



جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان

Université Abou Bakr Belkaïd de Tlemcen

Faculté de Technologie

Département de Génie Biomédical

MEMOIRE DE PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du Diplôme de

MASTER en GENIE BIOMEDICAL

Spécialité : Instrumentation Biomédicale

Présenté par : BERRAIH Sid Ahmed et BEKKARA Mohammed Amin

**REALISATION D'UN DETECTEUR DE NIVEAU A
ULTRASON**

Soutenu le 19 Septembre 2017 devant le Jury

M.	KERAI Salim	<i>MCA</i>	Université de Tlemcen	Président
M.	HAMZA CHERIF Lotfi	<i>MCA</i>	Université de Tlemcen	Examineur
M.	DEBBAL S.M.A	<i>Prof</i>	Université de Tlemcen	Encadreur

Année universitaire 2016-2017

Remerciements

Ce travail de recherche a été entrepris au Laboratoire du Génie Biomédicale de la Faculté de Technologie de l'Université Abou-Bekr BELKAID sous la direction de Monsieur DEBBAL Sidî Mohamed, que nous remercions d'avoir pris en charge la direction de notre mémoire de fin d'étude. Malgré son emploi du temps chargé, nous a fait profiter de ses conseils et ses suggestions pertinentes. Grâce à sa rigueur scientifique, il a su nous aider au travers de nos interrogatoires. Il a été toujours disponible et à l'écoute de nos raisonnements. Pour tous les moments qu'il nous a consacrés, qu'il retrouve ici le témoignage de notre profonde gratitude.

Nous sommes très honorés que Monsieur KERAI Salim Maître de conférences (A) à la faculté de Technologie ait accepté de présider le jury de ce travail de mémoire de PFE. Il a toujours montré toujours disponible pour les discussions scientifiques.

Nous voudrions bien le remercier. Je suis très heureux de la présence dans mon jury Monsieur HAMZA CHERIF Lotfi, Maître de conférences (A) à la même faculté en tant qu'examinateur. Il s'est montré un intérêt pour l'électronique numérique.

C'est également un grand plaisir pour nous d'avoir en sa personne un représentant de la chaleureuse et dynamique équipe l'électronique Biomédicale.

Nous voudrions bien remercier le professeur BEREKSI REGUIG Fethi, qui a assuré notre formation du 1^o et 2^o cycle. Ses savoir-faire qui touchent à plusieurs domaines, ses bienveillances sont d'un apport considérable dans la rigueur scientifique ainsi que le Dr. Salim KERAI qui nous a vivement encouragés à poursuivre nos études. Il a été pendant toute la période de l'année universitaire disponible chaque fois que nous sollicitons son aide et ses conseils.

La collaboration de l'ensemble des enseignants ayant assuré notre formation qu'ils soient vivement remerciés. C'est eux qui nous ont guidé nos premiers pas vers ce monde merveilleux de l'électronique.

Nous tenons aussi à remercier certains collègues et nos amis de l'université de Tlemcen avec lesquels, nous avons appris énormément de choses et dans divers domaines.

DÉDICACES

Avant tout, nous remercions Dieu, le Tout Puissant, le Miséricordieux, qui nous a donné l'opportunité de mener à bien ce travail.

Je tiens à dédier ce Modest travail en premier lieu à mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance

L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et la personne la plus digne de mon estime et de mon respect. Aucun mot ne saurait exprimer mon respect, ma considération et l'amour que je te porte, ni la profonde gratitude que je te témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que tu n'as cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mes sentiments, que Dieu te préserve et te procure Santé, bonheur et longue vie.

Enfin Je dédie aussi ce travail à mes frères et sœurs et aussi à mes très chers amis Chorfi Nouh, Bendjema Mahdi, Cherif Sofiane, Bouzahri Sofiane, Benchikh Mohammed Amin, Moho Lonis, et à tous mes collègues de la promo 2012 qui j'ai passé de bons moments de joie et de détente.

Tous notre respect et nos remerciements s'adressent également à : Nos gratitudes vont vers l'ensemble des enseignants du département de Génie Biomédical.

Université de Tlemcen qui a contribué à notre formation dans cette filière.

Et enfin, nos remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Tous ceux qui m'aiment.

Tous ceux que j'aime.

Sid Ahmed

DÉDICACES

Avec l'aide de dieu clément, on a pu réaliser ce modeste mémoire qui est le fruit d'un long et dur travail.

Je dédie ce travail avec grande joie et cœur ouvert mes très chers parents qui m'ont soutenu et encouragé avec leur présence et leurs participations actives durant mes études. Un grand merci pour eux.

Ensuite, je ne saurais oublier ma grande famille, mes oncles de Sebdo, ses femmes, leurs enfants, pour leur soutien moral. Mes tantes paternelles et maternelles pour leurs soutiens inconditionnels.

Enfin Je dédie aussi ce travail à mes très chers amis Chala Walid, Bendjema Mahdi, Cherif Sofiane, Bouzahri sofiane, Benchikh Mohammed Amin, Moho Lonis, mon cousin Abdelhak et à tous mes collègues de la promo 2012 qui j'ai passé de bons moments de joie et de détente.

À tous, ceux que j'ai cités et à ceux qui ne sont pas cités comme Mohammed, Anouar, Amir, et les autres et qui m'ont apporté à un moment ou un autre une aide à la conduite de ce travail : un grand Merci du fond de mon cœur.

**A TOUS, JE LEUR DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL
MOHAMMED AMIN**

Nomenclature

Résistances :

Désignation	Quantité
R1= 4K	3
R2=4.7K	1
R3=470K	1
R4= 330	10

Potentiomètres :

Désignation	Quantité
RV1=1K	1

LEDs :

Désignation	Quantité
LED verte	5
LED jaune	3
LED rouge	2

Circuits intégrés :

Désignation	Quantité
U1=LM324	1
U2=UA741	1

Transducteurs :

Désignation	Quantité
HC-SR04	1
TX= émetteur ultrason	1
RX=récepteur ultrason	1
BUZZER	1

La liste des figures

Chapitre 01

Figure (1.1) : Classification des sons selon la fréquence utilisée.....	9
Figure (1.2) : Propagation de l'onde ultrasonore,(a) Onde sphérique,(b) Onde plane.....	10
Figure (1.3) : Propagation des ondes longitudinales dans un solide.	12
Figure (1.4) : divergente ou de distribution.....	13
Figure (1.5) : Géométrie d'un faisceau d'ondes ultrasonores	16
Figure (1.6) : Représentation du champ de Fresnel et du champ de Fraunhofer pour un élément piézo-électrique de diamètre D_s	16
Figure (1.7) : Réflexion des ultrasons à une interface.....	18
Figure (1.8) Illustration du principe piézo-électrique	20
Figure (1.9) (a) Résonateur, (b) Générateur d'onde acoustique dans un liquide, (c) Générateur d'onde acoustique dans un solide.....	21
Figure (1.10) (a) Géométrie d'un élément piézo-électrique avec deux faces acoustiques (1), (2) et une face électrique (3). (b) Schéma électrique équivalent d'un élément piézo-électrique.	22
Figure (1.11) : Circuit équivalent d'un élément piézo-électrique.....	22
Figure (1.12) : Circuit équivalent d'un élément non piézo-électrique.....	23
Figure (1.13) : Vue en coupe d'un transducteur ultrasonore	24
Figure (1.14) : Circuit complet équivalent d'un transducteur avec une charge.....	25

Chapitre 02

Figure (2.1) : mesure de niveau par la méthode hydrostatique	28
Figure (2.2) : Principe mesure de niveau par plongeur	29
Figure (2.3) : Principe mesure de niveau par flotteur	30
Figure (2.4) : Principe mesure de niveau par capteur de pression	31
Figure (2.5) : Mesure de niveau par bullage	32
Figure (2.6) : Mesure de niveau dans un réservoir.....	32
Figure (2.7) : Mesure de la masse volumique	33
Figure (2.8) : Principe mesure de niveau par capteur de pression	34
Figure (2.9) : Détection de niveau électrique (horizontal)	34
Figure (2.10) : Principe de fonctionnement de détecteur de niveau ultrasonique.....	35
Figure (2.11) : Principe de mesure par les ondes acoustiques	37
Figure (2.12) : Principe de mesure par rayon gamma	38
Figure (2.13) : Montage de détection de niveau.....	38
Figure (2.14) : principe de détection de niveau optique (l'ancien principe)	39
Figure (2.15) : Détection de niveau optique (le niveau seuil n'est pas atteint).....	39
Figure (2.16) : Détection de niveau optique (le niveau seuil est atteint)	40

Chapitre 03

Figure (3.1) : Maquette du circuit général de détecteur de niveau.....	42
Figure (3.2) : Maquette du circuit d'émission.....	43
Figure (3.3): Brochage de NE555	43
Figure (3.4): Chronogrammes de fonctionnement du NE 555.....	44
Figure (3.5) : Signal à la sortie de NE555.....	45
Figure (3.6) : Montage d'un amplificateur de courant	46
Figure (3.7) : Le signal à la sortie du capteur.....	46
Figure (3.8) : Maquette du circuit de réception.....	47
Figure (3.9) : Montage d'un filtre passe-haut.....	47
Figure (3.10) : Montage électrique d'un ampli inverseur	48
Figure (3.11) : Le signal à la sortie de l'amplificateur.....	48
Figure (3.12) : Circuit d'adaptation d'impédance.....	49
Figure (3.13) : Signal à la sortie du suiveur	49
Figure (3.14) : Schéma électrique de base du circuit de détection.....	50
Figure (3.15) : Signal de sortie du détecteur de crête.....	50
Figure (3.16) : Circuit d'affichage	51
Figure (3.17) : La détection de niveau du liquide	51
Figure (3.18): Graphe de la tension en fonction de la distance.....	52
Figure (3.19): La courbe des moindres carrés.....	52
Figure (3.20): Schéma d'un module HC-SR04 couplé avec la carte arduino-uno.....	53
Figure (3.21) : Module HC-SR04	53
Figure (3.22) : signal donné par le HC-SR04.....	54
Figure (3.23) : Graphique de linéarité du capteur	54
Figure (3.24) : Module Arduino-uno.....	55
Figure (3.25): Les composants de la carte Arduino-uno.....	56
Figure (3.26) : Le logiciel de programmation	56
Figure (3.27) : L'afficheur LCD.....	57
Figure (3.28) : Montage électrique du système d'alarme.....	51

La liste des tableaux

Chapitre 02

Tableau (2.1) : Les différentes méthodes existantes 41

Chapitre 03

Tableau (3.1) : La variation de la tension en fonction de distance..... 51

Tableau (3.2) : La mesure de niveau en pourcentage..... 60

Table de matière

Remerciement	1
Dédicaces	2
La Liste des figures et des tableaux	4
Introduction générale	7
Chapitre 1 : Notion théorique sur le capteur	
1.1 Introduction	8
1.2 Théorie des ultrasons	8
1.2.1 Définition des ultrasons	8
1.2.2 Parametre de l'onde ultrasonore	10
a) L'impédence acoustique	10
b) La longueur de l'onde.....	10
c) La pression et l'intensité	11
d) L'équation de l'onde ultrasonore	11
1.2.3 Propagation des ondes ultrasonors dans un milieu solide	11
1.2.4 Propagation des utarasons dans un milieu liquide.....	13
1.2.5 Emission et réception de l'onde ultrasonor	14
1.2.5.1 Description du faisceau ultrasonre émis	14
a) Zone initiale : zone de Fresnel	14
b) Zone distale : zone de fraunhofer.....	15
1.2.5.2 Atténuation de l'onde ultrasonore	16
1.2.5.3 L'absorption et la dispersion.....	17
1.2.5.4 Réflexion et réfraction	17
1.3 Théorie des transducteurs ultrasoniques piézo-électriques	19
1.3.1 Effet piézo-électrique	19
1.3.2 Transducteur piézo-électrique	20
Chapitre 2 : Capteurs du niveau	
2.1 Introduction	26
2.2 Domaine d'application des ultrasons.....	26
2.2.1Utilisation industrielle.....	26
2.2.2 Utilisation en medecine	26
2.2.3 Applications aux télécommunications....	27
2.2.4Application à l'océanographie.....	27
2.3Applications des capteurs de niveau de liquide par ultrason.....	27
2.3.1Les différentes méthodes de détection de niveau.....	28
2.3.1.1 Méthodes hydrostatiques	28
a) Plongeur	28
b) Flotteur	30
c) Mesure de pression.....	31
d) Mesure de niveau à bulles	31

e) Mesure en réservoir fermée :	32
f) Mesure de masse volumique	33
2.3.1.2 Méthodes électriques.....	33
a) Capteur conductimétrique	33
b) Capteurs capacitifs	35
c) Les capteurs de niveaux ultrasoniques.....	35
d) Absorption de rayonnement gamma.....	37
e) Detecteur de niveau optique.....	38
2.3.2 Comparaison des différents méthodes	41
2.4 Conclusion.....	41
 Chapitre 3 : Etude pratique du dispositif	
3.1 Intoduction	42
3.2 Schéma synoptique du montage.....	42
3.3 Circuit général	42
3.3.1Partie émission.....	43
3.3.1.1Horloge à 40Khz	43
3.3.1.2 L'amplificateur de courant	46
3.3.2 Partie de réception	47
3.3.2.1 Filtrage	47
3.3.2.2 Etage d'amplification	48
3.3.2.3 Adaptation.....	49
3.3.2.4 Detecteur de crete.....	50
3.3.2.5 Affichage	50
3.4 Première manipulation	51
3.5 Description du matériel utilisé	53
3.5.1 Module HC-SR04	53
3.5.2 Carte arduino-uno.....	54
3.5.3 Logiciel utilisé	56
3.5.4 Affichage	57
3.6 Les programmes utilisés	58
3.6.1 Programme de l'afficheur LCD	58
3.6.2 Programme de l'affichage en mode barre graphe.....	58
3.7 Deuxième manipulation	60
3.8 Système d'alarme	61
3.9 Troisième manipulation	61
3.10 Conclusion.....	62
 Conclusion générale	 62

Introduction générale

Connaitre avec précision le niveau d'un liquide par rapport à un repère fixe nécessite l'utilisation de nombreux paramètres physiques, parmi lesquels on trouve les ultrasons .Ce sont des ondes de pression mécanique de fréquence supérieure à celles qui sont audibles par l'oreille humain .D'une manière générale cette bande de fréquence située entre 20KHz et 200MHz, couvre une grande variété d'applications.

Les signaux ultrasonores sont habituellement générés par un transducteur composé d'un élément piézoélectrique qui permet de transformer les ondes mécaniques en signaux électriques.

Ce signal est souvent entaché de bruit de très faible amplitude, c'est pourquoi, il devrait donc être amplifié, et filtré.

L'objectif escompté par notre projet c'est la mesure de la variation de la distance du niveau du liquide. Ceci se fera par l'utilisation d'un transducteur d'émission et un autre de réception.

Notre travail est subdivisé en trois parties:

Le premier chapitre présente les notions théoriques et fondamentales sur les ultrasons.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation des différentes méthodes existantes pour la détection de niveau.

Le dernier chapitre concernera essentiellement l'étude pratique du dispositif électronique (Chaine de mesure) et la présentation des différentes mesures et courbes obtenues.

Chapitre 1 : Notions théoriques sur le capteur

1.1 Introduction

La production d'énergie dans la plupart des applications industrielles repose sur l'utilisation de transducteurs électriques. Transducteur est le terme généralement employé pour désigner un système qui transforme une forme d'énergie en une autre forme d'énergie. Les systèmes relatifs à la transformation d'énergie électrique en énergie acoustique sont appelés électro-acoustiques. La technologie des transducteurs est généralement basée sur des générateurs mécaniques, magnétostrictifs ou piézo-électriques.

Dans le cadre de ce projet de fin d'étude, nous utilisons les propriétés des matériaux piézo-électriques pour convertir l'énergie électrique en une énergie mécanique ultrasonore. Pour générer cette onde ultrasonore, le principe consiste à alimenter le transducteur ultrasonique avec une tension électrique dont la fréquence est égale à sa fréquence de résonance mécanique. Les transducteurs piézo-électriques utilisés sont, en fait, les seuls susceptibles de permettre l'émission et la réception des fréquences élevées (de l'ordre de mégahertz). Cependant, avant de décrire le principe de fonction des transducteurs utilisés, une brève description de la théorie des ultrasons est présentée.

1.2 Théorie des ultrasons

1.2.1 Définition des ultrasons

Les ultrasons sont des ondes élastiques de même nature que le son, dont la fréquence dépasse la plus haute fréquence audible par l'être humain, cette fréquence est comprise entre 20 kHz et quelques centaines de mégahertz. [1, 2, 3,4]. Figure (1-1)

a) Infrasons : entre 0 Hz et 20 Hz.

b) Spectre audible :

- Graves: 20 Hz a 300 Hz.

- Medium: 300 Hz a 6 KHz.

- Aigues: 6 KHz a 20 KHz.

c) Ultrason : 20 KHz a 200 MHz.

d) Hyper son : >200MHz.

Chapitre 1 : Notions théoriques sur le capteur

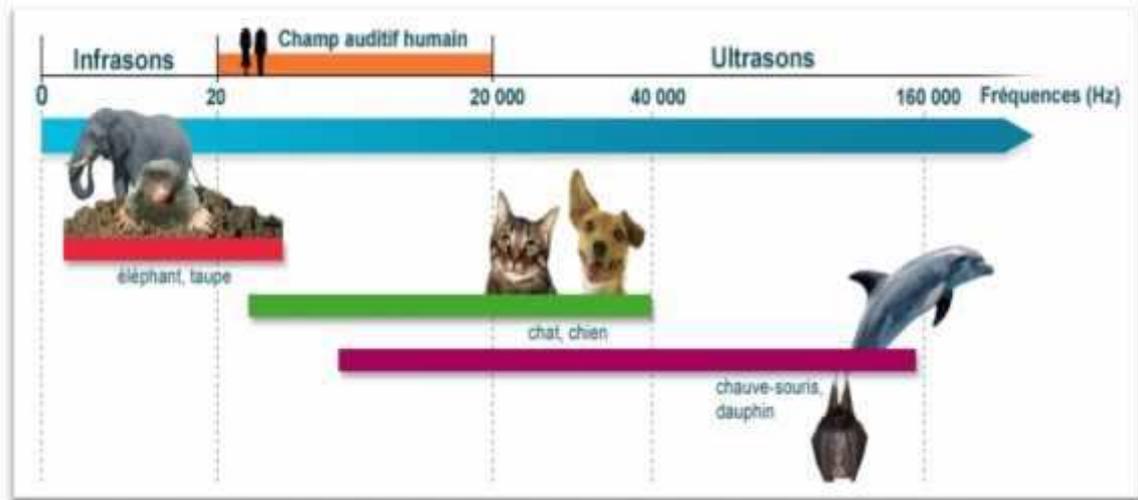


Figure (1-1): Classification des sons selon la fréquence utilisée

De nombreux systèmes sont susceptibles de produire des ultrasons. Un appareil produisant des ultrasons s'appelle un transducteur ou convertisseur d'ultrasons. Ce dernier développe un déplacement maximal à certaines fréquences particulières qui dépendent de la géométrie du transducteur. On appelle ces fréquences les fréquences de résonance.

L'utilisation de ces transducteurs est généralement limitée à des fréquences particulières. Les avantages principaux dans l'utilisation des transducteurs ultrasoniques sont les suivants :

- Une mesure directe sans passer par des algorithmes de calcul.
- Une réponse rapide usuellement en fraction de seconde.
- Une très bonne résolution.

Les ondes ultrasonores peuvent se propager dans les gaz, les liquides ou les solides, c'est-à-dire dans toute substance possédant des propriétés élastiques.

Lorsqu'elles se propagent dans un milieu infini, elles peuvent le faire soit avec une symétrie sphérique dans toutes les directions (source isotopique), soit sous forme de faisceaux parallèles d'ondes planes. Ceci dépend de la nature et de la géométrie de la source de vibration.

Chapitre 1 : Notions théoriques sur le capteur

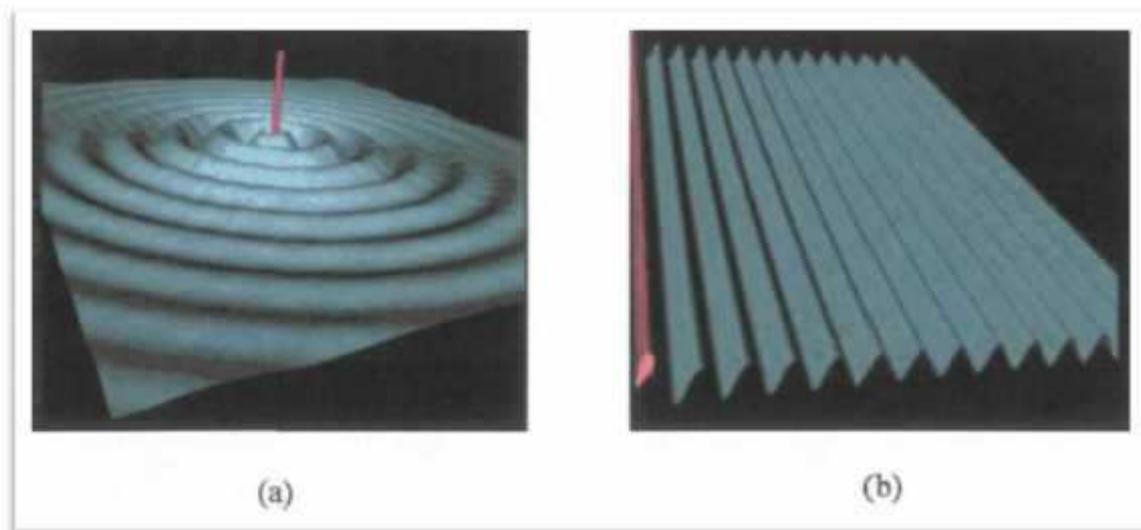


Figure (1-2): Propagation d'onde ultrasonore, (a) Onde sphérique, (b) Onde plane.

1.2.2 Paramètre de l'onde ultrasonore [1, 2, 3, 4, 5]

Cette section présente les différents paramètres nécessaires à la caractérisation de l'onde ultrasonore.

a) L'impédance acoustique

Le comportement du milieu vis-à-vis des ultrasons est exprimé par une constante appelée impédance acoustique Z . Elle est définie comme le produit de la densité et de la vitesse du son du milieu et donnée par la relation suivante:

$$Z = \rho c \quad (1.1)$$

Ou :

- c est la vitesse du son dans le milieu en m.s^{-1} ;
- ρ est la densité du milieu en kg.m^{-3} .

b) La longueur de l'onde

La longueur de l'onde ultrasonore dans un milieu est reliée à une fréquence donnée, elle est donnée par la relation suivante :

$$c = f \lambda \quad (1.2)$$

Chapitre 1 : Notions théoriques sur le capteur

Ou :

- c est la vitesse du son dans le milieu en $m.s^{-1}$;
- f est la fréquence d'émission en Hz.

c) La pression et l'intensité

La pression acoustique varie selon la fréquence de l'onde ultrasonore. L'énergie délivrée dans le milieu dépend de ces variations de pression qui soumettent les particules du milieu à des mouvements vibratoires.

On appelle intensité ultrasonore l'énergie qui traverse perpendiculairement une unité de surface pendant une unité de temps. Elle est reliée à la pression acoustique par la formule suivante :

$$I = \frac{P^2}{2\rho c} \quad (1.3)$$

Ou :

- c est la vitesse du son dans le milieu en $m.s^{-1}$;
- ρ est la densité du milieu en $kg.m^{-3}$;
- P est appelée la pression d'onde acoustique exprimée en $kg.m^{-1}.s^{-2}$ ou $10^8.dynes.m^{-2}$;
- I est l'intensité ultrasonore en $W.m^{-2}$.

d) L'équation de l'onde ultrasonore

L'équation de l'onde ultrasonore plane dans un milieu peut se mettre sous la forme suivante :

$$\frac{\partial^2 P}{\partial t^2} - \frac{\rho}{E_y} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} = 0 \quad (1.4)$$

1.2.3 Propagation des ultrasons dans un milieu solide

La propagation d'ultrasons dans les milieux solides, dépendamment de la puissance du transducteur, peut produire un échauffement ou une vibration. Dans les solides cependant, non seulement les forces de compression sont transmises, mais aussi les forces de cisaillement.

Chapitre 1 : Notions théoriques sur le capteur

C'est pourquoi, en plus des ondes longitudinales, des ondes transversales et des ondes de torsion peuvent se propager. La nature des ondes existantes dans un milieu dépend beaucoup de la forme et des dimensions de ce milieu. Si on s'intéresse à un solide de dimension finie, les ondes longitudinales ou de compressions sont caractérisées par le fait que la direction de la vibration des particules est parallèle à la direction de propagation de l'onde, tel qu'illustrée à la figure (1-3). La vitesse des ondes longitudinales est donnée par la formule suivante :

$$v_L = \sqrt{\frac{E_y}{\rho}} \quad (1.5)$$

Ou :

- E_y est le module de Young en $\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$

- ρ la densité du milieu en kg.m^{-3} .

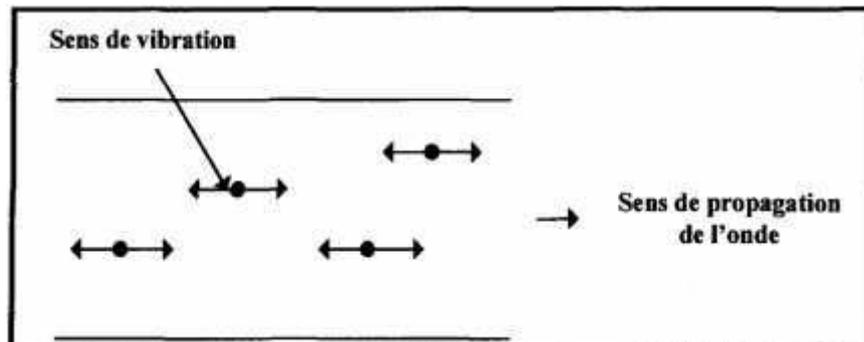


Figure (1-3) : Propagation des ondes longitudinales dans un solide.

Par opposition, on peut distinguer les ondes transversales ou de cisaillement, lorsque la direction de vibration des particules est perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde, comme illustré à la figure (1-4). La vitesse des ondes transversales est donnée par : [1, 2]

$$v_t = \sqrt{\frac{\mu_s}{\rho}} \quad (1.6)$$

Ou :

- μ_s est le module d'élasticité transverse..

