un indicateur, le fonctionnement d'un sous VI ou d'une fonction.

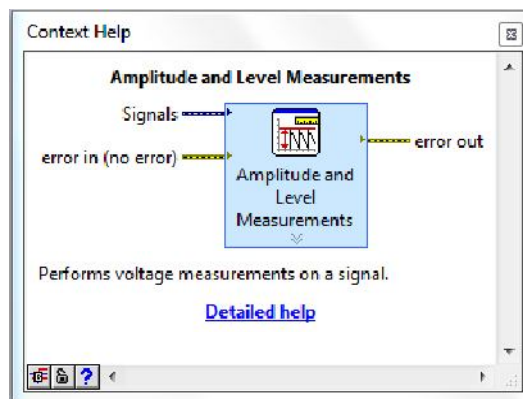


Figure (III.8) : fenêtre d'aide contextuelle

III.2.1.4 Les types de données utilisés dans LabVIEW

Comme la grande majorité des langages de programmation, LabVIEW possède une large palette de variables (entier signés, non-signés, flottants, booléens, chaînes de caractères,...etc.). Afin de les identifier plus facilement dans le diagramme, les différentes familles de variables possèdent chacune une couleur. Voir figure (III.9) [21].





























Entiers signés (0)	8 bits		Booléen (Faux)			Waveform					
	16 bits			Chaîne (chaîne vide)					Waveform numérique		
	32 bits						Chemin (<Pas un chemin>)				
Entiers non signés (0)	8 bits		Refnum							Nom d'E/S	
	16 bits			Type énumération					Horodatage		
	32 bits				Cluster		Numérique				
Nombres à virgule flottante (0)	Simple précision		Données mixtes								
	Double précision			Tableau				1D			
	Précision étendue				2D						
Complexes à virgule flottante (0 + 0i)	Simple précision										
	Double précision										
	Précision étendue										

Figure (III.9) : Les différents types de données utilisées dans l'environnement LabVIEW

III.2.1.5 Les Bibliothèques

L'environnement LabVIEW offre des bibliothèques étendues de fonctions et de routines répondant à la plupart des besoins en programmation. Pour l'analyse et le traitement des données, la bibliothèque d'analyse contient les fonctions pour la génération et le traitement de signaux (les filtres, les statistiques, la régression, l'algèbre linéaire et l'arithmétique matricielle). LabVIEW contient également des bibliothèques de fonctions spécifiques à l'acquisition de données utilisant les différentes portes d'entrée ainsi que des bibliothèques dédiées à la présentation et le stockage des données [22].

III.2.2 Logiciel LabVIEW en acquisition de données

L'acquisition des données s'effectue en utilisant une fonction offerte par le logiciel qui nous permet de communiquer avec des instruments reliés à l'ordinateur. Cette fonction est appelée **DAQmx-Data Acquisition**, elle contient des VIs pour le contrôle des cartes d'acquisitions (DAQ), figure (III.10). Parmi ses VIs on trouve DAQ Assistant qui nous permet d'accéder au panneau de configuration de la carte [18].

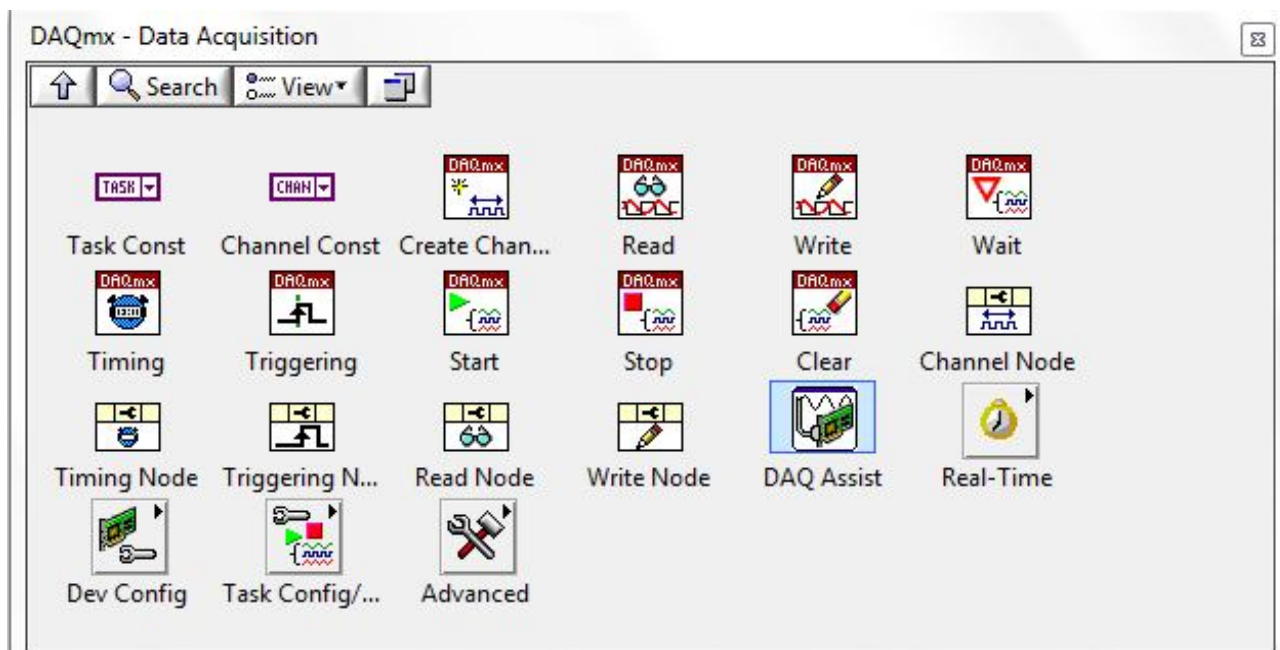


Figure (III.10) : Palette d'acquisition de données.

III.2.2.1 DAQ Assistant

Nous permet la configuration pas à pas de l'acquisition de données (configuration des entrées/sorties), il permet également de tester cette dernière avant de l'injecter dans le programme et corriger d'éventuelles erreurs signalées.



Figure (III.11) : DAQ assistant

Une fois posé sur le diagramme une fenêtre de configuration va s'ouvrir pour créer une nouvelle tâche et on aura le choix entre d'acquérir ou générer des signaux.

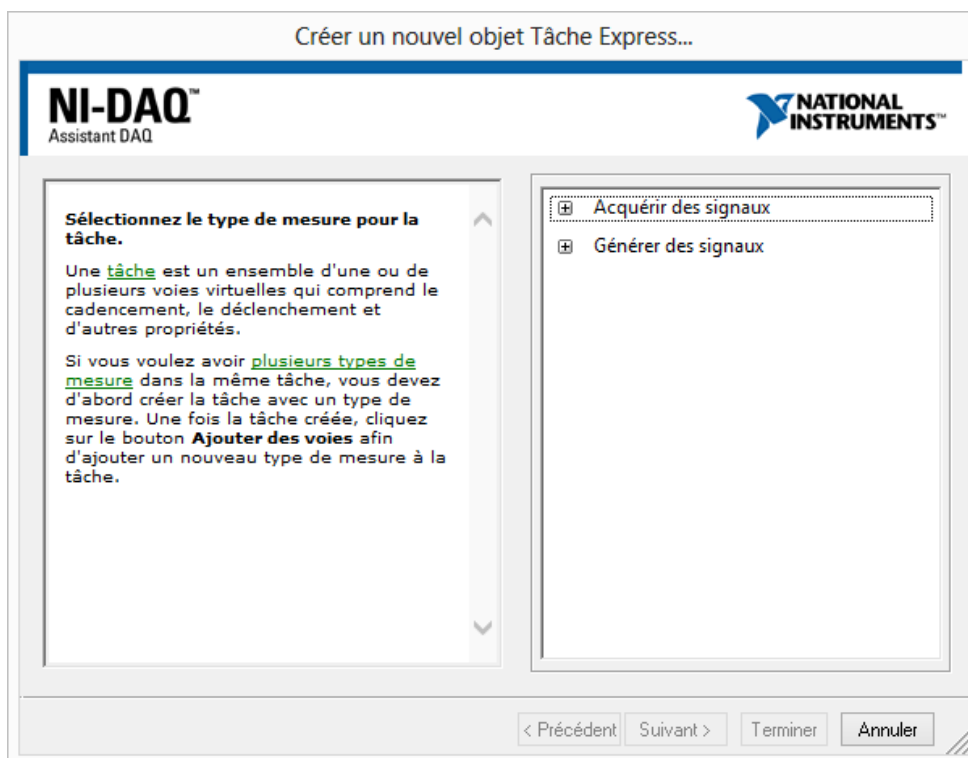


Figure (III.12) création d'une nouvelle tâche

Puisque notre but est l'acquisition de signaux de type analogique, nous allons sélectionner la case Acquérir des signaux puis celle de Entrée analogique comme cela est mentionné dur la figure (III.13).

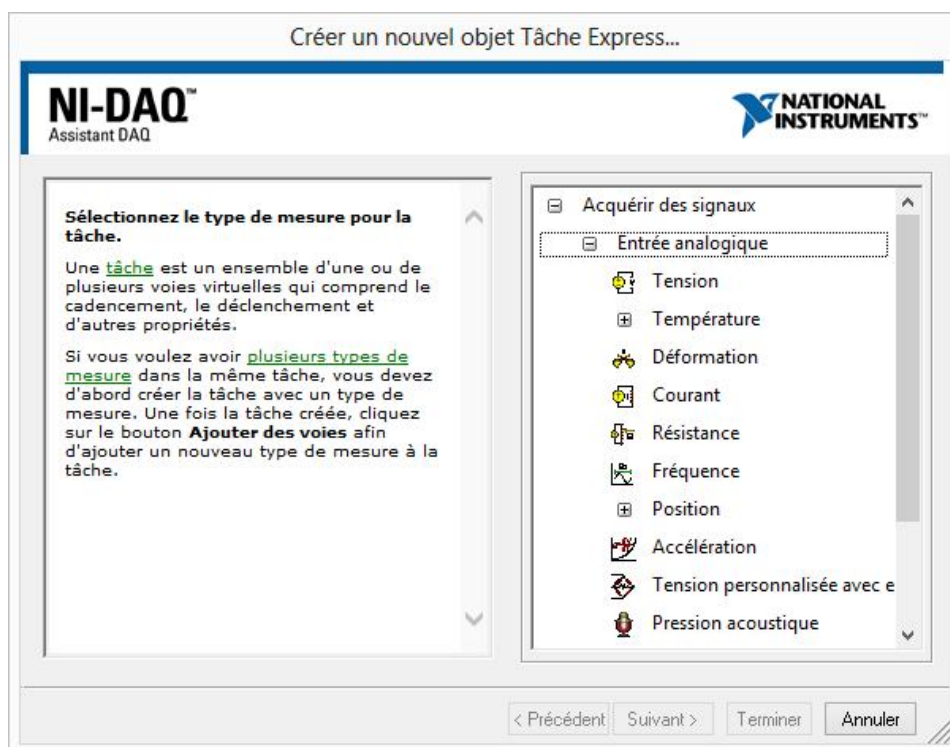


Figure (III.13) : Exemple du choix d'une entrée analogique.