Chapitre 1 : Notions théoriques sur le capteur

Puisque $E_Y = 2 \mu_s (1 + \nu)$, avec ν est le coefficient de Poisson, l'équation de la vitesse des ondes peut s'écrire comme suit:

$$v_t = \sqrt{\frac{E_Y}{2\rho(1+\nu)}} \quad (1.7)$$

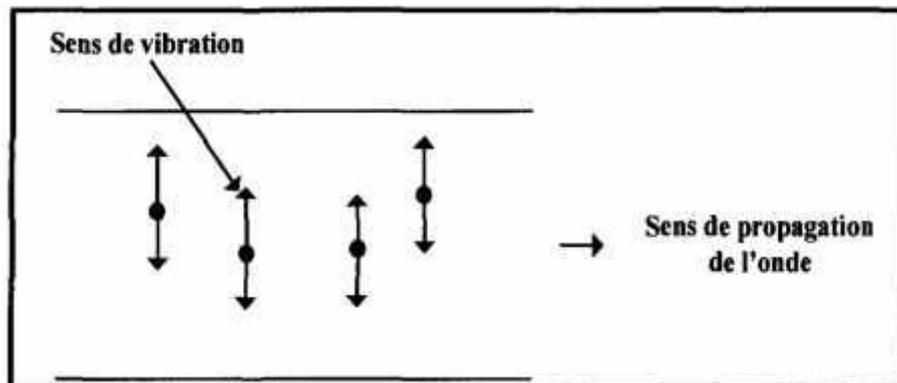


Figure (1-4) : divergente ou de distribution

Enfin, en plus des ondes longitudinales et transversales, des ondes de surface (ou de Rayleigh) peuvent se propager sous certaines conditions, le long de la surface d'un solide sans pénétrer dans le volume. De telles ondes sont une combinaison de déplacements longitudinaux et transversaux. La vitesse est donnée par l'expression ci-dessous:

$$v_s = \frac{0,87 + 1,12\nu}{1 + \nu} \sqrt{\frac{\mu_s}{\rho}} \quad (1.8)$$

1.2.4 Propagation des ultrasons dans un milieu liquide

La propagation des ultrasons dans les liquides se limite à celle d'ondes longitudinales puisque ces milieux ne peuvent résister aux contraintes tangentielles. La vitesse avec laquelle les ultrasons se propagent dans le milieu dépend de l'élasticité et de la densité du milieu. Elle est donnée par l'équation suivante : [1, 2]

$$v = \sqrt{\frac{\kappa}{\rho}} \quad (1.9)$$

Ou :

Chapitre 1 : Notions théoriques sur le capteur

- k est le constant élastique approprié en $\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-2}$.

- p la densité du milieu en kg.m^{-3} .

Lorsque les ondes sonores se propagent dans un liquide, on observe une perte d'énergie due au mouvement relatif des particules qui constituent le milieu. Elle est due aux forces de viscosité qui tendent à dégrader l'énergie acoustique en chaleur. La viscosité dans ce cas, est équivalente à la rigidité pour un matériau. Ainsi, plus la viscosité est élevée plus la température du milieu augmente. [1]

1.2.5 Émission et réception de l'onde ultrasonore

L'intensité d'une onde acoustique qui se propage dans les différents milieux s'atténue le long de son parcours. Plusieurs facteurs contribuent à cette atténuation tel que l'absorption, la réfraction, la réflexion et la diffusion. L'émission d'impulsions ultrasoniques dans un solide produit deux effets: un effet thermique qui dépend de la puissance acoustique de l'onde et qui engendre une propagation de la chaleur dans le milieu et un effet mécanique qui est la transmission, la réflexion et la dispersion.

1.2.5.1 Description du faisceau ultrasonore émis

La théorie de la diffraction montre qu'un faisceau ultrasonore émis par une source plane, circulaire de rayon r répondant à la condition $r > \lambda$, (r est le rayon de la source, λ est la longueur d'onde) comprend deux parties, une zone initiale cylindrique et une zone distale conique où le faisceau diverge que l'on nomme respectivement la zone de Fresnel et la zone de Fraunhofer. [1, 2, 3, 4]

a) Zone initiale: zone de Fresnel

C'est le champ initial ou zone de Fresnel qui est définie comme une source circulaire. Toute l'énergie est concentrée dans une zone cylindrique dont le diamètre est égal à celui de la source sonore. On caractérise le faisceau sonore par la relation suivante : [3, 4] voir figure (1-5)

$$\begin{aligned} d &= D_s \\ t &= \frac{D_s^2}{4\lambda} \end{aligned} \quad \text{Valable lorsque } D_s > \lambda \quad (1.10)$$

Ou :

Chapitre 1 : Notions théoriques sur le capteur

- d est le diamètre de la zone en m;
- l est la longueur de la zone en m ;
- D_s est le diamètre de la source en m;
- λ est la longueur de l'onde ultrasonore en m.

L'intensité sur l'axe de propagation dans ce cas passe par une succession de maxima et de minima dont les abscisses sont données par : [4, 5]

$$\begin{aligned}x_{(\max)} &= \frac{r^2}{(2k+1)\lambda} & k &= 0, 1, 2, \dots \\x_{(\min)} &= \frac{r^2}{2k\lambda} & k &= 1, 2, \dots\end{aligned}\quad (1.11)$$

Pour $k = 0$, on obtient la position du dernier maximum $x_{(M)} = r^2/\lambda$ qui représente la limite entre le champ initial et la zone distale, tel qu'illustrée à la figure (1-6).

b) Zone distale: zone de Fraunhofer

Nommée champ lointain, elle correspond à la partie du faisceau située à une distance de la zone supérieure de r^2/λ , (où r est le rayon de la source et λ est la longueur d'onde). Dans cette zone, le faisceau est plus homogène que dans la zone de Fresnel, mais il se met à diverger d'un angle θ (voir la figure (1-7)) par rapport à l'axe central. L'angle de divergence est proportionnel à la fréquence et au diamètre de la source et est exprimé par la relation suivante : [4]

$$\sin \theta = \frac{1,22c}{df} \quad \text{Valable pour } r > \lambda \quad (1.12)$$

Ou :

- θ est l'angle de divergence en degrés.
- d est le diamètre de la source en m.
- c est la vitesse du son en m.s^{-1} .
- f est la fréquence en Hz.

Chapitre 1 : Notions théoriques sur le capteur

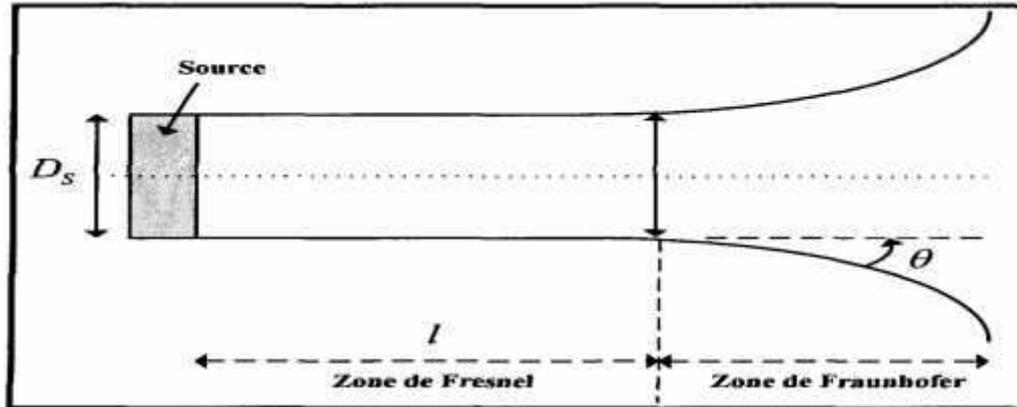


Figure (1-5): Géométrie d'un faisceau d'ondes ultrasonores

Comme le montre la figure (1-5), en s'éloignant de la source ultrasonore, l'intensité de l'onde devient faible car l'énergie se répartit.

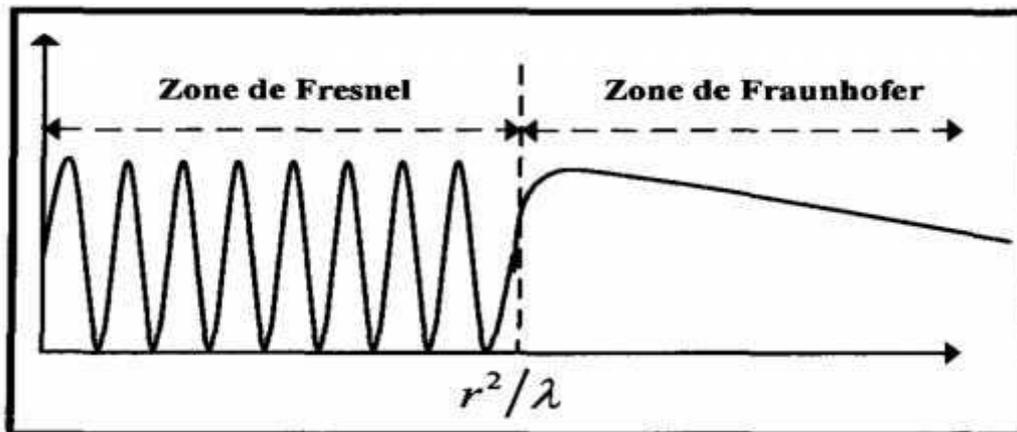


Figure (1-6): Représentation du champ de Fresnel et du champ de Fraunhofer pour un élément piézo-électrique de diamètre D_s .

1.2.5.2 Atténuation de l'onde ultrasonore

L'atténuation d'une onde ultrasonore dépend principalement de la fréquence considérée. Pour la plupart des matériaux, plus la fréquence est haute plus l'atténuation est importante. La théorie prévoit que l'atténuation est directement proportionnelle au carré de la fréquence pour une onde plane.

Considérons une onde plane se propageant suivant la direction $+z$, P_a est la pression acoustique spécifiée par la relation suivante : [5]

Chapitre 1 : Notions théoriques sur le capteur

$$P_n = P_0 e^{-2\alpha x} \quad (1.13)$$

Où α est le coefficient d'atténuation exprimé en dB/m et donné par la relation suivante :

$$\alpha = \frac{\eta \omega^2}{2v_L^3 \rho} \quad (1.14)$$

Avec :

- η est le coefficient de viscosité exprimée en N.s.m⁻² ou Pa.s.
- ρ est la densité du milieu en kg.m⁻³;
- v_L est la vitesse longitudinale dans le milieu en m. s⁻¹.

Dans les liquides, le coefficient d'atténuation α est donné par l'expression suivante : [3]

$$\alpha = \frac{2\pi^2}{\rho c^3} f^2 \left(\frac{4}{3} \eta' + \eta_v \right) \quad (1.15)$$

Où η' et η_v sont des coefficients de viscosité respectivement de cisaillement et de compression qui dépendent de la température.

1.2.5.3 L'absorption et la dispersion

L'absorption des ultrasons dans les solides dépend beaucoup de la structure de ces derniers. Dans les milieux homogènes, l'absorption du son est due essentiellement au coefficient de viscosité et à la conductivité thermique. Comme dans les liquides, l'absorption est proportionnelle au carré de la fréquence sonore. Dans le cas des substances polycristallines comme la glace, c'est-à-dire des substances formées d'un grand nombre de petits cristaux séparés (les monocristaux), l'absorption du son est principalement déterminée par les dimensions relatives des cristaux et de la longueur d'onde. À haute fréquence, lorsque la longueur d'onde λ est petite par rapport à la taille des cristaux, l'absorption se fait dans chaque monocristal.

1.2.5.4 Réflexion et réfraction

Lors du passage d'une onde ultrasonore à travers une interface séparant deux milieux de caractéristiques acoustiques différentes, une partie de l'onde incidente est réfléchiée et une autre est réfractée. L'énergie contenue dans l'onde réfractée est égale à l'énergie de l'onde incidente diminuée de celle contenue dans l'onde réfléchiée. Le mécanisme de réflexion d'une

Chapitre 1 : Notions théoriques sur le capteur

onde ultrasonore est un point important dans l'étude de propagation d'ondes ultrasonores dans un milieu.

Soit une onde acoustique qui frappe, avec un angle d'incidence θ_i par rapport à la verticale, l'interface séparant les milieux 1 et 2, tel qu'illustrée à la figure (1-7). Cette dernière donne naissance à l'interface, à une onde réfléchie et une onde transmise. Les directions de propagation de ces ondes font respectivement des angles θ_r et θ_t , avec la normale à l'interface. [1, 2, 3, 4]

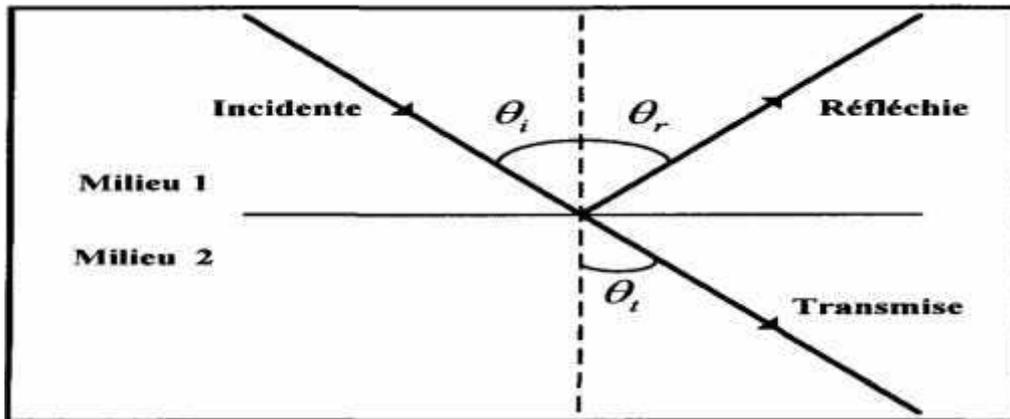


Figure (1-7) : Réflexion des ultrasons à une interface.

Soit les suffixes i , r et t se rapportant respectivement aux ondes incidentes, réfléchies et transmises. La variation de pression incidente P_i , la pression réfléchie P_r et la pression transmise P_t , s'écrivent alors :

$$P_i + P_r = P_t \quad (1.16)$$

Puisque :

$$P = \rho c \frac{db}{dt} \text{ alors } \rho_1 c_1 \left(\frac{db}{dt} \right)_i - \rho_1 c_1 \left(\frac{db}{dt} \right)_r = \rho_2 c_2 \left(\frac{db}{dt} \right)_t \quad (1.17)$$

Le signe négatif du second terme indique que la direction de propagation de l'onde réfléchie est inversée. Après simplification, on obtient: [1]

$$\begin{aligned} \left(\frac{db}{dt} \right)_r / \left(\frac{db}{dt} \right)_i &= - \frac{\rho_2 c_1 \cos \theta_1 - \rho_1 c_1 \cos \theta_2}{\rho_2 c_2 \cos \theta_1 - \rho_1 c_1 \cos \theta_2} \\ \left(\frac{db}{dt} \right)_t / \left(\frac{db}{dt} \right)_i &= \frac{2 \rho_1 c_1 \cos \theta_1}{\rho_2 c_2 \cos \theta_1 + \rho_1 c_1 \cos \theta_2} \end{aligned} \quad (1.18)$$

Chapitre 1 : Notions théoriques sur le capteur

Sous l'incidence normale on a $\theta_i = \theta_t = 0$.

Le coefficient de réflexion R est défini par le rapport de la puissance réfléchie sur la puissance incidente, il est exprimé par la relation suivante :

$$R = \frac{P_r}{P_i} = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \right)^2 \quad (1.19)$$

Le coefficient de transmission T défini par le rapport de la puissance transmise sur la puissance réfléchie, est donné par la relation suivante :

$$T = 1 - R = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (1.20)$$

Où Z_1 et Z_2 sont les impédances acoustiques des milieux 1 et 2 respectivement, exprimées en kg.m.s^{-1} .

1.3 Théorie des transducteurs ultrasoniques piézo-électriques

1.3.1 Effet piézo-électrique

Le terme piézo vient du terme grec piézen (presser, contraindre). On appelle piézoélectricité, la propriété que possèdent certains matériaux de pouvoir transformer une énergie électrique en une énergie mécanique, c'est-à-dire une onde électrique en une onde mécanique ou inversement. [1, 2, 3, 4]

La piézo-électricité peut être définie comme l'interdépendance entre les phénomènes mécaniques (déformation, contrainte) et électriques (champ électrique, charge électrique) que possèdent certains matériaux (milieux cristallins : Quartz, Titanate de Barium, Oxyde de Zinc, Céramiques: PZT, Polymères: PVDF).

L'effet piézo-électrique fut découvert en 1880 par les frères Curie qui remarquèrent qu'une plaque découpée dans un cristal suivant une direction perpendiculaire possédait la propriété de produire un potentiel électrique entre ses faces lorsqu'on lui appliquait une pression mécanique. Cet effet est appelé effet piézo-électrique direct, un phénomène de polarisation électrique induit par l'application d'une contrainte à certains matériaux. Cette polarisation est proportionnelle à la contrainte et change de signe avec elle. Cette dernière est importante pour certains cristaux naturels, comme le quartz.

Lippmann, en 1881, prédit l'effet inverse et montra que de tels cristaux pourraient servir à produire des signaux électriques proportionnels aux vibrations mécaniques alternées qu'on leur appliquerait. Une polarisation électrique résultant de l'application d'un champ électrique

Chapitre 1 : Notions théoriques sur le capteur

entraînerait une déformation du même matériau. On parle alors d'effet piézo-électrique inverse. La figure (1-8) illustre le principe piézo-électrique.

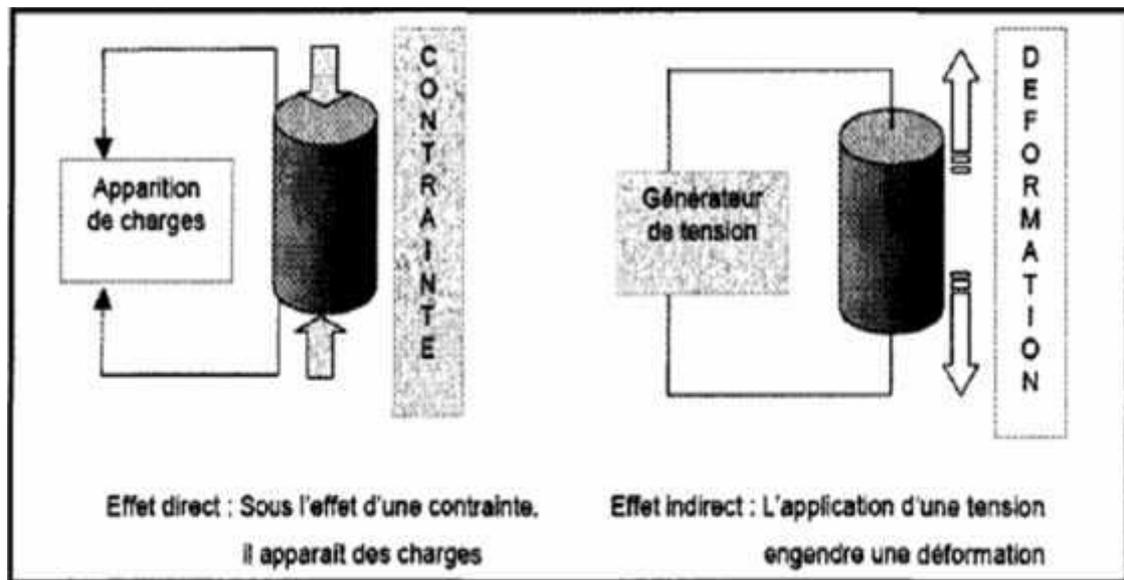


Figure (1-8): Illustration du principe piézo-électrique

1.3.2 Transducteur piézo-électrique

Lorsque l'on souhaite traduire une grandeur physique en une autre grandeur, on fait appel à ce que l'on nomme classiquement "un transducteur". Ainsi, un transducteur piézoélectrique transforme une énergie électrique en une autre énergie mécanique et réciproquement.

Dans la plupart des applications, un élément piézo-électrique est utilisé sous forme d'un film mince de faible épaisseur. À l'état libre (chargé par l'air), il est représenté par une face électrique et est utilisé comme résonateur à cause de son grand coefficient de surtension Q_m comme le montre la figure (1-9) (a). [6]

Il est représenté par une face électrique et deux faces acoustiques (voir figure (1-9) (b)), lorsqu'il est utilisé comme un générateur d'ondes acoustiques dans un liquide. Cela s'applique aussi lorsqu'il est collé à la surface d'un solide. Dans toutes les applications, le transducteur est généralement acoustiquement couplé au solide par des liquides couplant ou des gels.

Chapitre 1 : Notions théoriques sur le capteur

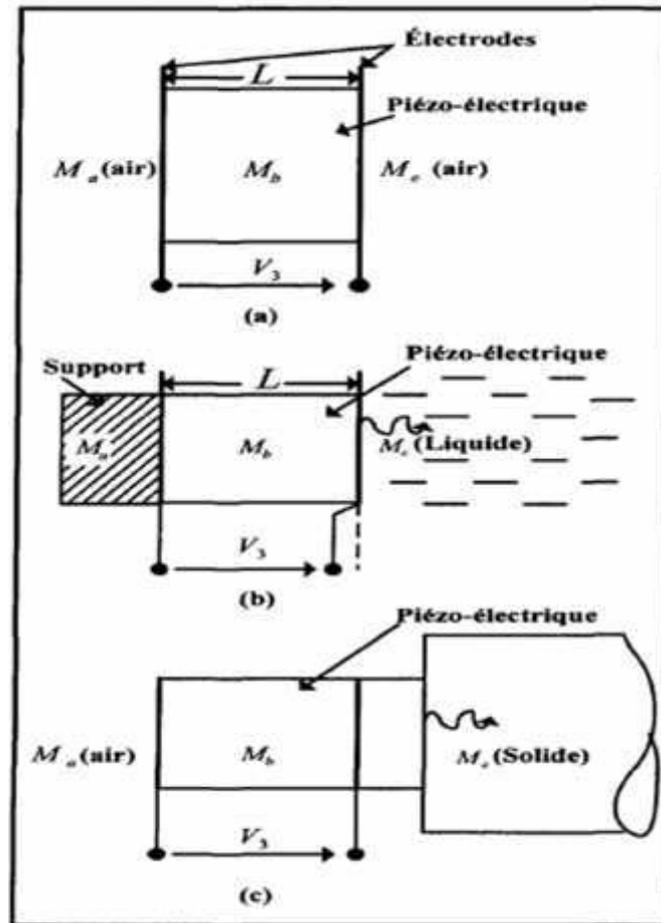


Figure (1-9): (a) Résonateur, (b) Générateur d'onde acoustique dans un liquide, (c) Générateur d'onde acoustique dans un solide.

Dans le cas du résonateur, tel que représenté à la figure (1-9) (a), si ce dernier est à l'état libre (chargé par l'air), où M_c et M_a représentent le milieu d'air, l'impédance électrique d'entrée est une réactance.

Pour le cas de la figure (1-9) (b) et la figure (c), un des facteurs les plus importants est le rapport de l'énergie électrique par rapport à l'énergie acoustique rayonnée. Dans ces deux cas, dépendamment des impédances des milieux M_a et M_c , l'élément piézo-électrique M_b agit en tant que résonateur à faible coefficient de surtension Q_m .

Considérons une onde longitudinale qui se propage dans un milieu selon l'axe z avec un champ électrique orienté suivant le même axe tel qu'illustré à la figure (1-10) (a). L'élément piézo-électrique peut être représenté par son schéma électrique équivalent, tel que présenté à la figure (1-10) (b).

Chapitre 1 : Notions théoriques sur le capteur

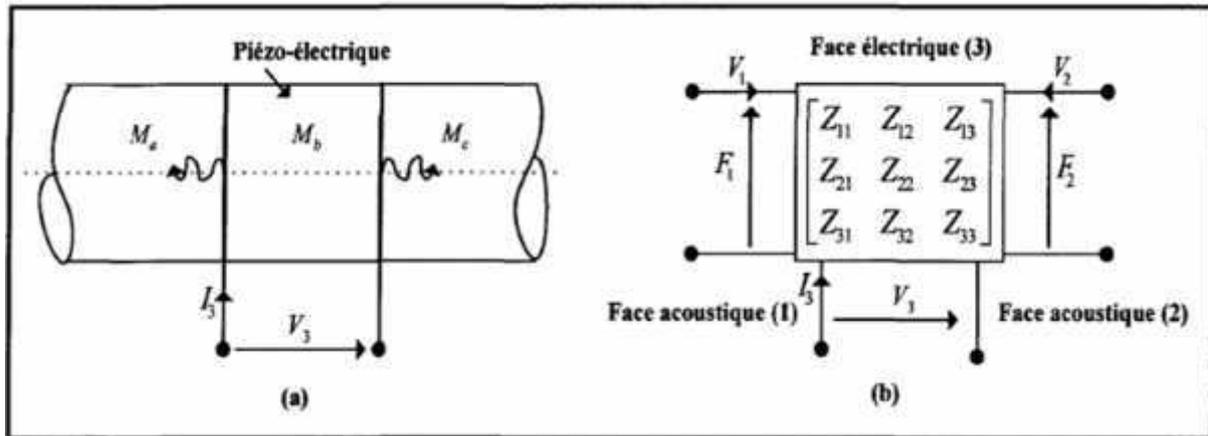


Figure (1-10): (a) Géométrie d'un élément piézo-électrique avec deux faces acoustiques (1), (2) et une face électrique (3). (b) Schéma électrique équivalent d'un élément piézo-électrique.

Le comportement transitoire des transducteurs piézo-électriques ultrasoniques a fait l'objet d'un grand nombre de recherches. Citons à titre d'exemple le modèle Krimoltz (1970) et le modèle Mason (1948). La figure (1-11) présente le comportement dynamique électromécanique d'un élément piézo-électrique analysé à l'aide du circuit équivalent de Mason, tout en négligeant les pertes internes. Ce circuit est représenté par deux faces mécaniques et une seule face électrique. Dans ce circuit, V_1 et V_2 sont analogues au courant et F_1 et F_2 sont analogues aux tensions. De plus, un transformateur idéal électromécanique représente le lien entre le port électrique et les deux ports mécaniques.

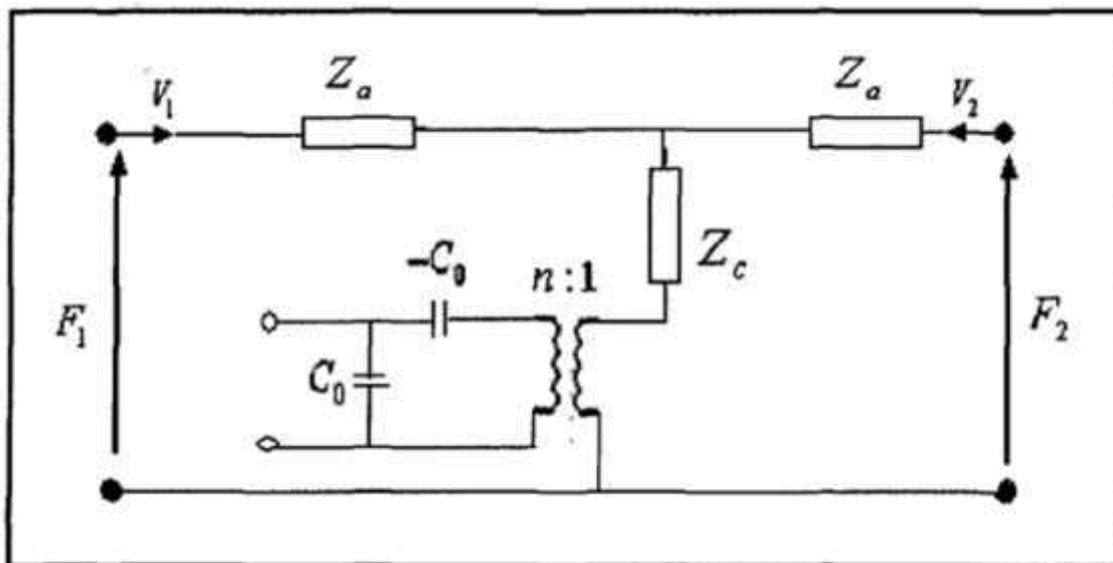


Figure (1-11): Circuit équivalent d'un élément piézo-électrique

Chapitre 1 : Notions théoriques sur le capteur

Dans le circuit électrique équivalent de la figure (1-12), Z_a et Z_c sont les composantes électriques qui simulent les effets mécaniques, dont les expressions sont :

$$Z_a = j Z_0 \tan\left(\frac{\beta_0 t_p}{2}\right), \quad Z_c = \frac{j Z_0}{\sin(\beta_0 t_p)}, \quad \bar{Z}_0 = A_0 Z_0 = A_0 \sqrt{\rho_0 C_{33}^D}, \quad \beta_0 = \frac{\omega}{c} \quad \text{et} \quad h = \frac{e_{31}}{\sqrt{C_{33}^D} \rho_0}$$

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = -j \begin{bmatrix} \bar{Z}_0 \cot \beta_0 t_p & \bar{Z}_0 \csc \beta_0 t_p & \frac{h}{\omega} \\ \bar{Z}_0 \csc \beta_0 t_p & \bar{Z}_0 \cot \beta_0 t_p & \frac{h}{\omega} \\ \frac{h}{\omega} & \frac{h}{\omega} & \frac{1}{\omega C_0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ I_3 \end{bmatrix} \quad (1.21)$$

Avec :

- A_0 est la surface de l'élément piézo-électrique en m.
- ρ_0 est sa densité en kg.m^{-3} .
- Z_0 est impédance acoustique en kg.m.s^{-1} .
- c est la vitesse du son dans l'élément piézo-électrique en m.s^{-1} .
- t est l'épaisseur de l'élément piézo-électrique en m;
- C_{33}^D est le coefficient d'élasticité de l'élément piézo-électrique en N.m^{-2} .

Il est donc clair que pour un milieu non piézo-électrique, $e_{33}=0$, le transformateur devient donc un court-circuit. Le circuit équivalent d'un milieu non piézo-électrique est représenté à la figure suivante. [2, 6]

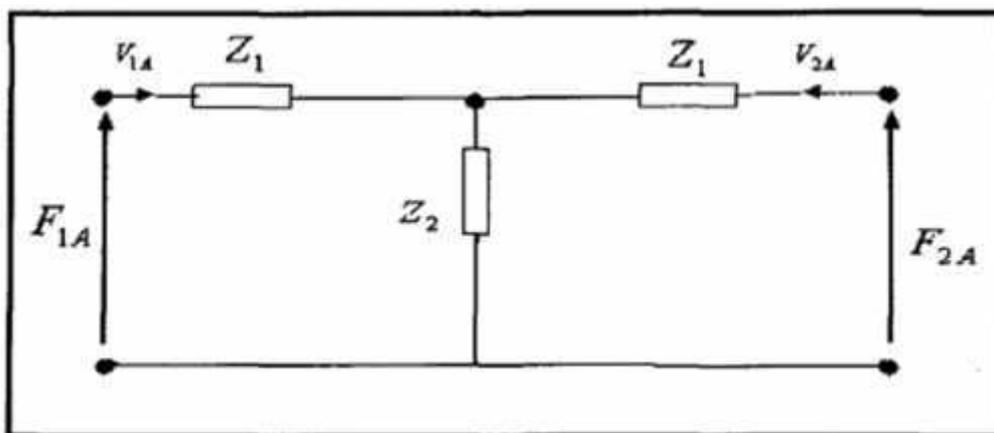


Figure (1-12): Circuit équivalent d'un élément non piézo-électrique

Chapitre 1 : Notions théoriques sur le capteur

En général, un capteur ultrasonique est constitué de plusieurs couches de matériaux ayant chacune une fonction différente, comme le montre la vue en coupe de la figure IV-13. Les couches I et II sont les couches intermédiaires, appelées aussi lame quart d'onde. Elles permettent un transfert maximal de l'énergie issue de l'élément piézo-électrique au milieu extérieur. Les couches III et V sont les électrodes conductrices servant à appliquer le champ électrique à l'élément piézoélectrique représenté par la couche IV et enfin, la couche VI représente la couche de matériau amortisseur. Le choix de ce matériau amortisseur est important puisqu'il influence directement la forme des impulsions ultrasonores émises par le transducteur. Pour un matériau très amortissant, la majeure partie de l'énergie qui y pénètre est dissipée, favorisant de la sorte la création d'impulsions courtes. Au contraire, pour un matériau peu amortissant, l'énergie atteignant la face arrière du transducteur est renvoyée vers la face avant et accroît l'énergie transmise dans le milieu accumulé.

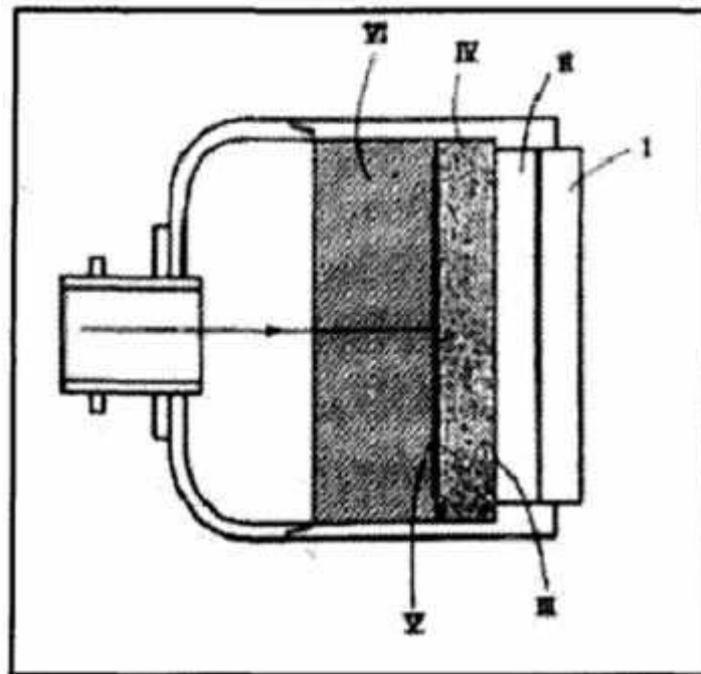


Figure (1-13): Vue en coupe d'un transducteur ultrasonore

À tout type de transducteur ultrasonique correspond son modèle équivalent de Mason dont un schéma est présenté à la figure IV-14.

Avec :

- Z_B est l'impédance acoustique de la couche amortisseuse.
- Z_F est l'impédance acoustique de la charge.

Chapitre 1 : Notions théoriques sur le capteur

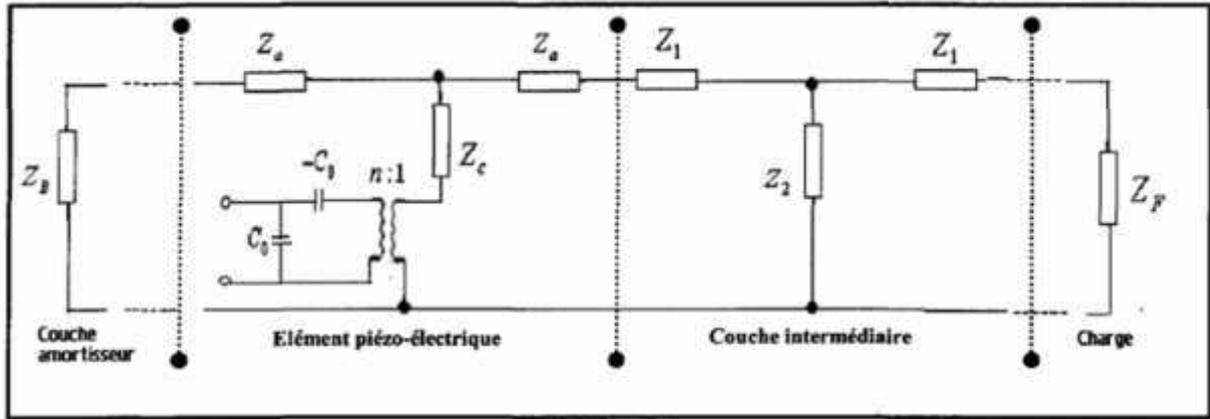


Figure (1-14): Circuit complet équivalent d'un transducteur avec une charge

Chapitre 2 : Capteurs de niveau

2.1 Introduction

Connaitre avec précision le niveau d'un liquide par rapport à un repère fixe nécessite l'utilisation de nombreuses paramètres physiques, parmi lesquelles on trouve les ultrasons. Ce sont des ondes de pression mécanique de fréquence supérieure à celles qui sont audibles par l'oreille humaine. D'une manière générale cette bande de fréquence située entre 20KHz et 200MHz et couvre une grande variété d'application. Les signaux ultrasonores sont habituellement générés par un transducteur composé d'un élément piézoélectrique qui permet de transformer les ondes mécaniques en signaux électriques. [1, 2, 3, 4]

Lorsqu'un capteur de niveau doit être choisi, on doit prendre en compte plusieurs critères. Ainsi, il faut savoir si la mesure se fait dans un réservoir étanche ou non. Autre possibilité, la mesure de niveau peut être faite en plein air, sur un bassin ou un canal. Il faut aussi connaître la nature du produit dont il faut mesurer le niveau, à savoir s'il est sous forme solide ou liquide. Enfin, il faut savoir si le capteur peut être en contact ou non avec le produit dont on mesure le niveau.

Les capteurs de niveau peuvent être classifiés selon la méthode de mesure. Cette mesure peut être visuelle (avec des tubes de verre). Elle peut être aussi hydrostatique, i.e., basée sur les principes d'Archimède ou encore sur la pression hydrostatique due à la hauteur de liquide au-dessus du capteur. Certains capteurs de niveau utilisent des principes électriques basés sur des variations d'impédance comme les sondes de niveau capacitives.

2.2 Domaines d'application des ultrasons : [7]

2.2.1 Utilisation industrielle :

En métallurgie, les ultrasons sont utilisés pour le dégazage des métaux, la détection de défauts, pour l'usinage, et la soudure de certains matériaux. Un foret solidaire de la partie mobile d'un générateur d'ultrasons peut être utilisé pour le perçage, en effectuant des mouvements de va-et-vient à la fréquence des ultrasons. Une précision de quelques micromètres est obtenue, et ce même dans des matières extrêmement dures. Les ultrasons sont également employés pour la stérilisation de certains liquides, notamment du lait, la prospection de gisements minéraux, la déflagration d'explosifs commandés distance, le nettoyage de certains corps, tels que les fûts de bois utilisés pour la fabrication du vin, et la soudure de matières plastiques.

2.2.2 L'utilisation en médecine :

Les ultrasons sont utilisés dans le diagnostic et le traitement de différentes affections. Dans un but diagnostique, les ultrasons sont employés par l'échographie, qui explore les organes internes mous ou remplis de liquide par la réflexion et l'analyse d'un faisceau d'ultrasons, et

Chapitre 2 : Capteurs de niveau

par le Doppler ; cette dernière technique étudie la vitesse de la circulation artérielle et veineuse au moyen d'une sonde émettrice d'ultrasons qui se réfléchissent sur les globules rouges puis sont recueillis par un récepteur situé sur la même sonde. Dans un but thérapeutique, les ultrasons sont exploités dans le traitement symptomatique d'infections des tissus mous (muscles, ligaments, tendons). Cette technique, appelée ultrason-thérapie, fait appel à des ondes de haute fréquence permettant de réduire l'inflammation en améliorant la circulation locale. Les ultrasons sont également utilisés pour fragmenter des calculs, surtout urinaires, par voie externe, avec une technique appelée lithotripsie.

2.2.3 Applications aux télécommunications :

Dans ce domaine, les ultrasons apparaissent dans nombreuses réalisations :

Téléphonie sous-marine, modulation de lumière, linge à retard.

2.2.4 Application à l'océanographie :

Elles doivent être classées parmi les plus anciennes puisqu'en 1917 Paul Langevin employa un générateur à quartz piézo-électrique pour le sondage sous-marin (échosondeurs) et pour la détection des sous-marins ennemis. L'appareil utilisé, souvent appelé SONAR (Sound Navigation And Radar) fonctionne suivant le même principe que le radar. Les distances sont déduites de la mesure du temps qui s'écoule entre l'émission d'un top ultrasonore et la réception de l'écho après réflexion sur l'objet à détecter. Des appareils semblables servent à la détection des bancs de poissons, au sondage des sédiments marins, à la recherche du pétrole, à la navigation (aux instruments) pour les engins sous-marins ou pour les bateaux perdus dans la brume, au repérage des icebergs, des épaves...etc.

2.3 Applications des capteurs de niveau de liquide par ultrason:

Les capteurs de niveau à ultrason sont destinés à la mesure de niveau de liquide, sans immersion et sans contact avec les liquides. Les vastes domaines d'applications des capteurs de niveau de liquide à ultrasons permettent leur utilisation pour la mesure du niveau de liquide en: postes d'assainissement, , réservoirs, cours d'eau,, et pour la mesure du niveau de tous autres liquides ...

Dans notre recherche nous sommes intéressés à développer et réaliser un système qui sert à détecter le niveau du liquide(Sérum) dans un flacon dans le but d'assurer un meilleur suivi du sérum administré aux patients.[8]

Chapitre 2 : Capteurs de niveau

2.3.1 Les différentes méthodes de détection de niveau :

2.3.1.1 Méthodes hydrostatiques :

Principe de fonctionnement :

La mesure de niveau repose sur la détermination de la pression hydrostatique générée par la hauteur de la colonne de liquide. La pression est calculée selon la formule suivante :

$$P = h * \rho * g \quad (2.1)$$

-P est la pression ;

-h est le niveau ;

-g est la gravité (constante) ;

- ρ est le poids spécifique (densité) ;

La densité de produit constante, la seule inconnue de cette équation est la hauteur (h). La pression mesurée est par conséquent une mesure directe de ce niveau. Les capteurs de pression hydrostatique sont composés soit d'une membrane de mesure capacitive sèche en céramique, soit d'un capteur piézorésistif avec membrane métallique, tel qu'illustrée à la figure (2-1)

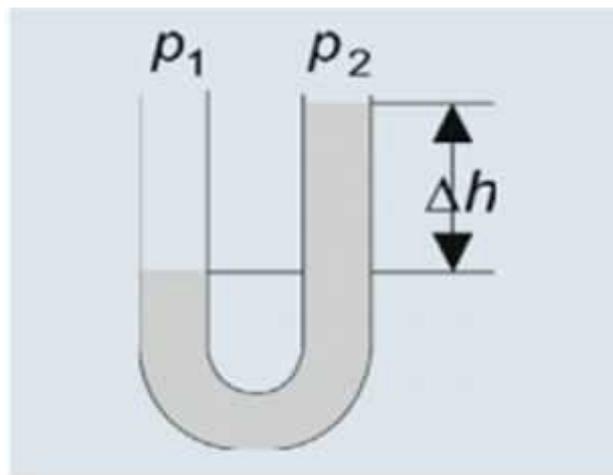


Figure (2-1) : mesure de niveau par la méthode hydrostatique

a) Plongeur :

Ce dispositif de mesure a eu un grand succès dans le passé. On le retrouve encore sur de nombreux sites industriels, car son fonctionnement et sa maintenance, bien que souvent assez

Chapitre 2 : Capteurs de niveau

lourde, et bien maîtrisée. Mais ce principe est en perte de vitesse par rapport aux systèmes de mesure de niveau actuels comme le radar.

Un corps non-flotteur est suspendu dans la cuve à une balance. Ce corps plongé dans une cuve remplie substitue le volume correspondant à sa partie immergée dans le liquide et décharge la balance du poids du liquide substitué. Le corps doit être aussi long que la plage de mesure. Son utilisation n'est donc pas recommandée pour des cuves de grande hauteur.

Par sa méthode de détection purement mécanique, ce principe est toutefois très avantageux dans les cuves à hautes températures et hautes pressions.

$$F = P - \rho * g * A * h \quad (2.2)$$

Avec :

- P le poids du plongeur ;
- s sa section ;
- $\rho * g * s * L$ la poussée d'Archimède s'exerçant sur le volume immergé du plongeur (ρ : masse volumique du liquide, g : accélération de la pesanteur), tel qu'il est illustrée à la figure (2-2).

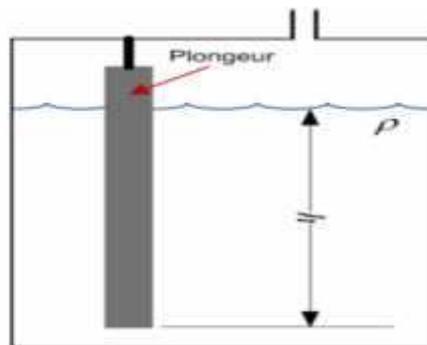


Figure (2-2) : Principe mesure de niveau par plongeur

Les avantages :

- Bonne précision.
- La loi est linéaire.
- La mesure n'est pas influencée par les modifications de surface du liquide (mousses,...)

Chapitre 2 : Capteurs de niveau

Les inconvénients :

- Le plongeur est en mouvement et en contact avec le liquide.
- S'il y a des dépôts sur le plongeur, cela fausse la mesure.
- La mesure est modifiée par les mouvements du liquide.
- La mesure n'est valable que pour les liquides.

b) Flotteur :

C'est l'un des plus anciens principes de mesure de niveau utilisé. La figure (2-3) montre le principe utilisé. La conception est simple, un flotteur qui contrairement au plongeur ne coule pas, mais flotte à la surface du liquide, suit celle-ci dans ses déplacements. Un câble, guidé par des poulies et maintenu tendu par un contrepois, transmet le déplacement du flotteur à un index dont la position est lue sur une règle graduée en hauteur de liquide. Ce dispositif sensible aux vagues et remous de la surface est plutôt destiné à la mesure de niveau de liquides non-agités. Il demande aussi un certain entretien lié à l'usure mécanique, la corrosion et les dépôts.

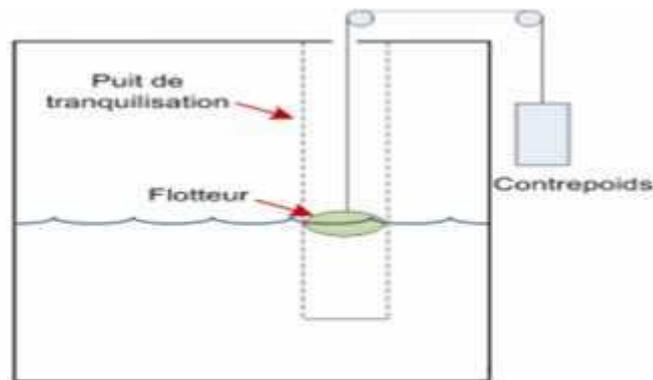


Figure (2-3) : Principe mesure de niveau par flotteur

Les avantages :

- Il s'agit d'une mesure directe de la hauteur du liquide et elle ne dépend pas de sa masse volumique.

Chapitre 2 : Capteurs de niveau

- Sur une grande étendue de mesure (plusieurs mètres), la mesure est précise.
- Dispositif simple et peu coûteux.

Les inconvénients :

- Ce type de mesure ne convient qu'aux liquides.
- Sur une étendue de mesure inférieure à 1 mètre, précision de quelques millimètres (soit $\pm 0,5\%$).
- Le flotteur est en contact direct avec le liquide : les produits corrosifs sont donc à exclure.
- La mesure est très sensible aux perturbations à la surface du liquide (vague, remous,...).

c) Mesure de pression :

Un capteur de pression mesure la pression relative au fond du réservoir. Cette pression est l'image du niveau L du liquide, tel qu'il est illustré à la figure (2-4).

$$L(m) = \frac{P(Pa)}{\rho \left(\frac{Kg}{m^3}\right) * g\left(\frac{m}{s^2}\right)} \quad (2-3)$$

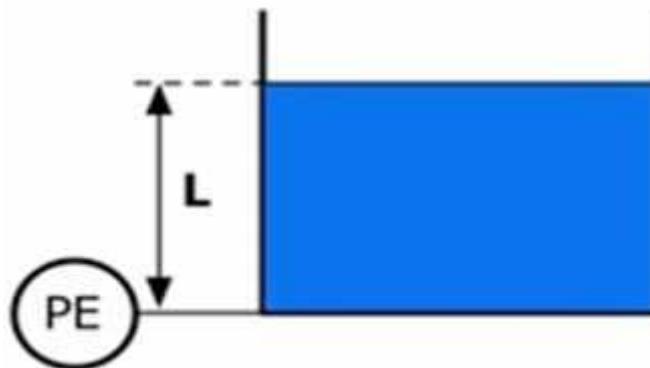


Figure (2-4): Principe mesure de niveau par capteur de pression

d) Mesure de niveau à bulles :

Pour mesurer la pression, on peut utiliser un système à bulle. Le système comporte :

- Une canne d'injection ;

Chapitre 2 : Capteurs de niveau

- Un manomètre mesurant la pression d'air de bullage ;
- Un contrôleur de débit visuel (dit bulleur) ;
- Un régulateur de débit ;

Le régulateur agit de manière à avoir un débit très faible. Ainsi, en négligeant les pertes de charges, la pression mesurée est la pression en bout de canne. P fournie donc une mesure du niveau L. tel qu'il est illustré à la figure (2-5)

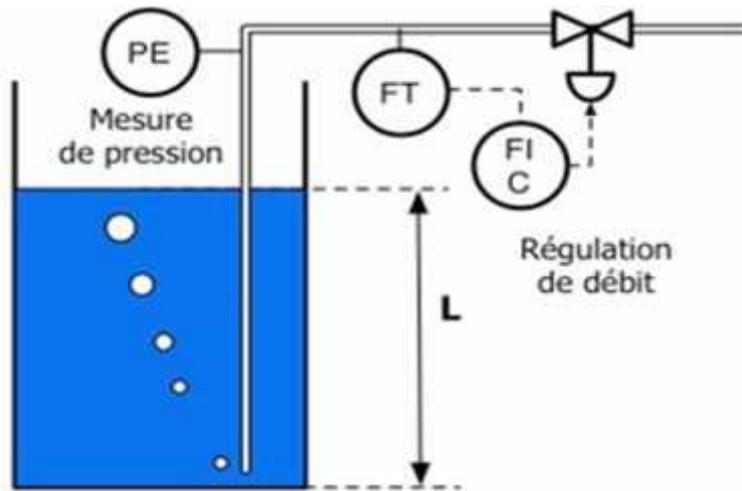


Figure (2-5) : Mesure de niveau par bullage

e) Mesure en réservoir fermée :

Si le réservoir est fermé, on utilise un capteur de pression différentielle. Il existe alors deux montages différents. Si l'atmosphère est sans condensation, on utilisera un montage avec une canalisation sèche. Si l'atmosphère est avec condensation, le montage utilisera une canalisation humide. La figure (2-6) montre le principe utilisé.

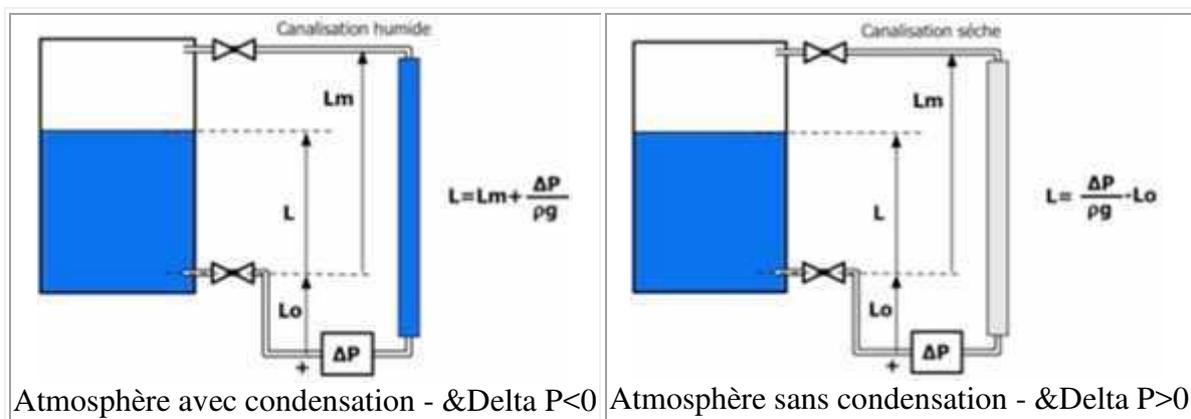


Figure (2-6) : Mesure de niveau dans un réservoir

Chapitre 2 : Capteurs de niveau

f) Mesure de masse volumique :

La mesure de la différence de pression ($P_1 - P_2$) permet de connaître la masse volumique du liquide à l'intérieur du réservoir, tel qu'il est illustré à la figure (2-7).