Après le choix de l'entrée vient directement la sélection d'une voie physique sur laquelle on connecte le signal à acquérir figure (III.14) et qui correspond au du borne Bloc de connections SCB-68, Figure (II.14).

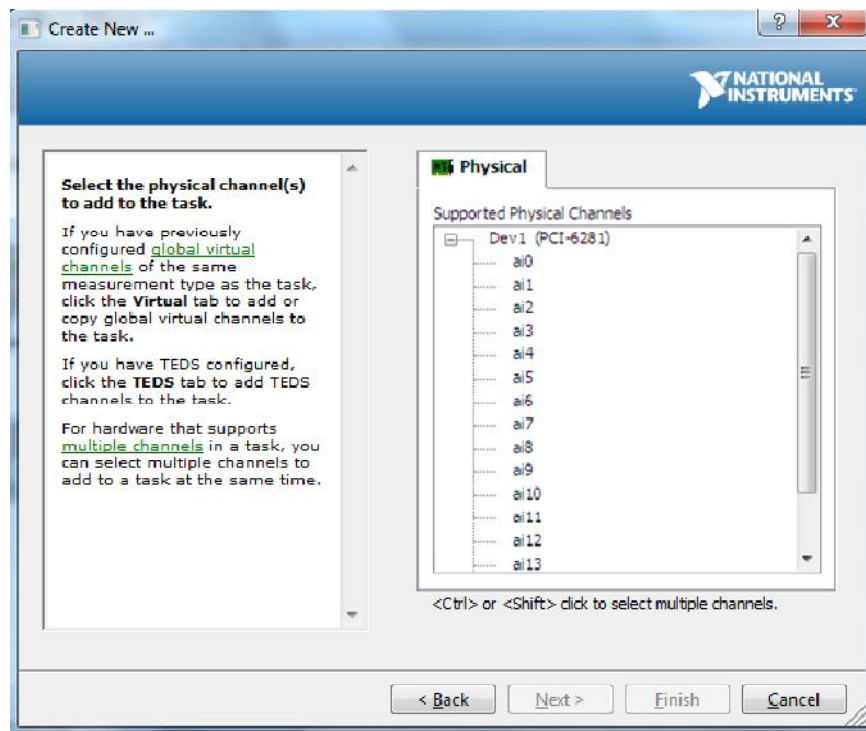


Figure (III.14) : choix d'une voie physique.

Puis il nous reste qu'à définir les paramètres de la configuration de la tâche, qui sont comme suit :

- La gamme d'entrée de la tension à mesurer.
- La configuration du terminal.
- Le mode d'échantillonnage.
- Le nombre d'échantillons à acquérir.
- La fréquence d'échantillonnage.

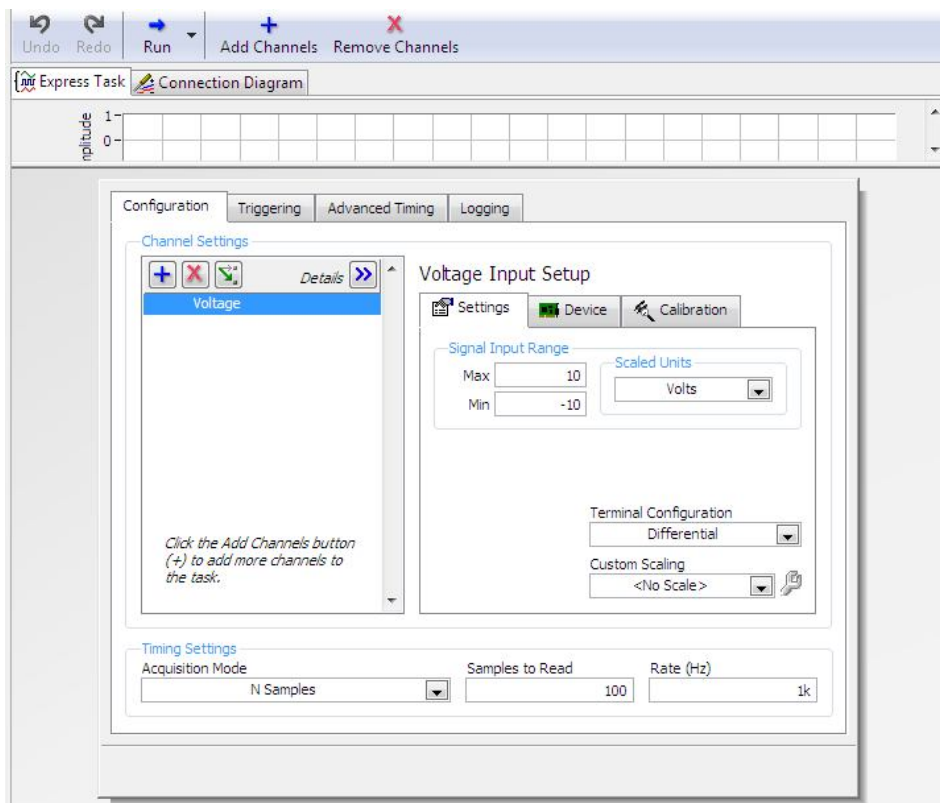


Figure (III.15) : Exemple de configuration d’une tâche.

Une fois la configuration est faite, DAQ Assistant apparaît avec un certain nombre d’entrées et de sorties. Il suffit ensuite de connecter les données à des outils de traitement du signal ou un Graph pour visualisation.

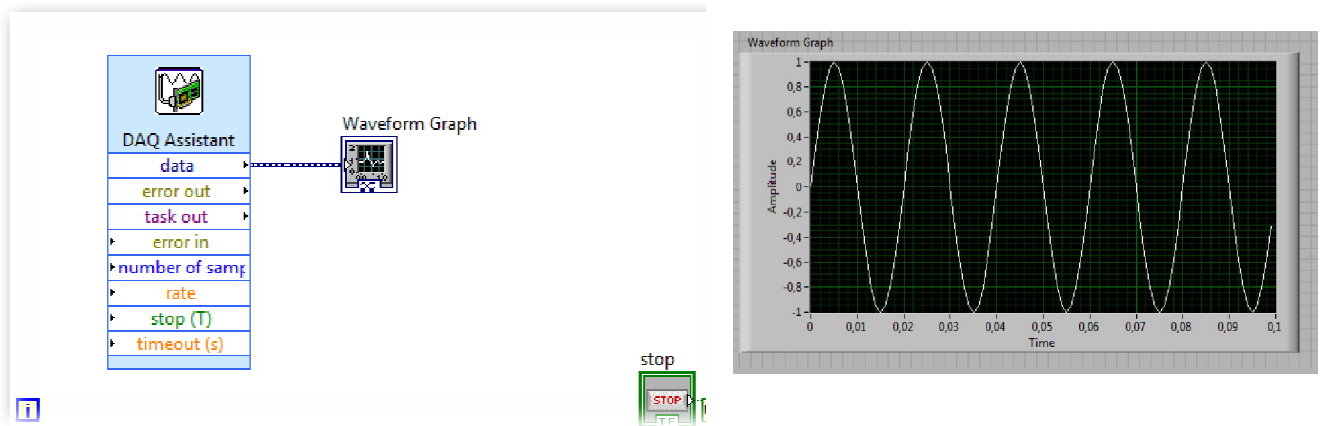


Figure (III.16) : DAQ Assistant configuré.

Le programme d'acquisition établi pour l'acquisition de l'impédance du capteur est représenté par les figures (III.17 et III.18).

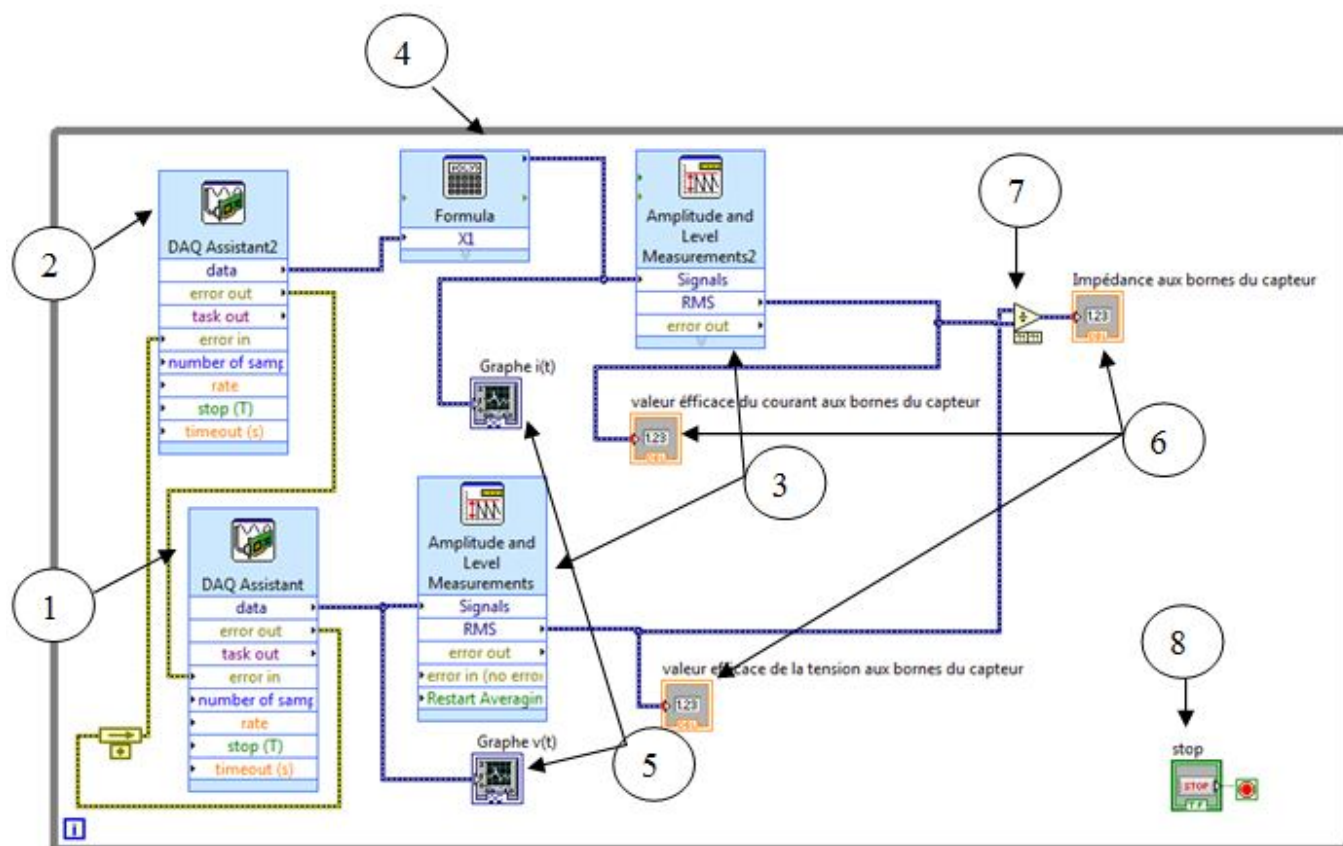


Figure (III.17) : programme d'acquisition.

1. Acquisition de la tension aux bornes du capteur
2. Acquisition de la tension aux bornes du shunte
3. Mesure d'amplitude (Valeur efficace)
4. Formula (calculatrice)
5. Indicateurs graphiques
6. indicateurs numériques
7. Diviseur ($V_{\text{eff}}/ I_{\text{eff}}$).
8. Condition d'arrêt

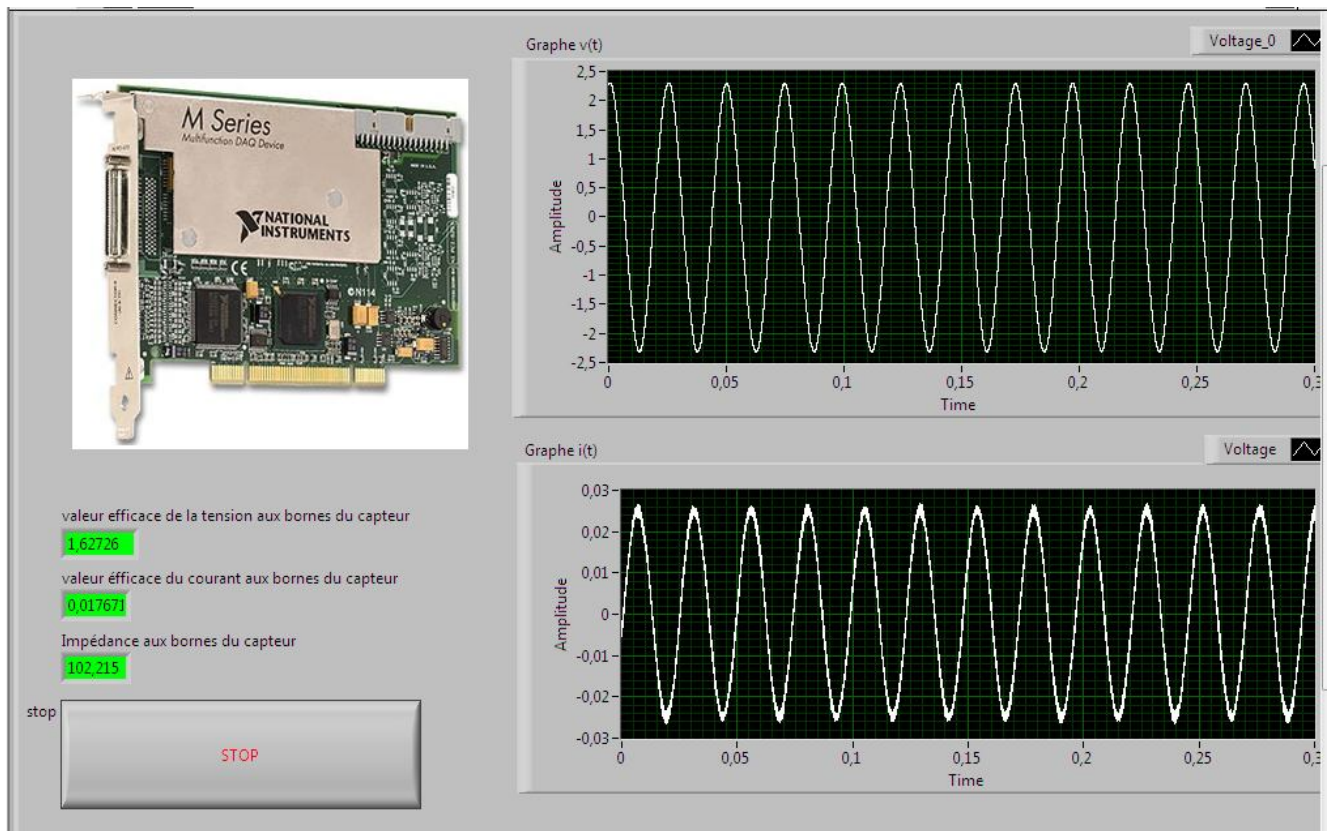


Figure (III.18) : interface utilisateur du programme d'acquisition

III.2.3 Déroulement du programme

Lors de la mise sous tension du capteur, on lance le programme par le bouton d'exécution des VIs (voir figure (III.3)), les DAQ assistant 1 et 2 envoi les données acquises respectivement aux bornes du capteur et du shunte vers les unités de mesure d'amplitude afin d'avoir les valeurs efficace des deux signaux.

Étant donné que la résistance shunte n'ayant pas une valeur précise de 1Ω , sa valeur efficace été divisé via l'outil formula par la valeur réel mesuré par un LCR mètre (1.1Ω on se qui nous concerne).

Une fois que les valeurs efficaces de la tension et du courant obtenues, ces deux grandeurs seront divisé l'une sur l'autre par un diviseur, nous obtenons au final le module de l'impédance du capteur, le tout sera affiché via des indicateurs numériques. (Figure III.17) (Figure III.18)

III.3 conclusion

Ce chapitre nous a permis de nous familiariser avec les cartes d'acquisitions ainsi que l'outil de développement LabVIEW qui leurs est associés, ce qui nous a permis de réaliser notre programme de calcul essentiel pour la suite de notre travail ce qui va nous induire au prochain chapitre.



Chapitre IV

Implémentations et Résultats

IV.1 Introduction

Dans les chapitres (II) et (III) nous avons présenté étape par étape la conception et réalisation de notre projet, dans ce chapitre nous allons présenter les résultats de notre implémentation, aussi les résultats obtenus lors des tests effectués.

IV.2 Réalisation pratique

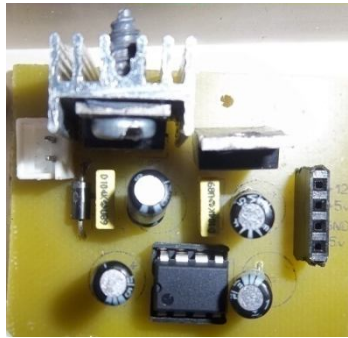


Figure (IV.1) L'alimentation symétrique stabilisée

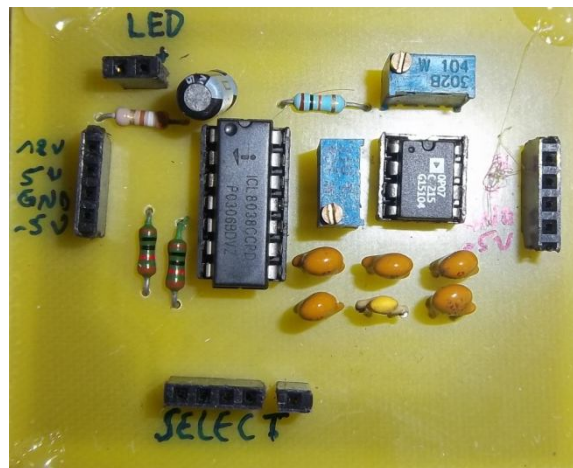


Figure (IV.2) générateur de sinusoïdal + étage amplificateur en tension

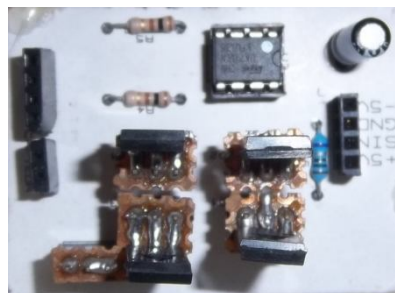


Figure (IV.3) étage push-pull

Nous avons préféré séparer la réalisation en trois parties dans le but de faciliter une éventuelle amélioration voir même la maintenance, les différents blocs seront connectés avec des fiches qu'on a fabriquées à cet effet le tout encastré dans un boîtier.