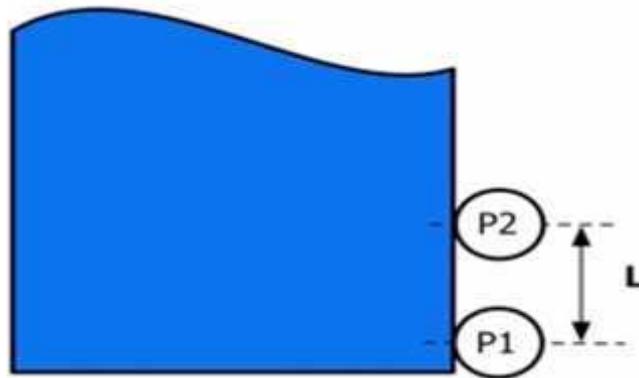


Figure (2-7) : Mesure de la masse volumique

2.3.1.2 Méthodes électriques : [7]

Dans ce cas on utilise des capteurs qui traduisent directement le niveau en signal électrique. Leur intérêt réside dans la simplicité des dispositifs et la facilité de leur mise en œuvre et dans leur utilisation en régulation et en automatisme.

a) Capteurs conductimétriques :

La sonde est formée de deux électrodes cylindriques, le rôle de l'une d'elles pouvant être assuré par le réservoir lorsqu'il est métallique. La sonde est alimentée par une faible tension (10 V) alternative afin d'éviter la polarisation des électrodes. En mesure continue, la sonde est placée verticalement et sa longueur s'étend sur toute la plage de variation de niveau. Le courant électrique qui circule est d'amplitude proportionnelle à la longueur d'électrode immergée, mais sa valeur dépend de la conductivité du liquide, comme il est représenté dans la figure (2-8).

Chapitre 2 : Capteurs de niveau

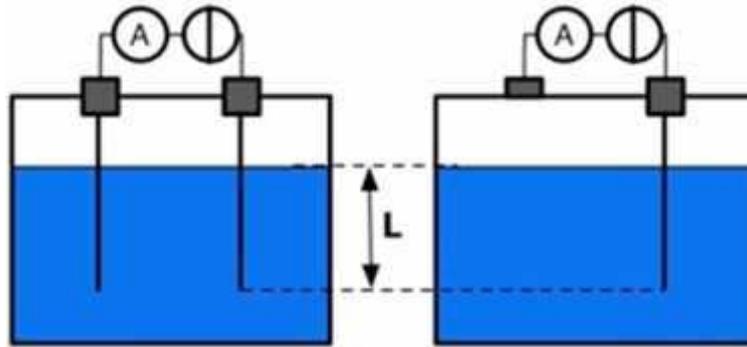


Figure (2-8) : Principe mesure de niveau par capteur de pression

En détection, on peut, par exemple, placer une sonde courte horizontalement au niveau seuil. Un courant électrique d'amplitude constante apparaît dès que le liquide atteint la sonde, tel qu'illustrée à la figure (2-9).

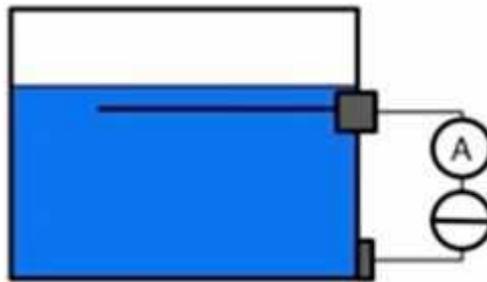


Figure (2-9) : Détection de niveau électrique (horizontal)

Il est utilisable uniquement avec des liquides conducteurs (conductance minimale de l'ordre de 50 S), non corrosifs et n'ayant pas en suspension une phase isolante (huile par exemple). La pression est comprise entre le vide et 160 bar et une température comprise entre -200°C et 250°C .

Les avantages :

- Cette technique est simple et facile à mettre en œuvre.
- Son coût est modéré.
- La détection de niveau est indépendante des caractéristiques physiques du produit.

Les inconvénients :

Les conditions d'utilisation de cette technique dépendent du produit qui doit être :

Chapitre 2 : Capteurs de niveau

- Conducteurs électrique (eau, acides, solutions)
- Peu corrosifs car cela détruit les électrodes.
- Peu chargé de particules susceptibles de se déposer.

b) Capteurs capacitifs :

Lorsque le liquide est isolant, un condensateur est réalisé soit par deux électrodes cylindriques, soit par une électrode et la paroi du réservoir si celui-ci est métallique. Le diélectrique est le liquide dans la partie immergée, l'air en dehors. L'implantation des électrodes pour mesure en continu ou en détection s'effectue comme pour le capteur conductimétrique.

La mesure ou la détection de niveau se ramène à la mise en variation de capacité qui est d'autant plus importante que la constante diélectrique ϵ_r du liquide est supérieure à celle de l'air ; on prend généralement comme condition d'emploi de la méthode $\epsilon_r > 2$. Dans le cas d'un liquide conducteur, on utilise une seule électrode recouverte d'un isolant qui constitue le diélectrique du condensateur dont l'autre est formée par le contact du liquide conducteur.

c) Les capteurs de niveau ultrasonique :

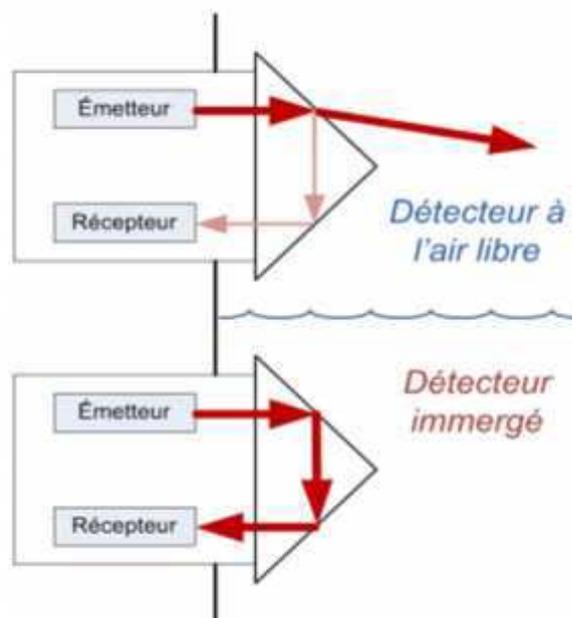


Figure (2-10) : Principe de fonctionnement de détecteur de niveau ultrasonique

Chapitre 2 : Capteurs de niveau

Les paramètres importants à considérer dans l'achat de ce type de capteur sont :

- Etendue de mesure ;
- Répétabilité;
- Compensation de température.

Ce principe de mesure de niveau est fondé sur la mesure du temps aller-retour d'une onde ultrasonique, après réflexion à la surface du produit (écho). Des impulsions acoustiques sont émises et reçues par des transducteurs : ceux-ci sont munis d'oscillateurs à disques piézo-électriques plus ou moins sophistiqués selon la distance de mesure et la capacité du produit à réfléchir le son. On sait par expérience que les surfaces dures offrent de bonnes propriétés de réflexion des ondes acoustiques tandis que les surfaces non-rigides les absorbent. On ressent la dureté d'un liquide lors d'un plongeon manqué de 3m au moment de l'impact sur l'eau. Les ondulations de la surface sont compensées par le traitement du signal.

Plusieurs caractéristiques influencent la propagation des ondes acoustiques (vitesse du son : 350m/s). Tout d'abord la température du processus, celle-ci est donc mesurée pour pouvoir compenser la mesure de niveau. La vitesse du son est également fonction de la densité du gaz, en effet certains gaz guident les ondes plus rapidement que l'air d'autres plus lentement. Il est possible de compenser les erreurs du temps de propagation dues à des gaz divers ou mélangés, mais au prix d'importants efforts techniques. Dans la pratique on choisira dans ce cas plutôt la technologie radar. Les mousses quant à elles peuvent être détectées à partir d'une certaine densité. En présence de cuves encombrées générant des échos parasites, il y a possibilité de les mémoriser et de les éliminer. Pour ce qui est des agitateurs, le microprocesseur sait reconnaître et filtrer les échos en leur provenance. Ce procédé n'est toutefois pas recommandé en présence de vortex important dû à des agitateurs très rapides. Il n'est pas possible non plus de mesurer dans des cuves sous pression et à des températures $>100^{\circ}\text{C}$.

Les ultrasons à plus hautes fréquences de 30 à 70 kHz ont une meilleure résolution de mesure, c'est avantageux pour de petites plages. Toutes les influences négatives telles que poussières, vapeurs, bruits, forte absorption, températures peuvent limiter la plage utile. En pratique une mesure de niveau jusqu'à 60m peut être réalisée. L'avantage d'une mesure sans contact, rend les capteurs à ultrasons utilisables avec des produits très corrosifs, visqueux, comatants, et même solides en vrac, pulvérulents, granuleux.

Chapitre 2 : Capteurs de niveau

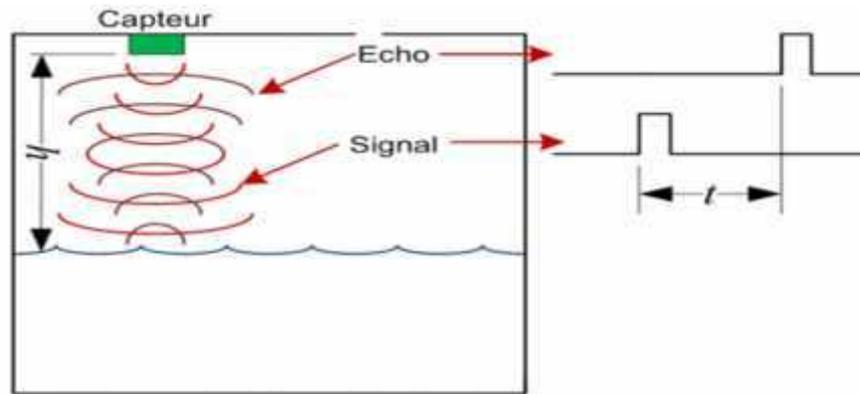


Figure (2-11) : Principe de mesure par les ondes acoustiques

d) Absorption de rayonnement gamma :

La source et le détecteur sont placés à l'extérieur, de part et d'autre du réservoir ; cette disposition est particulièrement adaptée au cas de liquides très corrosifs ou sous haute pression ou à haute température. La source est un émetteur gamma. Le détecteur est soit une chambre d'ionisation soit un ou plusieurs tubes Geiger-Muller. La figure (2-12) illustre le principe utilisé. La mesure est fiable et sans contact, indépendante des conditions de processus variables comme la pression, la température, la viscosité, la corrosivité, ou des éléments internes (par ex. pales d'agitateur). Le blindage de la source est réalisé de façon qu'il y ait émission d'un faisceau avec un angle d'ouverture qui balaie la hauteur totale du réservoir d'une part et du détecteur d'autre part. La montée du liquide dans le réservoir réduit progressivement l'intensité de dose reçue par le détecteur dont le courant de sortie décroît donc de façon continue, à mesure qu'augmente le niveau. Pour les grands réservoirs ou relativement étroits, la source d'émission peut être montée à une plus grande distance du réservoir. Dans ce cas, des mesures de sécurité supplémentaire sont nécessaires. Pour des étendues de mesure importante, plusieurs récepteurs peuvent être utilisés. L'emploi de deux sources peut être dicté non seulement pour des grandes étendues de mesure, mais encore par l'exactitude de la mesure.

Chapitre 2 : Capteurs de niveau

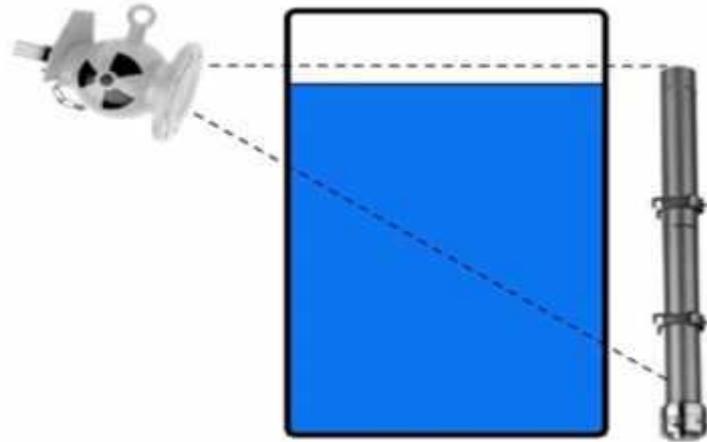


Figure (2-12) : Principe de mesure par rayon gamma

En détection de niveau, la source et le détecteur sont placés en regard, au niveau du seuil à signaler. La source convenablement colmatée émet vers le détecteur un faisceau étroit et de faible divergence, le détecteur est monté horizontalement. Selon que le niveau du liquide est supérieur ou inférieur au seuil, le faisceau est ou non atténué par le liquide, ce qui se traduit en un signal électrique binaire par le détecteur, tel qu'il est illustré à la figure (2-13).

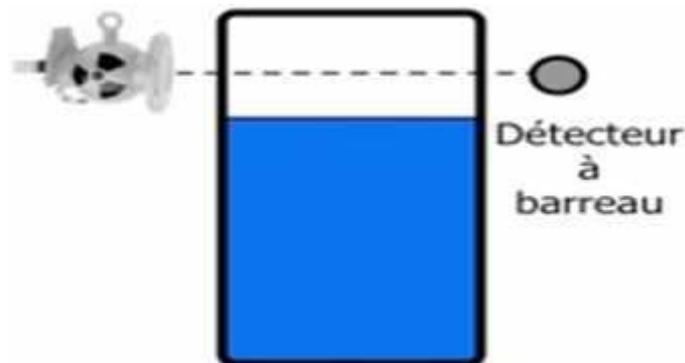


Figure (2-13) : Montage de détection de niveau

e) Détecteur de niveau optique : [8]

Ancien principe :

Une lampe émet horizontalement un faisceau lumineux étroit et directif. Ce faisceau lumineux est détecté par une cellule photoélectrique. Lorsque le niveau monte, le faisceau lumineux

Chapitre 2 : Capteurs de niveau

traverse le liquide (transparent ou non). L'intensité lumineuse reçue est donc diminuée. La plupart du temps, l'émetteur est une diode électroluminescente, choisie pour la faible puissance électrique dont elle a besoin. Le récepteur est une photorésistance, un phototransistor ou une cellule photoémissive. tel qu'il est illustré à la figure (2-14).

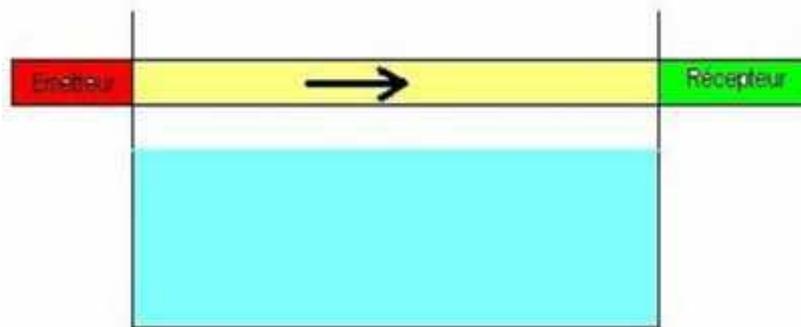


Figure (2-14) : principe de détection de niveau optique (l'ancien principe)

Fibre optique :

Il est nécessaire que l'indice de réfraction du liquide soit différent de celui de l'air. Lorsque le niveau est bas, le rayon lumineux incident est réfléchi à l'extrémité de la fibre optique et est détecté à sa sortie. Lorsque le niveau est haut, le rayon incident est réfracté dans le liquide. Quand le détecteur de sortie ne détecte plus le rayon lumineux en sortie, cela signifie que le niveau seuil est atteint, la figure (2-15) représente ce principe.

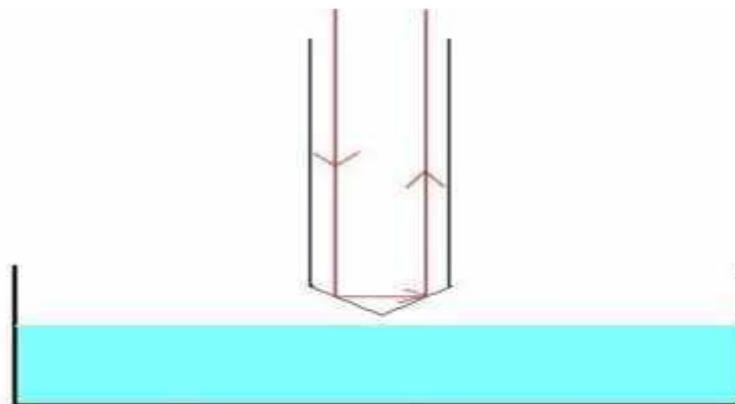


Figure (2-15) : détection de niveau par fibre optique

Le niveau seuil n'est pas atteint

Chapitre 2 : Capteurs de niveau

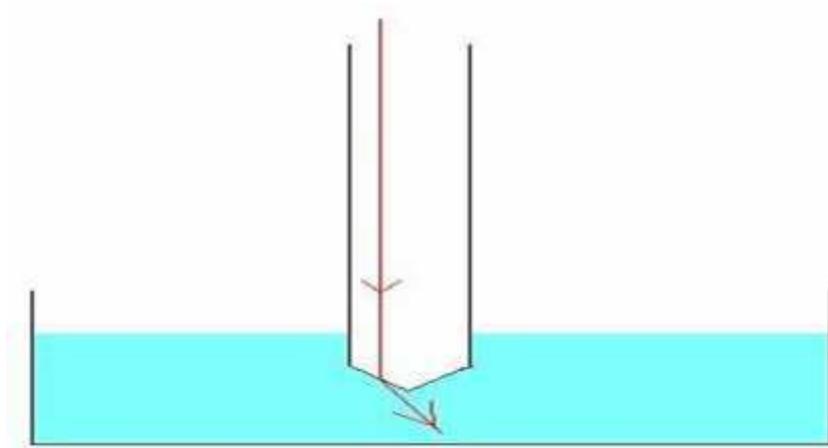


Figure (2-16) : détection de niveau par fibre optique

Le niveau seuil est atteint

La sonde optique est un détecteur de niveau. Elle envoie un signal selon qu'elle soit immergée ou non. Le principe de fonctionnement est basé sur les lois de l'optique. Lorsqu'un rayon lumineux se propage dans un milieu ayant un indice de réfraction n_1 et passe à un autre milieu d'indice de réfraction n_2 , il peut se produire une réflexion totale ou une réfraction vers le second milieu. La réflexion du rayon lumineux est totale si l'angle d'incidence avec la normale du plan séparant les deux milieux est inférieur à l'angle critique :

$$\sin(\theta_{\text{critique}}) = \frac{n_2}{n_1} \quad (2-4)$$

Cette approche fonctionne que le liquide soit transparent ou non. Toutefois, si le liquide fait de la mousse, il suffit d'une mince pellicule de liquide sur le prisme de verre pour provoquer le phénomène de réflexion totale. Donc, il faut éviter d'utiliser ce capteur si le liquide a tendance à faire de la mousse car il y aura des fausses détections de niveau.

Chapitre 2 : Capteurs de niveau

2.3.2 Comparaison des différentes méthodes : [9,10]

	Flotteur	Plongeur	Capteurs conductimétriques	Capteurs capacitifs	ultra- sons	Radar
Standard très bien connu	++	++	++	++	-	-
Utilisable sur cuve synthétique	++	++	-	+	+	-
Insensible à la mousse	+	+	-	-	-	-
Indépendant du diélectrique	++	++	+	--	+	+
Indépendant de la densité	-	--	+	+	+	+
Économique	+	+	+	+	-	-
Facilité d'étalonnage	+	+	-	-	+	+
Pas de risque de bouchage ou d'encrassement	-	-	-	-	+	+
Sans maintenance	-	-	-	-	+	+
Montage économique	-	+	+	+	++	++
Pression maxi (bar)	100	40	160	40	40	/
Gamme de température (°C)	180 à 450	-150 à 450	-200 et 250	-20 à 85	-190 à 250	/
Étendue de mesure	10 mm à 30 m	30 cm à 6 m	/	0 à 10 m	0 à 50 m	0 à 30 m
Précision %	0,5 à 5	0,5	1	1	1	10mm

Tableau (2-1) : Les différentes méthodes existantes

2.4 Conclusion :

Le chapitre suivant sera consacré à la présentation théorique de la chaîne à ultrasons. On présentera les différents blocs constituant cette chaîne avec les informations nécessaires pouvant aider dans la compréhension de l'objectif fixé par ce projet de fin d'étude.

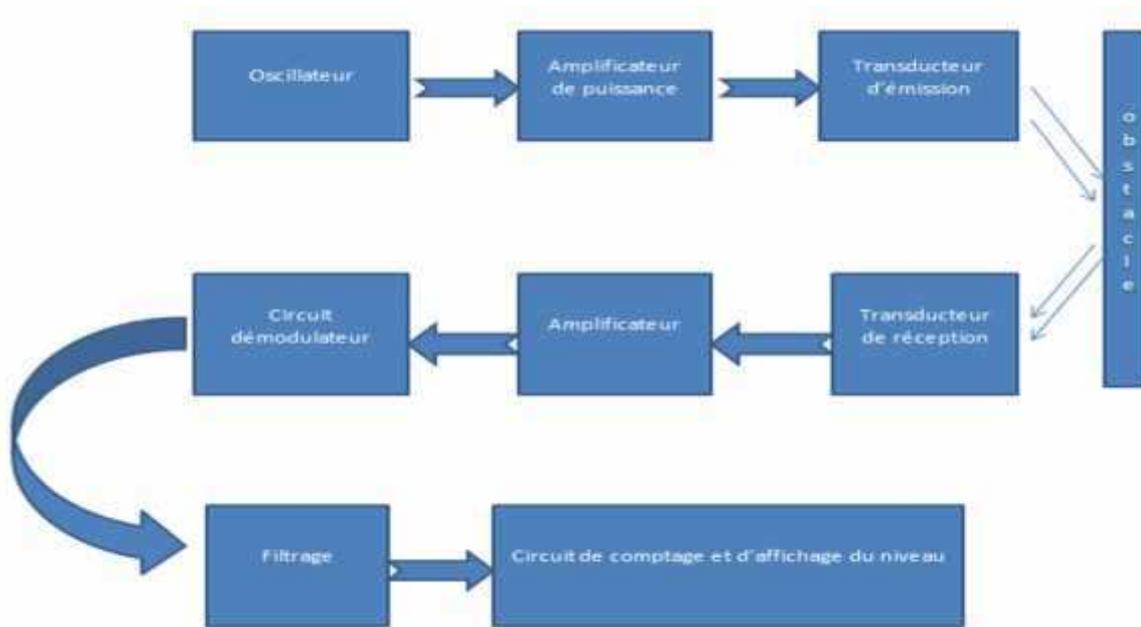


Chapitre 3 : Etude pratique du dispositif électronique de détection du niveau par ultrasons

3.1 Introduction

Dans cette partie nous allons réaliser une chaîne de mesure afin de faire une étude pratique détaillée. Cette étude pratique est menée par un ensemble de test sur les différents blocs constituant la chaîne de mesure. Après différents tests, on prend différentes mesures sous forme d'amplitudes, des signaux, sur les différents points tests prévus sur notre circuit.

3.2 Schéma synoptique du montage



3.3 Circuit général

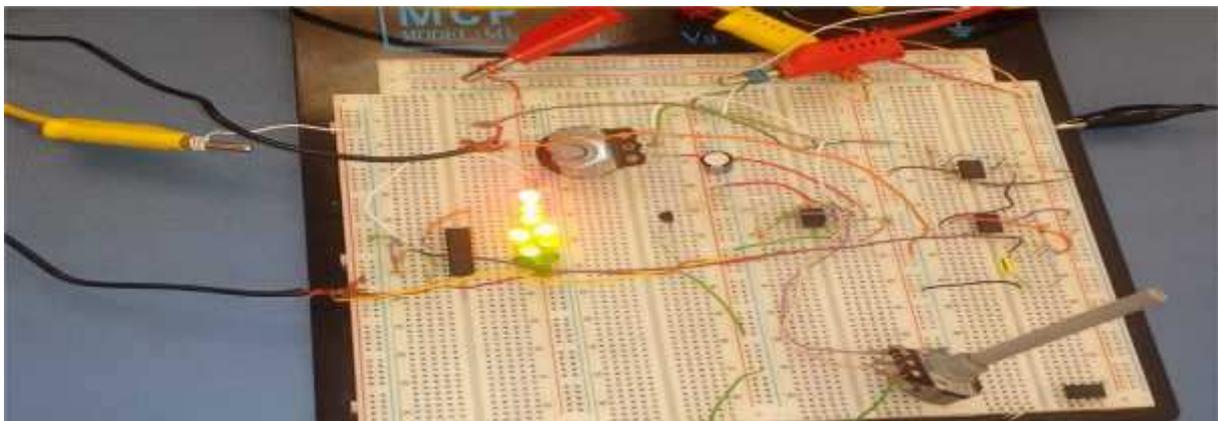


Figure (3-1): Maquette du circuit général de détecteur de niveau

Chapitre 3 : Etude pratique du dispositif électronique de détection du niveau par ultrasons

3.3.1 Partie d'émission

Comme illustré dans la figure (3-2) il est constitué comme suit :

- Un oscillateur principal à base du circuit intégré NE555 qui génère une fréquence d'émission déterminé au préalable.
- Un amplificateur de puissance à base de transistor bipolaire.
- Un transducteur d'émission ultrasonore (capsule émettrice).

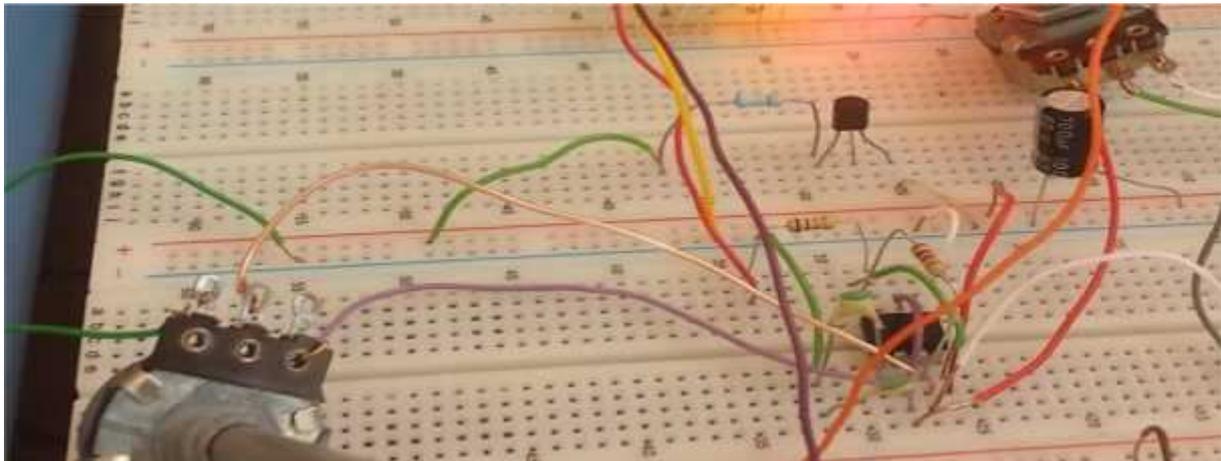


Figure (3-2): Maquette du circuit d'émission

3.3.1.1 L'horloge à 40 KHz

Le NE555 est un circuit intégré utilisé pour la temporisation ou en mode multivibrateur. Ce composant est toujours utilisé de nos jours en raison de sa facilité d'utilisation, son faible coût et sa stabilité.