Figure (IV.4) mise en boîte des différentes cartes réalisées

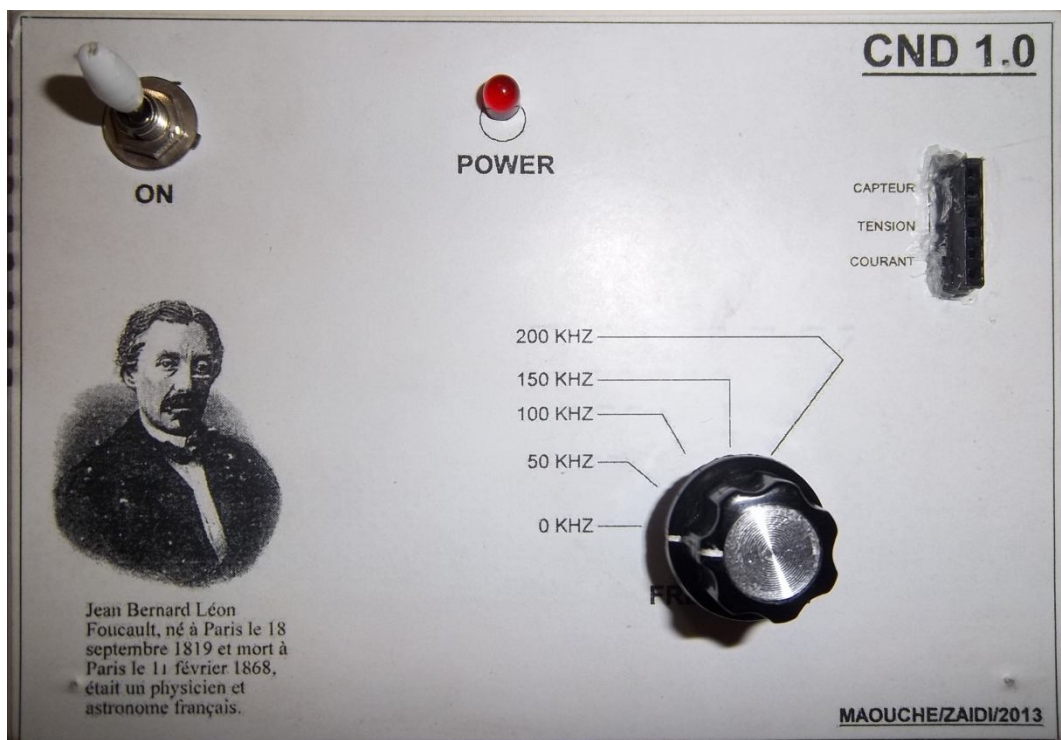


Figure (IV.5) produit final.

IV.2.1 test et résultats

Les résultats obtenus par notre dispositif sont les suivants :

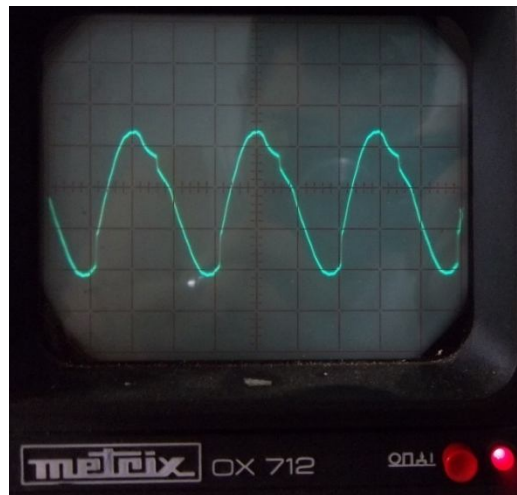


Figure (IV.6) sinusoïde à 50 kHz avec distorsion

On remarque ici que le signal présente quelque distorsions, elles sont dû au 50Hz provenant du secteur sous forme de fréquence parasite, c'est pourquoi on a mis le condensateur C_8 en parallèle avec le capteur 'voir Figure (II.10)' qui va nous filtrer ces distorsions.

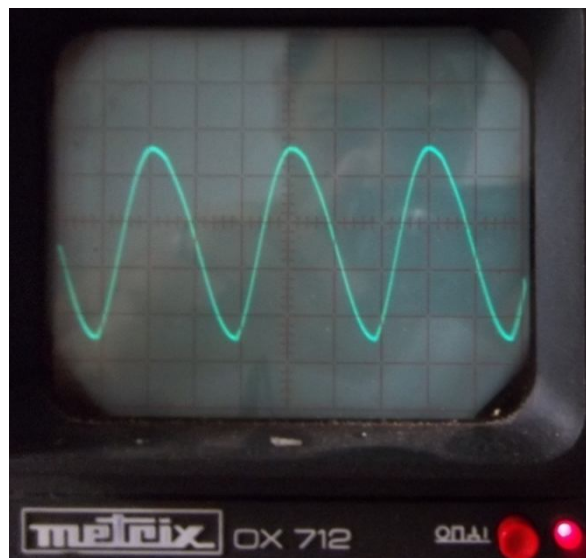


Figure (IV.7) sinusoïde à 50 kHz avec filtrage

Remarque :

Les sinusoïdes dans la Figure (IV.6) et la Figure (IV.7) on était prélevé aux bornes du capteur lors des tests effectués.

IV.2.2 limite et performance

Bien que le principe de fonctionnement est bon et que l'ICL8038 fournit le signal aux fréquences demandé (50, 100,150 et 200 kHz), malheureusement le dispositif est limité à la fréquence de 50kHz et ceci est due aux AOP ainsi qu'aux transistors dont la bande passante ne nous permet pas d'aller au-delà de cette fréquence.

Ce qui nous a induit à faire l'expérimentation avec un GBF, disponible au niveau de notre laboratoire afin de tester le fonctionnement de notre carte d'acquisition ainsi que le programmes élaboré.

IV.3 application et résultats

IV.3.1 application

La partie expérimentale consiste à faire plusieurs testes sur un pièce présentant un défaut, qui se résumant à centrer le capteur au milieu du défaut et le faire déplacer suivant les axes Ox et Oy avec un pas de 2[mm] pour prélever l'impédance sur une dizaine de points.

Pour le déplacement sur l'axe Ox on prélèvera les impédances à des fréquences différentes (50kHz, 100kHz et 150kHz) pour un Lift-Off de 0.13 [mm] et un autre de 0.52 [mm] pour une fréquence de 100kHz.

Pour le déplacement suivant Oy les impédances prélevées ont été faites sur une fréquence de 100kHz pour un Lift-Off de 0.13 [mm].

IV.3.1.1 Présentation de l'objet à contrôler

La cible à contrôler est une plaque de cuivre présentant un défaut dont les dimensions sont connues.

Voir la figure (V.8).

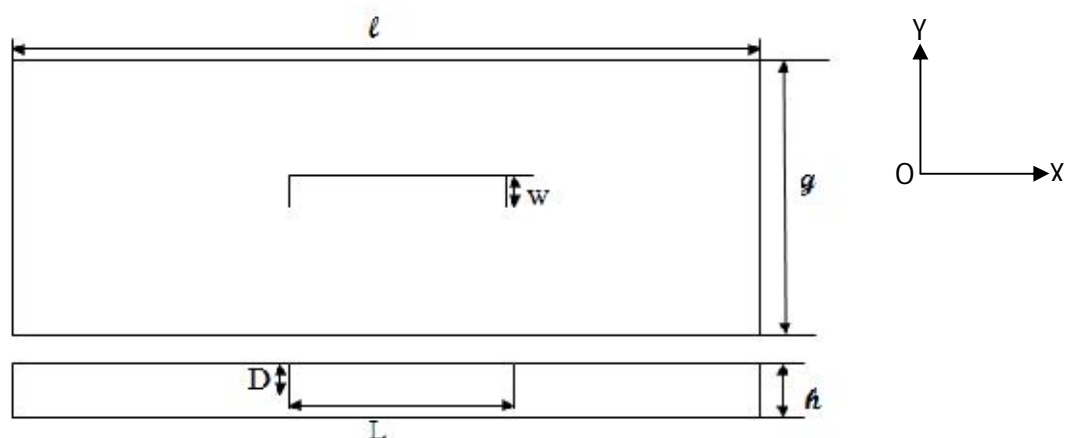


Figure (IV.8): Dimension géométrique du système



Figure (IV.9) : plaque de cuivre avec défaut.

Les différentes caractéristiques géométriques et physiques sont présentées comme suit :

➤ **La plaque**

- Longueur $l = 110$ [mm].
- Largeur $g = 60$ [mm].
- Hauteur $h = 4$ [mm].
- Conductivité $\sigma = 5.8 \cdot 10^{-7}$ [$\Omega \cdot m$]⁻¹
- Perméabilité magnétique $\mu = 4\pi 10^{-7}$ [H/m]

➤ **Le défaut**

- Longueur $L = 12$ [mm].
- Largeur $W = 2$ [mm].
- Profondeur $D = 1.3$ [mm].
- Conductivité $\sigma = 0$ [$\Omega \cdot m$]⁻¹
- Perméabilité magnétique $\mu = 4\pi 10^{-7}$ [H/m].



Figure (IV.10) : capteur avec la plaque.

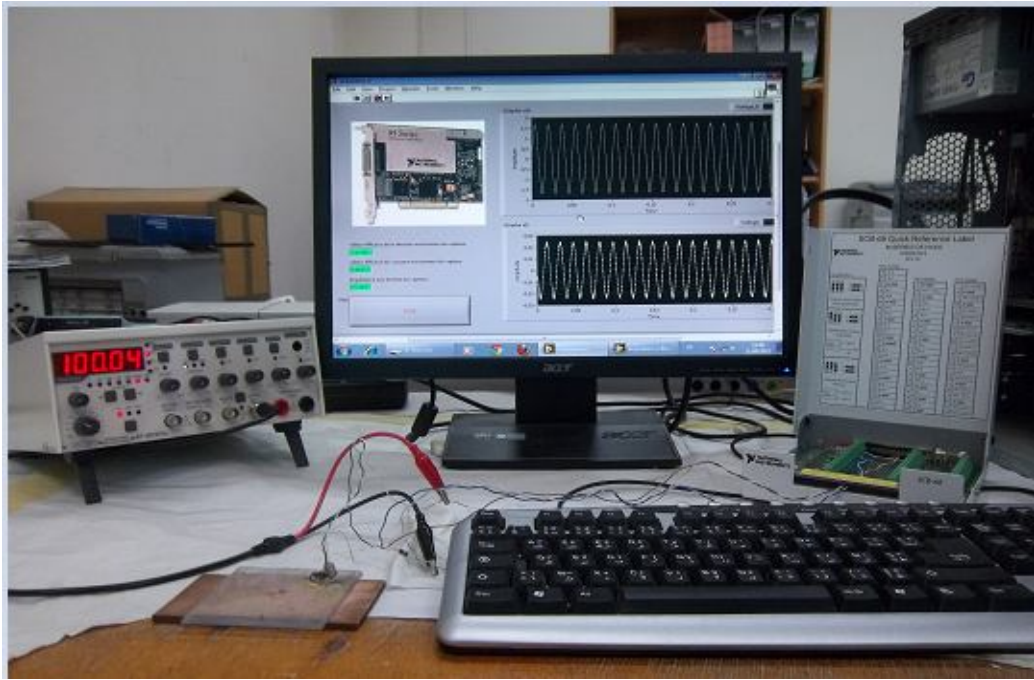


Figure (IV.11) : banc d'essai

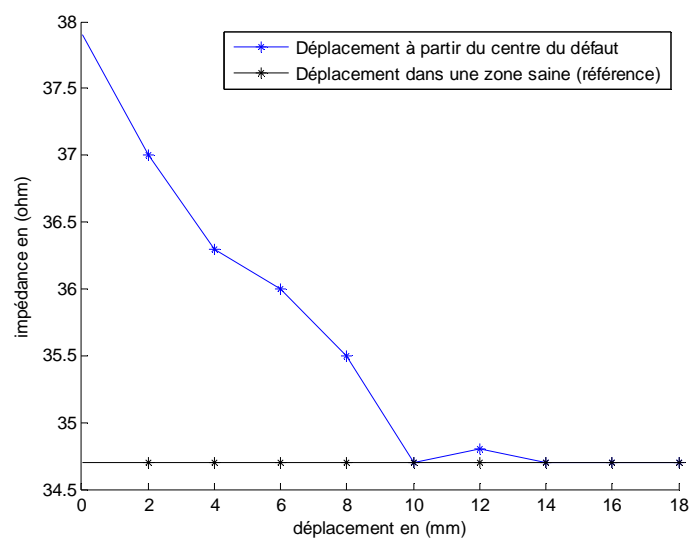
IV.3.2 Résultats

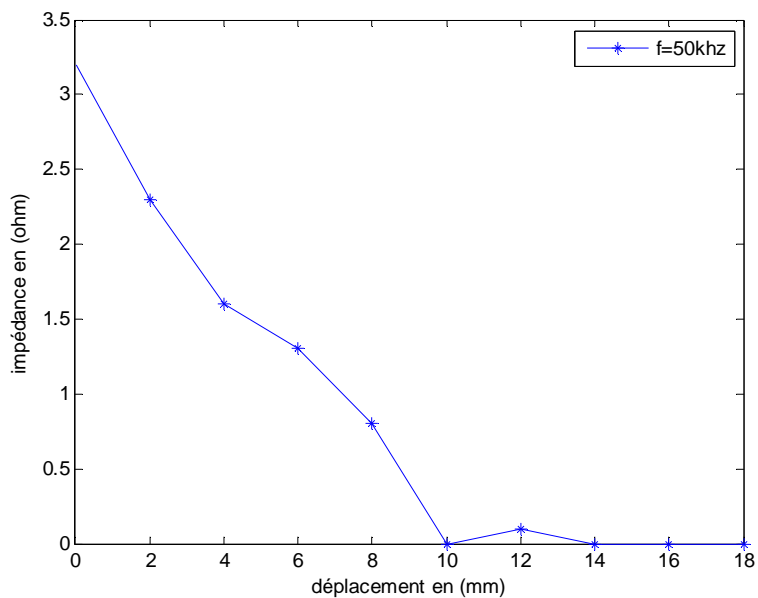
Les résultats obtenus sont sous forme de graphe représentant l'impédance et sa variation absolue en fonction du déplacement qui est calculée suivant la relation $\Delta z = \| z - z_0 \|$, d'où z et z_0 représentent respectivement l'impédance du capteur en présence et en absence de défaut.

Une comparaison se fera en suite avec d'autres résultats obtenus se trouvant dans la référence [4]. Voir annexe pour les valeurs détaillés.

IV.3.2.1 Déplacement suivant l'axe Ox

IV.3.2.1.1 application avec variation de la fréquence

Figure (IV.12) : variation de l'impédance en fonction du déplacement $f=50\text{khz}$.



Figure(IV.13) : Variation absolue de l'impédance en fonction de la position capteur

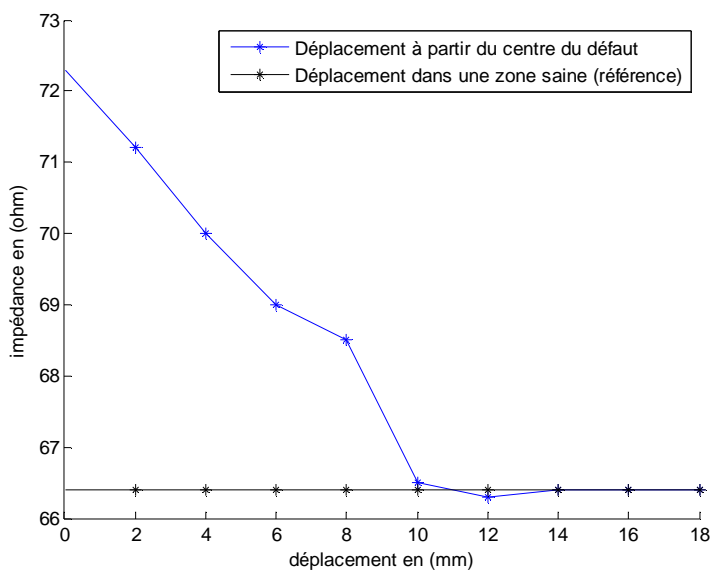


Figure (IV.14) : variation de l'impédance en fonction du déplacement $f=100\text{kHz}$.

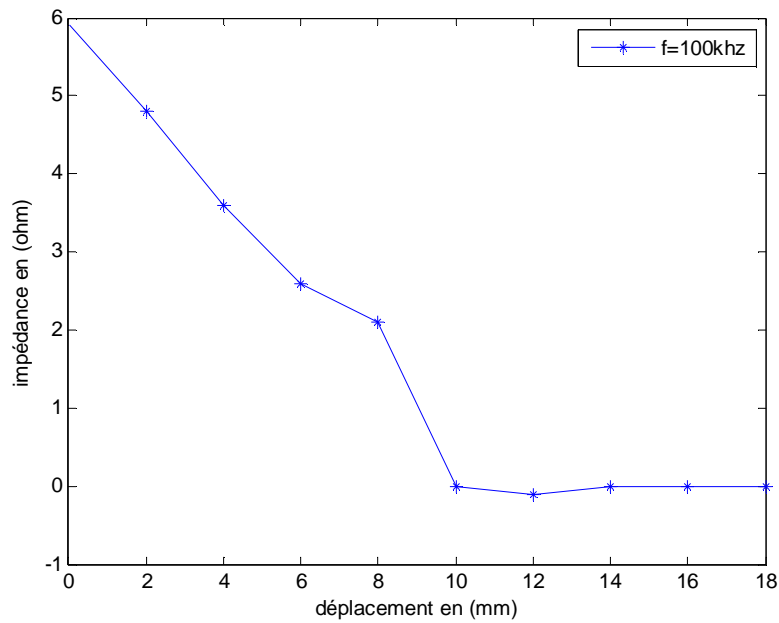


Figure (IV.15) Variation absolue de l'impédance en fonction de la position capteur

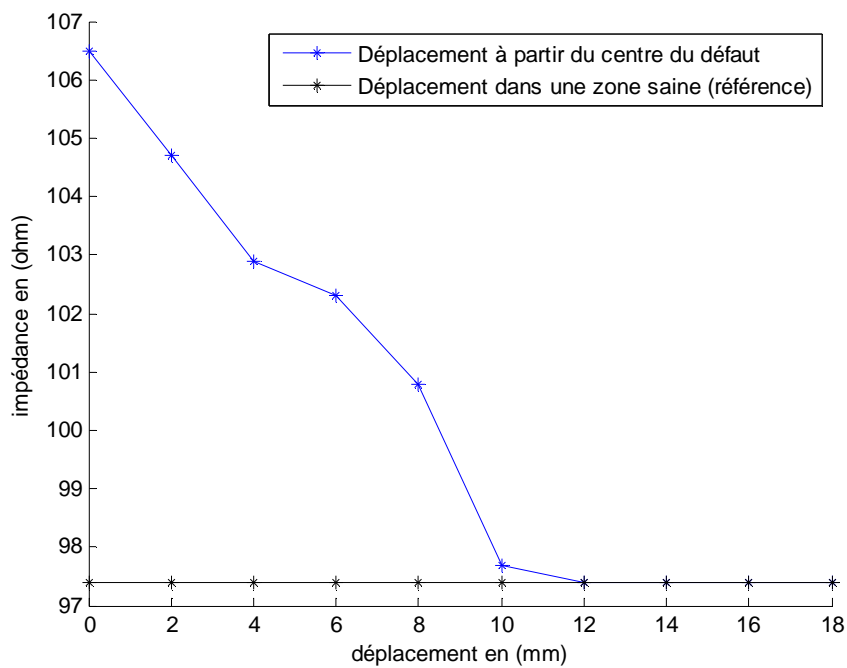


Figure (IV.16) : Variation de l'impédance en fonction du déplacement f=150kHz.

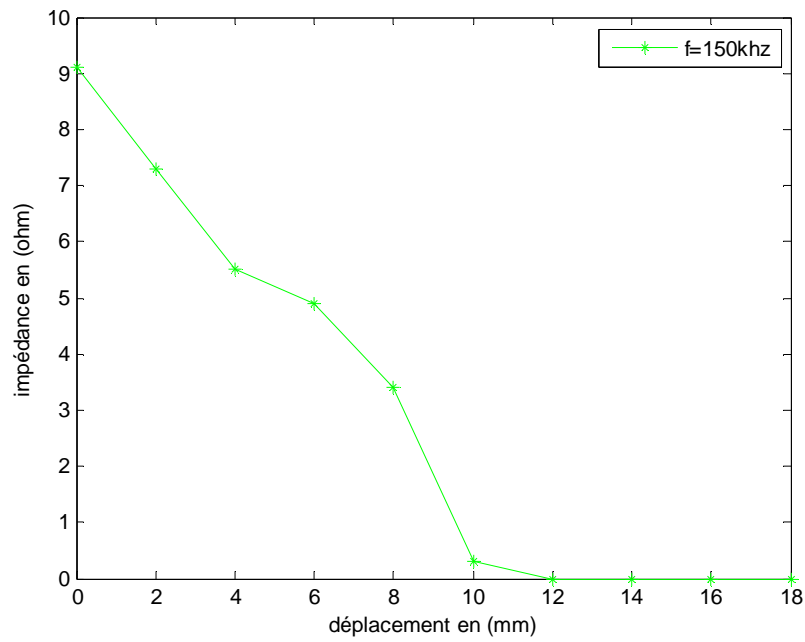


Figure (IV.17) : Variation absolue de l'impédance en fonction de la position capteur

La figure (V.18) nous donne une comparaison entre les trois variations absolue de l'impédance du capteur.