Figure (3-3) : Brochage de NE555

D'où la fréquence générée par le NE555 est déterminée par la relation suivante :

Chapitre 3 : Etude pratique du dispositif électronique de détection du niveau par ultrasons

$$f = \frac{1,4}{(R_1 + 2R_2)C} \quad (3.1)$$

$$f = \frac{1,4}{(1 \times 10^3 + 2 \times 2 \times 10^3) \times 10^{-6}} = 40 \text{ KHz}$$

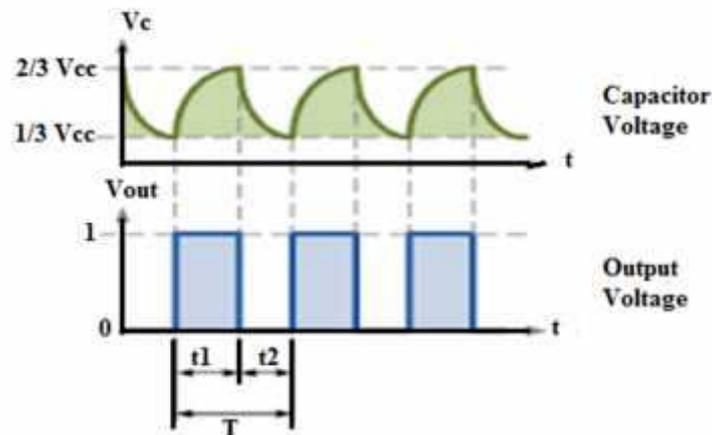


Figure (3-4) : chronogrammes de fonctionnement du NE 555

$$f = \frac{1}{T} \quad (3.2)$$

$$T = t_1 + t_2 \quad (3.3)$$

Détermination de t_1 :

Charge de C à travers R_a et R_b :

$$V_c(t) = (V_c(0) - V_c(\infty)) \cdot e^{-t/(R_a+R_b)C} + V_c(\infty) \quad (3.4)$$

Au bout de la durée t_1 , la tension vaut $2/3 V_{cc}$:

$$t_1 = (R_a + R_b) \cdot C \cdot \ln(2) \quad (3.5)$$

$$t_1 = 0,7 \cdot (R_a + R_b) \cdot C$$

Détermination de t_2 :

Décharge de C à travers R_b :

$$V_c(t) = (V_c(0) - V_c(\infty)) \cdot e^{-t/R_b C} + V_c(\infty) \quad (3.6)$$

Au bout de la durée t_2 , la tension vaut $1/3 \cdot V_{cc}$:

$$t_2 = R_b \cdot C \cdot \ln(2) \quad (3.7)$$

Chapitre 3 : Etude pratique du dispositif électronique de détection du niveau par ultrasons

$$t_2 = 0,7 \cdot R_b \cdot C$$

Détermination de T :

$$T = t_1 + t_2 \quad (3.8)$$

$$T = (R_a + 2 \cdot R_b) \cdot C \cdot \ln(2) \quad (3.9)$$

$$t_1 = 0,7 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C$$

$$t_1 = 0,7 \cdot (1 \cdot 10^3 + 22 \cdot 10^3) \cdot 10 \cdot 10^{-9}$$

$$t_1 = 1,47 \cdot 10^{-4} \text{ s} \dots\dots\dots(1)$$

$$t_2 = 0,7 \cdot R_2 \cdot C$$

$$t_2 = 0,7 \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9}$$

$$t_2 = 1,54 \cdot 10^{-4} \text{ s} \dots\dots\dots(2)$$

D'après (1) et (2) on obtient :

$$T = t_1 + t_2 \quad (3.4)$$

$$T = (1,47 \cdot 10^{-4}) + (1,54 \cdot 10^{-4})$$

$$T = 2,25 \cdot 10^{-4} \text{ s}$$

A la sortie de NE555, la patte 3, on visualise un signal rectangulaire d'amplitude 5V et de fréquence proche de 40kHz.



Figure (3-5) : Le signal à la sortie de NE555

Chapitre 3 : Etude pratique du dispositif électronique de détection du niveau par ultrasons

Le circuit intégré NE555 génère un courant insuffisant à l'émetteur ultrason, c'est la raison pour laquelle qu'on a placé à la sortie du signal un amplificateur de courant pour qu'il amplifie le courant.

3.3.1.2 L'amplificateur de courant

Il a pour fonction d'amplifier le signal issu de l'oscillateur en utilisant un transistor bipolaire.

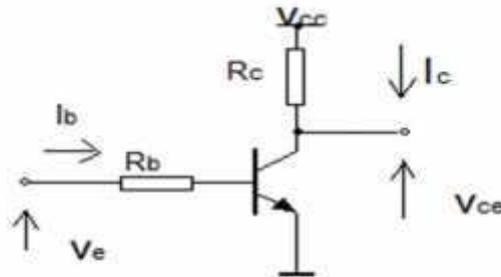


Figure (3-6) : Montage d'un amplificateur de courant

$$V_{cc} - V_{ce} = R_c \cdot I \quad (3.10)$$

$$I = (V_{cc} - V_{ce}) / R_c \quad (3.11)$$

La figure suivante montre le signal à la sortie de transistor en commutation :



Figure (3-7) : Le signal à la sortie du capteur

Chapitre 3 : Etude pratique du dispositif électronique de détection du niveau par ultrasons

3.3.2 Partie de réception

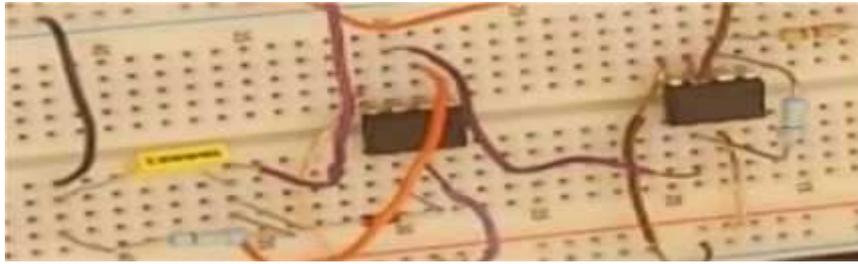


Figure (3-8) : maquette du circuit de réception

3.3.2.1 Filtrage :

Une fois l'onde ultra sonore émise, elle est renvoyée vers le récepteur qui délivre alors un signal électrique en sortie. Cependant ce dernier se confond avec des bruits parasites donc il est important de le filtrer en utilisant un filtre passe-haut.

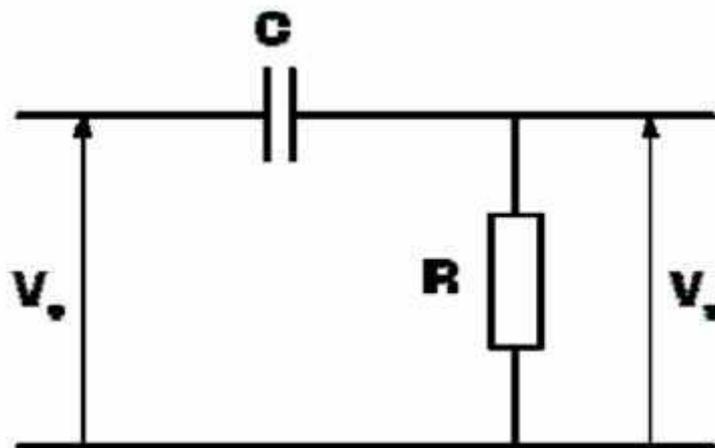


Figure (3-9) : Montage d'un filtre passe-haut

La fréquence de coupure de (-3dB) est donnée par la relation :

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_2 C_2} \quad (3.12)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi * 1 * 4.7 * 10^3 * 10^{-9}} = 34K$$

Chapitre 3 : Etude pratique du dispositif électronique de détection du niveau par ultrasons

3.3.2.2 Etage d'amplification :

Le signal reçu est faible, il faut donc l'amplifier pour pouvoir le distinguer du bruit parasite. Pour cela on utilise un amplificateur inverseur pour amplifier le signal provenant de l'oscillateur, Comme le montre la figure (3-9).

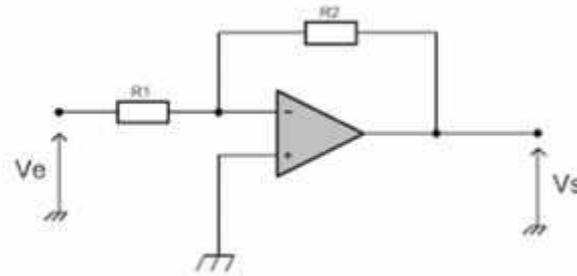


Figure (3-10) : Montage électrique d'un amplificateur inverseur

$$e_+ = e_- \text{ Et } i_1 = i_2 = i \quad (3.13)$$

$$\left. \begin{array}{l} V_e = R_2 i \\ V_s = -R_3 i \end{array} \right\} \Rightarrow |A_V| = \frac{R}{R} = \frac{4}{4.7} \frac{\Omega}{\Omega} = 100$$

On a choisi le TL071.

Le signal obtenu à la sortie de l'amplificateur :

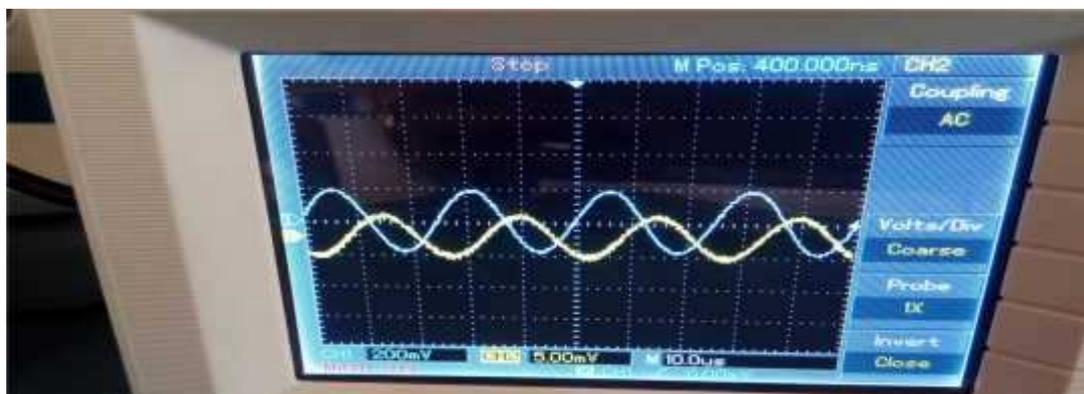


Figure (3-11) : Le signal à la sortie de l'amplificateur

Chapitre 3 : Etude pratique du dispositif électronique de détection du niveau par ultrasons

Amplitude du signal d'entrée = 0,06V => (le signal jaune)

Amplitude du signal de sortie = 0,4V => (le signal bleu)

Evaluations :

On constate que l'amplitude du signal d'entrée s'atténue lorsqu'on l'applique à l'entrée de ce dernier due à une mauvaise adaptation entre la sortie de filtre passe haut et l'entrée de l'amplificateur et que l'on remédie par un gain en tension élevé soit $A_V = 67$.

3.3.2.3 Adaptation d'impédance :

Pour réaliser l'adaptation d'impédance, On pourra utiliser un montage suiveur simple.

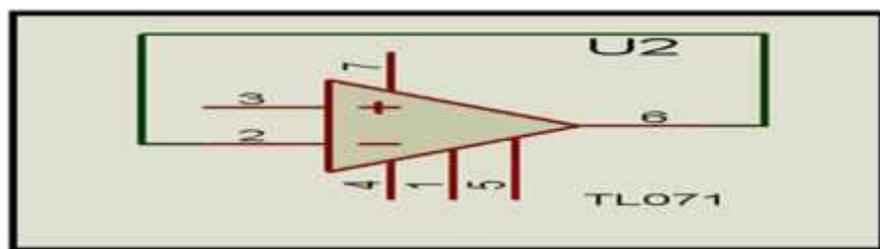


Figure (3-12): Circuit d'adaptation d'impédance

Pour réaliser l'adaptation d'impédance, on utilisera des dispositifs à forte impédance d'entrée de manière à obtenir une tension proche que la celle en sortie du capteur. On pourra utiliser un montage suiveur simple,

Donc on a : $V_e = V_s$ (3.14)

Le signal délivré à la sortie 6 du suiveur est :

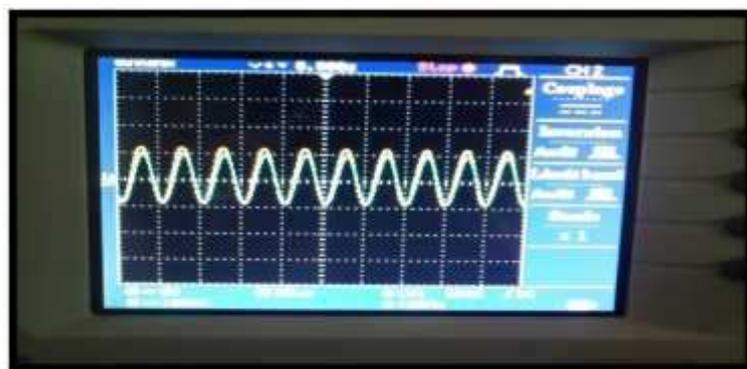


Figure (3-13): Signal à la sortie du suiveur

Chapitre 3 : Etude pratique du dispositif électronique de détection du niveau par ultrasons

3.3.2.4 Détecteur de crête

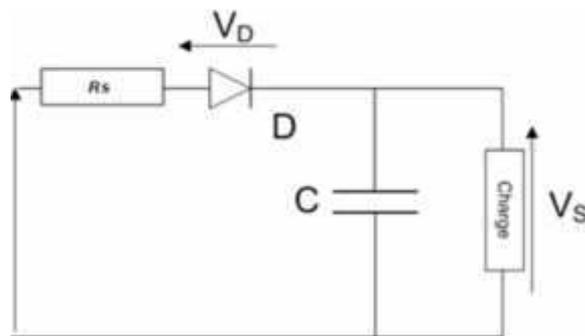


Figure (3-14) : Schéma électrique de base du circuit de détection

Le rôle du détecteur d'amplitude est d'extraire la valeur crête d'une tension alternative. A la sortie du détecteur d'amplitude, on obtient donc une tension continue positive qui suit le niveau acoustique des ultrasons comme nous montre la figure suivante :

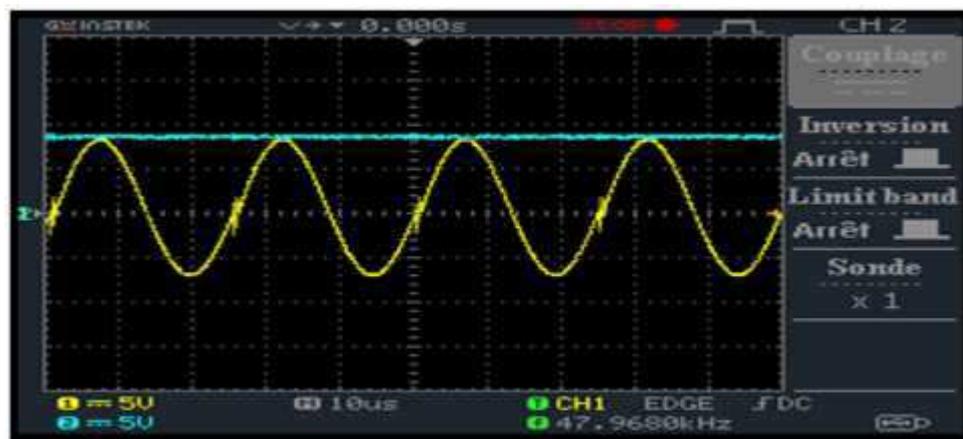


Figure (3-15): Signal de sortie de détecteur de crête

3.3.2.5 Affichage

Le signal obtenu correspond à la distance entre le transducteur ultrasonore et la surface du liquide, cette distance est inversement proportionnelle au niveau du liquide à mesurer. Le signal issu va être appliqué à un ensemble de comparateurs (LM3914) puis affiché par des LED ou avec des afficheurs (7 segments ou LCD), tel qu'il est illustré dans la figure (3-15).

Chapitre 3 : Etude pratique du dispositif électronique de détection du niveau par ultrasons

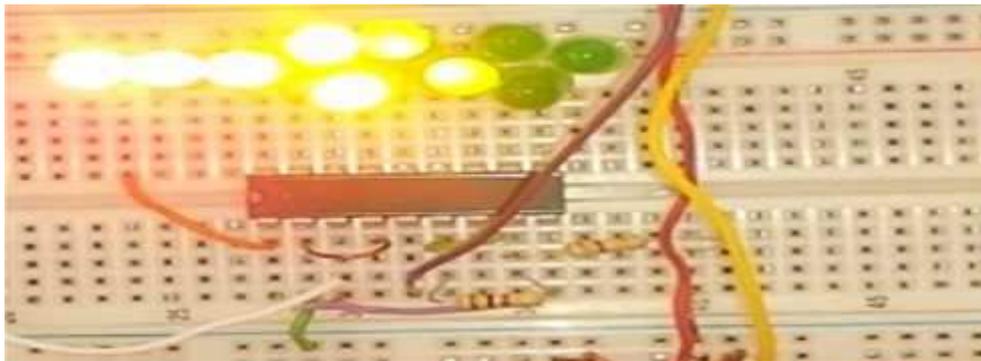


Figure (3-16) : Circuit d'affichage

3.4 Première manipulation :

Comme le montre la figure (3-17), pour faire notre mesure on doit aligner l'émetteur et le récepteur en utilisant un récipient gradué et en mettant l'émetteur au voisinage du récepteur en même position comme nous montre la figure ci-dessous, et faire varier le niveau du liquide.

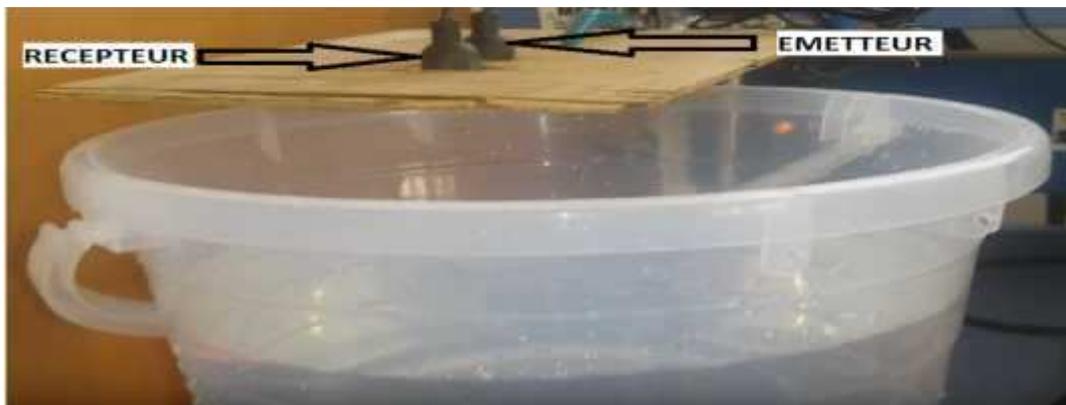


Figure (3-17) : La détection de niveau du liquide

Le tableau suivant présente les différentes tensions récupérées à la sortie de circuit de réception en fonction de la distance entre le liquide et les deux transducteurs.

D (cm)	10.5	10	9.5	9	8.5	8	7.5	7	6.5		
U (mV)	940	1000	920	1140	1440	2200	2050	1550	1550		
6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1	0.5
2250	900	1400	1700	1600	3050	3300	2750	1700	2100	2250	1950

Tableau (3-1) : La variation de la distance en fonction de la tension

Chapitre 3 : Etude pratique du dispositif électronique de détection du niveau par ultrasons

On a fait plusieurs essais :

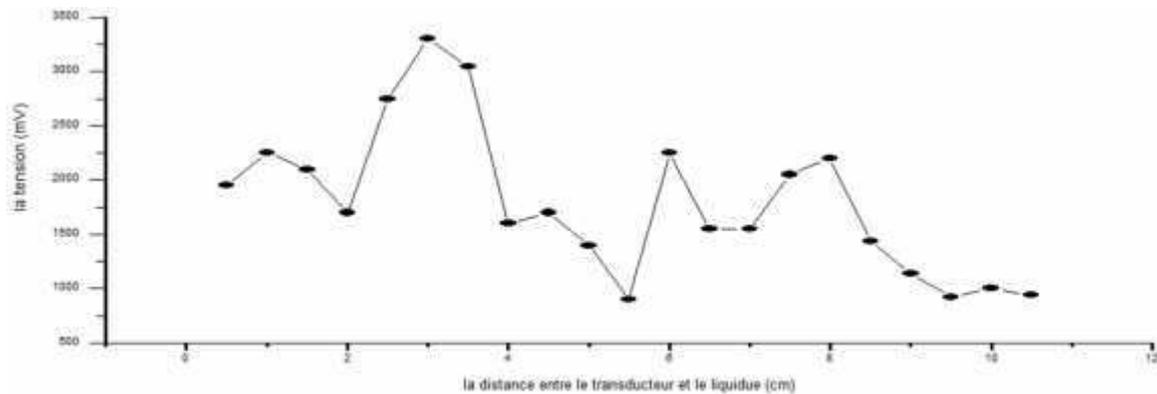


Figure (3-18) : Graphe de la tension en fonction de la distance

La courbe dans la figure (3-18) présente la variation de la tension en fonction de la variation de la distance entre le transducteur de réception par rapport à la surface du liquide.

Evaluation :

A partir de la réponse du capteur et après faire plusieurs essais qui ne sont pas identiques entre eux à cause de la difficulté à linéariser la réponse du capteur. Cette dernière est due par la divergence de l'onde ultrasonore dans l'eau (liquide transparent). Ainsi que la mesure de la durée d'écho et que la temporisation sont compliqués et nécessite un capteur de grande précision.

Après l'utilisation de la méthode des moindres carrés on obtient la courbe dans la figure (3-19).

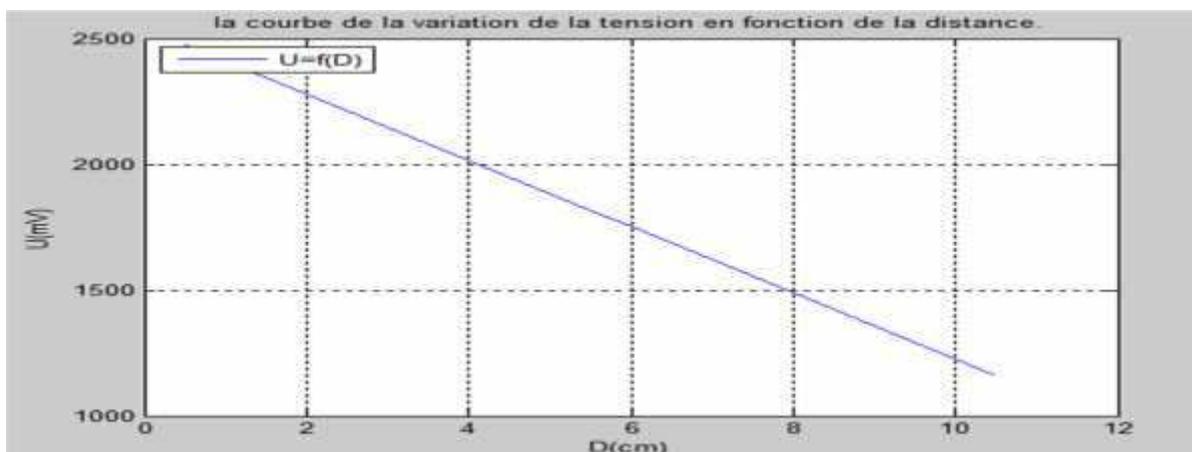


Figure (3-19) : la courbe des moindres carrés

Chapitre 3 : Etude pratique du dispositif électronique de détection du niveau par ultrasons

A cause des difficultés trouvées on fait appel au module HC-SR04 couplé avec une carte arduino-uno qui est l'un des moyens disponibles pour avancer plus rapidement.

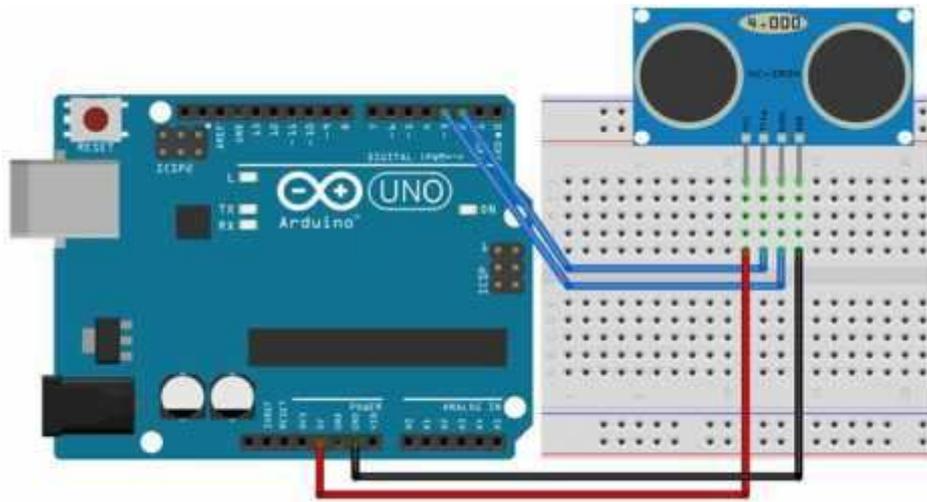


Figure (3-20) : Schéma d'un module HC-SR04 couplé avec la carte arduino-uno

3.5 Description du matériel utilisé :

3.5.1 Module HC-SR04 :

Un émetteur d'ultrasons de HC-SR04 envoie un train d'ondes sonores (8 impulsions à 40kHz). Les ondes se réfléchissent sur un obstacle et reviennent vers un récepteur (Rx). Connaissant la vitesse du son dans l'air (environ 340 m/s) il suffit de diviser par 2 le temps mis par les ondes pour faire l'aller-retour et on calcule la distance.



Figure (3-21) : Module HC-SR04

La circuiterie du HC-SR04 délivre un créneau de tension 5V qui démarre juste après l'émission du train d'ondes ultrasonores, pour s'arrêter lorsque le récepteur détecte les ondes en retour, tel qu'il est illustré dans la figure (3-22).

Chapitre 3 : Etude pratique du dispositif électronique de détection du niveau par ultrasons

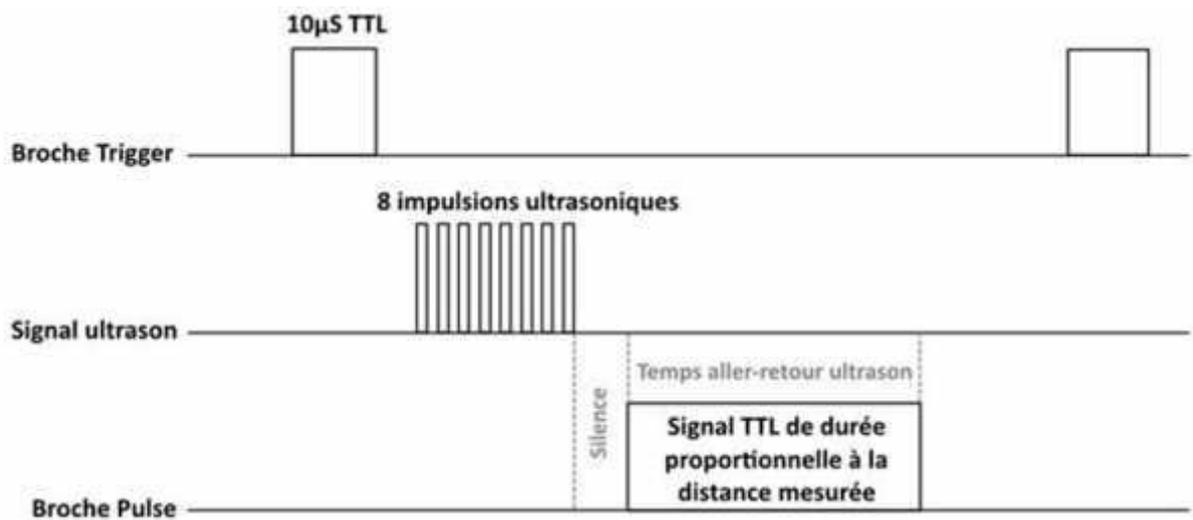


Figure (3-22) : Signal donné par le HC-SR04

Nous avons pu remarquer qu'en dessous d'un centimètre, le capteur faisait n'importe quoi. Je suppose donc que le constructeur donne un minimum de deux centimètres pour garder un peu de marge. la figure suivante montre la linéarité du capteur sur la plage [1-50] cm. tel qu'il est illustré dans la figure (3-23).

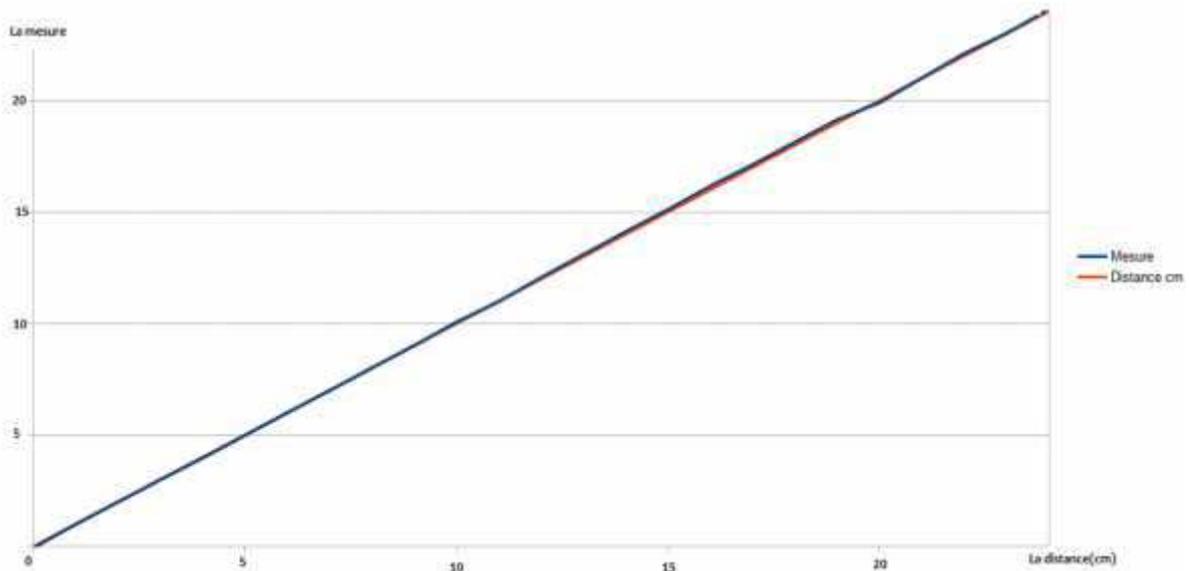


Figure (3-23): Graphique de linéarité du capteur sur la plage 1-20cm

3.5.2 Carte arduino-uno

Arduino est un circuit imprimé en matériel libre (dont les plans sont publiés en licence libre) sur lequel se trouve un microcontrôleur qui peut être programmé pour analyser et produire des

Chapitre 3 : Etude pratique du dispositif électronique de détection du niveau par ultrasons

signaux électriques, de manière à effectuer des tâches très diverses comme la domotique (chauffage, éclairage, pilotage d'un robot,...) c'est une plateforme basée sur une interface entrée/sortie simple. Il était destiné à l'origine principalement mais pas exclusivement à la programmation multimédia interactive en vue de spectacle ou d'animations artistiques.



Figure (3-24): Module Arduino-Uno

Comme le montre la figure (3-25), un module Arduino est généralement construit autour d'un microcontrôleur Atmel AVR (ATmega328 ou ATmega2560 pour les versions récentes, ATmega168 ou ATmega8 pour les plus anciennes), et de composants complémentaires qui facilitent la programmation et l'interfaçage avec d'autres circuits. Chaque module possède au moins un régulateur linéaire 5V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Le microcontrôleur est pré-programmé avec un bootloader de façon à ce qu'un programmeur dédié ne soit pas nécessaire. Les modules sont programmés au travers d'une connexion série RS-232, mais les connexions permettant cette programmation diffèrent selon les modèles. Les premiers Arduino possédaient un port série, puis l'USB est apparu sur les modèles Diecimila, tandis que certains modules destinés à une utilisation portable se sont affranchis de l'interface de programmation, relocalisée sur un module USB-série dédié (sous forme de carte ou de câble). L'Arduino utilise la plupart des entrées/sorties du microcontrôleur pour l'interfaçage avec les autres circuits. Le modèle Diecimila par exemple, possède 14 entrées/sorties numériques, dont 6 peuvent produire des signaux PWM, et 6 entrées analogiques. Les connexions sont établies au travers de connecteurs femelle HE14 situés sur le dessus de la carte, les modules d'extension venant s'empiler sur l'Arduino. Plusieurs sortes d'extensions sont disponibles dans le commerce. Les modules non officiels « BoArduino » et « Barebones », compatibles avec la technologie Arduino, utilisent des connecteurs mâle pour une utilisation aisée avec des plaques de test.

Chapitre 3 : Etude pratique du dispositif électronique de détection du niveau par ultrasons



Figure (3-25) : Les composants de la carte Arduino-Uno

3.5.3 Logiciel utilisé

Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application Java, libre et multiplateformes, servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le firmware et le programme au travers de la liaison série (RS-232, Bluetooth ou USB selon le module). Il est également possible de se passer de l'interface Arduino, et de compiler les programmes via l'interface en ligne de commande. Le langage de programmation utilisé est le C++, compilé avec `avr-g++ 3`, et lié à la bibliothèque de développement Arduino, permettant l'utilisation de la carte et de ses entrées/sorties. La mise en place de ce langage standard rend aisé le développement de programmes sur les plates-formes Arduino, à toute personne maîtrisant le C ou le C++.



Figure (3-26): Le logiciel de programmation

Chapitre 3 : Etude pratique du dispositif électronique de détection du niveau par ultrasons

3.5.4 Affichage

Ce projet utilise, bien évidemment des afficheurs LCD 2*16 bits a logique intégrée que l'on trouve aujourd'hui très facilement sur le marché. C'est un moyen d'affichage des informations. Et comme il ne fait aucune interprétation des codes de commandes des afficheurs il est compatible de tous les modèles existants, de 1 ou 2 lignes de 16 ou 20 caractères. Il existe deux interfaces normalisées : une version « parallèle » et une autre « série ». Dans cette étude on a utilisé la version parallèle qui est composée de 2 lignes et 16 caractères, tel qu'il est illustré dans la figure (3-27).

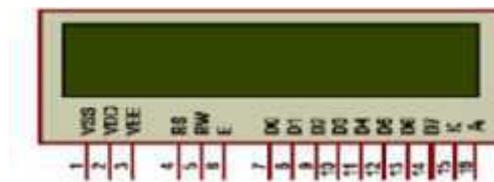


Figure (3-27) : Afficheur LCD

Au-dessus de l'écran à cristaux liquides proprement dit, on trouve une série de 14 broches aux rôles Suivantes :

- Broche 1 : masse.
- Broche 2 : Vcc.
- Broche 3 : luminosité.
- Broche 4, RS (Registre Select) : sert à dire au module dans quel registre il doit écrire les données.
- Broche 5, R/W : sélection du mode lecture ou écriture.
- Broche 6, E : Commande des opérations d'écriture ou de lecture.
- Broche 7 à 14 : utilisées pour le transfert des données ou des instructions. Le transfert peut se faire sur 8 bits, toutes les broches sont alors utilisées, ou sur 4 bits.

Un afficheur LCD est capable d'afficher tous les caractères alphanumériques usuels et quelques Symboles supplémentaires. Pour certains afficheurs, il est même possible de créer ses propres Caractères. Chaque caractère est identifié par son code ASCII qu'il faut envoyer sur les lignes D0 à D7 broches 7 A 14. Ces lignes sont aussi utilisées pour la gestion de l'affichage avec l'envoi d'instructions telles Que l'effacement de l'écran, l'écriture en ligne 1 ou en ligne 2, le sens de défilement du curseur.

Chapitre 3 : Etude pratique du dispositif électronique de détection du niveau par ultrasons

3.6 Les programmes utilisés

3.6.1 Programme de l'afficheur LCD

```
#include <Ultrasonic.h>
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7); // LCD arduino library

Ultrasonic ultrasonic(11,12); // (Trig PIN,Echo PIN)

void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Niveau");
}
void loop()
{
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print((12-ultrasonic.Ranging(CM))*10); // CM or INC
  lcd.print(" ");
  delay(100);
}
```

3.6.2 Programme pour l'affichage en mode barre graphe

```
#define trigPin 7
#define echoPin 6
#define led 13
#define led2 12
#define led3 11
#define led4 10
#define led5 9
#define led6 8
#define led7 5
#define led8 4
#define led9 3
#define led10 2

int sound = 250;
```

```
void setup() {
  Serial.begin (9600);
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  pinMode(led, OUTPUT);
  pinMode(led2, OUTPUT);
  pinMode(led3, OUTPUT);
  pinMode(led4, OUTPUT);
  pinMode(led5, OUTPUT);
  pinMode(led6, OUTPUT);
  pinMode(led7, OUTPUT);
  pinMode(led8, OUTPUT);
  pinMode(led9, OUTPUT);
  pinMode(led10, OUTPUT);
}
```

Chapitre 3 : Etude pratique du dispositif électronique de détection du niveau par ultrasons

```
void loop() {
  long duration, distance;
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  distance = (duration/2) / 29.1;

  if (distance <= 12) {
    digitalWrite(led, HIGH);
    sound = 250;
  }
  else {
    digitalWrite(led, LOW);
  }
  if (distance < 11) {
    digitalWrite(led2, HIGH);
    sound = 260;
  }
}
```

```
case 1
  digitalWrite(led2, LOW);
}
if (distance < 10) {
  digitalWrite(led3, HIGH);
  sound = 270;
}
else {
  digitalWrite(led3, LOW);
}
if (distance < 9) {
  digitalWrite(led4, HIGH);
  sound = 280;
}
else {
  digitalWrite(led4, LOW);
}
if (distance < 8) {
  digitalWrite(led5, HIGH);
  sound = 290;
}
else {
  digitalWrite(led5, LOW);
}
}
```

```
case 1
  digitalWrite(led5, LOW);
}
if (distance < 7) {
  digitalWrite(led6, HIGH);
  sound = 300;
}
else {
  digitalWrite(led6, LOW);
}
if (distance < 6) {
  digitalWrite(led7, HIGH);
  sound = 310;
}
else {
  digitalWrite(led7, LOW);
}
if (distance < 5) {
  digitalWrite(led8, HIGH);
  sound = 320;
}
else {
  digitalWrite(led8, LOW);
}
if (distance < 4) {
  digitalWrite(led9, HIGH);
}
```

```
if (distance < 4) {
  digitalWrite(led9, HIGH);
  sound = 330;
}
else {
  digitalWrite(led9, LOW);
}
if (distance < 3) {
  digitalWrite(led10, HIGH);
  sound = 340;
}
else {
  digitalWrite(led10, LOW);
}
if (distance > 12 || distance <= 2) {
  Serial.println("Out of range");
}
else {
  Serial.print(distance);
  Serial.println(" cm");
}
delay(500);
}
```

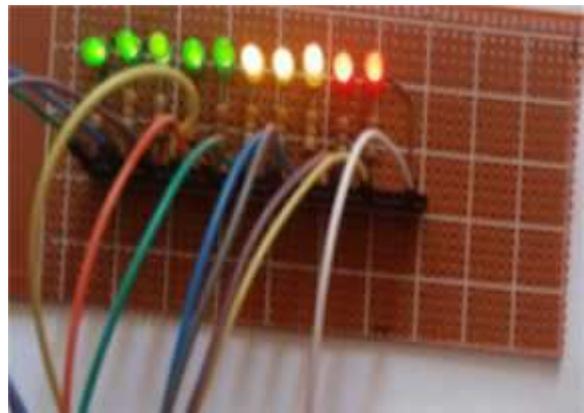
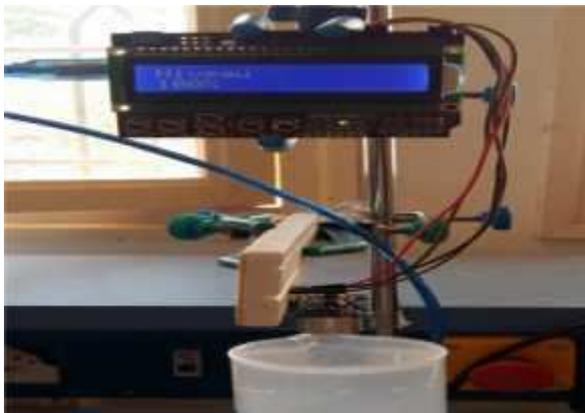
Chapitre 3 : Etude pratique du dispositif électronique de détection du niveau par ultrasons

3.7 Deuxième manipulation

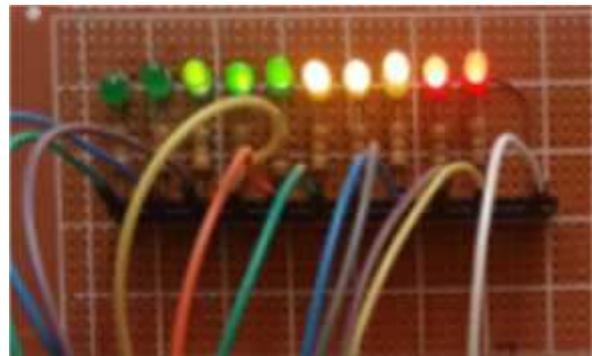
Distance (cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Niveau (%)	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0

Tableau (3-2) : la mesure de niveau en pourcentage

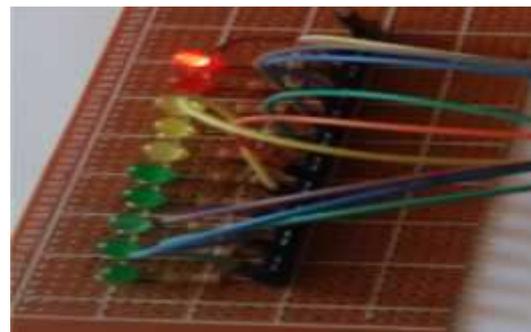
Le niveau du liquide à 0 cm => 100%



Le niveau du liquide à 2 cm => 80%



Le niveau à 9 cm=> 10%



Chapitre 3 : Etude pratique du dispositif électronique de détection du niveau par ultrasons

3.8 Système d'alarme

Un système d'alarme est utilisé dont le but de signaler que le récipient est presque vide, ce système est constitué de :

- Buzzer
- Comparateur LM324
- Amplificateur UA741

La figure (3-28) représente le schéma électrique de ce système :

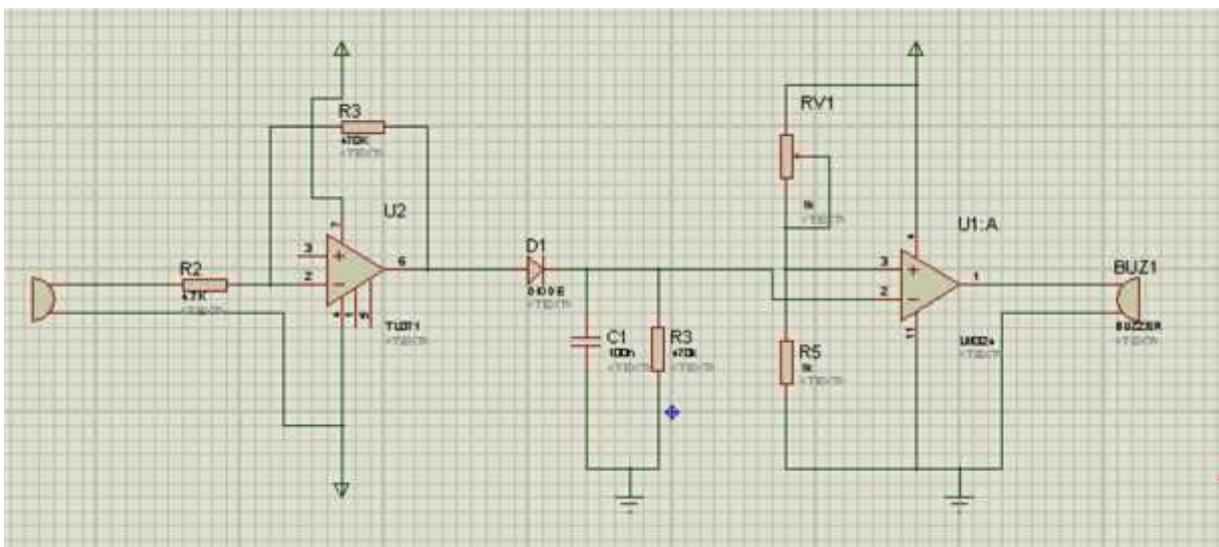
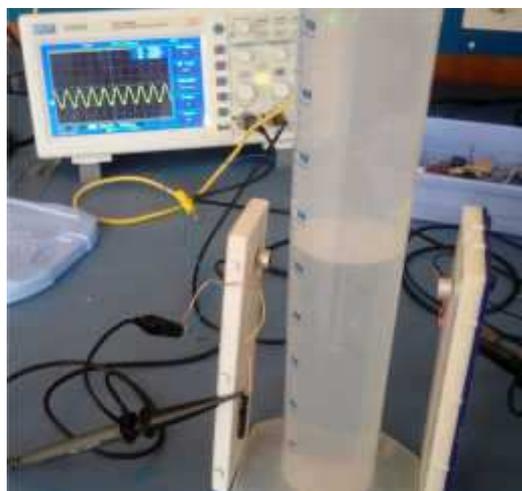


Figure (3-28) : Montage électrique d'un système d'alarme

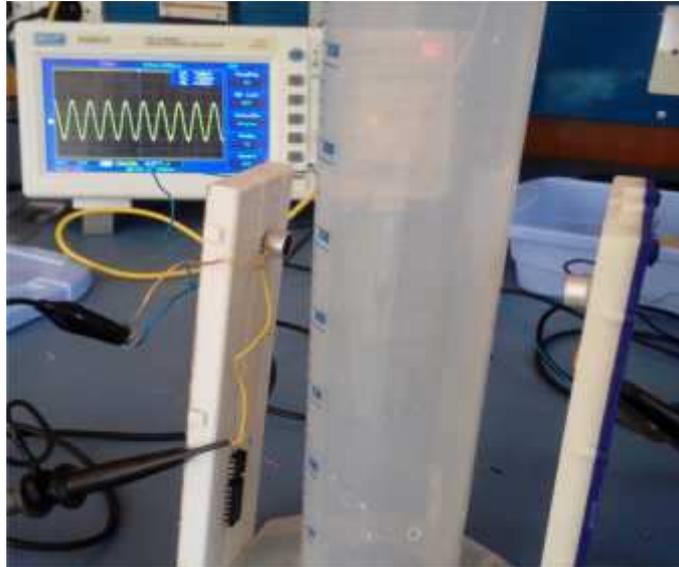
3.9 Troisième manipulation

Lorsque le récipient est rempli, la tension obtenue est égale à 2 mV :



Chapitre 3 : Etude pratique du dispositif électronique de détection du niveau par ultrasons

Lorsque le récipient est vide, la tension obtenue est à l'ordre de 3 Mv :



Evaluation

Puisque la tension donnée par le récepteur est faible, on a utilisé un amplificateur d'un gain élevé ($G=100$) pour faire fonctionner le comparateur dans les conditions désirées ce qui permet un choix convenable de $V_{réf}$.

3.10 Conclusion

Nous avons pu dans ce chapitre détailler le fonctionnement de notre montage et donner les résultats pratiques caractérisant les différents signaux prélevés aux différents points (sorties).

Bien que nous avons rencontré des contraintes pratiques lors de la réalisation du circuit, il était évident d'opter à un moyen plus efficace pour mener à bien notre détection.

Ce moyen consiste à utiliser une carte arduino-uno couplé avec le module HC-SR04 et un affichage par LCD et 10 LEDs.

Conclusion générale

Dans notre projet de fin d'étude, nous avons conçu et réalisé une chaîne de mesure ultrasonore qui permet de mesurer une variation du niveau d'un liquide.

Nôtre projet nous a permis d'approfondir nos connaissances sur l'utilisation des capteurs à ultrasons et des différentes fonctions d'électronique (oscillation, amplification, affichage, etc..) ainsi que nos connaissances sur la carte arduino-uno et sa programmation, Plus important encore, c'est d'être confronté aux problèmes pratiques de l'électronique et de la programmation et comment pouvoir les surmonter totalement pour mener à bien une réalisation. Chose qui n'est pas très facile et que tout électronicien peut le confirmer.

Malgré que le fonctionnement de notre chaîne de mesure ultrasonore ne soit pas parfait à cause de plusieurs contraintes il était évident d'opter à un moyen plus efficace qui nous a permis d'avoir une détection plus précise. Le but était surtout de comprendre le fonctionnement du détecteur de niveau et de réaliser les différents blocs de conditionnement.

Références bibliographiques

- [1] : Brown B et Goodman J.E, “ ultrasons de haute tension ”, applications industrielles, Ed Dunod, Paris 1971.
- [2] : Dognon A, “les ultrasons et leurs applications”, Presses universitaires de France, Paris 1953.
- [3] : Syrota A., “bases physiques de l’imagerie ultrasonore ”, N° Paris onze Edition H37, 1994.
- [4] : Banks B, Gordon E et Rawding H, “La détection ultrasonique des défauts dans les matériaux”, Paris 1966.
- [5] : USR, chapitre 3 : imagerie par les ondes ultrasonores (échographie), Madame Ferroui Amel ,pp (3-4, 6,7,8,5) ,8/11 /2015.
- [6] : Ristic V., « Principles of Acoustic Devices ». John Wiley&Sons, New York 1983.
- [7] : Tekfi Karima et Yahiabey namima, ” Mesure de distance par ultrasons” , Mémoire de projet de fin d’étude, Tlemcen 15 juin 2016.
- [8] : <http://www.paratronic.info/contenus/actualite>.
- [9] : Amour Gharsalli, ” Mesure et instrumentation, mesure de niveau ”, Université virtuelle de Tunis.
- [10] : <http://sitelec.org/cours/dereumaux/mesureniveau.htm> .

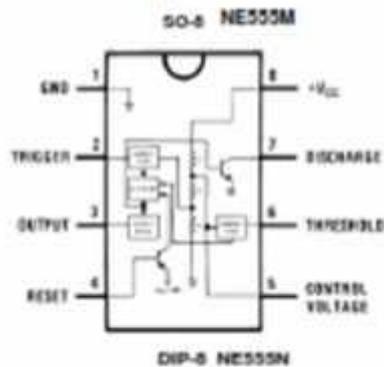
Annexes

Annexe 01

NE555

	<h3>Precision Timer</h3>	NE555
---	--------------------------	--------------

Connection Diagram



FUNCTION TABLE

RESET	TRIGGER VOLTAGE	THRESHOLD VOLTAGE	OUTPUT	DISCHARGE SWITCH
Low	Irrelevant	Irrelevant	Low	On
High	$< 1/3V_{CC}$	High	High	Off
High	$> 1/3V_{CC}$	$> 2/3V_{CC}$	Low	On
High	$> 1/3V_{CC}$	$< 2/3V_{CC}$	As previously established	

General Description

The NE555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200mA or drive TTL circuits.