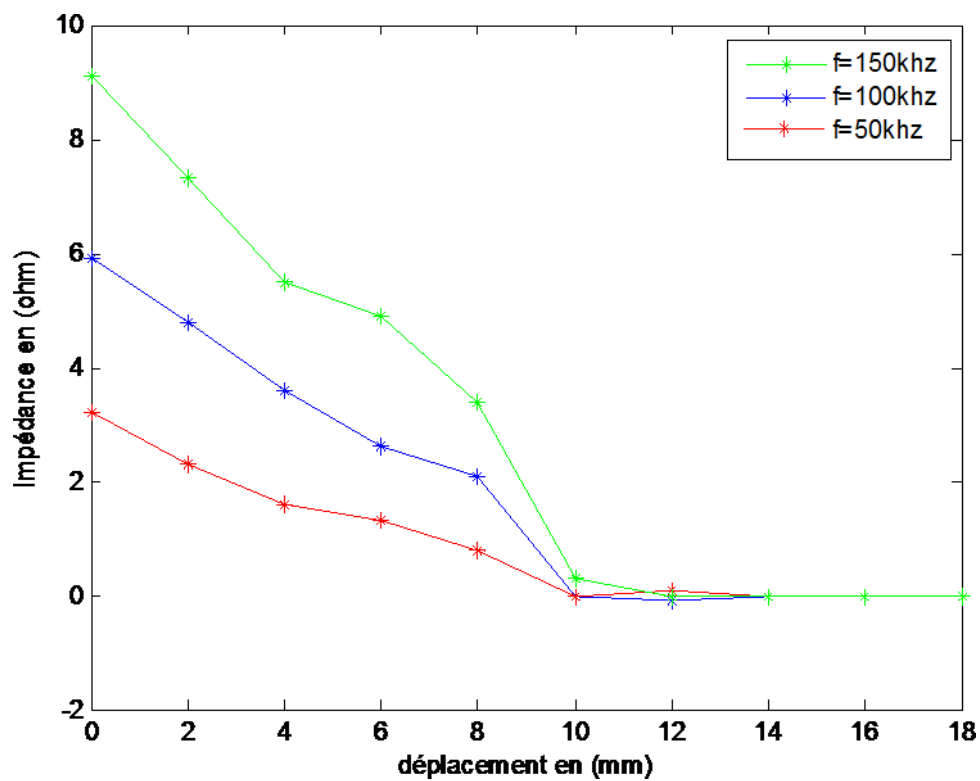


Figure (IV.18) : variation absolue de l'impédance en fonction de la position du capteur pour différentes fréquences d'alimentation.

La figure (IV.13), la figure (IV.15) et la figure (IV.17) représentent l'allure de la variation de l'impédance du capteur en fonction de son déplacement, on remarque que l'impédance trouve son maximum (en charge) lorsque le capteur est en dessus du milieu du défaut puis elle diminue au fur à mesure que le capteur quitte la zone de défaut pour ensuite se stabiliser à la valeur d'impédance sans défaut (zone saine).

La figure (V.18) représente la variation absolue de l'impédance du capteur pour différentes fréquences d'alimentations. La détection du défaut est meilleure pour les fréquences élevées.

IV.3.2.1.2 Application avec variation de lift-off.

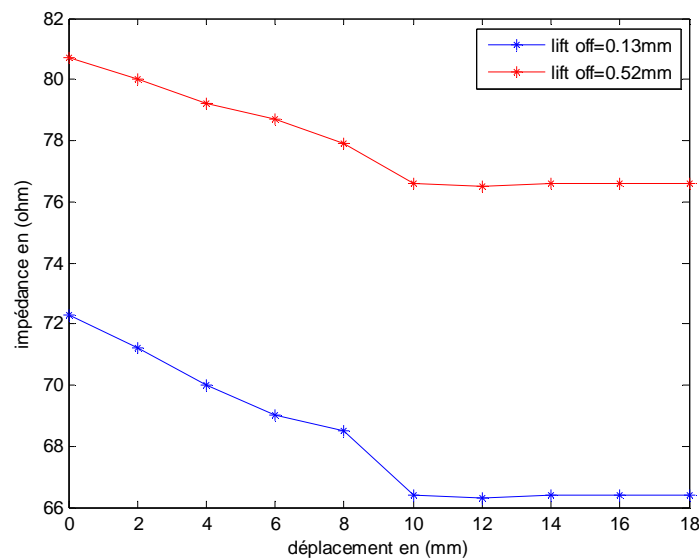


Figure (IV.19) : variation de l'impédance en fonction de la position du capteur pour différents lift-off

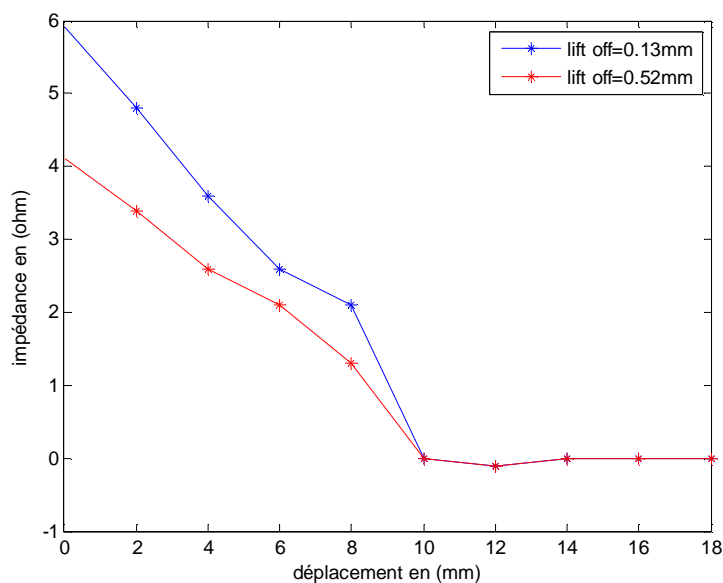


Figure (IV.20) Variation absolue de l'impédance en fonction de la position capteur pour différent lift-off

IV.3.2.2 Déplacement du capteur s'effectue suivant l'axe Oy

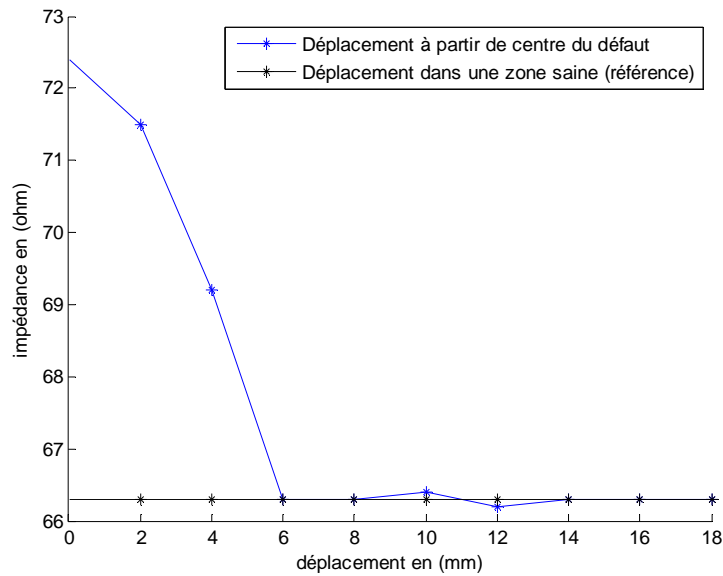
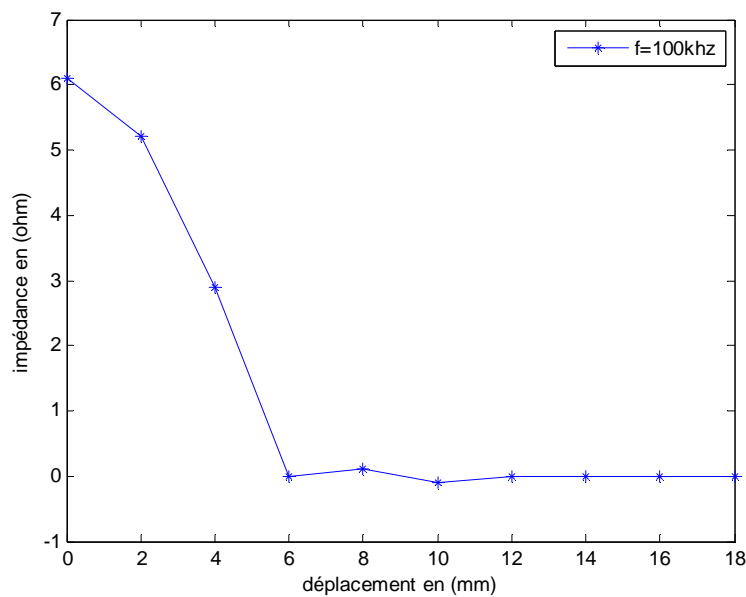
Figure(IV.21) : variation de l'impédance en fonction du déplacement $f=100\text{kHz}$.

Figure (IV.22) : Variation absolue de l'impédance en fonction de la position capteur

La figure (V.22) représente l'allure de la variation de l'impédance du capteur en fonction de son déplacement suivant l'axe Oy, on constate que l'impédance est à son maximum au milieu du défaut et comme la largeur de défaut est 2mm après un déplacement de 6mm, elle diminue afin de se stabiliser à sa valeur en absence du défaut.

IV.3.2.3 La comparaison

Les valeurs acquises par la carte d'acquisition sont comparées avec les valeurs obtenues en utilisant un LCR mètre 8101-G (Gw INSTRON) tirées de la référence [4]. Nous avons eu un très bon accord entre les résultats.