Features

- Direct replacement for SE555/NE555
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes
- Adjustable duty cycle
- Output can source or sink 200 mA
- Output and supply TTL compatible

- Normally on and normally off output

Applications

- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Linear ramp generator



NE555

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

($T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = +5\text{V}$ to $+15\text{V}$, unless otherwise specified)

Parameter	Conditions	Limits			Units
		Min	Typ	Max	
Supply Voltage		4.5		16	V
Supply Current	$V_{CC} = 5\text{V}$, $R_L = \infty$ OUTPUT LOW $V_{CC} = 15\text{V}$, $R_L = \infty$ OUTPUT LOW Note 4 $V_{CC} = 5\text{V}$, No load OUTPUT HIGH		3 10 2	6 15 5	mA
Timing Error, Monostable					
Initial Accuracy			1	3	%
Drift with Temperature	$R_A = 1\text{k}$ to $100\text{k}\Omega$, $C = 0.1\mu\text{F}$, (Note 5)		50		ppm/ $^\circ\text{C}$
Accuracy over Temperature			1.5		%
Drift with Supply			0.1	0.5	%/V
Timing Error, Astable					
Initial Accuracy			2.25		%
Drift with Temperature	$R_A, R_B = 1\text{k}$ to $100\text{k}\Omega$, $C = 0.1\mu\text{F}$, (Note 5)		150		ppm/ $^\circ\text{C}$
Accuracy over Temperature			3.0		%
Drift with Supply			0.30		%/V
Threshold Voltage			0.667		$\times V_{CC}$
Trigger Voltage	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$	4.5 1.1	5 1.67	5.6 2.2	V
Trigger Current	Trigger at 0V		0.5	2	μA
Reset Voltage		0.3	0.7	1	V
Reset Current	Reset at V_{CC}		0.1	0.4	mA
Threshold Current	(Note 6)		30	250	nA
Control Voltage Level	$V_{CC} = 15\text{V}$ $V_{CC} = 5\text{V}$	9 2.6	10 3.33	11 4	V
Pin 7 Leakage Output High			20	100	nA
Pin 7 Sat (Note 7)					
Output Low	$V_{CC} = 15\text{V}$, $I_T = 15\text{mA}$		180		mV
Output Low	$V_{CC} = 4.5\text{V}$, $I_T = 4.5\text{mA}$		80	200	mV

**Electrical Characteristics** (Notes 1, 2) (Continued) $(T_A = 25^\circ\text{C}, V_{CC} = +5\text{V to } +15\text{V, unless otherwise specified})$

Parameter	Conditions	Limits			Units
		Min	Typ	Max	
Output Voltage Drop (Low)	$V_{CC} = 15\text{V}$				
	$I_{\text{load}} = 10\text{mA}$		0.1	0.25	V
	$I_{\text{load}} = 50\text{mA}$		0.4	0.75	V
	$I_{\text{load}} = 100\text{mA}$		2	2.5	V
	$I_{\text{load}} = 200\text{mA}$		2.5		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$				
Output Voltage Drop (High)	$I_{\text{source}} = 200\text{mA}, V_{CC} = 15\text{V}$		12.5		V
	$I_{\text{source}} = 100\text{mA}, V_{CC} = 15\text{V}$	12.75	13.3		V
	$V_{CC} = 5\text{V}$	2.75	3.3		V
Rise Time of Output			100	300	ns
Fall Time of Output			100	300	ns

Note 1: All voltages are measured with respect to the ground pin, unless otherwise specified.**Note 2:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which govern specific performance limits. This assures that the device is within its Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.**Note 3:** For operating at elevated temperatures the device must be derated above 25°C based on a $+150^\circ\text{C}$ maximum junction temperature and a thermal resistance 170°C/W (30-8), junction to ambient.**Note 4:** Supply current when output high (typical) $I_{\text{OH}} = 10\text{mA}$ and $I_{\text{OH}} = 10\text{mA}$ at $V_{\text{OH}} = 10\text{V}$.**Note 5:** Tested at $V_{CC} = 5\text{V}$ and $V_{CC} = 15\text{V}$.**Note 6:** This will determine the maximum value of $R_A + R_B$ for 10V operation. The maximum total ($R_A + R_B$) is 20k Ω .**Note 7:** No protection against excessive pin 7 current is necessary providing the package dissipation rating will not be exceeded.**RECOMMENDED OPERATING**

	MIN	MAX.	UNIT
Supply voltage, V_{CC}	4.5	18	V
Input voltage (control, reset, threshold, and trigger)		V_{CC}	
Output current		≤ 200	mA
Operating free-air temperature, T_A	0	70	$^\circ\text{C}$

Applications Information

MONOSTABLE OPERATION

In this mode of operation, the timer functions as a one-shot (Figure 7). The external capacitor is initially held discharged by a transistor inside the timer. Upon application of a negative trigger pulse of less than $1/3 V_{CC}$ to pin 2, the flip-flop is set which both releases the short circuit across the capacitor and drives the output high.

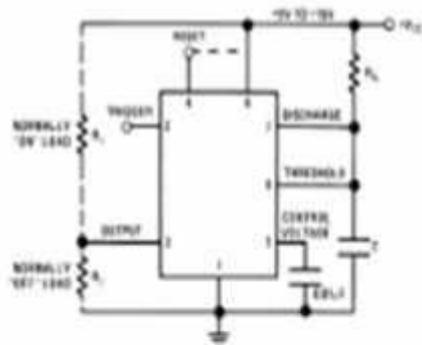
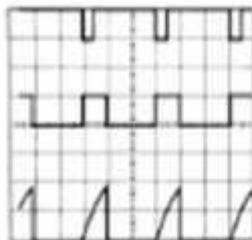


FIGURE 1. Monostable

The voltage across the capacitor then increases exponentially for a period of $t = 1.1 R_A C$, at the end of which time the voltage equals $2/3 V_{CC}$. The comparator then resets the flip-flop which in turn discharges the capacitor and drives the output to its low state. FIGURE 2 shows the waveforms generated in this mode of operation. Since the charge and the threshold level of the comparator are both directly proportional to supply voltage, the timing interval is independent of supply.



$V_{CC} = 5V$
 $TME = 5.1 ms/DIV$
 $R_A = 5.7k\Omega$
 $C = 0.01\mu F$

Top Trace: Input 5V/Div
 Middle Trace: Output 5V/Div
 Bottom Trace: Capacitor Voltage 2V/Div

FIGURE 2. Monostable Waveforms

NOTE: In monostable operation, the trigger should be driven high before the end of timing cycle.

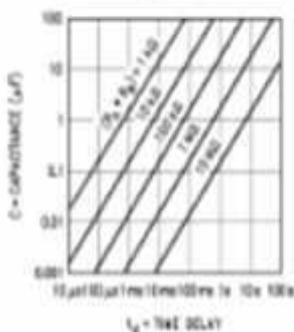


FIGURE 3. Time Delay

ASTABLE OPERATION

If the circuit is connected as shown in Figure 4 (pins 2 and 6 connected) it will trigger itself and free run as a multivibrator. The external capacitor charges through $R_A + R_B$ and discharges through R_B . Thus the duty cycle may be precisely set by the ratio of these two resistors.

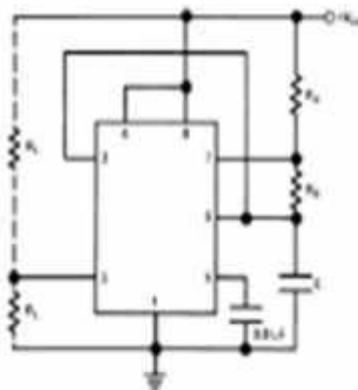


FIGURE 4. Astable

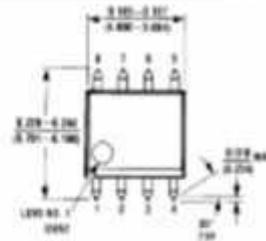
In this mode of operation, the capacitor charges and discharges between $1/3 V_{CC}$ and $2/3 V_{CC}$. As in the triggered mode, the charge and discharge times, and therefore the frequency are independent of the supply voltage.



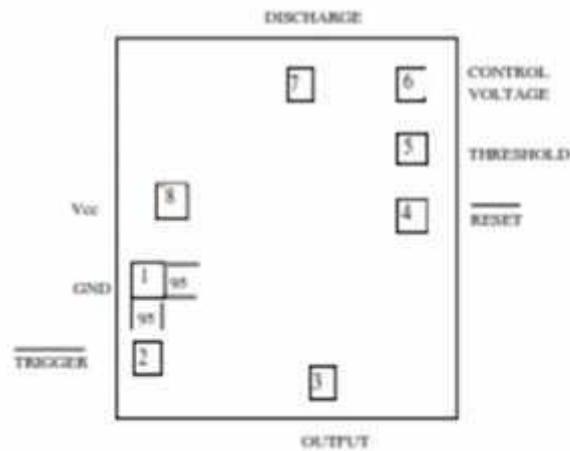
NE555

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted

NE555M



Pin location



Chip Size: 1.02x 1.07 mm

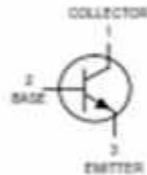
Annexe 02

BC547

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document
by BC546D

Amplifier Transistors NPN Silicon



BC546, B
BC547, A, B, C
BC548, A, B, C



CASE 29-04, STYLE 17
TO-18 (TO-226AA)

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	BC 546	BC 547	BC 548	Unit
Collector - Emitter Voltage	V_{CE0}	65	45	30	V
Collector - Base Voltage	V_{CB0}	60	30	30	V
Emitter - Base Voltage	V_{EB0}	6.0			V
Collector Current - Continuous	I_C	100			mA
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	625			mW
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	1.5			Watt
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_j, T_{stg}	-55 to +150			$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	200	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	63.3	$^\circ\text{C/W}$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS					
Collector - Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 1.0\text{ mA}, I_B = 0$)	BC546 BC547 BC548	$V_{(BR)CEO}$	65 45 30	— — —	V
Collector - Base Breakdown Voltage ($I_C = 100\text{ }\mu\text{A}, I_E = 0$)	BC546 BC547 BC548	$V_{(BR)CBO}$	60 30 30	— — —	V
Emitter - Base Breakdown Voltage ($I_E = 10\text{ }\mu\text{A}, I_C = 0$)	BC546 BC547 BC548	$V_{(BR)EBO}$	6.0 6.0 6.0	— — —	V
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 70\text{ V}, V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 50\text{ V}, V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 35\text{ V}, V_{BE} = 0$) ($V_{CE} = 30\text{ V}, T_A = 125^\circ\text{C}$)	BC546 BC547 BC548 BC546/547/548	I_{CES}	— — — —	0.2 0.2 0.2 4.0	nA μA

Annexe 03

TL071



TL071, TL071A, TL071B
TL072, TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B

SLOS081L – SEPTEMBER 1978 – REVISED FEBRUARY 2014

TL07x Low-Noise JFET-Input Operational Amplifiers

1 Features

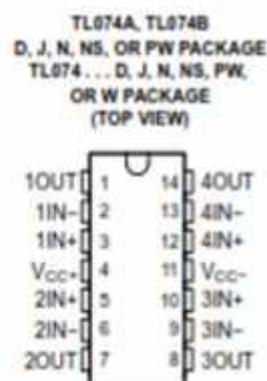
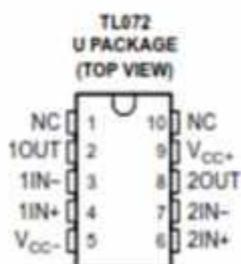
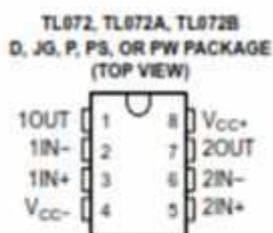
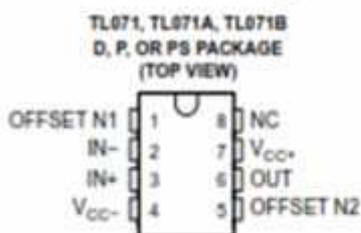
- Low Power Consumption
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- Low Input Bias and Offset Currents
- Output Short-Circuit Protection
- Low Total Harmonic Distortion: 0.003% Typ
- Low Noise
 $V_n = 18 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ Typ at $f = 1 \text{ kHz}$
- High Input Impedance: JFET Input Stage
- Internal Frequency Compensation
- Latch-Up-Free Operation
- High Slew Rate: $13 \text{ V}/\mu\text{s}$ Typ
- Common-Mode Input Voltage Range Includes V_{CC-}

2 Description

The JFET-input operational amplifiers in the TL07x series are similar to the TL08x series, with low input bias and offset currents and fast slew rate. The low harmonic distortion and low noise make the TL07x series ideally suited for high-fidelity and audio preamplifier applications. Each amplifier features JFET inputs (for high input impedance) coupled with bipolar output stages integrated on a single monolithic chip.

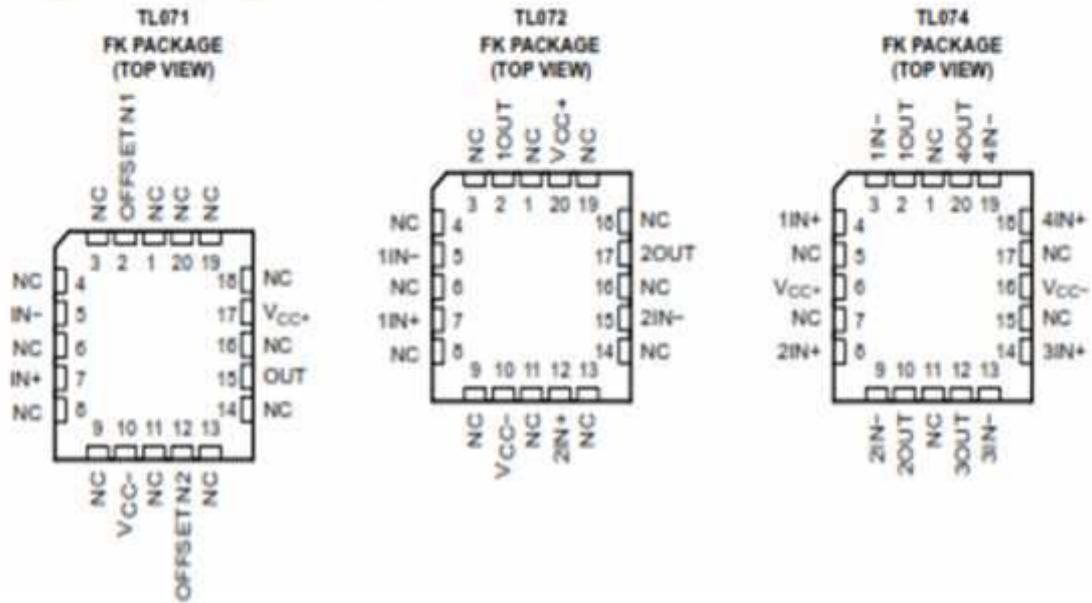
The C-suffix devices are characterized for operation from 0°C to 70°C . The I-suffix devices are characterized for operation from -40°C to 85°C . The M-suffix devices are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C .

3 Terminal Out Drawings



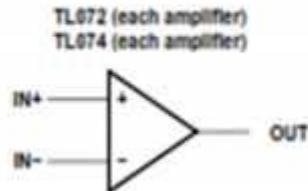
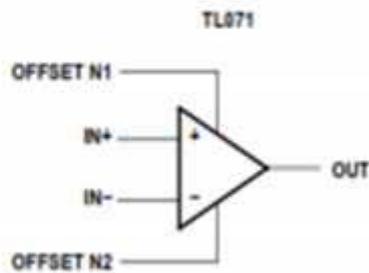
NC – No internal connection

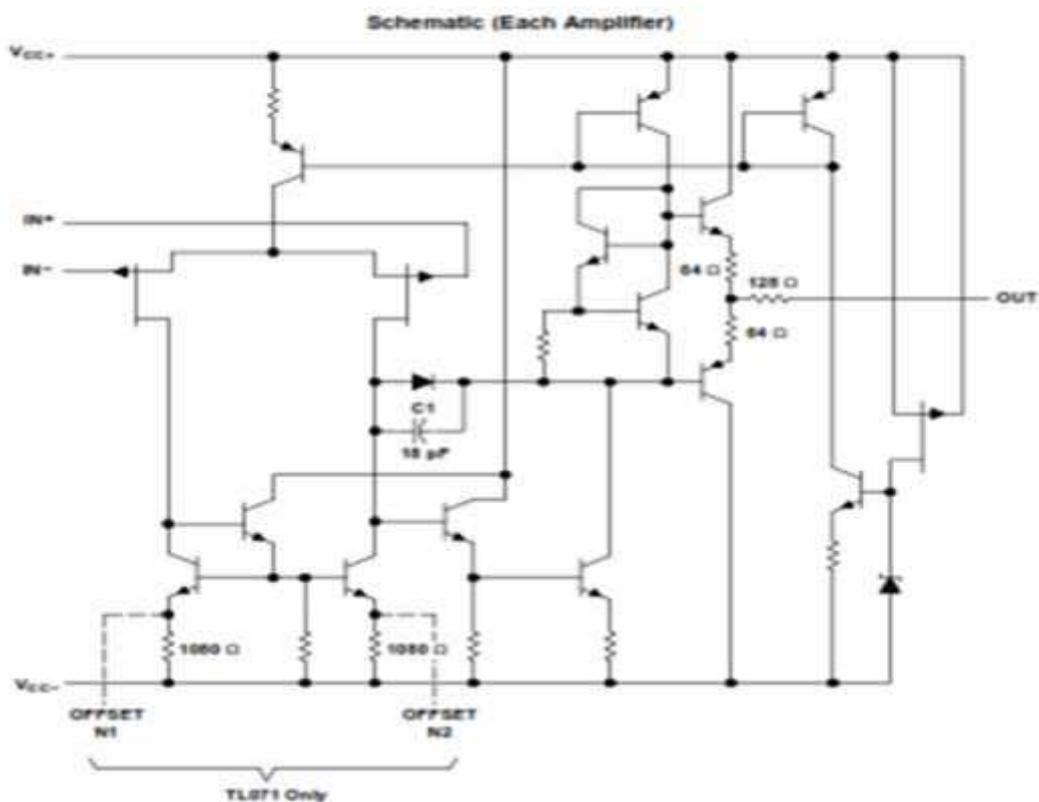
5 Terminal Configuration and Functions



NC - No internal connection

Symbols

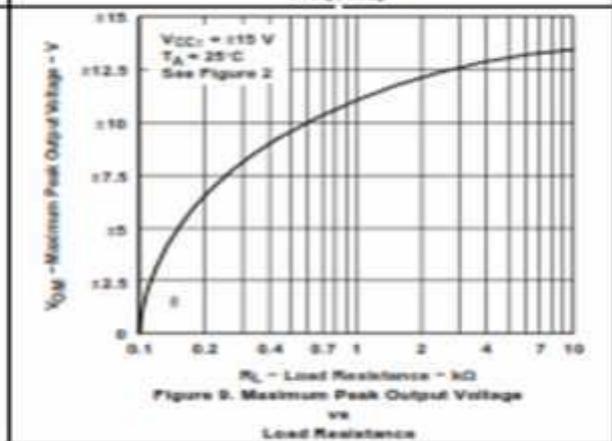
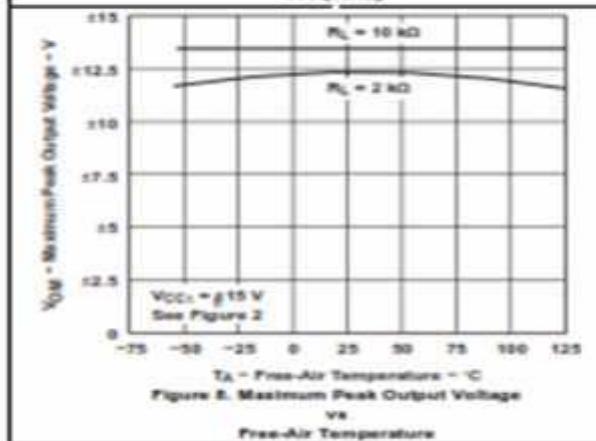
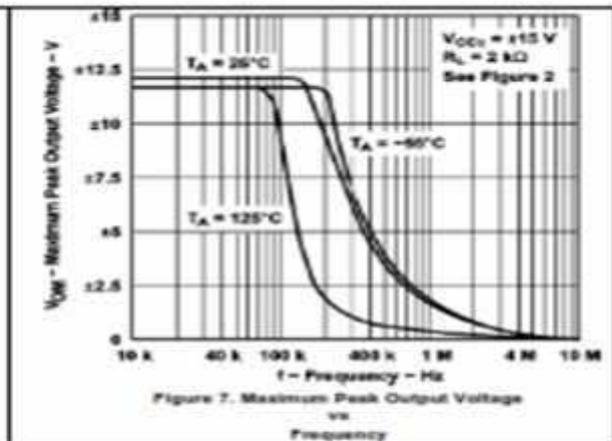
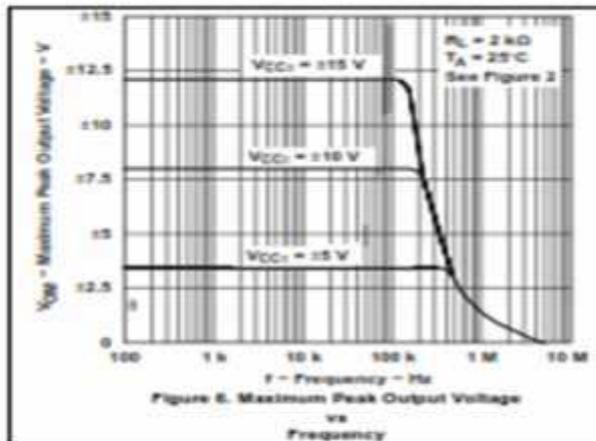




All component values shown are nominal.

COMPONENT COUNT†			
COMPONENT TYPE	TL071	TL072	TL074
Resistors	11	22	44
Transistors	14	20	50
JFET	2	4	6
Diodes	1	2	4
Capacitors	1	2	4
BJT-FET	1	2	4

† Includes bias and trim circuitry.



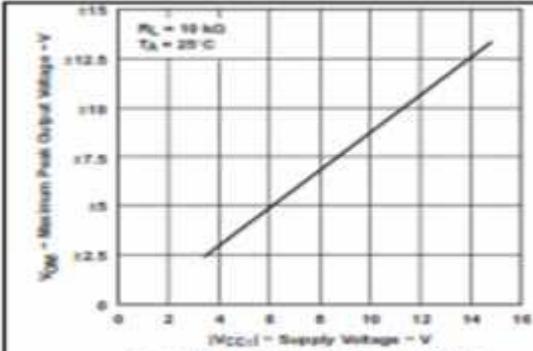


Figure 10. Maximum Peak Output Voltage vs Supply Voltage

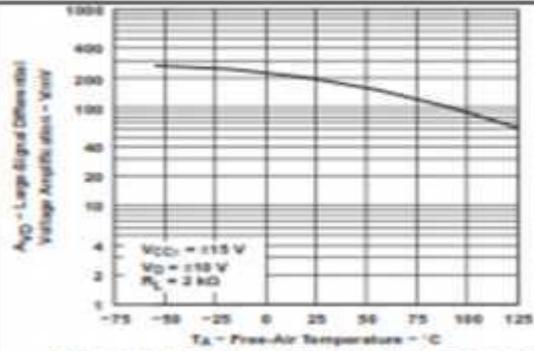


Figure 11. Large-Signal Differential Voltage Amplification vs Free-Air Temperature

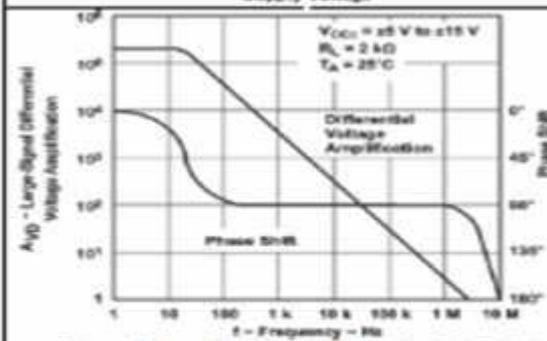


Figure 12. Large-Signal Differential Voltage Amplification and Phase Shift vs Frequency

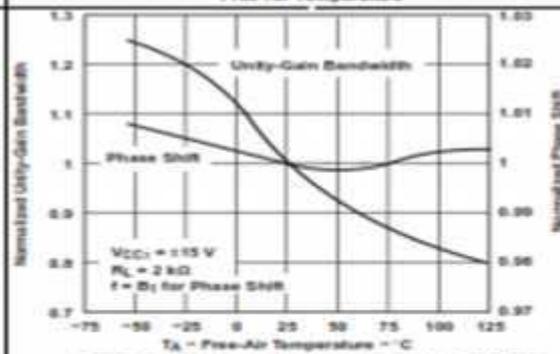


Figure 13. Normalized Unity-Gain Bandwidth and Phase Shift vs Free-Air Temperature

Annexe 04

LM3914



LM3914

www.ti.com

DS007914-10 QUALITY 2005, REVISED MARCH 2014

LM3914 Dot/Bar Display Driver

Check for Samples: LM3914

FEATURES

- Drives LEDs, LCDs or Vacuum Fluorescents
- Bar or Dot Display Mode Externally Selectable by User
- Expandable to Displays of 100 Steps
- Internal Voltage Reference from 1.2V to 12V
- Operates with Single Supply of Less than 3V
- Inputs Operate Down to Ground
- Output Current Programmable from 2 mA to 30 mA
- No Multiplex Switching or Interaction Between Outputs
- Input Withstands $\pm 35V$ without Damage or False Outputs
- LED Driver Outputs are Current Regulated, Open-collectors
- Outputs can Interface with TTL or CMOS Logic
- The Internal 10-step Divider is Floating and can be Referenced to a Wide Range of Voltages

DESCRIPTION

The LM3914 is a monolithic integrated circuit that senses analog voltage levels and drives 10 LEDs, providing a linear analog display. A single pin changes the display from a moving dot to a bar graph. Current drive to the LEDs is regulated and programmable, eliminating the need for resistors. This feature is one that allows operation of the whole system from less than 3V.

The circuit contains its own adjustable reference and accurate 10-step voltage divider. The low-bias-current input buffer accepts signals down to ground, or V^- , yet needs no protection against inputs of 35V above or below ground. The buffer drives 10 individual comparators referenced to the precision divider. Indication non-linearity can thus be held typically to 1/2%, even over a wide temperature range.

Versatility was designed into the LM3914 so that controller, visual alarm, and expanded scale functions are easily added on to the display system. The circuit can drive LEDs of many colors, or low-current incandescent lamps. Many LM3914s can be "chained" to form displays of 20 to over 100 segments. Both ends of the voltage divider are externally available so that 2 drivers can be made into a zero-center meter.

The LM3914 is very easy to apply as an analog meter circuit. A 1.2V full-scale meter requires only 1 resistor and a single 3V to 15V supply in addition to the 10 display LEDs. If the 1 resistor is a pot, it becomes the LED brightness control. The simplified block diagram illustrates this extremely simple external circuitry.

When in the dot mode, there is a small amount of overlap or "fade" (about 1 mV) between segments. This assures that at no time will all LEDs be "OFF", and thus any ambiguous display is avoided. Various novel displays are possible.

Much of the display flexibility derives from the fact that all outputs are individual, DC regulated currents. Various effects can be achieved by modulating these currents. The individual outputs can drive a transistor as well as a LED at the same time, so controller functions including "staging" control can be performed. The LM3914 can also act as a programmer, or sequencer.

The LM3914 is rated for operation from 0°C to +70°C. The LM3914N-1 is available in an 18-lead PDIP (NFK) package.

The following typical application illustrates adjusting of the reference to a desired value, and proper grounding for accurate operation, and avoiding oscillations.



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS⁽¹⁾⁽²⁾

Power Dissipation ⁽³⁾ POIP (NFK)	1365 mW
Supply Voltage	25V
Voltage on Output Drivers	25V
Input Signal Overvoltage ⁽⁴⁾	±35V
Divider Voltage	-100 mV to V ⁺
Reference Load Current	10 mA
Storage Temperature Range	-55°C to +150°C
Soldering Information	
POIP Package Soldering (10 seconds)	260°C
PLCC Package Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

See <http://www.ti.com> for other methods of soldering surface mount devices.

- (1) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not ensure specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which ensure specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not specified for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.
- (2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/Distributors for availability and specifications.
- (3) The maximum junction temperature of the LM3914 is 100°C. Devices must be derated for operation at elevated temperatures. Junction to ambient thermal resistance is 35°C/W for the POIP (NFK package).
- (4) Pin 5 input current must be limited to 3mA. The addition of a 20k resistor in series with pin 5 allows ±100V signals without damage.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS⁽¹⁾⁽²⁾

Parameter	Conditions ⁽³⁾	Min	Typ	Max	Units
COMPARATOR					
Offset Voltage, Buffer and First Comparator	0V ≤ V _{IN,0} = V _{IN,4} ≤ 12V, I _{LOAD} = 1 mA		3	10	mV
Offset Voltage, Buffer and Any Other Comparator	0V ≤ V _{IN,0} = V _{IN,4} ≤ 12V, I _{LOAD} = 1 mA		3	15	mV
Gain (A _{OL} /AV _{OL})	I _{REF(1)} = 2 mA, I _{LOAD} = 10 mA	3	8		mA/mV
Input Bias Current (at Pin 5)	0V ≤ V _{IN} ≤ V ⁺ - 1.5V		25	100	nA
Input Signal Overvoltage	No Change in Display	-35		35	V
VOLTAGE-DIVIDER					
Divider Resistance	Total, Pin 6 to 4	8	12	17	kΩ
Accuracy	(1)		0.5	2	%

- (1) Unless otherwise stated, all specifications apply with the following conditions:
 3 V_{CC} ≤ V⁺ ≤ 20 V_{CC} V_{REF(1)} = V_{REF(2)} = V_{REF(3)} ≤ (V⁺ - 1.5V)
 3 V_{CC} ≤ V_{LOAD} ≤ V⁺ 0V ≤ V_{IN} ≤ V⁺ - 1.5V
 -0.015V ≤ V_{IN,0} ≤ 12V_{CC} T_A = +25°C, I_{REF(1)} = 0.2 mA, V_{LOAD} = 3.0V, pin 9 connected to pin 3 (Bar Mode),
 -0.015V ≤ V_{IN,4} ≤ 12 V_{CC} For higher power dissipations, pulse testing is used.
- (2) Pin 5 input current must be limited to 3mA. The addition of a 20k resistor in series with pin 5 allows ±100V signals without damage.
- (3) Accuracy is measured referred to +10.000V_{CC} at pin 6, with 0.000 V_{CC} at pin 4. At lower full-scale voltages, buffer and comparator offset voltage may add significant error.

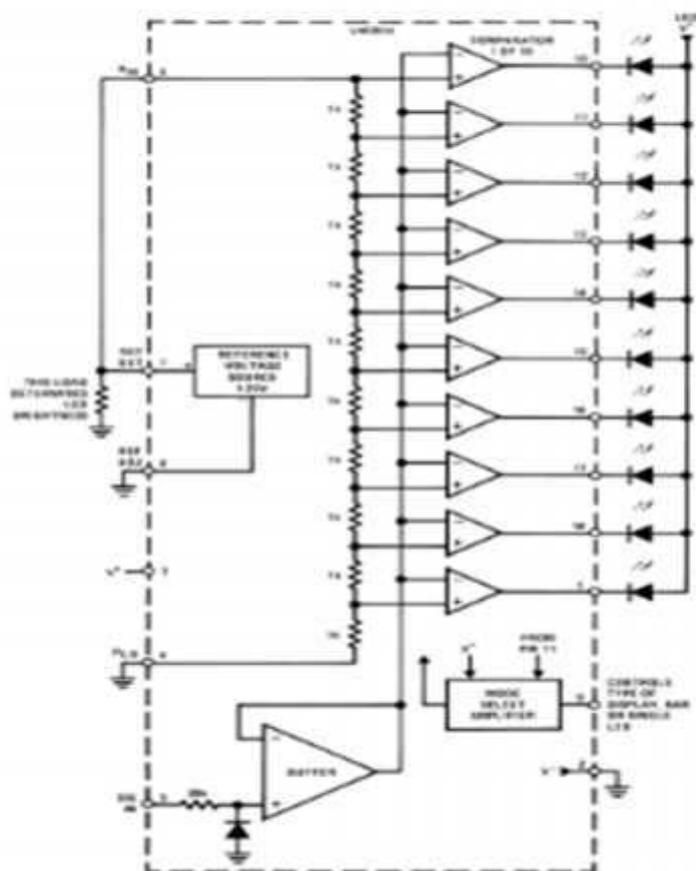
ELECTRICAL CHARACTERISTICS⁽¹⁾⁽²⁾ (continued)

Parameter	Conditions ⁽¹⁾	Min	Typ	Max	Units	
VOLTAGE REFERENCE						
Output Voltage	$0.1 \text{ mA} \leq I_{\text{LOAD}} \leq 4 \text{ mA}$, $V^+ = V_{\text{LED}} = 5\text{V}$	1.2	1.28	1.34	V	
Line Regulation	$3\text{V} \leq V^+ \leq 18\text{V}$		0.01	0.03	%/V	
Load Regulation	$0.1 \text{ mA} \leq I_{\text{LOAD}} \leq 4 \text{ mA}$, $V^+ = V_{\text{LED}} = 5\text{V}$		0.4	2	%	
Output Voltage Change with Temperature	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$, $I_{\text{LOAD}} = 1 \text{ mA}$, $V^+ = 5\text{V}$		1		%	
Adjust Pin Current			75	120	μA	
OUTPUT DRIVERS						
LED Current	$V^+ = V_{\text{LED}} = 5\text{V}$, $I_{\text{LOAD}} = 1 \text{ mA}$	7	10	13	mA	
LED Current Difference (Between Largest and Smallest LED Currents)	$V_{\text{LED}} = 5\text{V}$	$I_{\text{LED}} = 2 \text{ mA}$		0.12	0.4	mA
		$I_{\text{LED}} = 20 \text{ mA}$		1.2	3	
LED Current Regulation	$3\text{V} \leq V_{\text{LED}} \leq 17\text{V}$	$I_{\text{LED}} = 2 \text{ mA}$		0.1	0.25	mA
		$I_{\text{LED}} = 20 \text{ mA}$		1	3	
Dropout Voltage	$I_{\text{LOAD}} = 20 \text{ mA}$, $V_{\text{LED}} = 5\text{V}$, $\Delta I_{\text{LED}} = 2 \text{ mA}$			1.5	V	
Saturation Voltage	$I_{\text{LED}} = 2.0 \text{ mA}$, $I_{\text{LOAD}} = 0.4 \text{ mA}$		0.15	0.4	V	
Output Leakage, Each Collector	(Bar Mode) ⁽²⁾		0.1	10	μA	
Output Leakage	(Dot Mode) ⁽²⁾	Pins 10–18		0.1	10	μA
		Pin 1	60	100	450	μA
SUPPLY CURRENT						
Standby Supply Current (All Outputs Off)	$V^+ = 5\text{V}$, $I_{\text{LOAD}} = 0.2 \text{ mA}$		2.4	4.2	mA	
	$V^+ = 20\text{V}$, $I_{\text{LOAD}} = 1.0 \text{ mA}$		8.1	9.2	mA	

(1) Bar mode results when pin 9 is within 20mV of V^+ . Dot mode results when pin 9 is pulled at least 200mV below V^+ or left open circuit. LED No. 10 (pin 10 output current) is disabled if pin 9 is pulled 0.3V or more below V_{LED} .

BLOCK DIAGRAM

(Showing Simplest Application)

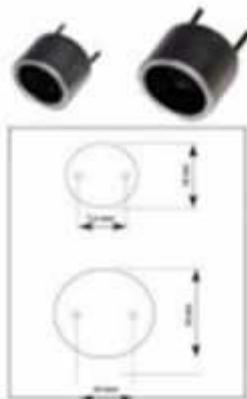


Annexe 05

Transducteur ultrason 40 KHz

RX = récepteur

[SOE105RX-12]



Caractéristique(s) du produit :

- Alimentation : 20 Vrms max
- Fréquence 40 KHz.
- Récepteur diamètre 12 mm / Haut 9 mm
- Pas 7.5 mm

[SOE105TX-12]

Caractéristique(s) du produit :

- Emetteur
- Alimentation : 20 Vrms max
- Fréquence 40 KHz.
- Diamètre 9.9 mm / Haut 7.1 mm
- Pas 7.5 mm

http://www.electronique-diffusion.fr/product_info.php?products_id=29404

Annexe 06

LM324



August 2000

LM124/LM224/LM324/LM2902 Low Power Quad Operational Amplifiers

General Description

The LM124 series consists of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, DC gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM124 series can be directly operated off of the standard +5V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional $\pm 15V$ power supplies.

Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage
- The unity gain cross frequency is temperature compensated
- The input bias current is also temperature compensated

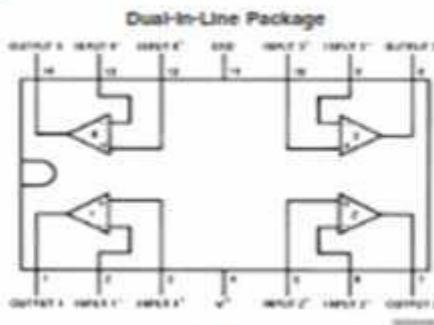
Advantages

- Eliminates need for dual supplies
- Four internally compensated op amps in a single package
- Allows directly sensing near GND and V_{OUT} also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

Features

- Internally frequency compensated for unity gain
- Large DC voltage gain: 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain): 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
Single supply: 3V to 32V
or dual supplies: $\pm 1.5V$ to $\pm 16V$
- Very low supply current drain (700 μA)—essentially independent of supply voltage
- Low input biasing current: 45 nA (temperature compensated)
- Low input offset voltage: 2 mV and offset current: 5 nA
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing: 0V to $V^- - 1.5V$

Connection Diagrams



Top View

Order Number LM124J, LM124AJ, LM124J/883 (Note 2), LM124AJ/883 (Note 1), LM224J, LM224AJ, LM324M, LM324MX, LM324AM, LM324AMX, LM2902M, LM2902MX, LM324N, LM324AN, LM324MT, LM324MTX or LM2902N LM124AJ/QML and LM124AJ/QMLV (Note 3)
See NS Package Number J14A, M14A or N14A

LM124/LM224/LM324/LM2902 Low Power Quad Operational Amplifiers

Connection Diagrams (Continued)



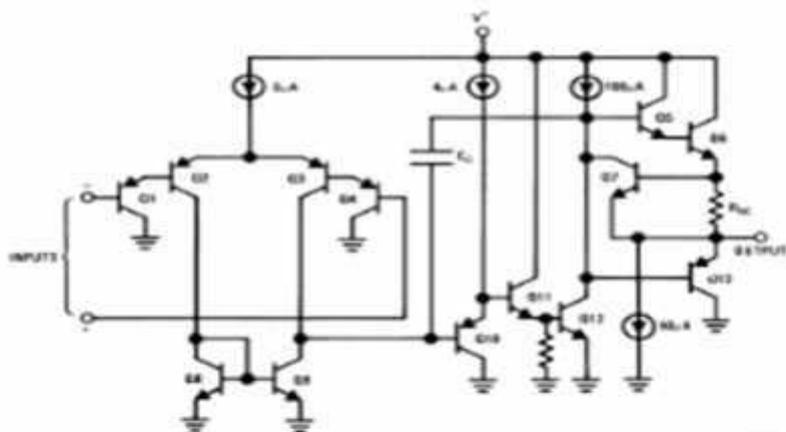
Order Number LM124AW/883, LM124AWQ/883, LM124W/883 or LM124WQ/883
 LM124AWROML and LM124AWROMLV (Note 3)
 See NS Package Number W14B
 LM124AWGROML and LM124AWGROMLV (Note 3)
 See NS Package Number WG14A

Note 1: LM124A available per J03810Y1006

Note 2: LM124 available per J03810Y1005

Note 3: See STD M9 DWD 5862W8204 for Radiation Tolerant Device

Schematic Diagram (Each Amplifier)



Absolute Maximum Ratings (Note 12)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/

Distributors for availability and specifications.

	LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A			LM2902		
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max
Supply Voltage, V^+		32V			20V	
Differential Input Voltage		32V			20V	
Input Voltage	-0.3V		+32V	-0.3V		+20V
Input Current ($V_{in} < -0.3V$) (Note 6)		50	mA		50	mA
Power Dissipation (Note 4)		1130	mW		1130	mW
Molded DIP		1200	mW		1200	mW
Cavity DIP		800	mW		800	mW
Small Outline Package						
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) (Note 5)		Continuous			Continuous	
$V^+ < 15V$ and $T_A = 25^\circ C$						
Operating Temperature Range						
LM324/LM324A		0°C	+70°C			
LM224/LM224A		-25°C	+85°C			
LM124/LM124A		-55°C	+125°C			
Storage Temperature Range		-65°C	+150°C			
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)		260	°C		260	°C
Soldering Information						
Dual-In-Line Package						
Soldering (10 seconds)		260	°C		260	°C
Small Outline Package						
Vapor Phase (50 seconds)		215	°C		215	°C
Infrared (15 seconds)		220	°C		220	°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.						
ESD Tolerance (Note 13)		200V			200V	

Electrical Characteristics

$V^- = +5.0V$, (Note 7), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM124A			LM224A			LM324A			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 8) $T_A = 25^\circ C$	1	2		1	3		2	3		mV
Input Bias Current (Note 9)	$I_{in(+)}$ or $I_{in(-)}$, $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$	20	50		40	80		45	100		nA
Input Offset Current	$I_{in(+)}$ or $I_{in(-)}$, $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25^\circ C$	2	10		2	15		5	30		nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)	$V^+ = 30V$, (LM2902, $V^+ = 20V$), $T_A = 25^\circ C$	0	$V^- - 1.5$		0	$V^- - 1.5$		0	$V^- - 1.5$		V
Supply Current	Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ On All Op Amps $V^+ = 30V$ (LM2902 $V^+ = 20V$) $V^- = 5V$		1.5	3		1.5	3		1.5	3	mA
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15V$, $R_L = 2k\Omega$, ($V_{in} = 1V$ to $11V$), $T_A = 25^\circ C$	50	100		50	100		25	100		V/mV
Common-Mode	DC, $V_{CM} = 0V$ to $V^- - 1.5V$	70	85		70	85		65	85		dB

Electrical Characteristics (Continued)V⁻ = +3.0V, (Note 7), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM124A			LM224A			LM324A			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Rejection Ratio	T _a = 25°C											
Power Supply Rejection Ratio	V ⁺ = 5V to 30V (LM2902, V ⁻ = 0V to 20V), T _a = 25°C	65	100		65	100		65	100		dB	
Amplifier-to-Amplifier Coupling (Note 11)	f = 1 kHz to 20 kHz, T _a = 25°C (Input Referred)		-120			-120			-120		dB	
Output Current	Source	V _{out} ⁺ = 1V, V _{out} ⁻ = 0V, V ⁺ = 15V, V _{OS} = 2V, T _a = 25°C			20			40			mA	
	Sink	V _{out} ⁺ = 1V, V _{out} ⁻ = 0V, V ⁺ = 15V, V _{OS} = 2V, T _a = 25°C			10			20			mA	
		V _{out} ⁺ = 1V, V _{out} ⁻ = 0V, V ⁺ = 15V, V _{OS} = 200 mV, T _a = 25°C			12			50			μA	
Short Circuit to Ground	(Note 5) V ⁻ = 15V, T _a = 25°C		40	60		40	60		40	60	mA	
Input Offset Voltage	(Note 8)			4			4			5	mV	
V _{OS} Drift	R _{in} = 0Ω			7			7			30	μV/°C	
Input Offset Current	I _{in(+)} - I_{in(-)}}, V_{CM} = 0V}			30			30			75	nA	
I _{OS} Drift	R _{in} = 0Ω			10			10			300	pA/°C	
Input Bias Current	I _{in(+)}} or I _{in(-)}}			40			40			200	nA	
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)	V ⁺ = +30V (LM2902, V ⁻ = 20V)	0		V ⁻ -2	0		V ⁻ -2	0		V ⁻ -2	V	
Large Signal Voltage Gain	V ⁺ = +15V (V _{OS} Swing = 1V to 11V) R _L = 2 kΩ	25			25			15			V/mV	
Output Voltage Swing	V _{CM}	V ⁻ = 30V, R _L = 2 kΩ			26			26			V	
	V _{OH}	(LM2902, V ⁻ = 20V) V ⁻ = 5V, R _L = 10 kΩ			27			28			27	
Output Current	Source	V _{OS} = 2V, V _{out} ⁺ = +1V, V _{out} ⁻ = 0V, V ⁺ = 15V			10			20			mA	
	Sink	V _{out} ⁺ = +1V, V _{out} ⁻ = 0V, V ⁺ = 15V			10			15			5	

Electrical CharacteristicsV⁻ = +3.0V, (Note 7), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM124/LM224			LM324			LM2902			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 8) T _a = 25°C		2	5		2	7		2	7	mV
Input Bias Current (Note 9)	I _{in(+)}} or I _{in(-)}} , V _{CM} = 0V, T _a = 25°C		45	150		45	250		45	250	nA
Input Offset Current	I _{in(+)}} or I _{in(-)}} , V _{CM} = 0V, T _a = 25°C		3	30		5	50		5	50	nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)	V ⁺ = 30V, (LM2902, V ⁻ = 20V), T _a = 25°C	0		V ⁻ -1.5	0		V ⁻ -1.5	0		V ⁻ -1.5	V

Electrical Characteristics (Continued)												
V ⁺ = +5.0V, (Note 7), unless otherwise stated												
Parameter	Conditions	LM124/LM224			LM324			LM2902			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Supply Current	Over Full Temperature Range R _L = ∞ On All Op Amps V ⁻ = 30V (LM2902 V ⁻ = 20V) V ⁻ = 5V		1.5	3		1.5	3		1.5	3	mA	
			0.7	1.2		0.7	1.2		0.7	1.2		
Large Signal Voltage Gain	V ⁻ = 15V, R _L > 2kΩ, (V _{OL} = 1V to 11V), T _A = 25°C	50	100		25	100		25	100		V/mV	
Common-Mode Rejection Ratio	DC, V _{CM} = 0V to V ⁻ - 1.5V, T _A = 25°C	70	85		65	80		50	70		dB	
Power Supply Rejection Ratio	V ⁻ = 5V to 30V (LM2902, V ⁻ = 5V to 20V), T _A = 25°C	65	100		65	100		50	100		dB	
Amplifier-to-Amplifier Coupling (Note 11)	f = 1 kHz to 20 kHz, T _A = 25°C (Input Referenced)		-120			-120			-120		dB	
Output Current	Source	V _{OH} ⁺ = 1V, V _{OH} ⁻ = 0V, V ⁻ = 15V, V _{OL} = 2V, T _A = 25°C		20	40		20	40		20	40	mA
	Sink	V _{OH} ⁻ = 1V, V _{OH} ⁺ = 0V, V ⁻ = 15V, V _{OL} = 2V, T _A = 25°C		10	20		10	20		10	20	
		V _{OH} ⁺ = 1V, V _{OH} ⁻ = 0V, V ⁻ = 15V, V _{OL} = 200 mV, T _A = 25°C		12	50		12	50		12	50	μA
	Short Circuit to Ground (Note 5) V ⁻ = 15V, T _A = 25°C		40	60		40	60		40	60		mA
Input Offset Voltage	(Note 8)			7			9			10	mV	
V _{OS} Drift	R _L = 0Ω			7			7			7	μV/°C	
Input Offset Current	I _{OS(+)} - I _{OS(-)} , V _{CM} = 0V			100			150			40	300	nA
I _{OS} Drift	R _L = 0Ω			10			10			10		pA/°C
Input Bias Current	I _{OS(+)} or I _{OS(-)}			40	300		40	500		40	500	nA
Input Common-Mode Voltage Range (Note 10)	V ⁻ = +30V (LM2902, V ⁻ = 20V)	0		V ⁻ -2	0		V ⁻ -2	0		V ⁻ -2	V	
Large Signal Voltage Gain	V ⁻ = +15V (V _{OL} Swing = 1V to 11V) R _L > 2 kΩ	25			15			15			V/mV	
Output Voltage Swing	V _{OH}	V ⁻ = 30V	R _L = 2 kΩ		26		26		22		V	
		(LM2902, V ⁻ = 20V)	R _L = 10 kΩ		27	28	27	28	23	24		
	V _{OL}	V ⁻ = 5V, R _L = 10 kΩ	5	20		5	20		5	100	mV	
Output Current	Source	V _{OH} = 2V		V _{OH} ⁺ = +1V, V _{OH} ⁻ = 0V, V ⁻ = 15V		10	20		10	20	mA	
	Sink			V _{OH} ⁻ = +1V, V _{OH} ⁺ = 0V, V ⁻ = 15V		5	8		5	8		

Annexe 07

HC-SR04

Product features:

Ultrasonic ranging module HC - SR04 provides 2cm - 400cm non-contact measurement function, the ranging accuracy can reach to 3mm. The module includes ultrasonic transmitters, receiver and control circuit. The basic principle of work:

- (1) Using IO trigger for at least 10us high level signal,
- (2) The Module automatically sends eight 40 kHz and detect whether there is a pulse signal back.
- (3) IF the signal back, through high level , time of high output IO duration is the time from sending ultrasonic to returning.

Test distance = (high level time × velocity of sound (340M/S) / 2,

Wire connecting direct as following:

- 5V Supply
- Trigger Pulse Input
- Echo Pulse Output
- 0V Ground

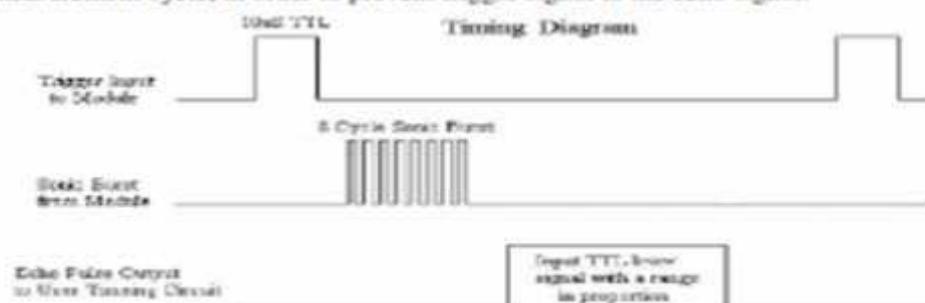
Electric Parameter

Working Voltage	DC 5 V
Working Current	15mA
Working Frequency	40Hz
Max Range	4m
Min Range	2cm
MeasuringAngle	15 degree
Trigger Input Signal	10uS TTL pulse
Echo Output Signal	Input TTL lever signal and the range in proportion
Dimension	45*20*15mm



Timing diagram

The Timing diagram is shown below. You only need to supply a short 10uS pulse to the trigger input to start the ranging, and then the module will send out an 8 cycle burst of ultrasound at 40 kHz and raise its echo. The Echo is a distance object that is pulse width and the range in proportion. You can calculate the range through the time interval between sending trigger signal and receiving echo signal. Formula: $\mu\text{S} / 58 = \text{centimeters}$ or $\mu\text{S} / 148 = \text{inch}$; or: the range = high level time * velocity (340M/S) / 2; we suggest to use over 60ms measurement cycle, in order to prevent trigger signal to the echo signal.



Annexe 08

Les 03 essais de variation de niveau

D (cm)	V1 (mV)	V2 (mV)	V3 (mV)
0.5	520	840	940
1	1040	620	1000
1.5	680	1000	920
2	920	880	1140
2.5	720	800	1440
3	760	1900	2200
3.5	1800	2000	2050
4	2100	2100	1550
4.5	1200	2150	1550
5	1300	2000	2250
5.5	1600	2200	900
6	1400	2300	1400
6.5	1950	1950	1700
7	2300	2000	1600
7.5	2600	2100	3050
8	2600	2400	3300
8.5	2200	2700	2750
9	1800	1700	1700
9.5	1600	2200	2100
10	2000	1100	2250

Résumé :

C'est dans le cadre de notre projet de fin d'étude que nous avons réalisé un projet de détection de niveau à ultrason. Ce dernier a pour but, d'une part d'améliorer nos connaissances théoriques et notre pratique expérimentale, et d'autre part de nous faire toucher du doigt, car en tant que futurs ingénieurs nous savons qu'il est un outil clé.

Les travaux réalisés ont contribué à une meilleure compréhension de l'effet des ultrasons et leur propriété physique. De plus, ces résultats contribueront aussi à améliorer la conception des capteurs ultrasoniques.

Les difficultés abordés dans ce projet de fin d'étude nous a orienté à trouver une solution pour atteindre l'objectif désiré.

Mots clés : ultrason, capteurs ultrasonique

:

كجزء من مشروعنا الخاص بنهاية الدراسة، قمنا بتنفيذ مشروع الكشف عن مستوى سائل عن طريق استعمال الموجات فوق الصوتية. و الهدف من ذلك هو تحسين معرفتنا النظرية وممارستنا التجريبية، وفي إطار كوننا مهندسي المستقبل سنستفيد من هذه التجربة في حياتنا العملية.

وساهم العمل المنجز في تحسين فهم تأثير الموجات فوق الصوتية وخصائصها الفيزيائية. و بالإضافة إلى ذلك، فإن هذه النتائج تساعد أيضا على تحسين تصميم أجهزة الاستشعار بالموجات فوق الصوتية.

وقد أدت الصعوبات التي نوقشت في هذا المشروع النهائي إلى إيجاد حل لتحقيق الهدف المنشود.

Abstract

As part of our end-of-study project, we carried out an ultrasonic level detection project. The aim is to improve both our theoretical knowledge and our experimental practice as future engineers we know that it is a key tool.

The work carried out contributed to a better understanding of the effect of ultrasound and their physical properties. In addition, these results will also help improve the design of ultrasonic sensors.

The difficulties addressed in this final project led us to find a solution to achieve the desired objective.