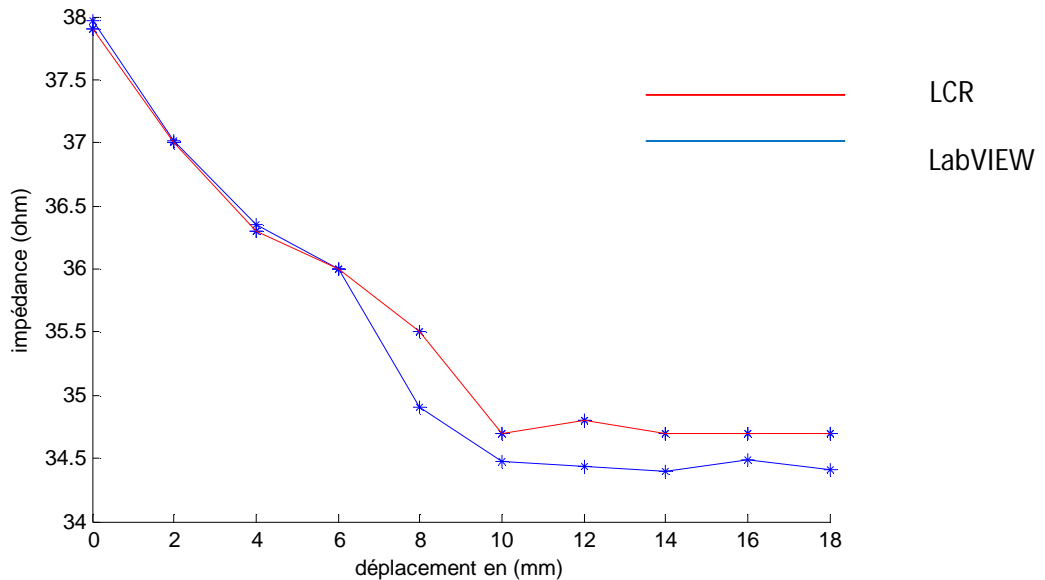


Figure (IV.23) : comparaison des valeurs de l'impédance issues de la carte d'acquisition et les résultats tirés par la référence [4]. Fréquence d'alimentation est 50 kHz.

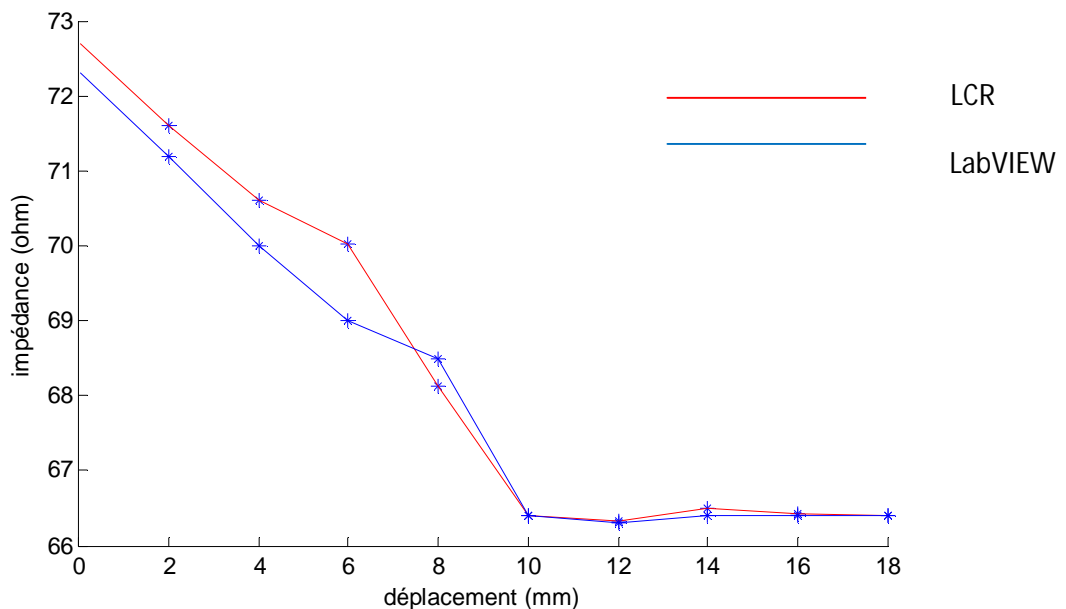


Figure (IV.24) : comparaison des valeurs de l'impédance issues de la carte d'acquisition et les résultats tirés par la référence [4]. Fréquence d'alimentation est 100 kHz.

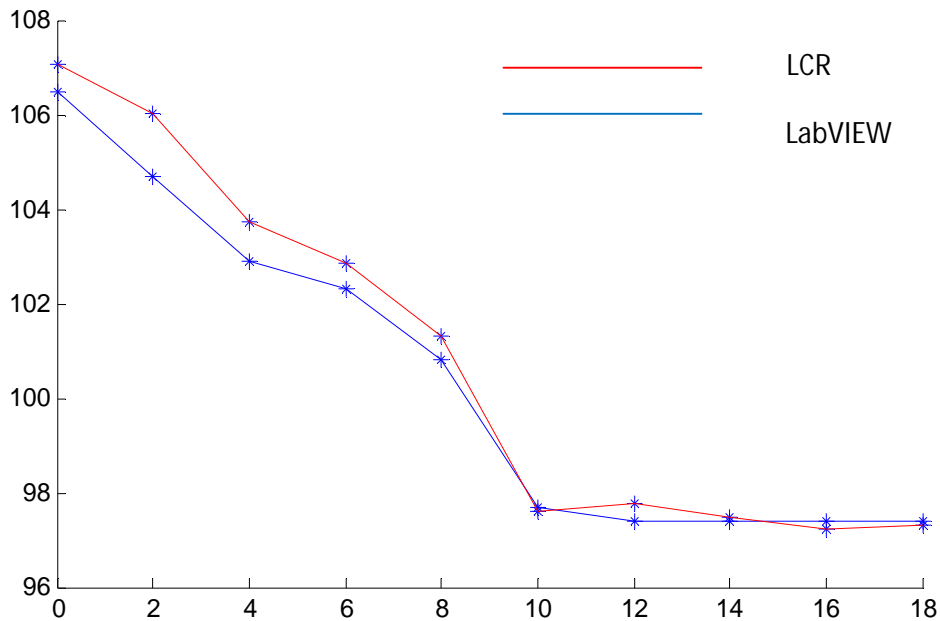


Figure (IV.25) : comparaison des valeurs de l'impédance issues de la carte d'acquisition et les résultats tirés par la référence [4]. Fréquence d'alimentation est 150 kHz.

IV.3.2.4 Interprétation

Nous constatons que la variation de l'impédance est plus importante lorsqu'on augmente la fréquence d'alimentation du capteur, cette augmentation est due à l'effet de peau équation (I.1).

On remarque aussi que le lift-off influence grandement la valeur de l'impédance, elle est d'autant plus élevée au fur à mesure que l'on augmente le lift-off, ceci est due à une diminution du couplage magnétique entre le capteur et l'objet.

IV.4 Conclusion

Des tests effectués, nous avons pu démontrer que notre programme marchait parfaitement après une comparaison entre les résultats obtenus avec la carte d'acquisition et ceux du LCR mètre.

On a vu aussi l'influence des différents paramètres sur la grandeur impédance (fréquence, Lift-Off) venant confirmer les aspects théoriques vus précédemment.

Conclusion générale

Au terme de notre travail nous pouvons dire que les bases théoriques évoquées ont été vérifiées par l'expérimentation notamment en ce qui concerne le CND-CF, ainsi que la conversion analogique numérique.

Les résultats obtenus avec la carte d'acquisition ont été comparés à ceux obtenus par un LCR ce qui nous permet de valider le programme de calcul élaboré.

Un dispositif d'alimentation pour capteur a été réalisé cependant, il est limité à une fréquence de 50kHz, ceci est dû au composant utilisé dont la bande passante en fréquence ne nous permet pas d'aller au-delà et notamment l'indisponibilité de certains composants.

Bien que le générateur sinusoïdal n'étant pas opérationnel les principes et les premiers tests donnent de bon résultat, mais n'ont pas été testés correctement ce que nous aurions vraiment aimé faire afin de voir la qualité du travail fait et d'optimiser les réglages.

Néanmoins plusieurs notions ont été utilisées dans le terme de ce projet, les bases du travail ont été évoquées. Avec plus de temps et de moyen, le projet peut devenir important puisqu'il touche une grande catégorie de chercheurs et de professionnels.

Perspectives :

Ce projet laisse d'intéressantes perspectives on citera :

- Augmentation des tensions d'alimentation pour un meilleur apport en puissance en alimentant l'ensemble du circuit avec du +12v/-12v.
- Recherche approfondie sur les composants adéquats qui nous permettrait d'avoir la plus large bande passante en fréquence possible.
- Avoir une grande plage de fréquence de fonctionnement afin d'avoir une plus grande marge de manœuvre, en remplaçant l'ICL8038 par un autre circuit équivalent le MAX038 aussi simple à utiliser et peut atteindre des fréquences de 20 MHz.
- Utiliser des systèmes embarqués à base de processeur notamment les ARM (nouvelle génération) qui peuvent gérer une multitude de tâches dont l'acquisition à très haute fréquence, traitement et l'analyse des différentes données reçues.
- Créer un système nous permettant d'automatiser le processus du CND-CF par exemple un balayage des zones à inspecter via d'automates programmables.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] Y.CHOUA, «Application de la méthode des éléments finis pour la modélisation de configurations de contrôle non destructif par courants de Foucault», thèse doctorat, paris, 2009.
- [2] H.ZAIDI « Méthodologies pour la modélisation des couches fines et du déplacement en contrôle non destructif par courants de Foucault : application aux capteurs souples ».Thèse doctorat, Paris, 2012
- [3] L. BEAUJARD, G. LABBE et J. MANNENC. «MÉTALLOGRAPHIE - Essais non destructifs». Article, Encyclopaedia Universalis 2012
- [4] M.HAMEL «Etude et réalisation d'un dispositif de détection par méthodes électromagnétiques». Thèse magister, Tizi Ouzou, 2012.
- [5] C. RAVAT, «Conception de multicapteurs à courants de Foucault et inversion des signaux associés pour le contrôle non destructif », thèse doctorat, paris, 2008.
- [6] N.BENHADDA «Modélisation des Capteurs Inductifs à Courants de Foucault». Thèse magister, Batna, 2006.
- [7] L. Brancheriau (CIRAD), J-D. Lanvin (FCBA) «Recherche de moyens de contrôle non destructif permettant la découverte de criques dans les structures bois» rapport final, Version révisée du 21 février 2008.
- [8] P-L VUILLERMOZ « Les courants de Foucault, Principes, Mesure et Contrôle ». Éditeur AFNOR, 1994.
- [9] T. BOUCHALA. « Modélisation Semi-Analytique des Courants de Foucault. Application au Contrôle Non Destructif par desCapteurs à Noyau de Ferrite »Thèse Magister, Batna, 2008.
- [10] V.DPIRAT, « contribution à la modélisation de systèmes de contrôles non destructifs par courants de Foucault application à la caractérisation physique et dimensionnelle de matériaux de l'aéronautique », thèse doctorat, Nantes, 2007.
- [11] F. THOLLON, «Conception et optimisation de capteurs à courants de Foucault pour la détection de défauts profonds dans des matériaux amagnétiques», thèse doctorat, Lyon, 1995.
- [12] J. Dumont-Fillon « Contrôle non destructif (CND)». Techniques de l'Ingénieur, R1400.
- [13] G.ASCH, « acquisition de données du capteur à l'ordinateur ». Édition Dunod, 1999.

- [14] P.SENTE « Acquisition et traitement des signaux de mesure à l'aide de microprocesseurs ». Techniques de l'Ingénieur, R525.
- [15] www.datasheet-catalog.net
- [16] www.ni.com
- [17] J-M.COLLACE.« Choix d'une carte d'acquisition de données ». mesures.physiques.free.fr
- [18] D.DUMORA. « cours acquisition de données ». Master sciences technologie, Bordeaux, 2013.
- [19] T.TOUMI et N.GUERBAS «Conception et réalisation d'un système d'acquisition et de commande d'un four de chimie avec une interface LabVIEW ». Thèse ingénieur d'état, Tizi Ouzou, 2012.
- [20] F.COTTET et P.RENARD « Programmation graphique des applications de contrôle commande - Notions générales et langage G ». Techniques de l'Ingénieur, s8205.version 2.
- [21] J. Kalkman « LabVIEW: A software system for data acquisition, data analysis, and instrument control »Journal of Clinical Monitoring Vol 11 No 1 January 1995.

ANNEXE

Les tableaux (1, 2 et 3) présentent les valeurs de variation de l'impédance en fonction du déplacement pour les fréquences 50khz, 100khz et 150khz. Le déplacement s'effectue le long du défaut à partir de son centre.

Déplacement en (mm)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
Impédance (ohm)	37.9	37	36.3	36	35.5	34.7	34.8	34.7	34.7	34.7

Tableau 1 : Variation de l'impédance du capteur pour une fréquence d'alimentation 50khz.

Déplacement en (mm)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
Impédance (ohm)	72.3	71.2	70	69	68.5	66.5	66.3	66.4	66.4	66.4

Tableau 2 : Variation de l'impédance du capteur pour une fréquence d'alimentation 100khz.

Déplacement en (mm)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
Impédance (ohm)	106.5	104.7	102.9	102.3	100.8	97.7	97.4	97.4	97.4	97.4

Tableau 3 : Variation de l'impédance du capteur pour une fréquence d'alimentation 150khz.

Le tableau (4) illustre la variation de l'impédance à une fréquence d'alimentation 100khz pour un Lift-off de 0.52mm.

Déplacement en (mm)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
Impédance (ohm)	80.7	80	79.2	78.7	77.9	76.6	76.5	76.6	76.6	76.6

Tableau 4 Variation de l'impédance du capteur pour une fréquence d'alimentation 100khz.

Le tableau (4) présente la variation de l'impédance en fonction de déplacement suivant la largeur de défaut à partir de son centre. Fréquence d'alimentation est 100 kHz.

Déplacement en (mm)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
Impédance (ohm)	72.4	71.5	69.2	66.3	66.3	66.4	66.2	66.3	66.3	66.3

Tableau 5 : Variation de l'impédance du capteur pour une fréquence d'alimentation 100khz.

Les tableaux (6, 7 et 8) montrent les valeurs obtenues avec LCR mètre.

Déplacement en (mm)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
Impédance (ohm)	37.97	37.01	36.35	36	34.91	34.47	34.43	34.4	34.49	34.41

Tableau 6: Variation de l'impédance du capteur pour une fréquence d'alimentation 50khz.

Déplacement en (mm)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
Impédance (ohm)	72.7	71.6	70.6	70.02	68.12	66.4	66.33	66.51	66.42	66.4

Tableau 7 : Variation de l'impédance du capteur pour une fréquence d'alimentation 100khz.

Déplacement en (mm)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
Impédance (ohm)	107.08	106.01	103.75	102.86	101.3	97.6	97.78	97.5	97.22	97.3

Tableau 8 : Variation de l'impédance du capteur pour une fréquence d'alimentation 150khz.

Note :

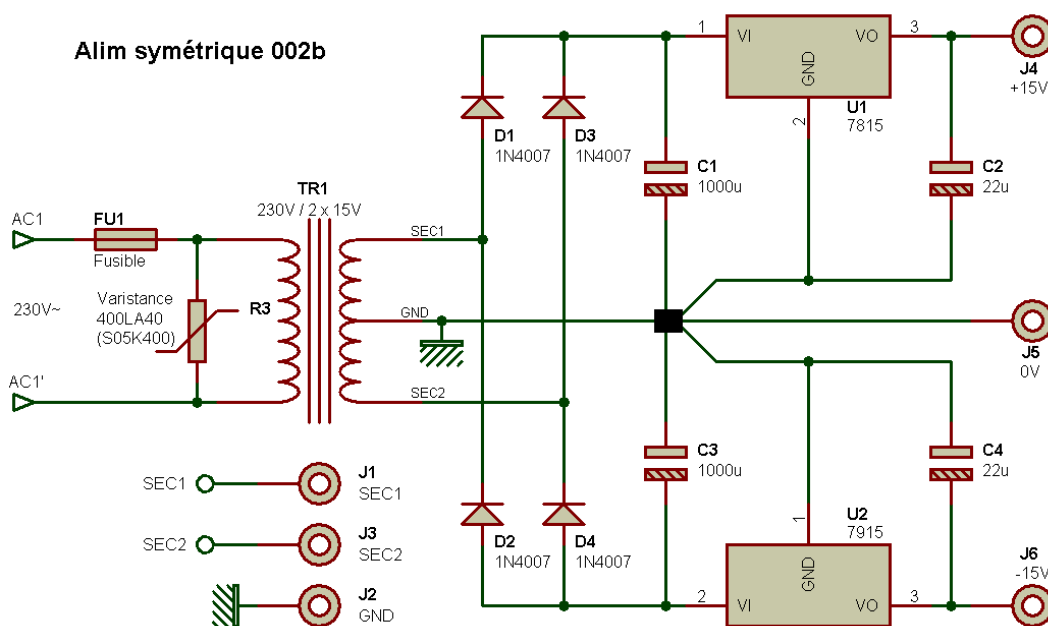
Au cours de notre projet, plusieurs recherches ont été effectués notamment en ce qui concerne la partie électronique, des améliorations ont été trouvés mais malheureusement par faute de temps et de moyen n'ont pas été réalisés.

Nous allons essayer dans ce qui suit de donner quelques remarques personnelles que nous espérons, qu'elles vous seront utiles pour votre travail.

Alimentation :

L'alimentation symétrique réalisée marche parfaitement, le seul souci et que nous somme limité question courant notamment pour le -5v en sortie du ICL7660, le cas idéal serait d'aliment l'ensemble du montage en +12v/-12v (ICL8038, AOP, transistors), nous avons essayé cette approche en achetant des alimentations toute faite (entre 280Da et 350Da) que l'on trouve dans le commerce (alimentation démo numérique ou lecteur DVD) mais un produit chinois reste du chinois, donc il sera plus intéressante de la réaliser soit même, de nombreux schéma existe nous vous proposerons le plus simple :

En remplaçant le TR1 par un 230v/2x12v, U1 et U2 par 7812, 7912 pour un



courant de sortie pouvant atteindre 1A.

Pour plus de détaille voir le lien :

http://www.sonelec-musique.com/electronique_realisations_alim_sym_002.html

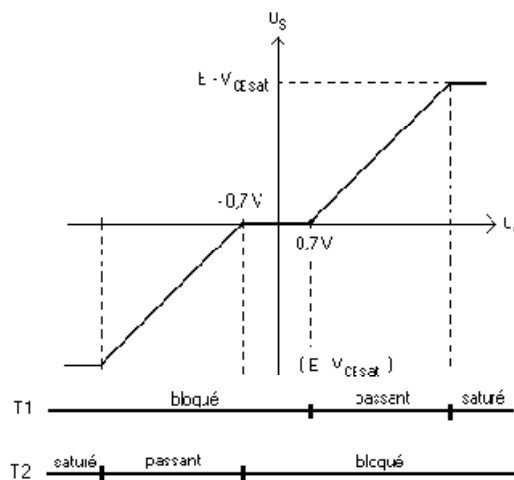
Générateur sinus :

Pour créer un signal sinusoïdal nous avons utilisés l'ICL8038, pour les résistances sur les pines 4 et 5 faudra utiliser des resistances de précisions (1%) pour avoir une fréquence la plus précise possible, la même remarque si vous utilisé le max 038 qui malheureusement n'est pas disponible sur le marché algérien. Pour plus de détails, toujours se référer au datasheet.

Montage PUSH-PULL :

Le montage utilisé présente quelques contraintes :

On remarque une zone de non conduction ($-0.7\text{v}/0.7\text{v}$), ceci est dû à la tension de seuil de conduction des transistors (sachant que le transistor est un semi-conducteur) qui peut engendrer des distorsions au niveau du signal de sortie.



Le montage ci-dessous donne le principe d'un autre mode de polarisation qui permet de supprimer ce type de distorsion. On utilise deux diodes dont les tensions de seuil V_0 sont égales à la tension de seuil V_{BE0} des transistors. Les résistances R_1 et R_2 ont des valeurs assez petites pour que les diodes soient polarisées par un courant important, ce qui place leur point de fonctionnement dans la zone linéaire et cela pour toute valeur de la tension d'entrées comprise entre $\pm E$.

